

Iván Suazo Galdames

Francisco Pérez Rojas

NEUROANATOMÍA

Fundamentos para estudiantes de ciencias de la salud



PRIMERA EDICIÓN



RiL editores





Neuroanatomía

Fundamentos para estudiantes
de ciencias de la salud



Neuroanatomía

Fundamentos para estudiantes
de ciencias de la salud

Iván Suazo Galdames • Francisco Pérez Rojas



RiL editores



MÁS UNIVERSIDAD

611.8 Suazo Galdames, Ivan
S Neuroanatomía: fundamentos para estu-
diantes de ciencias de la salud / Iván Suazo Gal-
dames, Francisco Pérez Rojas, . – Santiago :
RIL editores • Universidad Autónoma de Chile,
2021.

302 p. ; 28 cm.

ISBN: 978-956-01-0890-6

1 NEUROANATOMÍA. 2 CEREBRO-ANATOMÍA E HIS-
TOLOGÍA



NEUROANATOMÍA:

FUNDAMENTOS PARA ESTUDIANTES DE CIENCIAS DE LA SALUD

Primera edición: septiembre de 2021

© Iván Suazo Galdames y Francisco Pérez Rojas, 2021

Registro de Propiedad Intelectual

Nº 2021-A-7214

© RIL® editores, 2021

SEDE SANTIAGO:

Los Leones 2258

CP 7511055 Providencia

Santiago de Chile

☎ (56) 22 22 38 100

ril@rileditores.com • www.rileditores.com

SEDE VALPARAÍSO:

Cochrane 639, of. 92

CP 2361801 Valparaíso

☎ (56) 32 274 6203

valparaiso@rileditores.com

SEDE ESPAÑA:

europa@rileditores.com • Barcelona

© Universidad Autónoma de Chile, 2021

ediciones.uaautonoma.cl | ediciones@uaautonoma.cl

ISBN Universidad Autónoma de Chile 978-956-8454-36-5

Composición, diseño de portada e impresión: RIL® editores

Impreso en Chile • *Printed in Chile*

ISBN 978-956-01-0890-6

Derechos reservados.



Índice

CAPÍTULO I	
Conceptos básicos.....	10
CAPÍTULO II	
Neurohistología: Fundamentos histológicos del Sistema Nervioso.....	16
CAPÍTULO III	
Desarrollo del sistema nervioso central	49
CAPÍTULO IV	
Médula espinal	63
CAPÍTULO V	
Tronco encefálico	89
CAPÍTULO VI	
Configuración interna del tronco encefálico.....	112
CAPÍTULO VII	
Cerebelo.....	147
CAPÍTULO VIII	
Diencéfalo	160
CAPÍTULO IX	
Subcórtez	176
CAPÍTULO X	
Corteza cerebral e hipocampo.....	192
CAPÍTULO XI	
Sistema sensitivo somático	212
CAPÍTULO XII	
Sistema somático motor.....	232
CAPÍTULO XIII	
Regulación de las funciones viscerales.....	250
CAPÍTULO XIV	
Meninges, líquido cerebroespinal, ventrículos encefálicos y espacios subaracnoideos	261
CAPÍTULO XV	
Vascularización del sistema nervioso central	274
Referencias bibliográficas	300

La neuroanatomía corresponde al estudio del sistema nervioso, en especial de la configuración de las estructuras que constituyen el sistema nervioso central, comprendidas como vías y centros nerviosos. La neuroanatomía se relaciona estrechamente con otras disciplinas que se ocupan de este sistema, como la anatomía macroscópica, la biología del desarrollo, la histología, la fisiología, las neurociencias, entre otras.

La comprensión de la organización del sistema nervioso es fundamental para que el profesional de la salud comprenda los fundamentos del comportamiento y de las respuestas del individuo ante el medio. Este conocimiento ha tenido un notable desarrollo reciente de la mano de las neurociencias que han permitido una mejor comprensión de los fundamentos biológicos de la conducta. También ha sido notable el desarrollo de técnicas imagenológicas para el estudio en vivo del sistema nervioso. Ambas disciplinas, las neurociencias y la imagenología, requieren una adecuada comprensión de la morfología de las vías y centros nerviosos.

En este libro ofrecemos una descripción de la neuroanatomía humana, coherente con los contenidos propios de un curso en esta materia, dirigido a estudiantes de ciencias de la salud y medio de consulta a profesionales del área. Por ello con-

tribuye como una herramienta útil, orientadora y didáctica para el aprendizaje del estudiante, y no pretende mostrar el conocimiento neuroanatómico humano disponible de manera exhaustiva.

En el primer capítulo se establecen los conceptos básicos. Se trata de un glosario de términos fundamentales para la comprensión de las descripciones que se realizan en los capítulos siguientes. En el segundo y el tercer capítulo se analizan la neurohistología con aplicaciones clínicas y el desarrollo de las estructuras del sistema nervioso central. A partir del cuarto capítulo se realiza la descripción de la neuroanatomía de manera segmentaria, desde la médula espinal hasta los niveles superiores del sistema nervioso central. Finalmente se incluyen capítulos integradores que permiten la comprensión de vías que recorren centros en los distintos niveles del sistema nervioso central.

Hemos acompañado las descripciones con Ilustraciones —desarrolladas minuciosamente por la médica cirujana Carla Lillo Muñoz— que son muchas veces más importantes que el texto mismo.

Esperamos que les sea de utilidad.

LOS AUTORES

¿Y SI FUÉRAMOS NEURONAS?

La neuroanatomía, sin duda alguna, es el área más compleja, y a la vez hermosa, de la anatomía. Ha tenido un creciente interés en las últimas décadas, basado en el desarrollo de las técnicas de imagen, farmacología y por la utilidad que presta para entender los procesos que sustentan el comportamiento humano.

En relación a esto último, y solo para estimular el pensamiento y la reflexión de los lectores, quisiéramos expresar lo siguiente: en términos muy básicos, sabemos que las neuronas se componen de un cuerpo o soma y neuritas, que son prolongaciones que rodean al soma, donde las dendritas son periféricas, y el axón, una prolongación eferente. Así mismo, el sistema nervioso humano se compone de un cerebro equivalente a un soma, una prolongación (médula espinal) equivalente a un axón y nervios craneales equivalentes a dendritas. Si observáramos un sistema nervioso extraído del cuerpo humano, entenderíamos que se ve muy similar a una neurona motora clásica, donde los nervios espinales serían equivalentes al telodendrón o prolongaciones finales del axón. Las neuronas se clasifican morfológica y funcionalmente en motoras, sensitivas, sensoriales e interneuronas. De la misma manera, los seres hu-

manos se podrían organizar en personas motoras (eferentes) con predominio del movimiento, la actividad física y el deporte; sensitivas o aferentes, como personas intelectuales que absorben grandes cantidades de información, gustan del saber, la lectura y se deleitan aprendiendo; sensoriales, que organizan su vida en base a experiencias exteroceptivas como la música, el baile, la pintura o el arte en general; o interneuronas, que se pueden extrapolar a individuos sociales y empáticos, que gustan de la vida social y de compartir experiencias. Con lo expuesto anteriormente se deriva que la sociedad es una compleja interacción de pequeñas neuronas llamadas humanos, que cuando fracasan, se reinventan y buscan nuevos caminos para encontrar el éxito y perdurar. En neurociencias lo llamamos plasticidad neuronal. Finalmente, si entendiéramos que cada individuo corresponde a una unidad funcional compleja dentro de este gran sistema integrado que es la sociedad, la evolución y el perfeccionamiento constante nos llevarán a niveles de organización social que podrían potenciarnos como especie.

LOS AUTORES

► CAPÍTULO I





Conceptos básicos





Sistema nervioso central

SUSTANCIA GRIS: término genérico para definir un grupo de cuerpos neuronales y neuronas amielínicas en el SNC.

CORTEZA: capa fina de cuerpos neuronales en la superficie de un elemento del SNC. Por lo tanto, corresponde a sustancia gris, que se dispone formando una capa delgada en la superficie de estructuras del SNC. Por ejemplo, cuando hablamos de la corteza cerebral, estamos hablando de la sustancia gris que se ubica en la superficie de los giros del cerebro. Existe corteza también en el cerebelo.

NÚCLEO: grupos de cuerpos neuronales y de neuronas amielínicas, que se encuentran bien delimitadas dentro del SNC.

SUSTANCIA BLANCA: grupos de axones mielinizados en el SNC, los cuales pueden reunirse formando paquetes de fibras que constituyen las vías de sustancia blanca.

TRACTO: colección de axones en el SNC, que tienen un mismo origen y destino.

FASCÍCULO: colección de axones en el SNC, que no tiene un mismo origen ni destino. Por ejemplo, el fascículo espino talámico lateral se origina en distintos niveles de la médula espinal y se proyecta al tálamo (VPL), dejando múltiples colaterales en la sustancia reticular en distintos niveles del SNC.

LEMNISCO: sustancia blanca que se presenta como un tracto aplanado, como una cinta.

COMISURA: grupo de neuronas que conectan territorios homólogos de ambos lados del cerebro.

CÁPSULA: colección de axones que unen el tronco encefálico con el cerebro (pisos distintos del sistema nervioso). La encontramos separando los núcleos de la base, como cápsula interna, cápsula externa o cápsula extrema.

Sistema nervioso periférico

NERVIO: conjunto de axones en el SNP. Por lo tanto, solo existen nervios en el sistema nervioso periférico y es redundante utilizar la expresión de nervio periférico.

GANGLIO: corresponde a cuerpos neuronales o sinapsis en el SNP. Lo que en el SNC se conoce como núcleo, acá lo llamamos ganglio. Por ejemplo, ganglio espinal, ganglio trigeminal, ganglio de la cadena paravertebral, etcétera. El sistema nervioso periférico somático constituye los ganglios de la raíz dorsal del nervio espinal y los ganglios de los nervios craneales V, VII, IX, X. El nervio craneal VIII vestibulococlear también presenta ganglios. En todos estos ganglios se encuentran los cuerpos de las primeras neuronas sensitivas o sensoriales que pertenecen al sistema nervioso periférico.

El sistema nervioso periférico autónomo, simpático y parasimpático también origina ganglios de varios tipos:

- Los ganglios ciliar, pterigopalatino y ótico, asociados a las tres divisiones del nervio trigémino, son ganglios parasimpáticos en los cuales ocurren sinapsis entre neuronas pre y postganglionares, que permiten la secreción de las glándulas mucosas, lagrimales y salivales de la cabeza.
- Los ganglios de la cadena paravertebral en los cuales ocurren las sinapsis de las neuronas pre y postganglionares simpáticas que se distribuyen a través de las colaterales de los nervios espinales y algunos nervios craneales a los cuales llegan constituyendo redes periarteriales.
- Ganglios prevertebrales, que se disponen en relación ventral con respecto a los cuerpos vertebrales, en la región abdominal, constituyendo formaciones perivasculares y periviscerales.
- Ganglios viscerales intramurales de carácter microscópico constituyen los plexos mientéricos (entre la capa muscular circular y longitudinal), que regulan el peristaltismo intestinal y submucoso que participa en las secreciones del tubo digestivo.

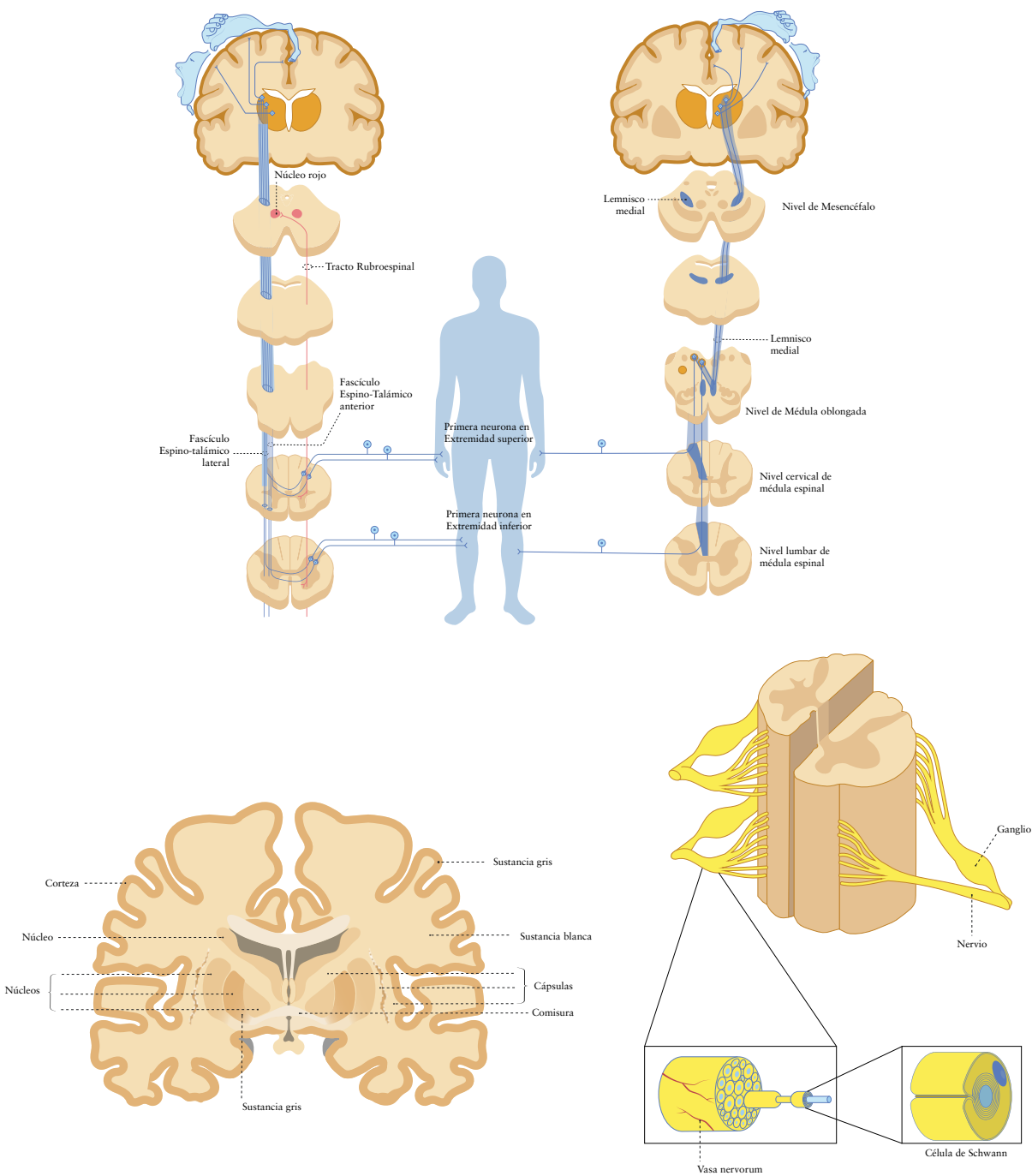
GLÁNDULA SUPRARRENAL: no constituye un ganglio propiamente dicho, pero la médula suprarrenal es un derivado de las crestas neurales, por lo que las células que la constituyen pueden ser consideradas parte del sistema nervioso periférico. Más claramente son homólogas a las neuronas postganglionares simpáticas que encontramos en los ganglios de la cadena paravertebral. Sus hormonas son verdaderamente una neurosecreción.

CÉLULAS DEL NEURILEMA (SCHWANN): células o glías mielinizantes que forman las vainas de mielina del SNP. Estas aportan la mielina de los nervios, mientras que los oligodendrocitos aportan la vaina de mielina a la sustancia blanca, o sea, la mielina en el sistema nervioso es aportada por las células del neurilema en el SNP y por los oligodendrocitos en el SNC.

Los nervios son estructuras constituidas principalmente por axones y por otros tipos de células, fundamentalmente de tipo conjuntivo, que le van haciendo vainas. Los nervios son grandes continentes de fibras mielinizadas que están envueltas por tejido conjuntivo. Los nervios se organizan formando fascículos de fibras, las cuales están envueltas por endoneuro. Se juntan varios fascículos de fibras y se envuelven por un perineuro. Y finalmente el nervio completo está envuelto por un epineuro. Son vainas de tejido conjuntivo.

VASA NERVORUM: dentro de los nervios vamos a encontrar vasos sanguíneos destinados a nutrir a las células que se encuentran en él. Son los vasos que nutren a los componentes celulares del nervio.

FIGURA 1. Esquema de las diversas formaciones del sistema nervioso central y periférico.

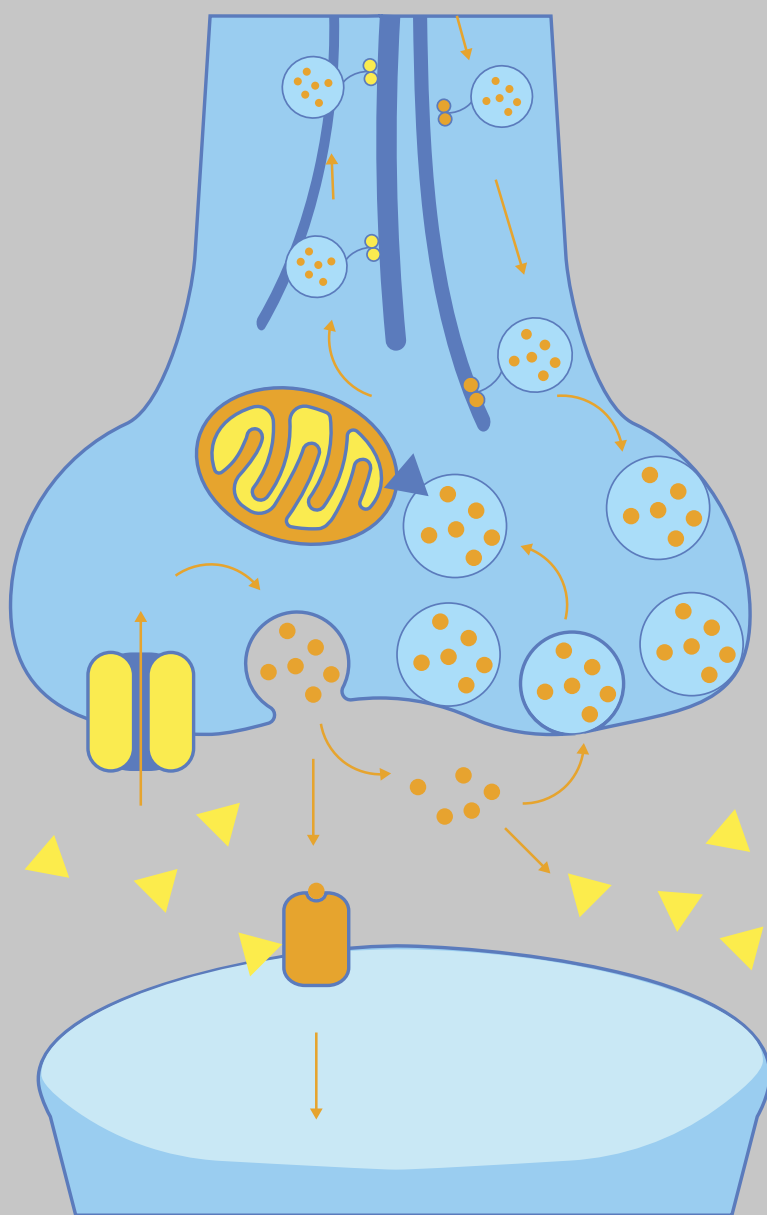




▶ CAPÍTULO II



Neurohistología: Fundamentos histológicos del Sistema Nervioso



El conocimiento neuroanatómico debe ser adquirido considerando previamente aspectos introductorios, que son propios de su conformación, tales como **clasificación ontogenética** –embriogénesis y organogénesis– (que será tema de un próximo capítulo de este texto) e **histología** (*neurohistología*), que permite caracterizar la arquitectura microscópica de los tejidos nerviosos, estableciendo aspectos relevantes de la conformación anátomo-funcional del sistema nervioso, así como la formación de la *mielina* que recubre, aísla electroquímicamente, protege y ayuda a direccionar las vías de conexión que existen entre los componentes neuronales del sistema nervioso central y periférico, o explicar el proceso de desmielinización y neurodegeneración, que son conceptos diferentes, que serán tratados en este capítulo.

Desde un punto de vista topográfico, comenzaremos a incorporar en este texto un análisis progresivo ascendente del SNC, lo que se denomina *neuroanatomía segmentaria*, partiendo por estructuras que no están revestidas por sustancia gris periférica: médula espinal y tronco encefálico, y que mantienen una sustancia gris central, hasta las que se denominan *suprasegmentarias*, que contienen sustancia gris periférica y sustancia blanca central.

Comenzaremos comentando aspectos relevantes de neurohistología, dado que aporta bases fundamentales para la comprensión de enfermedades y diversas situaciones clínicas que afectan al sistema nervioso central y periférico. Como se mencionó anteriormente, dos conceptos son centrales al final de este capítulo: *desmielinización* y *neurodegeneración*.

La histología del sistema nervioso

Desde el punto de vista anatómico, el sistema nervioso se divide en 1) sistema nervioso central (SNC) (encéfalo, médula espinal y porciones nerviosas del ojo) y 2) sistema nervioso periférico (SNP) (ganglios periféricos, nervios y terminaciones nerviosas). El SNC y SNP presentan diferencias morfológicas y fisiológicas que tienen importancia clínica en áreas como la neurofarmacología.

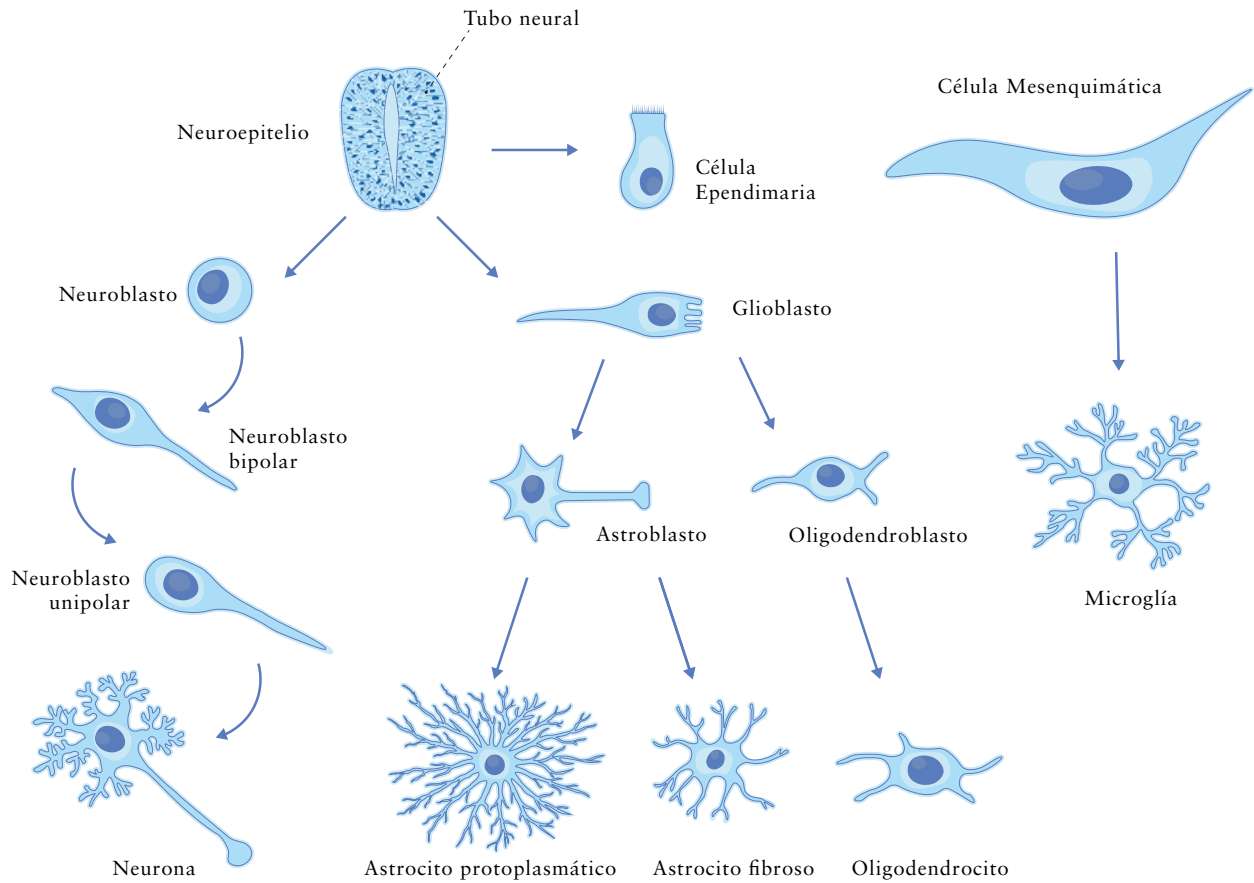
Los componentes celulares básicos del SNC son las neuronas y las células gliales. El SNP contiene células de soporte denominadas células satélites y neurilemocitos, similares a las células gliales del SNC.

Las células que conforman la mayor parte del sistema nervioso derivan del neuroectodermo, que a través de un neuroepitelio formará **neuroblastos**, **glioblastos** y **células endoteliales**. Pero además existe otro derivado celular proveniente del mesénquima (mesodermo), que conforma una línea celular distinta, capaz de generar células de la **microglía** (monocitos diferenciados) que se observan estrelladas cuando están inactivas y ameboides cuando se activan. Por tanto, se puede observar al microscopio cuando una célula de la microglía se encuentra en actividad. Estas células microgliales son capaces de degradar los subproductos del sistema nervioso central, fagocitarlos y activar el sistema inmune, actuando como un monocito y, como se mencionó, tienen una línea de diferenciación distinta al resto de las células del sistema.

El neuroepitelio, por su parte, conforma los otros tipos celulares del tejido neural, y el tipo de célula a formar dependerá de la dirección del huso mitótico. Así, una neurona derivará de un neuroblasto, mientras que las denominadas células gliales, con excepción de las ya comentadas de la microglía, derivarán de los glioblastos (figura 2), conformando los futuros astrocitos, oligodendrocitos y neurilemocitos. Es importante mencionar que las células endoteliales surgirán directamente de células precursoras ectodérmicas del neuroepitelio. Estas células, a diferencia de la neurona, no tienen axones, dendritas o espinas dendríticas.

Esta familia conforma las que se conocen como células de la glía. Esta palabra proviene del griego, que significa pegamento, es decir, son células que efectivamente son estructurales, capaces de nutrir la neurona en algunas ocasiones, aunque esta tiene la capacidad de nutrirse a sí misma desde el soma a sus prolongaciones. Las células gliales también tienen funciones metabólicas, capaces de conservar el ambiente necesario para que una neurona funcione, sea excitable y tenga la capacidad de transducir señales. Adicional a esto, en diversos experimentos se observa que, cuando se realizan cultivos de neuronas, sin la presencia de células gliales, las neuronas no crecen. Para hacer un cultivo neuronal solo se necesitan células gliales. Son cinco veces más abundantes en el sistema nervioso que las neuronas, por lo que estas últimas son la unidad funcional y anatómica del sistema.

FIGURA 2. Linajes celulares derivados del neuroepitelio y el mesénquima.



Las células que derivan del neuroepitelio son denominadas de la macroglía, porque efectivamente provienen de células grandes; y las que derivan del mesodermo son denominadas de la microglía, porque las células mesenquimáticas que les dan origen son pequeñas. De manera general, un conjunto de somas neuronales y la glía correspondiente que lo sustenta se observa macroscópicamente como **sustancia gris** y, si además se encuentra dentro del SNC, se denomina **núcleo**. Así también, a las numerosas ramificaciones dendríticas y axónicas y a sus respectivas uniones dentro de un núcleo se les denomina **neuropilo**.

¿Cómo está conformada una neurona?

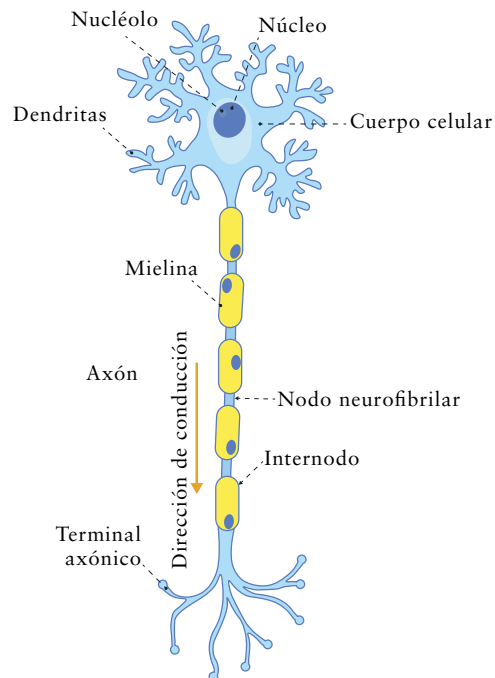
Las neuronas están conformadas por una estructura denominada *soma* (*pericarion*), que es reconocido como el cuerpo de la neurona, que

contiene el núcleo y la mayor parte de los componentes citoplasmáticos de la misma. También estarán conformadas por estructuras llamadas *neuritas*, que citológicamente son extrusiones o prolongaciones citoplasmáticas de una neurona. Las neuritas pueden denominarse dendritas, axones y telodendrón. Citomorfológicamente, una neurona puede tener una o varias dendritas, pero se le reconoce solamente la proyección de un axón. Los axones tienen características particulares que los diferencian de las dendritas; entre estas se encuentran el no presentar un ensanchamiento a la salida del cuerpo de la neurona (cono axonal), corpúsculos de Nissl (cúmulos del retículo endoplásmico rugoso), los que sí están presentes en el citoplasma neuronal y en el inicio de las dendritas. Igualmente, la gran mayoría de los axones se encuentran revestidos más allá del cono axonal, de una estructura lipídica blanca brillante dispuesta en capas concéntricas en torno al eje axónico, conformando las vainas de mielina, que son produci-

das por los oligodendrocitos en el SNC y por los neurilemocitos (Schwann) en el SNP. La porción final de los axones, el teledendrón o pie terminal, no presenta este recubrimiento mielínico. Los axones pueden estar libres, recorriendo los tejidos soportados por astrocitos, o agrupados en fibras nerviosas sustentadas por tejido conjuntivo, que en el SNP se denominan nervios y en el SNC se conocen como haces o tractos neurales.

En términos generales y normales, el flujo de información se recaba de la siguiente forma: desde las dendritas hacia el soma, desde el cono axónico al axón y luego hacia el teledendrón que presenta unas estructuras terminales conocidas como *botones sinápticos*. En la conformación clásica de una neurona multipolar podemos observar el soma con el núcleo y las prolongaciones dendritas y axón (figura 3).

FIGURA 3. Representación esquemática de una neurona multipolar clásica.



Las neuronas según su prolongación se clasifican en:

NEURONAS UNIPOLARES: corresponden a neuroblastos, una etapa de diferenciación temprana de una neurona. Son importantes desde la perspectiva embrionaria por diferenciarse en otras neuronas, por ser pluripotenciales, incluso podrían diferenciarse en alguna célula glial (figurar 4a).

NEURONAS PSEUDOUNIPOLARES: o neuronas pseudomonopolares. Se las conoce en algunos textos como unipolares por su axón único, pero eso es un error, dado que la neurona unipolar fue descrita en el punto anterior. Su axón único se divide en dos. Estas neuronas derivan de las crestas neurales, son aferentes, sensitivas. No tienen dendritas, por lo que el flujo se considera desde el axón

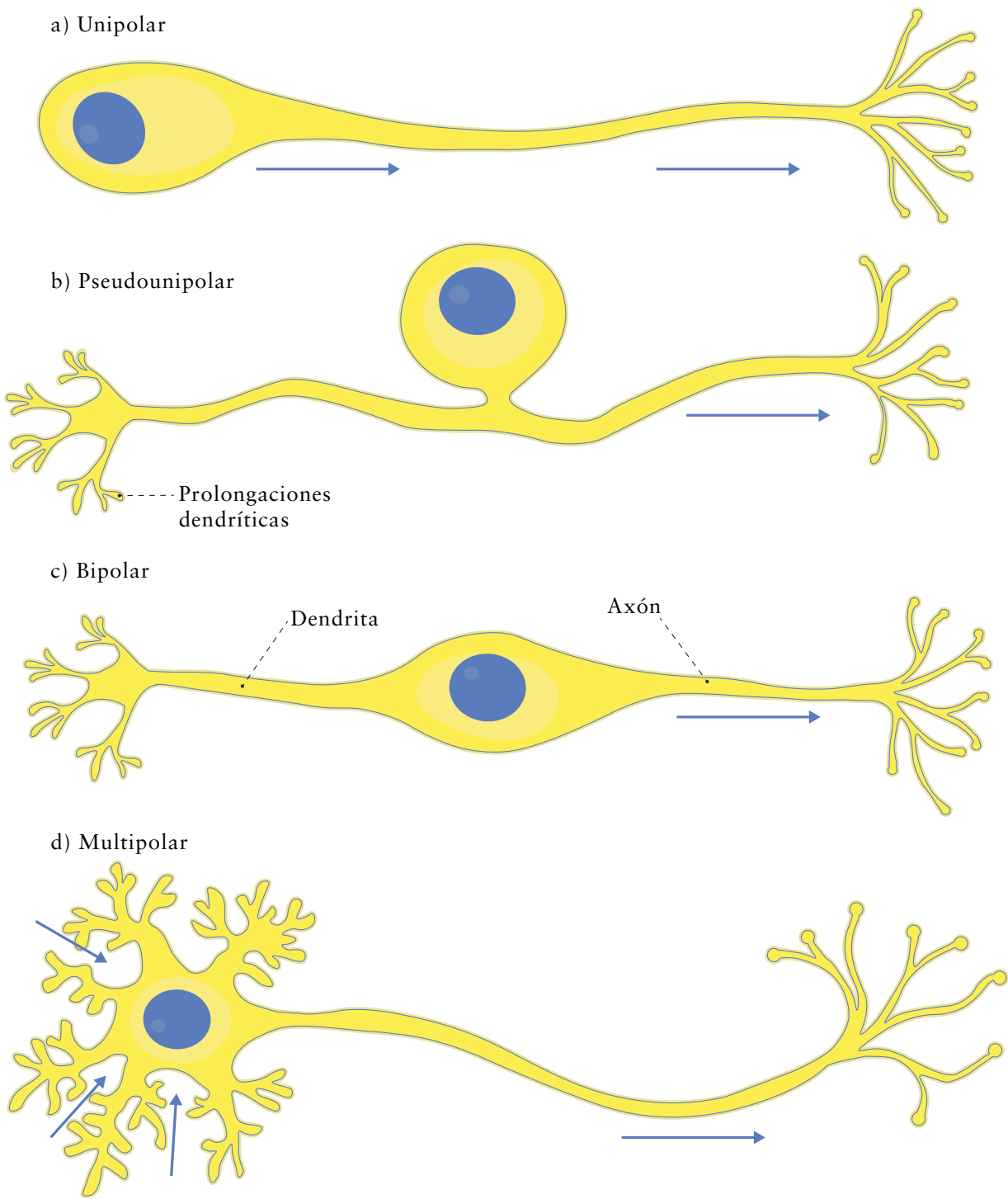
periférico como dendrita (asociado a un receptor, a un mecanorreceptor o ser terminaciones libres) hasta su otro extremo axonal hacia el sistema nervioso central. Por lo tanto, mantiene un flujo de información desde la periferia hacia el centro, es decir, solo son neuronas aferentes (figura 4b).

NEURONAS BIPOLARES: derivan directamente de una unipolar embrionaria y poseen dos prolongaciones que emergen del soma. Son neuronas muy especiales, dado que tienen la capacidad (algunas) de cambiar hacia otra neurona. Son neuronas sensoriales (NO sensitivas). Se ubican, por ejemplo, en el epitelio olfatorio, vestibular, auditivo y en la retina (figura 4c).

NEURONAS MULTIPOLARES: poseen un axón y numerosas dendritas. Son las más abundantes del

sistema nervioso. Normalmente se conocen como motoras, aunque existen otras que se consideran inhibitorias, pero es otra subclasificación que se describirá a continuación (figura 4d).

FIGURA 4. Tipos de neuronas según su morfología y prolongaciones.



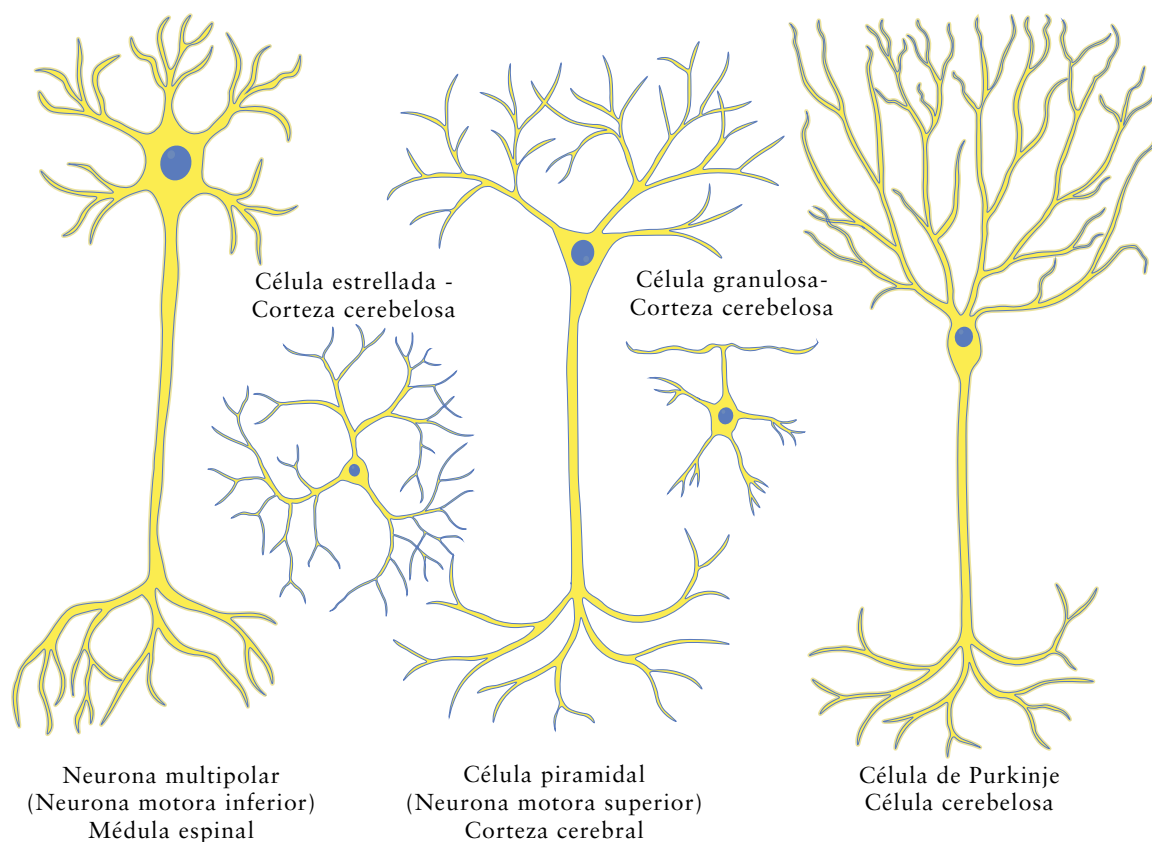
Las neuronas multipolares según la longitud de su axón se clasifican en Golgi tipo I y Golgi tipo II (figura 5).

NEURONA GOLGI TIPO I: neurona con un axón largo, más largo que el árbol dendrítico. También se les llama neuronas piramidales, ya que su soma muchas veces adquiere forma de pirámide o porque entre su árbol dendrítico y su telodendrón se forma una estructura triangular (con una línea imaginaria). Algunas de estas presentan un

axón de 1,2 m, dado que deben atravesar por la médula espinal hasta llegar al efector.

NEURONAS GOLGI TIPO II: son neuronas en las que su axón es difícil de detectar, porque no avanza más allá de los confines del árbol dendrítico. Estas neuronas son multipolares, parecen estrellas. Son neuronas de asociación o interneuronas y suelen encontrarse entre dos neuronas Golgi tipo I.

FIGURA 5. Tipos de neuronas según la longitud del axón.



La vía eferente (motora) está compuesta solo por dos neuronas, ambas Golgi tipo I, una denominada **motoneurona superior** (constituida por una célula piramidal gigante o de Betz) y una **motoneurona inferior** (alfa motoneurona). La superior aparece en el neuroeje (en la corteza cerebral) y se dirige hasta la médula espinal, pero no puede salir de ahí (esa es la que puede medir un metro o más), pero luego interactúa en la médula espinal y sale una nueva neurona, que forma un nervio espinal.

Las neuronas según la forma del soma se clasifican en:

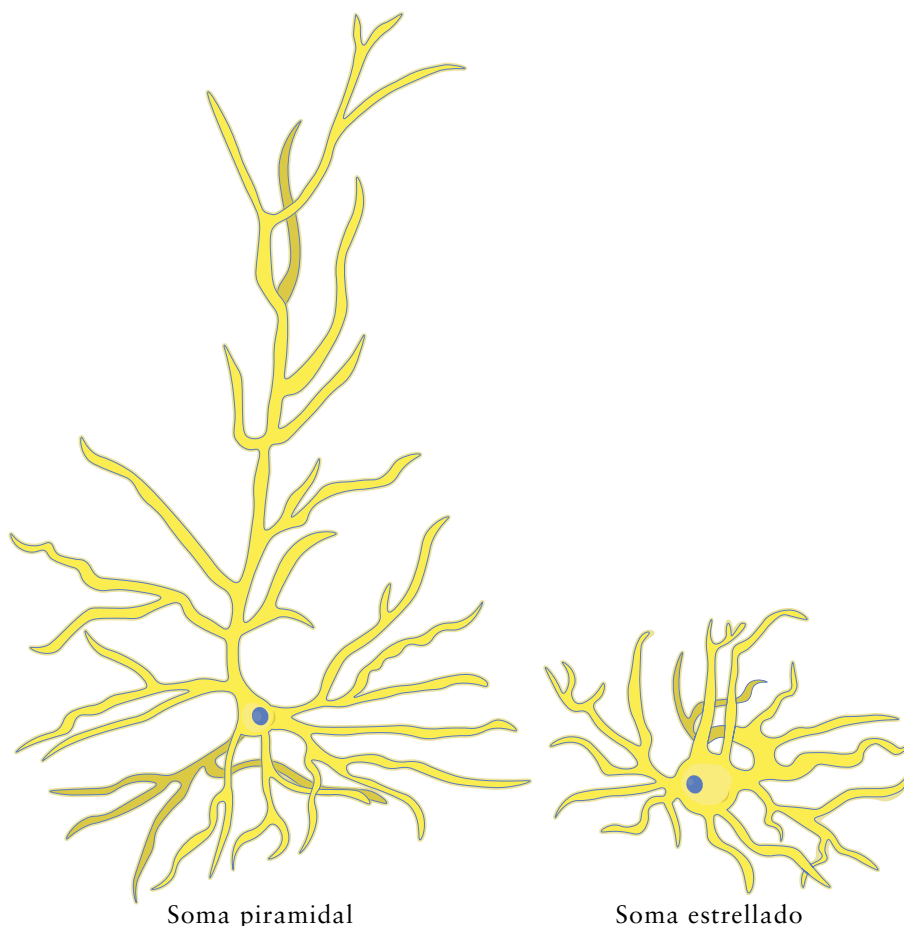
NEURONAS PIRAMIDALES: se caracteriza porque su soma tiene forma piramidal, de cuyo vértice habitualmente se proyecta una dendrita apical corta, mientras que desde su base se origina un axón largo y único (figura 6).

NEURONAS ESTRELLADAS: morfológicamente son Golgi tipo II y el soma tiene forma de estrella.

NEURONAS PIRIFORMES: el soma tiene la forma de una gota de agua y el mejor ejemplo son las neuronas de Purkinje del cerebelo.

NEURONAS GLOBOSAS: el soma de estas neuronas es perfectamente esférico y se localizan en los ganglios.

FIGURA 6. Neurona de soma piramidal y de soma estrellado.

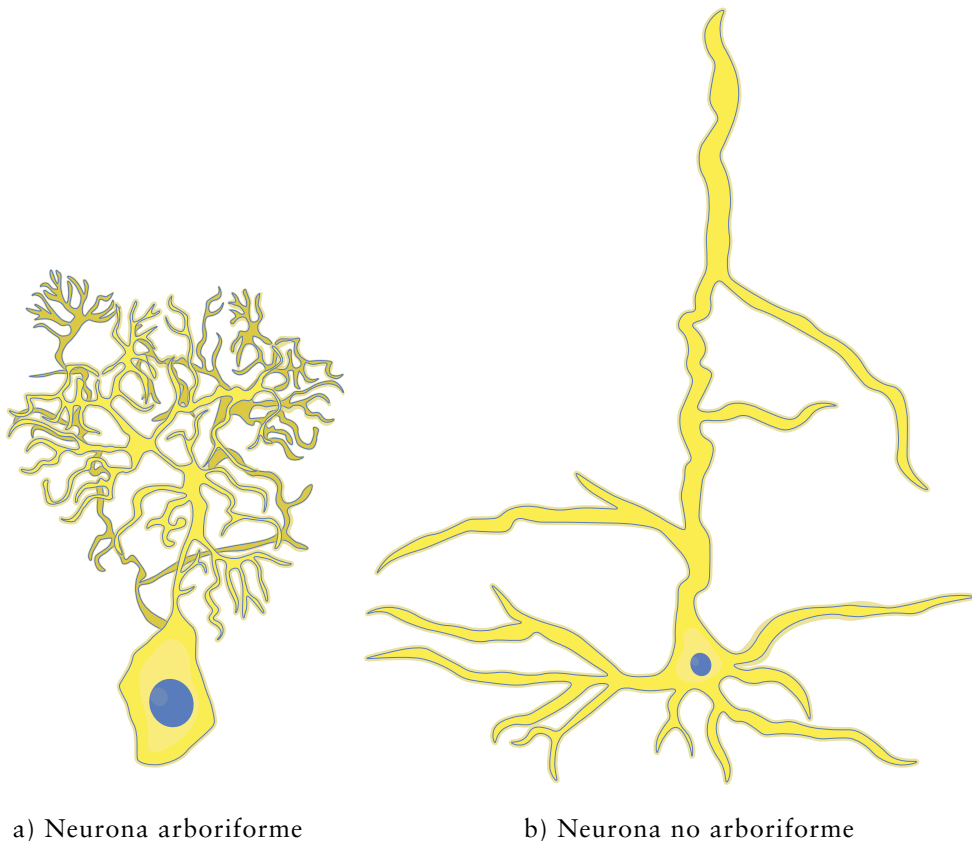


Las neuronas según sus prolongaciones dendríticas se clasifican en:

NEURONAS ARBORIFORMES: son complejas en su interacción. Se encuentran en la corteza cerebelosa o en la cerebral. Entonces las neuritas forman

una unidad importante dentro de las neuronas y es probable que la cantidad de neuritas hable de complejidad neuronal. Se han descubierto genes que modulan la expresión de dendritas o de espinas dendríticas (figura 7a).

FIGURA 7. Neuronas arboriformes (a) y no arboriformes (b).



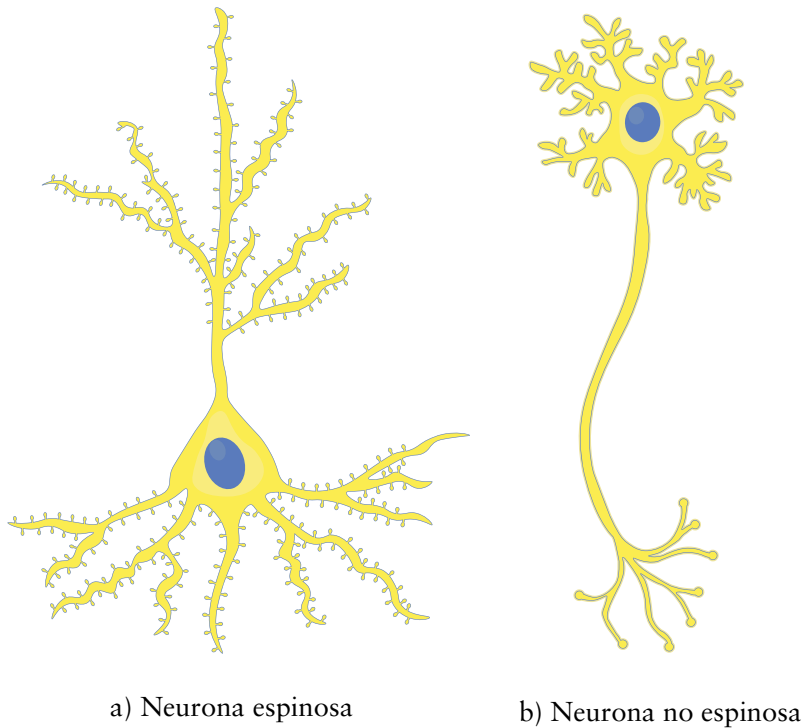
NEURONAS NO ARBORIFORMES: son aquellas que poseen pocas o ninguna dendritas que emergen del soma, como por ejemplo las neuronas bipolares o las globosas (figura 7b).

Según cantidad de espinas dendríticas:

NEURONAS ESPINOSAS: una espina dendrítica expresa en su citoesqueleto filamentos de actina que están mediados por moléculas de adhesión que se

ubican en la membrana postsináptica (figura 8). Es decir, que se exprese una espina o no depende de estas proteínas ubicadas en la membrana.

Las espinas dendríticas permiten la interacción neuronal como en la sinapsis axoespinosa: un axón contacta con una espina dendrítica. La cantidad de espinas se relaciona directamente con la complejidad de las comunicaciones, por ejemplo en el neurópilo.

FIGURA 8. Neurona espinosa (a) y anespinosa (b).

a) Neurona espinosa

b) Neurona no espinosa

NEURONAS ANESPINOSAS: se pueden encontrar por ejemplo en neuronas grandes del cuerpo estriado, que son interneuronas colinérgicas.

Clasificación neuronal según el diámetro de la fibra y la presencia o no de mielina. Erlanger y Gasser obtuvieron en 1944 el Premio Nobel de Medicina, porque aportaron con esta clasificación. Existen varias clases de fibras nerviosas (axones más sus envolturas): las que son muy rápidas, no tan rápidas y lentas. Esto no es al azar, sino que se fundamentan en la cantidad de mielina, y sentaron las primeras bases para decir que la mielina se asocia al potencial de acción, generando una conducción saltatoria y más rápida que en un axón no mielinizado. Entonces aportaron que:

- Neuronas con cantidad alta de mielina = Tipo A
- Neuronas con cantidad media de mielina = Tipo B
- Neuronas sin mielina = Tipo C

Y dentro de las que tienen alta cantidad de mielina tenemos otras cuatro clasificaciones, que van a depender del diámetro del axón (alfa, beta, gamma y delta). Por ejemplo, las terminaciones libres que transmiten sensación de dolor corresponden a fibras de tipo A-delta y tipo C. De hecho, las delta están diferenciadas en la tabla I (dolor agudo) y las C (dolor difuso); eso quiere decir que un dolor agudo se conduce con mayor velocidad que un dolor difuso. El sistema de puerta de entrada del dolor consiste en una especie de competencia entre la conducción de fibras tipo C y A-delta (lentas) y las fibras A-beta (rápidas) que conducen desde los receptores del tacto y presión. Esto explica la sensación de alivio, luego de un golpe, cuando se acaricia la zona afectada. En el Sistema Nervioso Autónomo, las fibras preganglionares son tipo B, o sea, difusas, y poseen mediana cantidad de mielina.

TABLA I. Clasificación de Erlanger y Gasser.

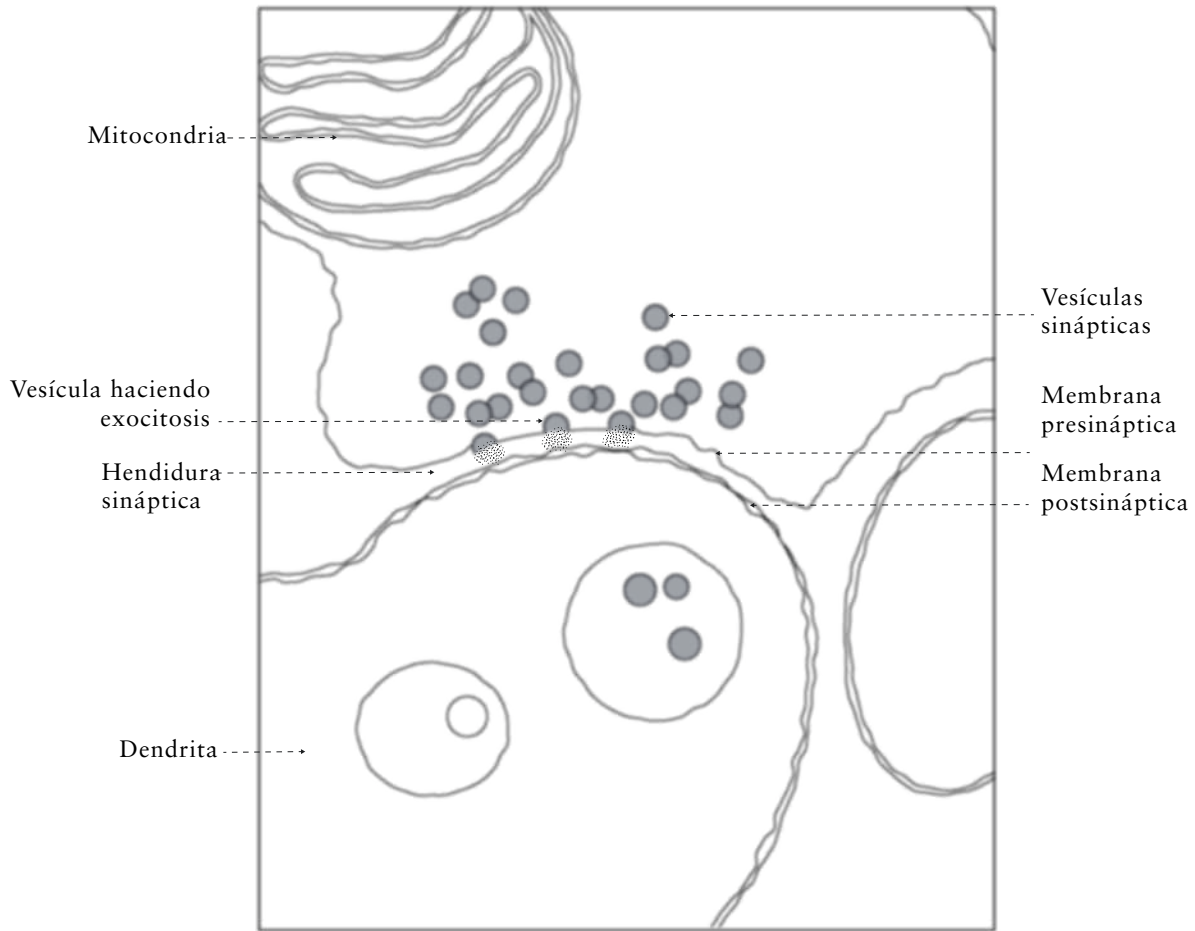
A	Cantidad de mielina	Velocidad	Diámetro de fibra	Lugar
Alfa	Alta	70 m/s - 120 m/s	12 - 20 micras	Músculo esquelético
Beta	Alta	30 m/s - 70 m/s	5 - 12 micras	Tacto presión
Gamma	Alta	15 m/s - 30 m/s	3 - 6 micras	Husos musculares
Delta	Alta	12 m/s - 30 m/s	2 - 5 micras	Dolor agudo, temperatura y tacto
B	Media	3 m/s - 15 m/s	< 3 micras	SNA, Preganglionar
C	Fibras amielínicas	0,5 m/s - 2 m/s	0,4 - 1,2 micras	Dolor difuso, olfato, postganglionar

Transmisión de sinapsis

La sinapsis está determinada por tres estructuras claves: una **membrana presináptica** y una **membrana post sináptica**, reforzadas por material proteico denso y separadas por una **hendidura** o **espacio sináptico**, que mide 200 Å aproximadamente y que continúa con el espacio intersticial adyacente. Pero la hendidura está anclada por proteínas de membrana que permiten que esta estructura no se desacople, a menos que ocurra el proceso de plasticidad neuronal (figura 9).

Una membrana presináptica se reconoce porque mantiene vesículas sinápticas, de tal forma que su movimiento se encuentra mediado por microtúbulos y por las proteínas **cinesina** (o kinesina) y **dineína**, que son proteínas asociadas al citoesqueleto. Las cinesinas son capaces de transportar moléculas y vesículas por los microtúbulos en sentido anterógrado, mientras que las dineínas lo hacen en sentido contrario, o sea, un transporte axónico retrógrado. Estos transportes son el fundamento de varias enfermedades nerviosas, como en el caso de la rabia, en donde el virus avanza en sentido retrógrado desde nervios periféricos hacia el cerebro.

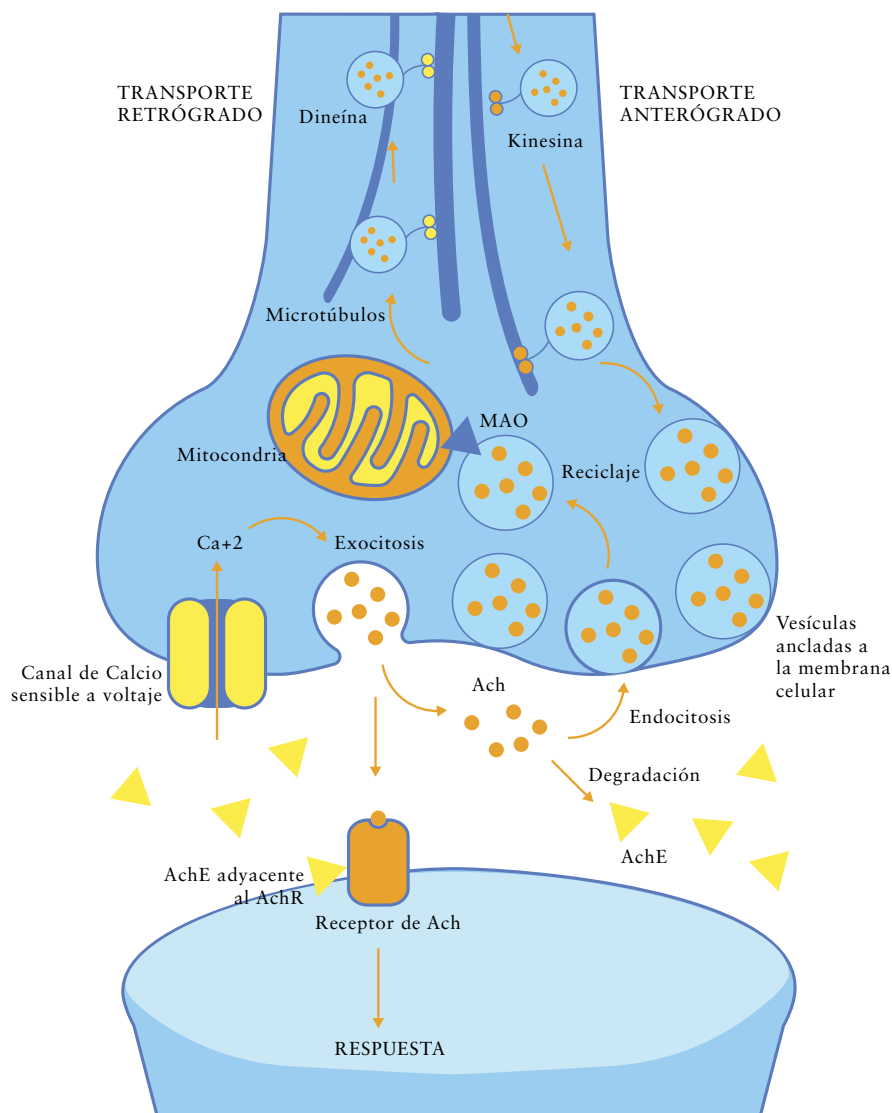
FIGURA 9. Representación de una sinapsis química y sus componentes principales.



Estas vesículas son capaces de adherirse a receptores que se encuentran en la membrana presináptica, momento en el que se activan los canales de Ca^{+2} , que ingresa al botón y que al hacerse más positivo se estimula la exocitosis de los neurotransmisores. En el caso de la imagen (figura 10) se moviliza acetilcolina, que va a ser recepcionada por un receptor de la membrana postsináptica. Cuando eso ocurre hay un conjunto de moléculas de neurotransmisores que no van a ser captadas, y esa situación se soluciona de dos maneras:

- se degradan por enzimas que se encuentran en el espacio sináptico, en este caso la acetilcolinesterasa, o bien
- son recapturadas para que las mitocondrias, por acción de la enzima monoamino oxidasa (MAO), las descompongan y las reincorporen al soma, a través del transporte axónico retrógrado mediado por dineína.

FIGURA 10. Mecanismo de recaptación de acetilcolina.



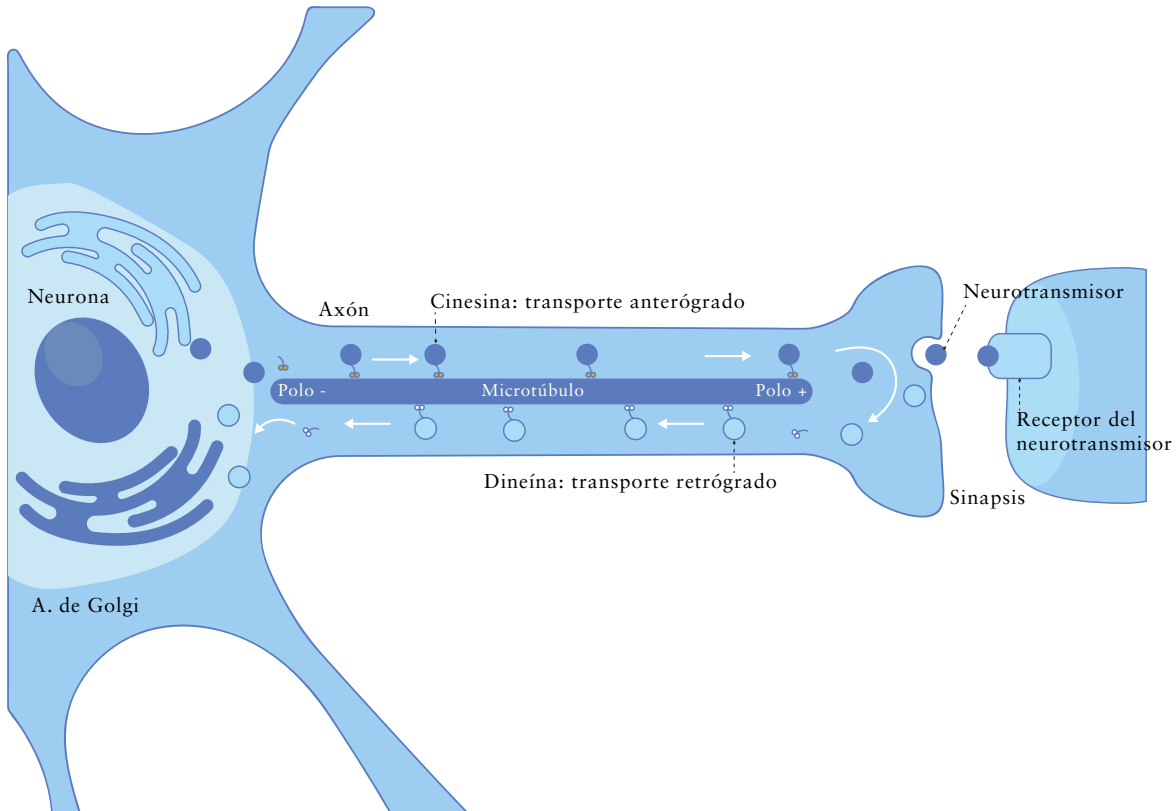
Cuando esta sinapsis química se asocia a vaina de mielina y axones, hablamos de sinapsis electroquímica, porque no solamente se estimula una membrana postsináptica, sino que también se estimula el resto de la estructura de la membrana, incluyendo los nodos de Ranvier, involucrados en la conducción saltatoria del impulso nervioso. Además, moléculas neuromoduladoras, como las encefalinas, endorfinas, sustancia P, etcétera, también influyen periféricamente en esta conducción. Por otra parte, las neurohormonas que provocan

un cambio morfológico o funcional a distancia tienen un mecanismo de acción más lento y difuso.

Transporte axónico

Está mediado desde el soma hasta el axón por las cinesinas y del telodendrón al soma por las dineínas (como se observa en la figura 11).

FIGURA 11. Transporte axónico anterógrado y retrógrado.

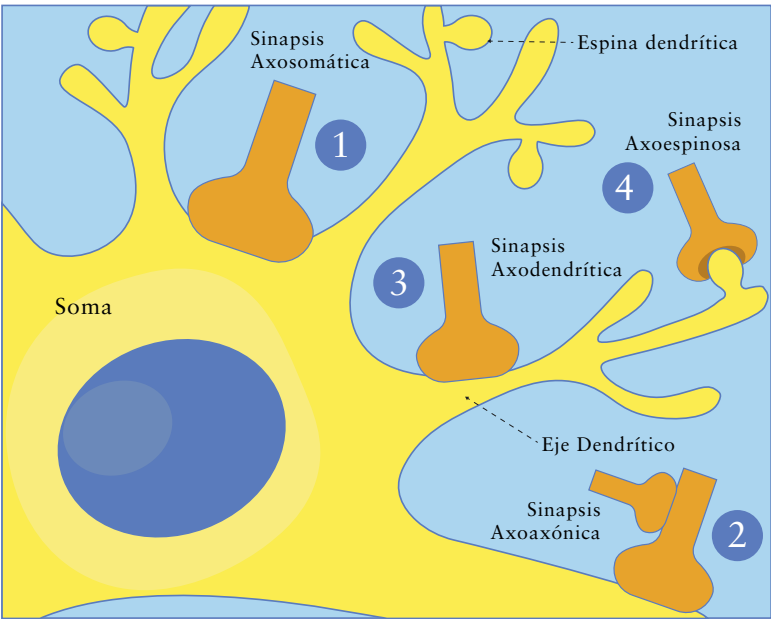


En infecciones neurológicas, como ocurre con el virus de la rabia cuando es inoculado por la mordedura de un animal infectado, se replica al interior del músculo entre 2 y 16 semanas, luego se incorporan a las neuronas motoras y sensitivas para finalmente, por transporte retrógrado, incorporan el virus al SNC. Se replica, se libera y es vuelto a capturar por otra neurona, esparciéndose por la médula espinal y cerebro. Finalmente, mediante transporte axónico anterógrado y especialmente por fibras del sistema nervioso parasimpático, es liberado hacia una glándula salival.

Tipos de sinapsis

Las sinapsis se clasifican según el contacto que realiza el botón sináptico de la terminal axónica con la neurona postsináptica. La sinapsis axosomática corresponde a la conexión entre el terminal axónico con el soma de la neurona postsináptica (figura 12-1). Sinapsis axo-axónica: el terminal axónico contacta con el axón de la neurona postsináptica. Son escasas, porque necesitan un área desnuda del axón para poder acoplarse (figura 12-2). Sinapsis axodendrítica: el terminal axónico contacta con la dendrita de la neurona postsináptica (figura 12-3). Sinapsis axoespinosa: el terminal axónico contacta con una espina dendrítica, son las más abundantes (figura 12-4).

FIGURA 12. Diversos tipos de sinapsis, en 1 axosomática, 2 axoaxónica, 3 axodendrítica y 4 axoespinosa.

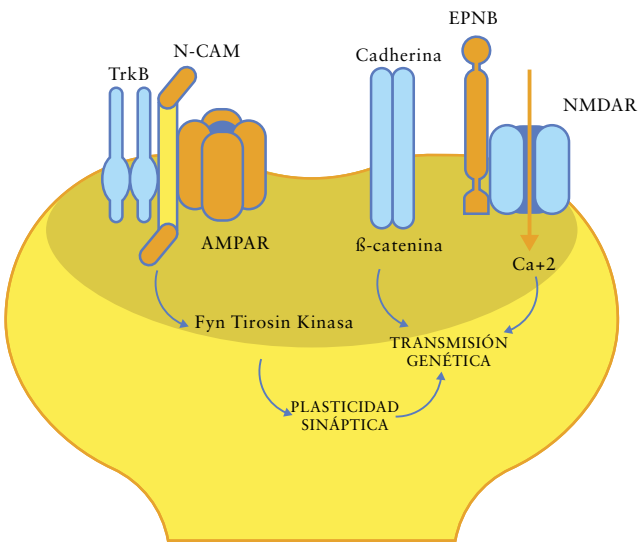


Moléculas de adhesión y plasticidad neuronal

Las moléculas de adhesión son capaces de adherir una membrana presináptica a una post-sináptica, acercándolas y anclándolas, esa es su función principal. Pero, además, moléculas como la efrina B se asocian a canales de Ca^{+2} , para que a través del complejo Ca^{+2} y beta-catenina

(producida por la cadherina, otra molécula de adhesión) pueda producir la transcripción génica de una espina dendrítica, y a esto se le llama plasticidad neuronal (figura 13). Asimismo, las moléculas de AMPA son capaces, a través de la fyn tirosina kinasa, de producir plasticidad neuronal a través de la producción de dendritas; entonces, las moléculas de adhesión en la membrana post-sináptica cumplen un rol fundamental en la plasticidad neuronal.

FIGURA 13. Moléculas de adhesión sinápticas y sus interacciones que influyen en la plasticidad neuronal.



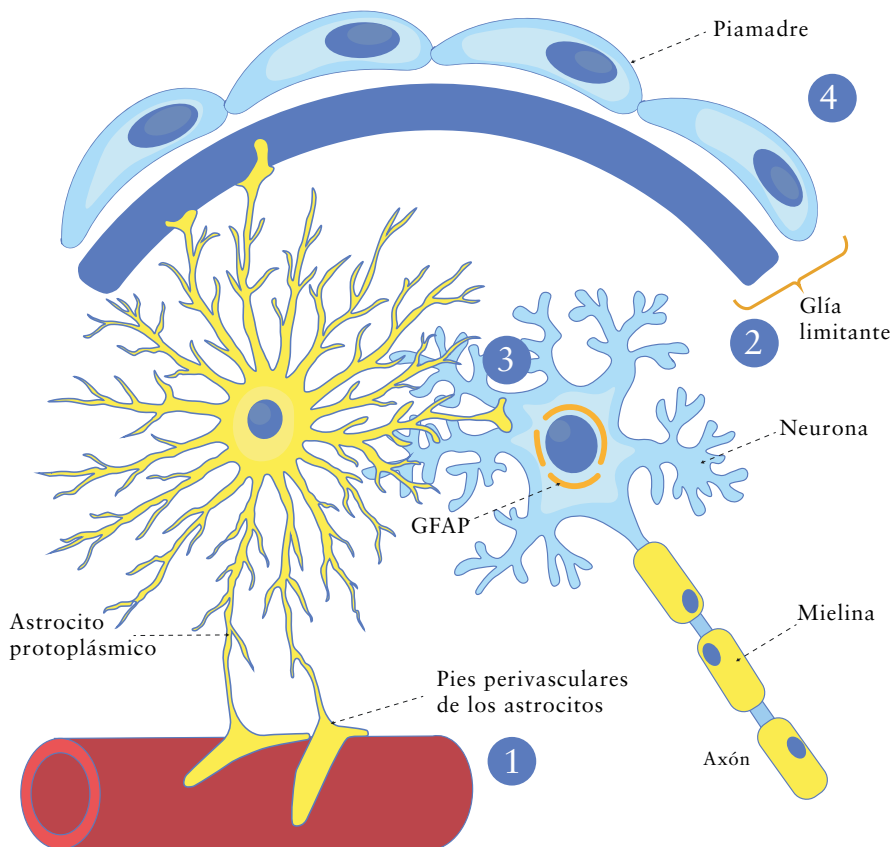
Células de la neuroglía

ASTROCITOS

Son células grandes con muchos pseudópodos que terminan en ensanchamientos denominados pies terminales. Si estos se ubican cercanos a un capilar se denominan pies vasculares (figura 14-1). Son importantes porque rellenan todos los espacios libres, en especial cuando hay una gliosis o cicatriz glial luego de una lesión. Donde hay gliosis no hay preservación neuronal, lo que sugiere que los astrocitos son los responsables de que no se produzca la regeneración nerviosa.

Por otra parte, los pies terminales de los astrocitos interactúan para formar parte de la barrera hematoencefálica (BHE), conformando la glía limitante (figura 14-2) que se ubica bajo la piamadre, la cual forma una línea continua que impide la libre circulación de sustancias, además son capaces de rellenar los espacios entre los somas neuronales (figura 14-3), axones sin mielina y oligodendrocitos. Son células estructurales, tienen una propiedad de mantener proteína Gliofibrilar ácida (GFAP), estructura proteica que sirve para poder buscar este tipo de células con procesos de histoquímica.

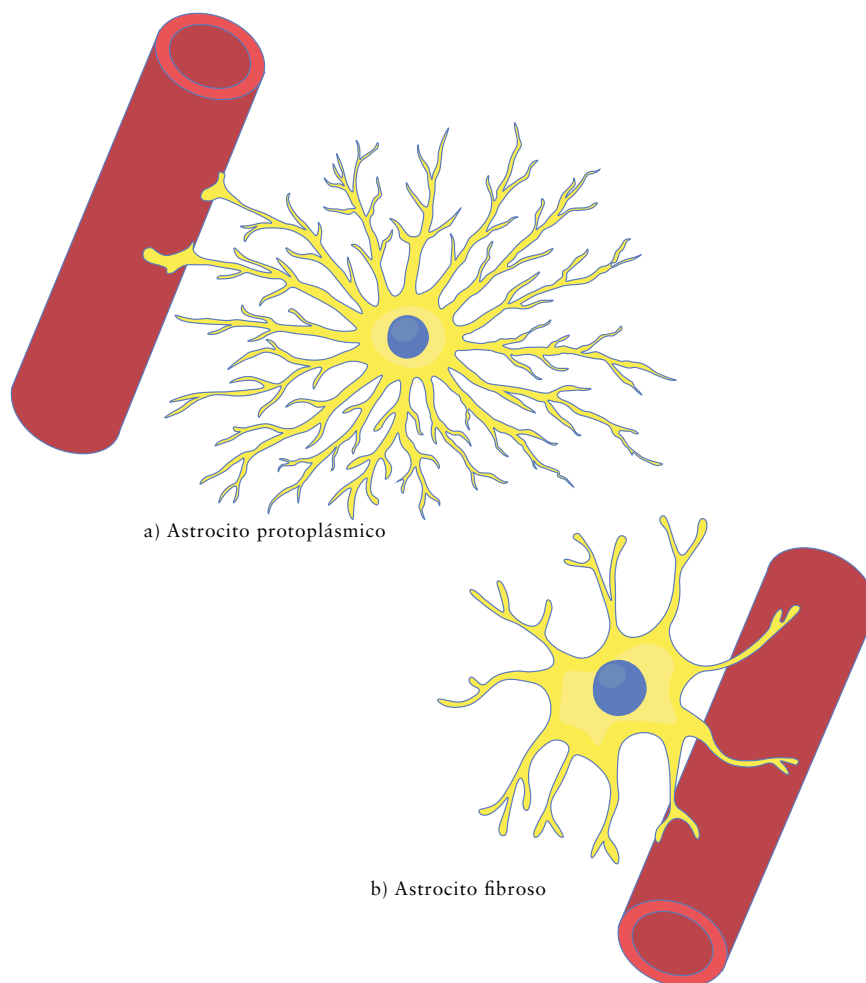
FIGURA 14. Astrocitos y sus relaciones con los componentes del tejido nervioso.



Hay dos tipos de astrocitos: protoplásmicos y fibrosos. Ambos se ubican en el SNC, solo que los astrocitos protoplásmicos tienen muchas prolongaciones y se asocian a los somas neuronales; los astrocitos fibrosos están asociados a sustancia blanca. Ambos cumplen la misma función. En la figura 14 y 15 se observan astrocitos en contacto

con un vaso sanguíneo. En primera instancia es para poder generar un soporte estructural para que el vaso sanguíneo transite y la segunda es para que la molécula de glucosa o agua se desplace hacia el sistema nervioso central. A esto se le denomina barrera hematoencefálica (BHE).

FIGURA 15. Astrocitos protoplásmicos (a) y fibrosos (b).



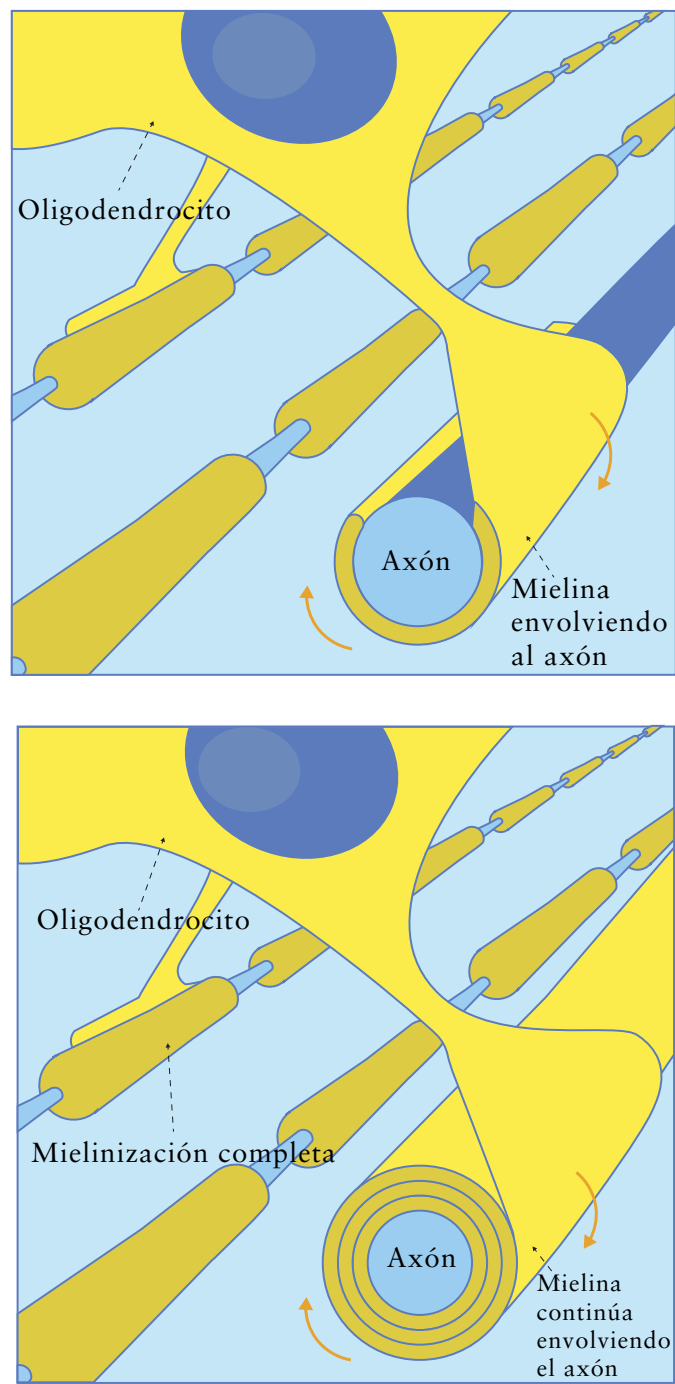
En sustancia blanca (médula espinal) encontramos astrocitos fibrosos, por el contrario, si estamos en sustancia gris encontraremos astrocitos protoplásmicos, ambos producen pies vasculares. Los astrocitos también sustentan el soma neuronal, lo rodean para mantenerlo en posición. Otra función es producir **gliosis** (cicatriz). En el caso de la esclerosis múltiple (enfermedad del SNC), esta función se ve exacerbada en el lugar del daño, donde los astrocitos ocupan la región, no proliferan neuronas, ni tampoco un oligodendrocito.

Oligodendrocitos

El oligodendrocito participa en la fisiopatología de casi todas las enfermedades que son desmielinizantes, que son del SNC. Un oligodendrocito produce mielina, la mielina no es más que

membranas plasmáticas que están empaquetadas y por lo tanto es una cubierta lipídica. El oligodendrocito produce mielina dentro del SNC, y el neurilemócito (célula de Schwann), en el periférico. Estas últimas derivadas de las crestas neurales permiten la regeneración neuronal (figura 16). Los oligodendrocitos son capaces de interactuar con 40 o 50 fibras de axones, cada uno de estos plegamientos se denomina internódulo, es decir, puede producir 40 o 50 internódulos. Si este oligodendrocito sufre apoptosis, los axones que enrolla se desmielinizan. Esto no ocurre con una célula de Schwann, porque tienen la opción de proliferar debido a la presencia del endoneuro. Bajo el endoneuro abundan las células de Schwann, entonces cuando existe una lesión nerviosa estas comienzan a migrar hacia la lesión para cubrir la zona afectada.

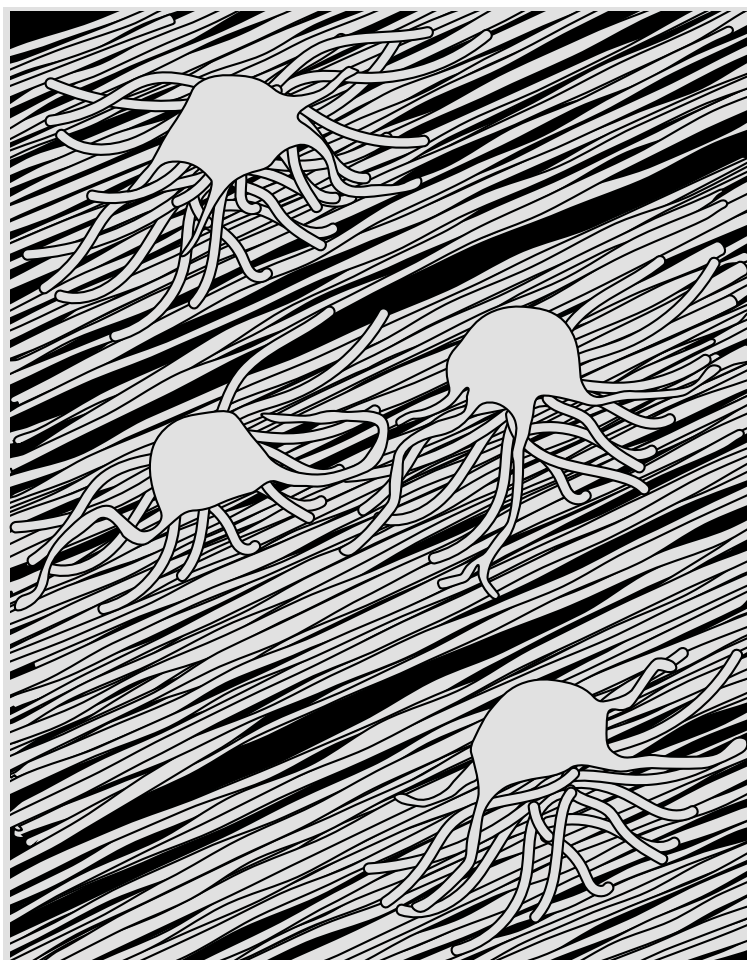
FIGURA 16. Proceso de mielinización a cargo del oligodendrocito.



Los oligodendrocitos presentan una gran capacidad de proliferación, pero se encuentra disminuida por la presencia de astrocitos que ocu-

pan el territorio. Esta célula es fundamental en el soporte estructural de los axones y mantienen la arquitectura de la sustancia blanca (figura 17).

FIGURA 17. Esquema de microfotografía electrónica donde se observan oligodendrocitos y su interacción con las fibras del SNC.



En resumen, un oligodendrocito está asociado a varios axones. En el SNC no existe lámina basal asociada a la vaina de mielina, no existe lo que se conoce como endoneuro (los axones del SNC carecen de tejido conjuntivo de soporte). Los nódulos de Ranvier (también llamados estrangulaciones neuronales), en el SNC están asociados a un pie terminal de astrocitos y separan la vaina de mielina. Cada una de las secciones de mielina que son producidas por los oligodendrocitos en los axones se denominan **internódulos**, y la separación de un internódulo con el siguiente se denomina nódulo o nodo de Ranvier, en donde no hay mielina. Esta separación entre los internódulos es llenada por los astrocitos, específicamente por un pie terminal de un astrocito. Esta es otra diferencia que existe en la mielina entre en el SNC y el SNP: en el SNP, una célula de Schwann puede

producir solo un internódulo, pero forman una conexión de citoplasma y membrana con la célula de Schwann vecina sobre el nódulo de Ranvier. Esta conexión que cubre el espacio entre cada internódulo no es considerada mielina (figura 22).

Existen comunicaciones, transmisión de señales entre una célula de Schwann y otra; en cambio, entre oligodendrocitos no existe esta comunicación, estos están aislados. Para producir mielina, la célula que la esté generando se debe enrollar muy bien, y estas vueltas de su membrana son producidas por proteínas de adhesión que facilitan que se estruje el citoplasma. Cuando no se expresan correctamente estas proteínas de adhesión no se puede producir mielina, por tanto, hablamos de enfermedades desmielinizantes en las que se ve afectada la transmisión del potencial de acción sin afectar el axón; la otra opción

son enfermedades neurodegenerativas que son capaces de causar una apoptosis retrógrada en el axón, en el soma o de la neurona completa. Una enfermedad desmielinizante que entra en etapa avanzada puede causar una enfermedad neurodegenerativa, en la que se pierden neuronas o parte de ellas. Por ejemplo, la enfermedad de Alzheimer es neurodegenerativa; la esclerosis múltiple es desmielinizante, pero también puede llegar a ser neurodegenerativa.

En la figura 18 se puede apreciar la diferencia

en la formación de la mielina tanto en el SNP y el SNC. La célula de Schwann se enrolla alrededor del axón sobre sí misma para formar un internódulo, que es básicamente un empaquetamiento denso de membrana. La primera vuelta que da la célula con su membrana, cuando toca nuevamente con la estructura celular, se denomina mesoaxón interno; la última vuelta, que es la que sella la mielina, se llama mesoaxón externo. Todo lo que queda al interior es muy denso y empaquetado con la ayuda de las proteínas de adhesión.

FIGURA 18A. Mielina del SNP.

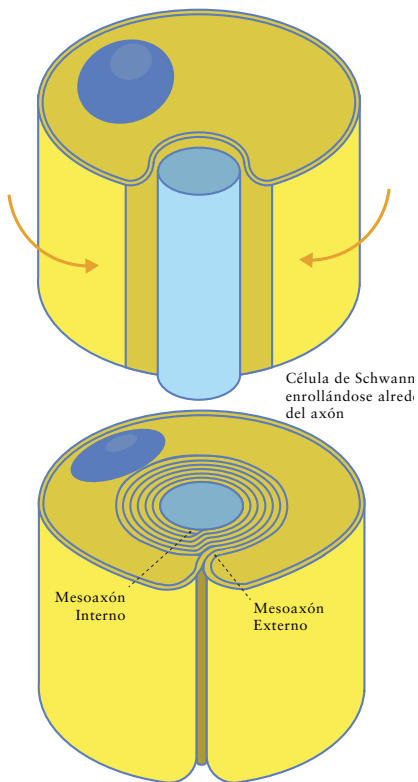
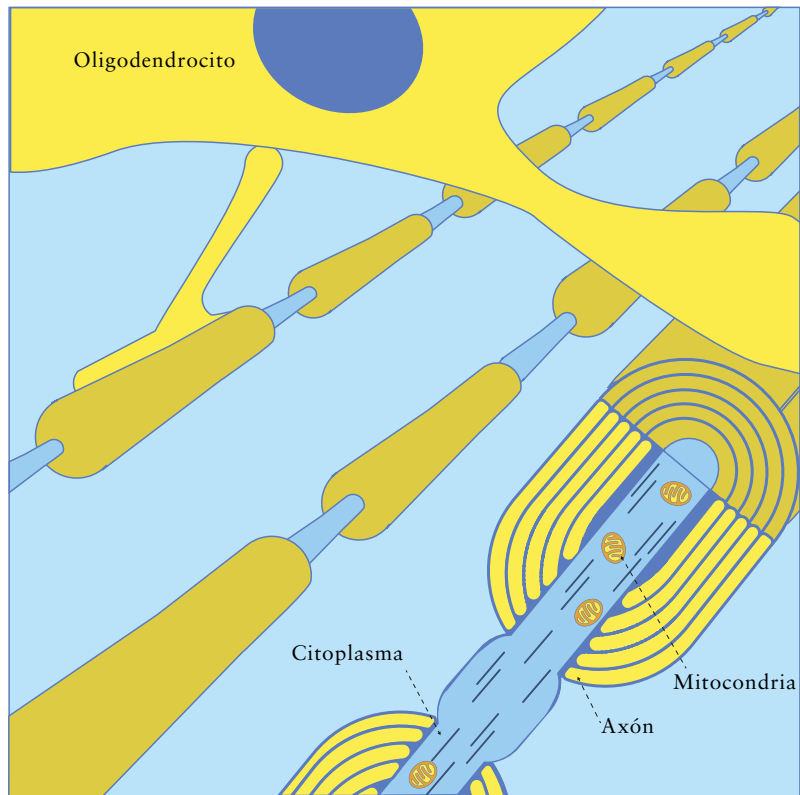


FIGURA 18B. Mielina en el SNC.



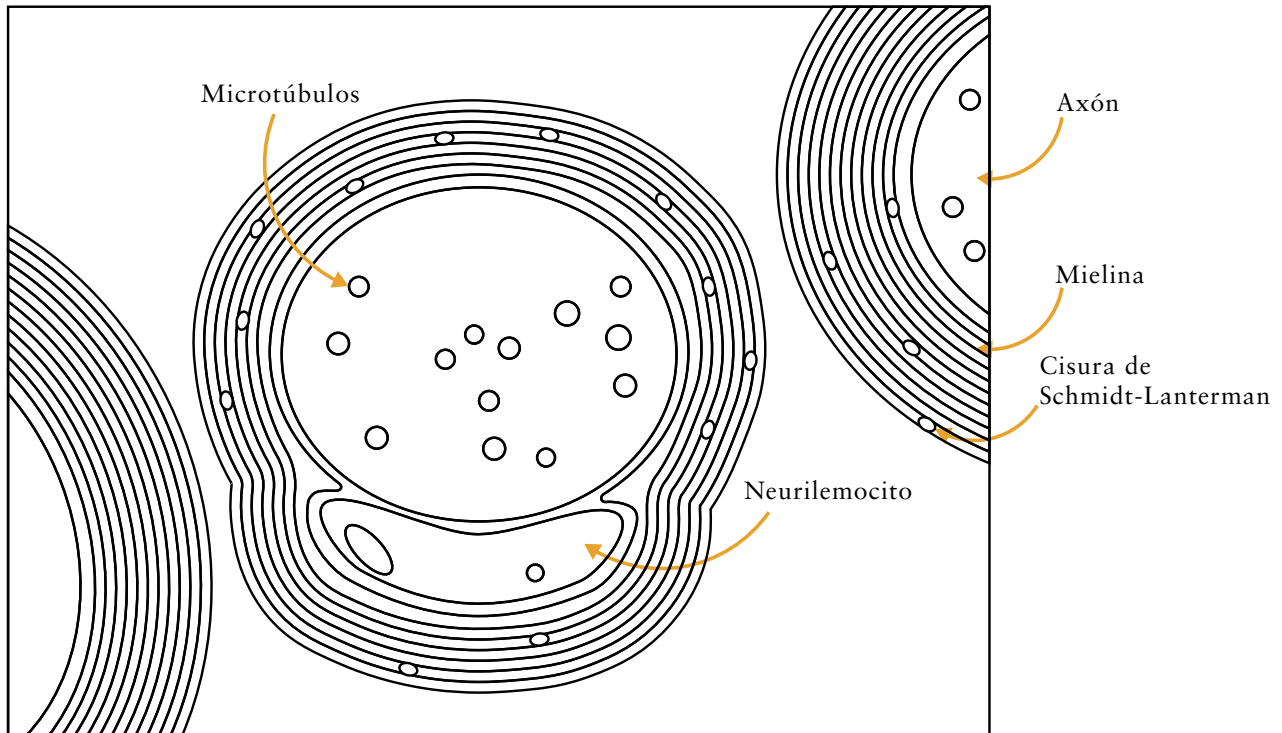
Mientras los oligodendrocitos forman mielina en múltiples axones, los neurilemocitos (células de Schwann) lo hacen solo en uno. Cuando un neurilemocito es destruido, otro lo reemplaza y cubre su posición. Por otra parte, estas células son capaces de guiar la regeneración de los axones. Cuando se corta un axón y la vaina de mielina queda intacta, sirve de guía como soporte para que los extremos dañados del axón vuelvan a contactar; si bien no queda 100% igual al original es completamente funcional, porque el axón reconectado mide solo

el 80% de lo que medía el original y sus espacios internódulos son más pequeños, lo que altera la conducción saltatoria. Como se mencionó, la primera vuelta del neurilemocito forma el mesoaxón interno y la última vuelta forma el mesoaxón externo y todas las vueltas intermedias forman la mielina, que es la que provoca la conducta saltatoria del potencial de acción, además de producir un internódulo. En la figura 19, se aprecia la mielina como la estructura densa que rodea a los axones. Al observar de cerca, se ve que la vaina de mielina

está formada por capas de membranas, una sobre otra. Entre una vuelta y otra queda citoplasma residual, que se conoce con el nombre de hendiduras de Schmidt-Lanterman, que pueden inte-

ractuar mediante proteínas de conexión y formar uniones autotípicas con la membrana contigua, es decir, conectan una membrana con la que está más profunda.

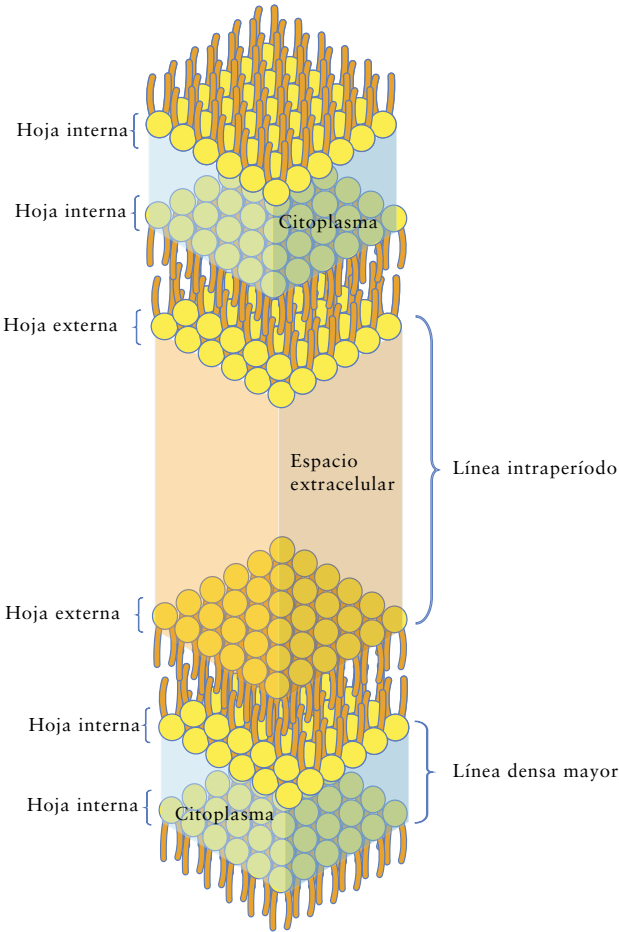
FIGURA 19. Esquema de microfotografía electrónica: axones envueltos por mielina.



Cuando se produce el empaquetamiento de la mielina, el paso de ambas membranas plasmáticas en conjunto con el citoplasma muy compactado deja un espacio entre ambas vueltas en donde se halla el espacio extracelular, el cual, si bien está comprimido, no lo está tanto como el

citoplasma. Por ende, la línea que forman ambas membranas plasmáticas de una vuelta en conjunto con su citoplasma se conoce como línea densa. Por otro lado, la que queda formada por el espacio extracelular y es menos densa y más amplia se denomina línea intraperiodo (figura 20).

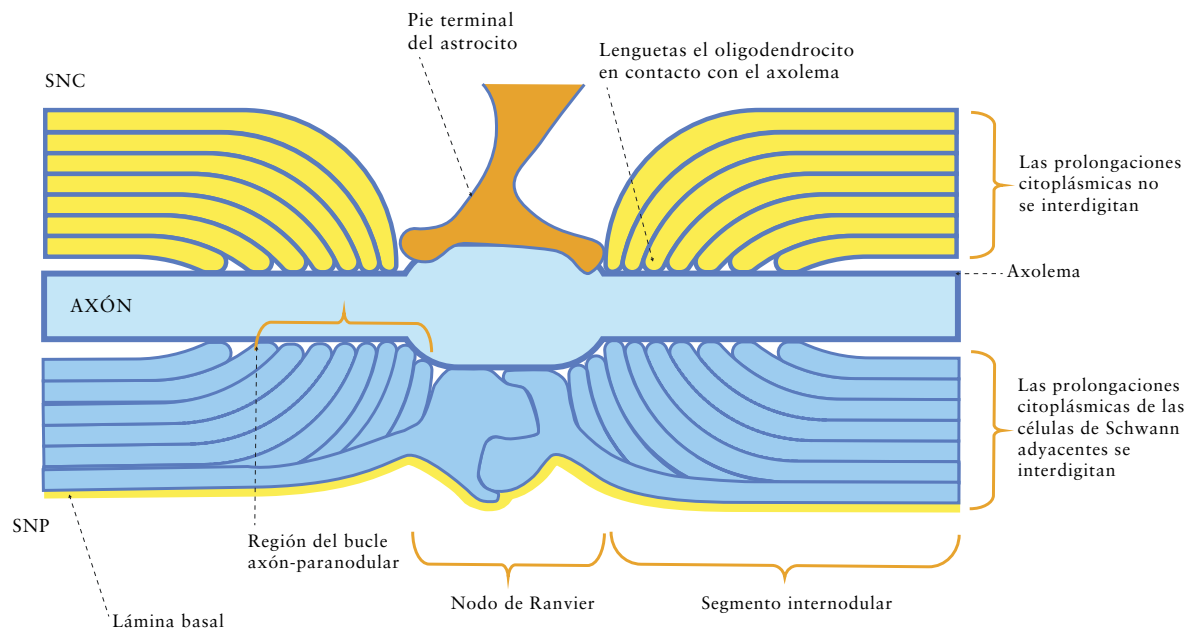
FIGURA 20. Esquema que muestra la ultraestructura de la vaina de mielina y que explica las líneas intra-períodos y las líneas densas mayores.



En la figura 21 se muestra un axón, dos internódulos y un nódulo de Ranvier. En la parte superior, ocupado por un pie terminal de un astrocito en el sistema nervioso central; en el siste-

ma nervioso periférico, parte inferior de la figura, dos células de Schwann contiguas se unen mediante uniones estrechas, cubriendo la región del nódulo de Ranvier.

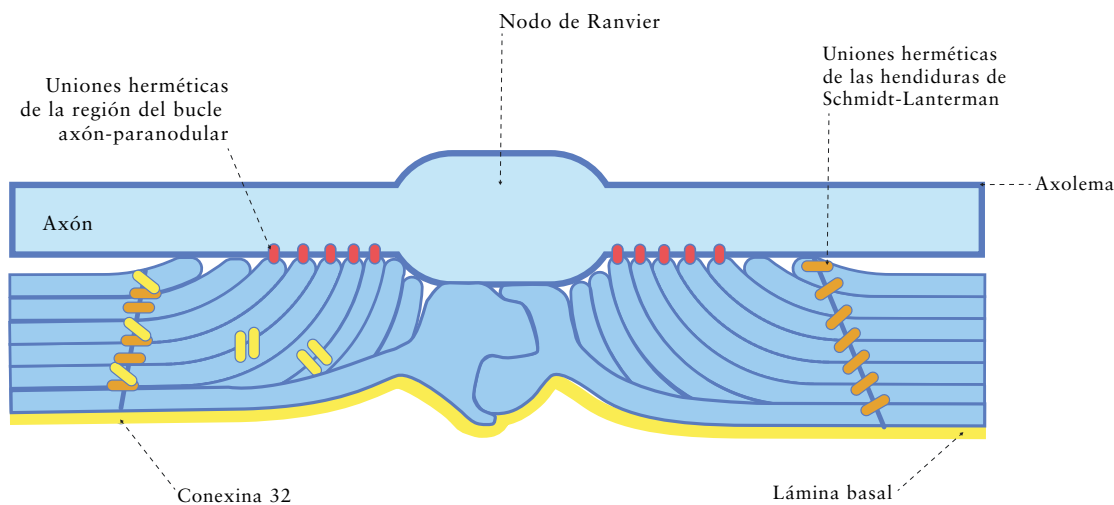
FIGURA 21. Diferencias a nivel de nodos de Ranvier entre el SNC y SNP.



Las conexiones que se establecen a este nivel se denominan uniones autotípicas, y son del mismo tipo que las observadas en las hendiduras de Schmidt-Lanterman. Entonces, en estas uniones

autotípicas participan proteínas integrales transmembrana como claudinas, ocludinas o conexinas 32 (figura 22).

FIGURA 22. Uniones autotípicas y heterotípicas. Estas proteínas mantienen la estructura y estabilidad de la mielina.



En la figura 22, también se observan las uniones autotípicas (representadas en amarillo y anaranjado). Se denominan así porque están dentro de la misma membrana y dentro de la misma célula de Schwann, pero las que están en rojo se

denominan uniones heterotípicas, porque esos bucles, que son el segmento paranodular (ubicados al lado del nódulo de Ranvier), se unen al axolema del axón (membrana del axón), y esta tendrá sus propias conexiones. Por lo tanto, tenemos una co-

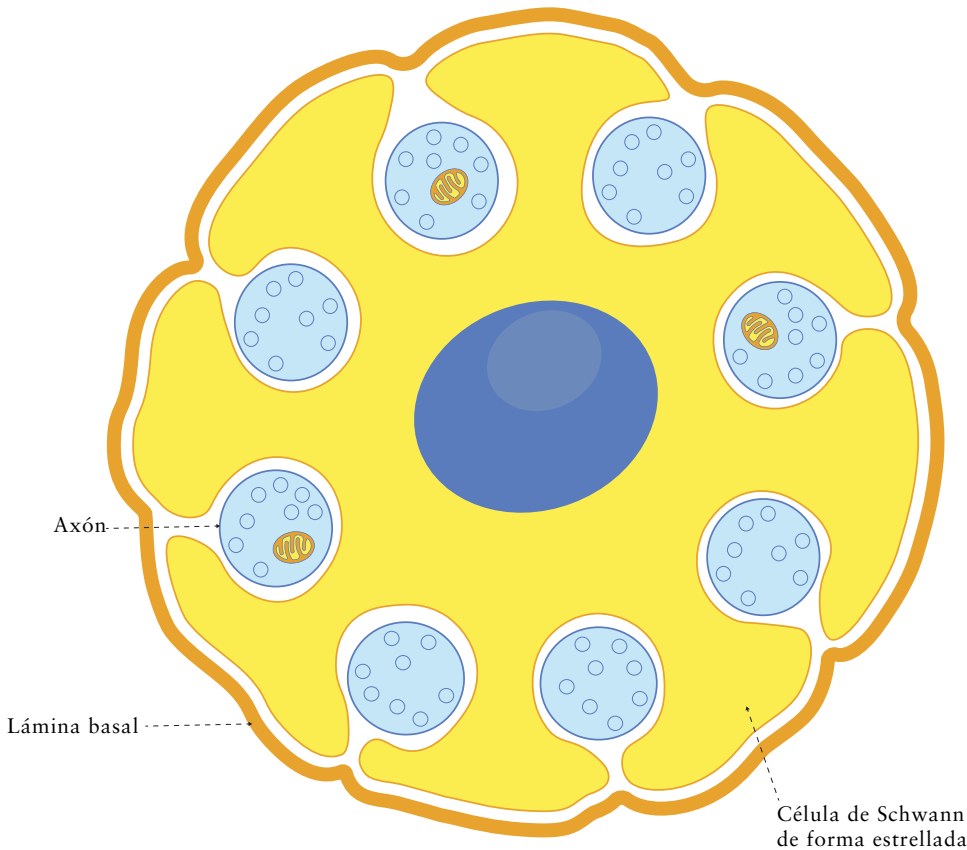
nexión al segmento paranodular (heterotípicas) y una al segmento propio (autotípicas). O sea, que la mielina tiene una adhesión autotípica y una adhesión heterotípica en las que participan moléculas distintas; si en cualquiera de las dos se producen problemas, podríamos estar frente a enfermedades desmielinizantes. Estas uniones son fundamentales para mantener la adhesión y la comunicación. Si alguna mutación ocurre en algún gen, por ejemplo en el que codifica para la conexina 32, entonces se podría manifestar la enfermedad de Charcot-Marie-Tooth, que es una enfermedad desmielinizante grave del sistema nervioso periférico. Existen enfermedades desmielinizantes que ocurren tanto en el sistema nervioso central como en el periférico y pueden producirse por alteraciones en los canales iónicos como en las moléculas de adhesión (más frecuentes).

En la enfermedad de Charcot-Marie-Tooth, por ejemplo, ligada al cromosoma X, se da un problema de la conexina 32 (autotípica), que afecta a funciones motoras y sensitivas en porciones distales de las extremidades. Empieza con problemas de sensibilidad en los dedos, después movimientos repetitivos, falta de movimiento, impotencia funcional en una mano, en un brazo, ambos brazos y piernas, y finalmente el sistema nervioso periférico colapsa.

¿Qué pasa cuando las fibras son amielínicas?

La célula de Schwann es capaz de adoptar una forma estrellada, abrazar a varios axones a la vez y no producir mielina, dado que no se empaqueta o forma internódulos, sino que sirve de soporte estructural para fibras amielínicas (figura 23).

FIGURA 23. Formación de fibras amielínicas.



¿Qué ocurre con las fibras amielínicas en el sistema nervioso central?

Están rodeadas solo por astrocitos que se disponen en filas y presentan pies terminales como soporte estructural para sostener al axón amielínico.

En resumen, podemos decir que la célula de Schwann tiene tres importantes funciones:

- soporte para las fibras mielínicas y amielínicas,
- produce y regenera mielina y

- permite la regeneración del axón cuando es dañado.

Proteínas de la mielina

La mielina tiene proteínas que son clave para su conformación. Son proteínas transmembranas de adhesión y son distintas para la mielina del sistema nervioso periférico y central.

FIGURA 24A. Proteínas que conforman la mielina en el sistema nervioso periférico.

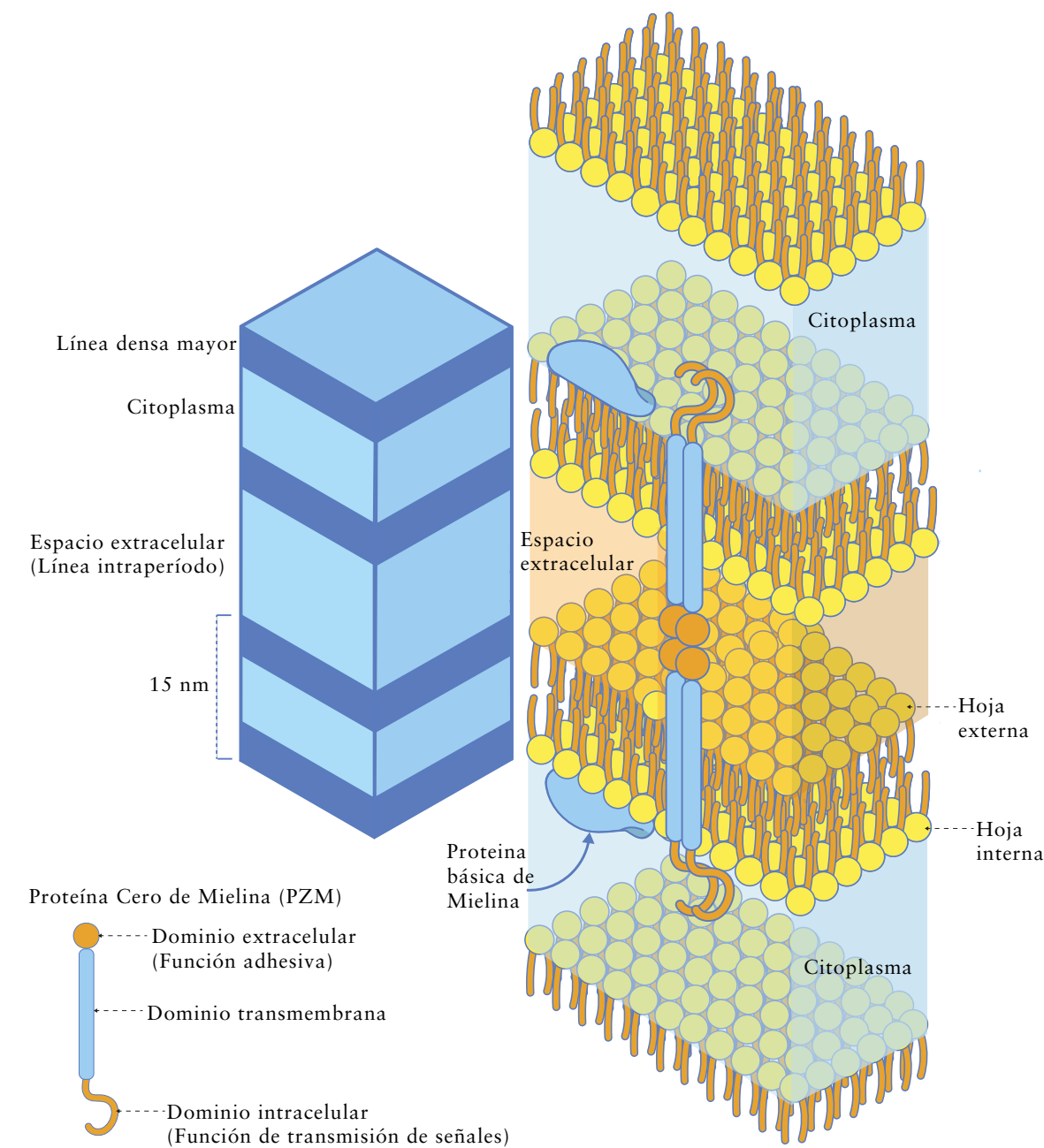
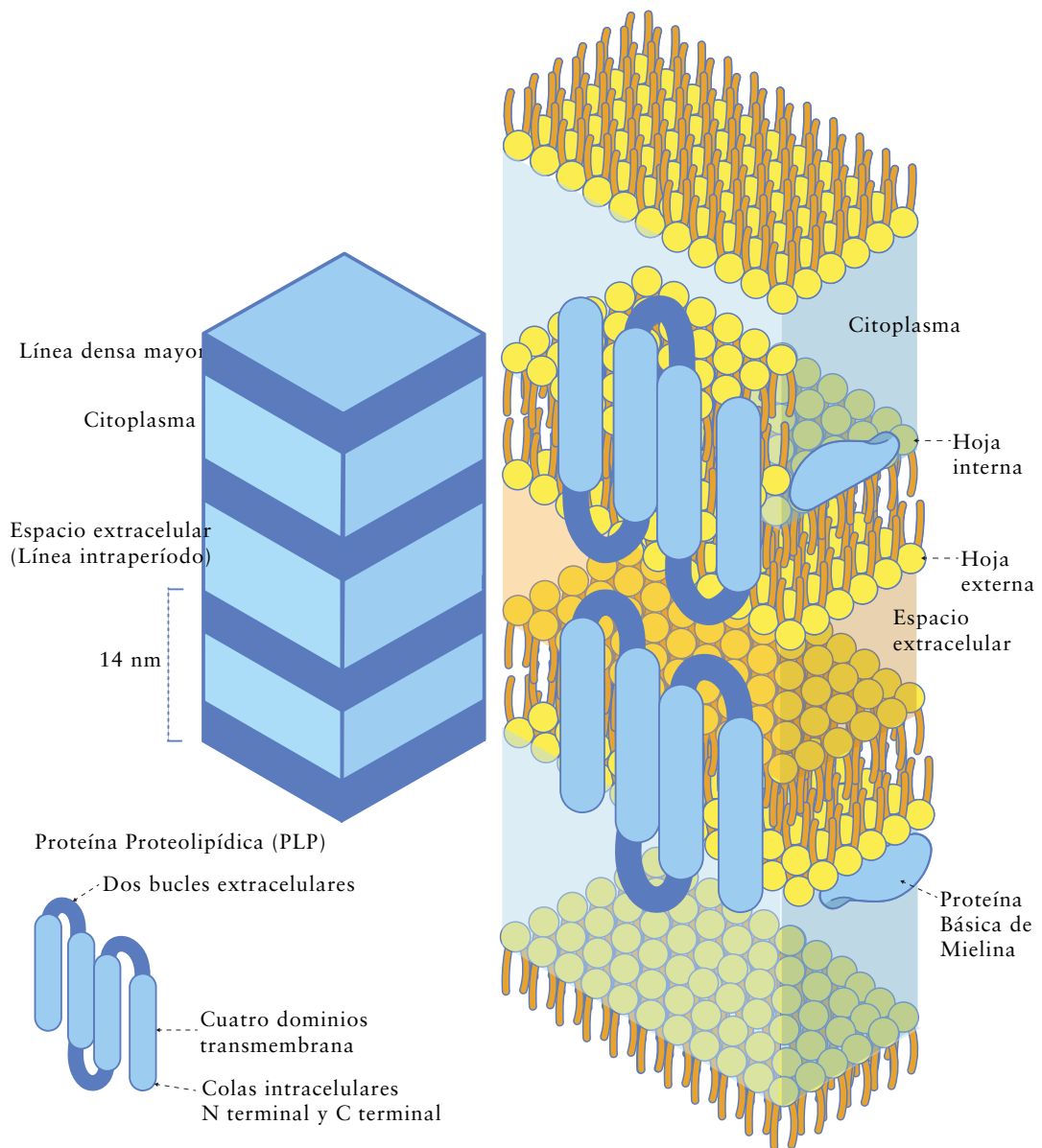


FIGURA 24B. Proteínas que conforman la mielina en el sistema nervioso central.



La **proteína básica de la mielina** se encuentra tanto en el sistema nervioso central como periférico. Está en el citosol e interactúa con las proteínas exclusivas de la mielina para provocar una transducción de señales. Alteraciones en esta proteína provocan enfermedades desmielinizantes en el sistema nervioso central. La **proteína zero (MPZ)** está presente en el sistema nervioso periférico, mientras que en el central se expresa la proteína proteolipídica (PLP). La MPZ es más

fácil de fabricar para el cuerpo que la proteolipídica. Ambas son proteínas de adhesión y al mismo tiempo son capaces de transducir señales; están formadas por un dominio interno, un dominio transmembrana y un dominio externo (figura 24a). La **proteína proteolipídica** es compleja, porque conforma una unidad denominada tetraspanina que atraviesa la membrana y forma cuatro dominios transmembrana con dos asas externas y sus extremos amino y carboxilo termi-

nal hacia el citoplasma, es una sola gran proteína; en cambio, la proteína zero está compuesta por varias que se unen, se denomina homodímeros y forman tetrámeros. Son más sencillas de sintetizar y se unen por afinidad. Por lo anteriormente señalado la proteína proteolípídica puede tener más problemas en su transcripción y transducción. Las proteínas de la mielina actúan como potentes antígenos, de ahí surge el fundamento de que las enfermedades desmielinizantes podrían ser de origen autoinmune. La esclerosis múltiple podría ser provocada por la respuesta inmunológica al virus Epstein-Barr, así como en el sistema nervioso periférico el síndrome de Guillain-Barré.

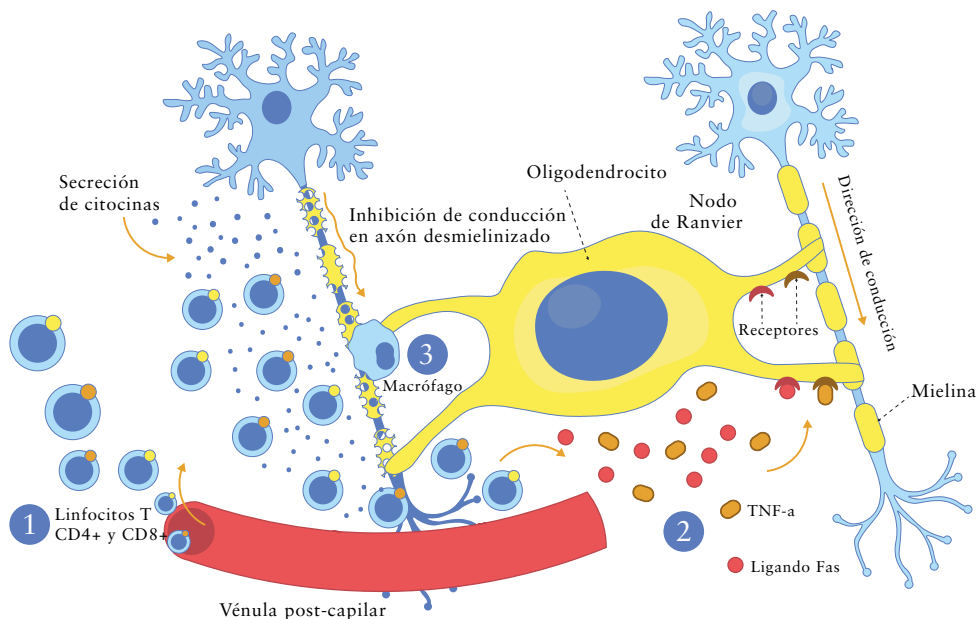
Enfermedades autotípicas

ESCLEROSIS MÚLTIPLE

La esclerosis múltiple se dice que es de origen inmunitario por la presencia de placas linfocitarias, sin embargo, no se sabe con certeza. Se trata de una enfermedad desmielinizante, progresiva y crónica que afecta al SNC, específicamente al nervio óptico (que es una extensión del encéfalo) y la médula espinal. Lo que ocurre es que los linfocitos CD4 y CD8 positivos, los mismos que están asociados al VIH, generan una batalla a sus propios oligodendrocitos, enviándoles señales para que entren en apoptosis

(figura 25-1). Si el oligodendrocito muere, se ven afectadas muchas fibras nerviosas (40 a 50), quedando desmielinizadas y afectando a la transmisión del impulso nervioso como lo hacían normalmente. Cuando los linfocitos encuentran un oligodendrocito se produce un infiltrado inflamatorio en la región, lo reconocen y producen interleuquinas, los **factores de necrosis tumoral Alpha (TNF-a)** y un ligando llamado **FAS**. La unión de este último a un receptor ubicado en la membrana del oligodendrocito es la señal precisa para iniciar el proceso de apoptosis, lo mismo ocurre con el TNF-a (figura 25-2). En síntesis, primero hay un infiltrado linfocitario en la región y luego se produce la interacción con los oligodendrocitos que comienzan a morir, por lo tanto, la mielina se desorganiza formando pequeñas gotitas de lípidos que son fagocitadas por los macrófagos, para finalmente desaparecer por completo (figura 25-3). La tinción de azul de luxol rápido (*luxol fast blue*) permite teñir la mielina de azul. En muestras histológicas teñidas con esta técnica, hay una zona donde el color desaparece, eso es una placa denominada placa de la esclerosis múltiple. Esto también se puede observar con resonancia magnética. Cuando hay sospecha de que puede presentarse esta enfermedad, se realiza este examen de inmediato, a los seis meses y luego al año, para ver si estas placas han aumentado, las que se visualizan como regiones menos densas.

FIGURA 25. Infiltración linfocitaria e interacción con el oligodendrocito.



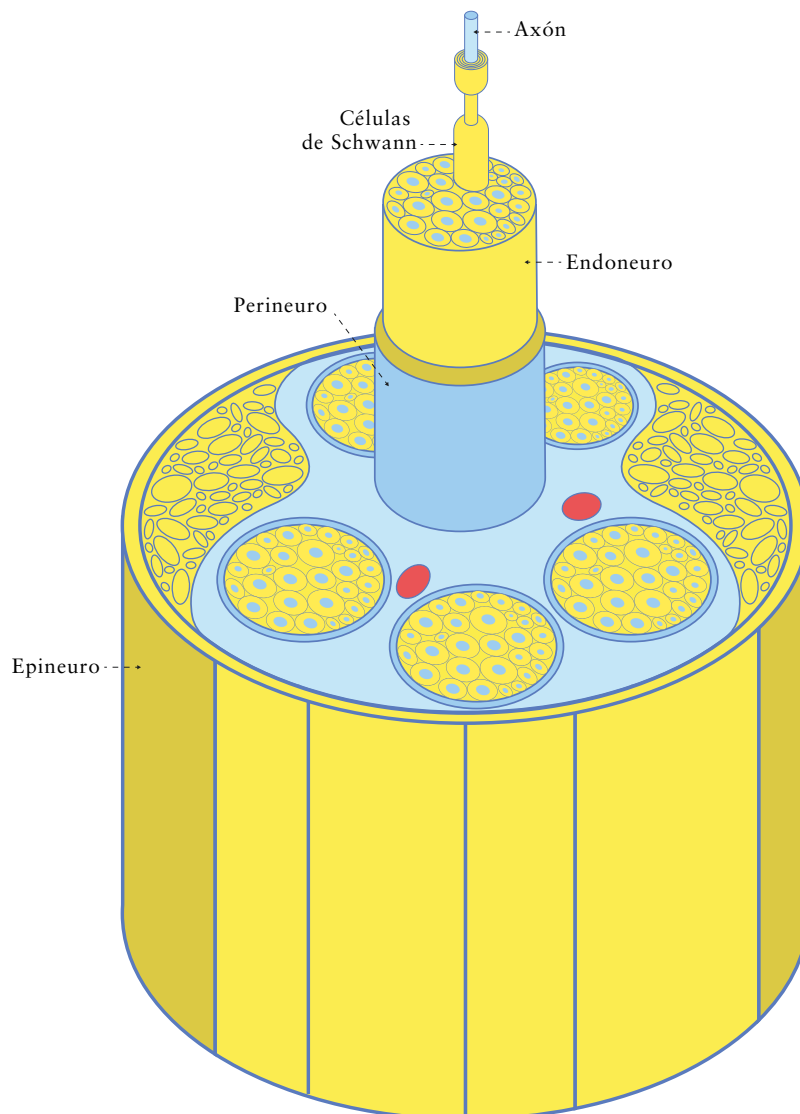
En resumen, la esclerosis múltiple es una enfermedad que ataca al SNC y termina afectando a todo el cuerpo, dependiendo de cómo vaya evolucionando la enfermedad. Frecuentemente los pacientes terminan en silla de ruedas y mueren a temprana edad.

Nervio

En la organización histológica de un nervio participan tres estructuras, desde el exterior al interior, que corresponden a epineuro, perineuro y endoneuro (figura 26). El **epineuro** es solo un tejido parecido a la adventicia y que lo relaciona al

tejido adyacente. Si desaparece, el nervio no sufre daño. La gran capacidad de protección de un nervio se la confiere el **perineuro**, que es una capa de tejido fibroso y colagenoso con abundantes fibroblastos que se disponen en tónicas, lo que produce una barrera homóloga a la hematoencefálica llamada **hematonerviosa**. El **endoneuro** envuelve periféricamente cada fibra nerviosa por fuera de las células de Schwann, tanto activas como inactivas. De la presencia del endoneuro depende la gran capacidad proliferativa de las células de Schwann. La falta de capacidad regenerativa de las fibras nerviosas en el SNC radica en la ausencia de endoneuro.

FIGURA 26. Estructura de un nervio.

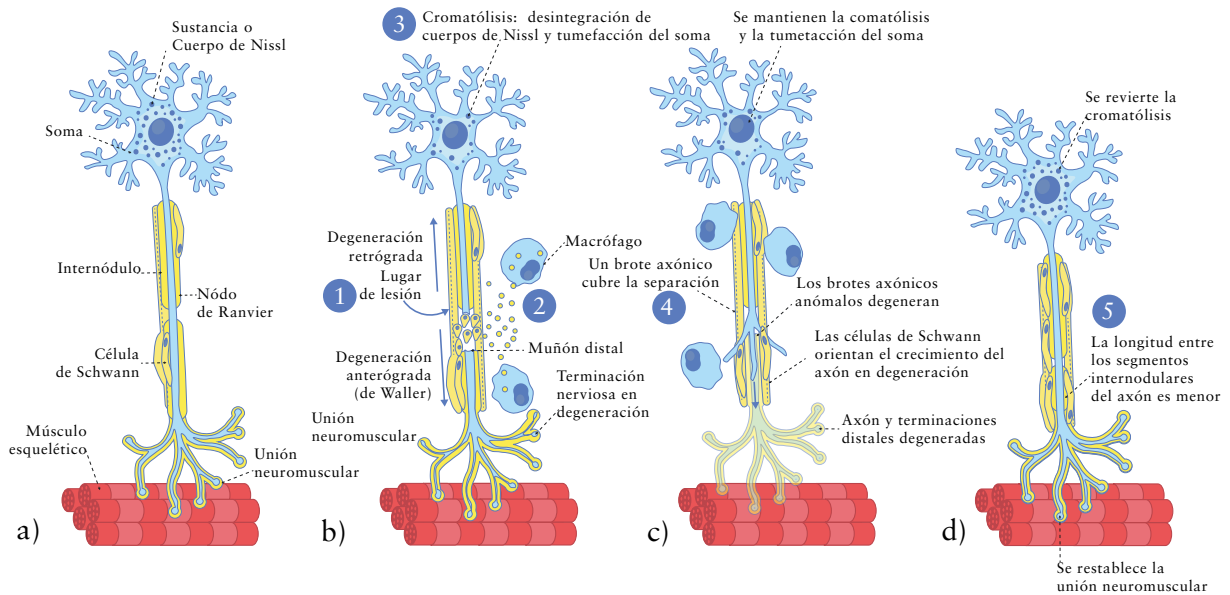


Desmielinización segmentaria y degeneración axónica

Si una neurona motora (que es multipolar, donde el telodendron llega hacia el músculo) se daña en el centro, va a comenzar una degeneración Walleriana, lo cual significa que degenera en ambos sentidos: retrógrada y anterógrada.

La unidad funcional no es solamente la neurona, sino que el soma neuronal, es decir, si el soma neuronal está intacto, la neurona puede subsistir, lo que ocurre en la degeneración axónica retrógrada es que comienza a afectar al soma neuronal, por lo que este muere. Esto es lo que ocurre en lesiones nerviosas graves (figura 27).

FIGURA 27. Secuencia de desmielinización segmentaria y de generación axónica.



Cuando la lesión nerviosa es menos grave, comienza la degeneración Walleriana y se puede ver un fenómeno histológico denominado cromatólisis, pero antes de definirlo hay que decir que existen pequeños gránulos (piel de tigre) que se observan en la neurona afectada. Son los denominados cuerpos de Nissl, que son polirribosomas y retículo endoplásmico rugoso, denso, ubicado en el soma.

La cromatolisis es el proceso por el cual todos los gránulos se van a la periferia, la neurona pierde esta piel de tigre y al observar un axón podríamos percatarnos de un trauma axónico. El proceso de cromatolisis no se presenta en el cono axónico.

Después de semanas, si es que la lesión no es grave, existen brotes axonales que son mediados y dirigidos por los neurilemocitos, para producir la regeneración nerviosa. Los nuevos internódulos son pequeños, en comparación con la mielina

sana, por lo tanto, la nueva neurona regenerada es menos eficiente.

ENFERMEDAD DE ALZHEIMER

Es una afección neurodegenerativa grave, que afecta a la corteza cerebral e hipocampo. Esta región funciona como un GPS, nos permite situarnos espacialmente, aunque también tiene que ver mayoritariamente con la memoria a corto plazo.

La enfermedad de Alzheimer no solo afecta el área asociada al hipocampo, sino también áreas corticales y lóbulo frontal. Es por esta razón que se relaciona con la actividad del pensamiento y funciones ejecutivas, es decir, el primer signo que presenta la enfermedad es la desorientación, pero recordará procesos anteriores. Posteriormente se presenta una conducta agresiva y finalmente no recordará su quehacer en el día a día. Solo en la etapa final de la enfermedad se presentarán problemas a nivel de la memoria a largo plazo.

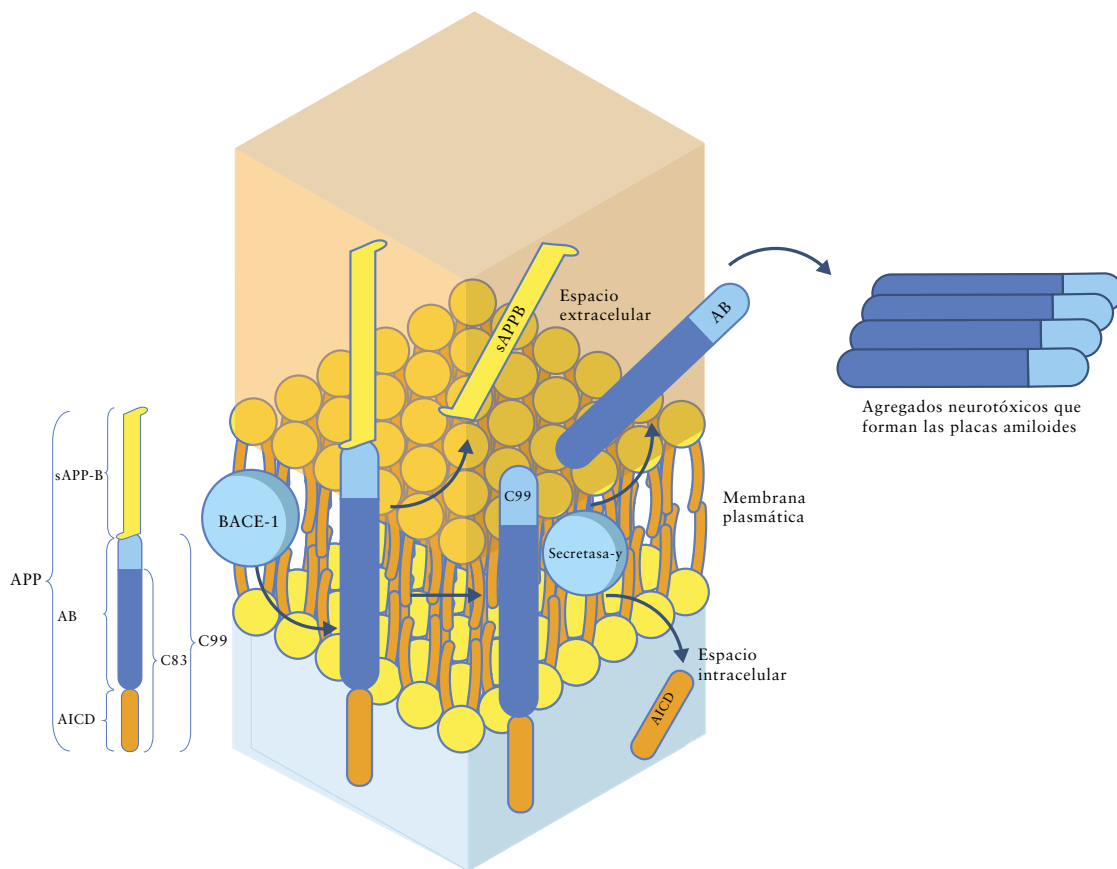
Placas amiloides cerebrales

Existen dos sucesos que probablemente explican la patogenia: el proceso extracelular y el proceso intracelular que ocurre en la neurona, lo que la define como una enfermedad neurodegenerativa.

El Alzheimer tienen que ver con problemas asociados a la muerte neuronal. Se ha visto que las proteínas precursoras de amiloide se pueden

ver seccionadas a nivel de la membrana celular por diversas enzimas, produciendo fragmentos de la proteína original, llamado péptido amiloide beta. Este péptido amiloide se acumula en el medio extracelular, formando placas de péptidos que son potentes antígenos, por lo que el sistema inmunitario lo detecta y elimina todo a su alrededor, es decir, ataca a sus propias células a nivel del medio extracelular, visualizándose las placas amiloides cerebrales (figura 28).

FIGURA 28. Estructura de proteína precursora amiloide.

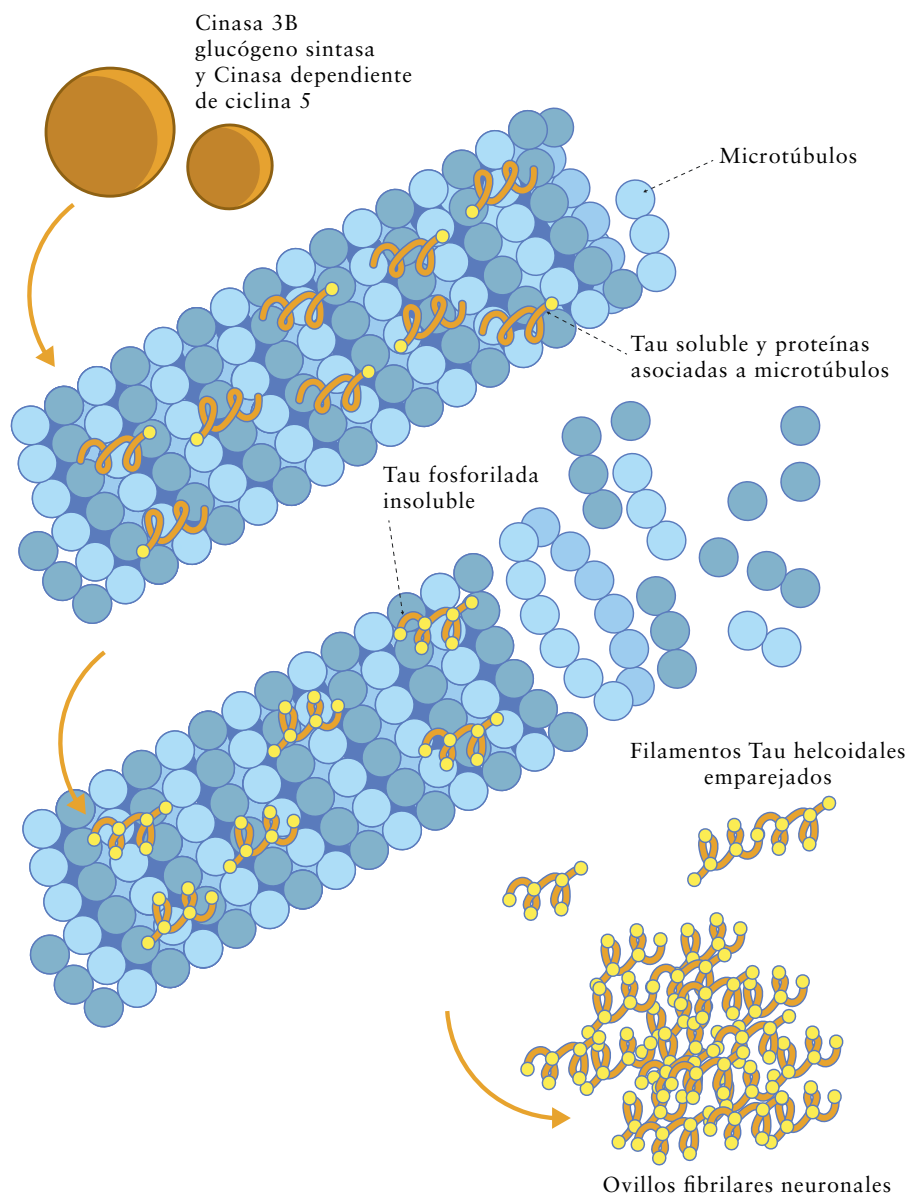


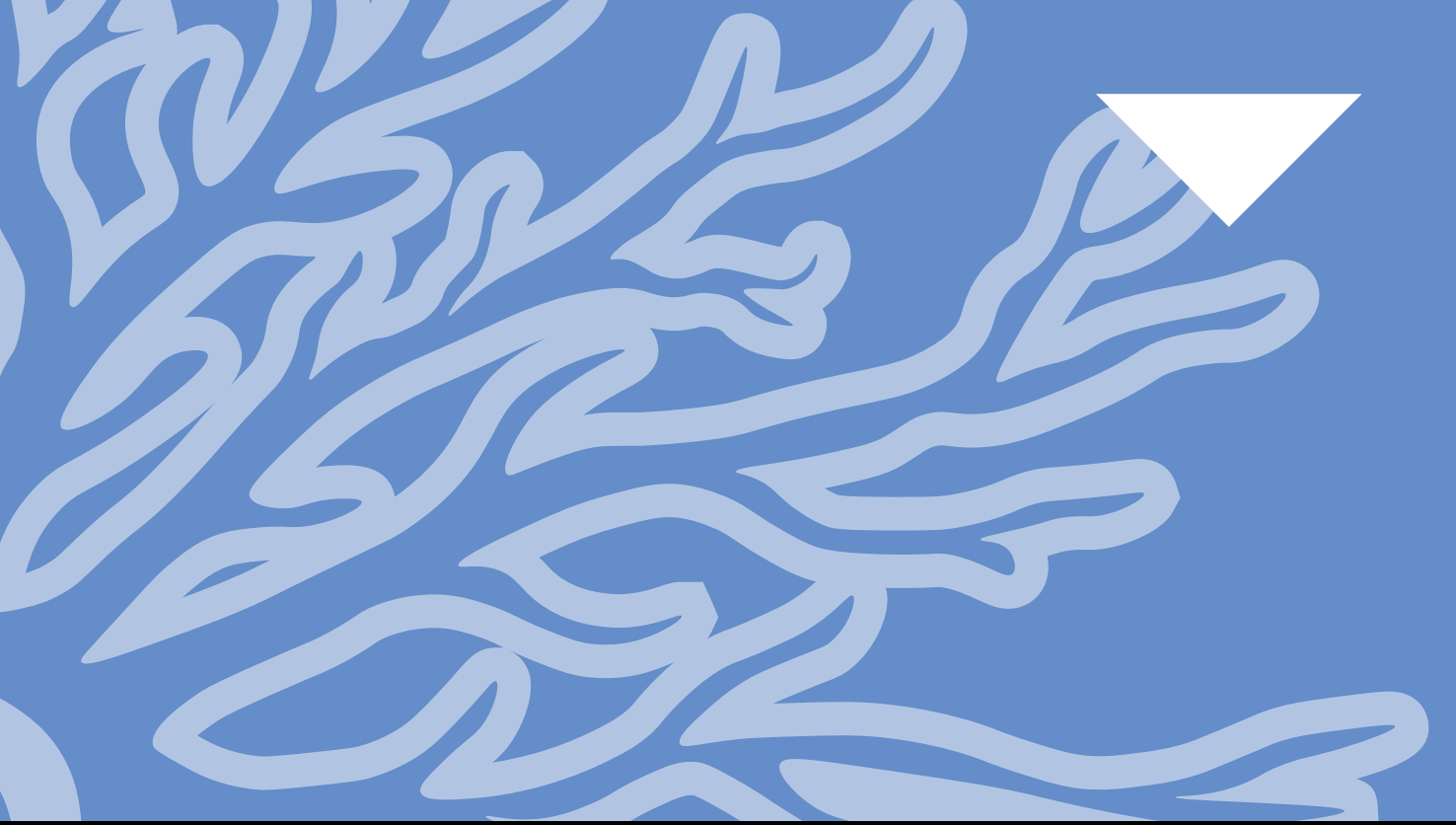
Ovillos fibrilares neuronales

En el medio intracelular, en cambio, se puede observar un proceso denominado taupatia, es decir, un problema en la citoarquitectura neuronal. La taupatia no es un problema exclusivo del Alzheimer, sino que de cualquier enfermedad que no pueda mantener estable su citoesqueleto y específicamente los microtúbulos, que son fundamentales dentro de una neurona, se asocian al transporte, conformación de dendritas y axones

y todo el desplazamiento de moléculas, por lo tanto, estas proteínas tau son estabilizadoras de microtúbulos. La proteína tau hiperfosforilada es insoluble, carece de afinidad por los microtúbulos y se asocia a otras proteínas tau para formar filamentos helicoidales emparejados. Los círculos amarillos de la imagen (figura 29) se refieren a una hiperfosforación de la proteína tau. Una vez que ganan afinidad consigo misma, comienzan a acumularse en forma de ovillos neurofibrilares.

FIGURA 29. Ovillos fibrilares.

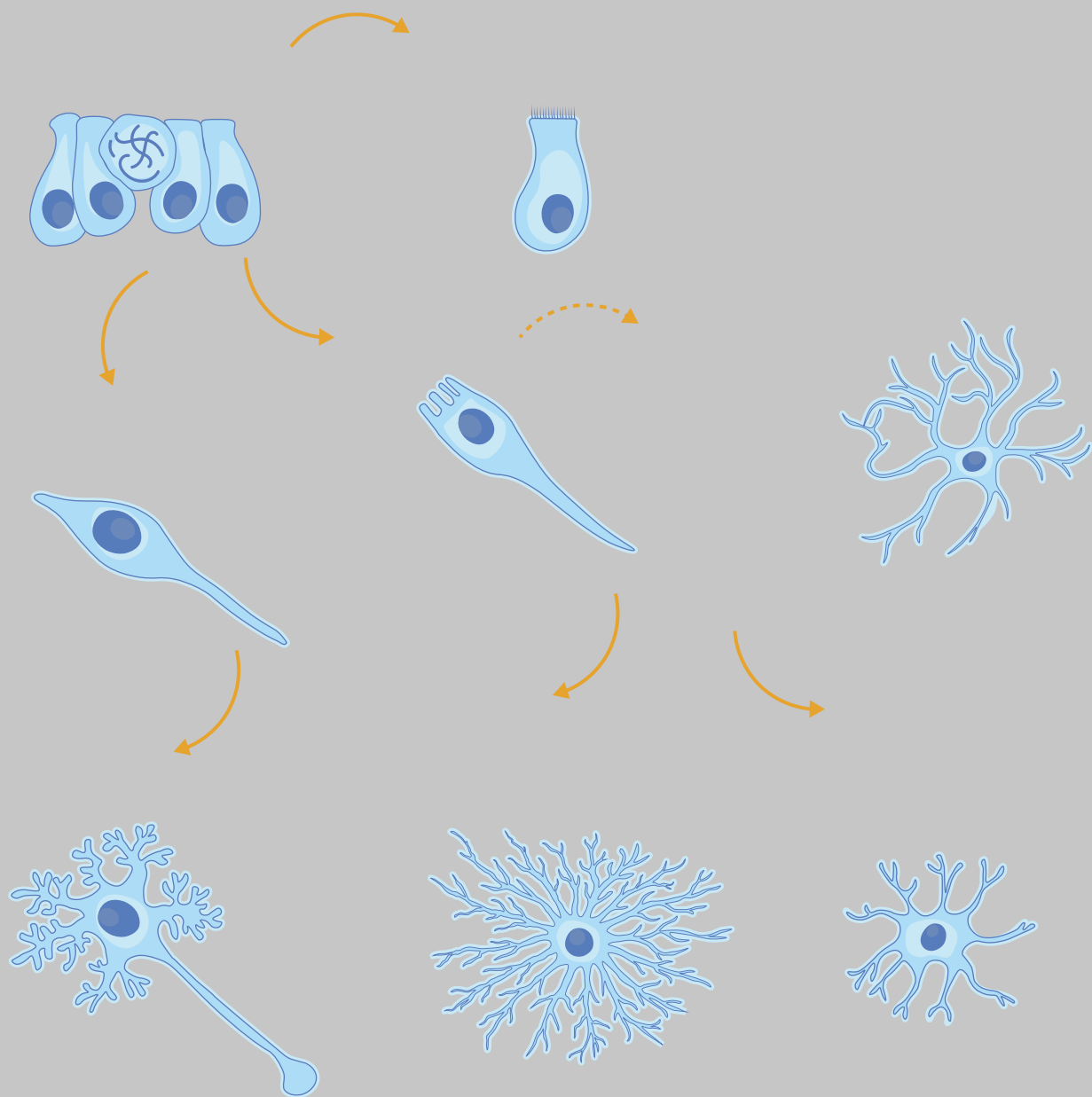




CAPÍTULO III

Desarrollo del sistema nervioso central

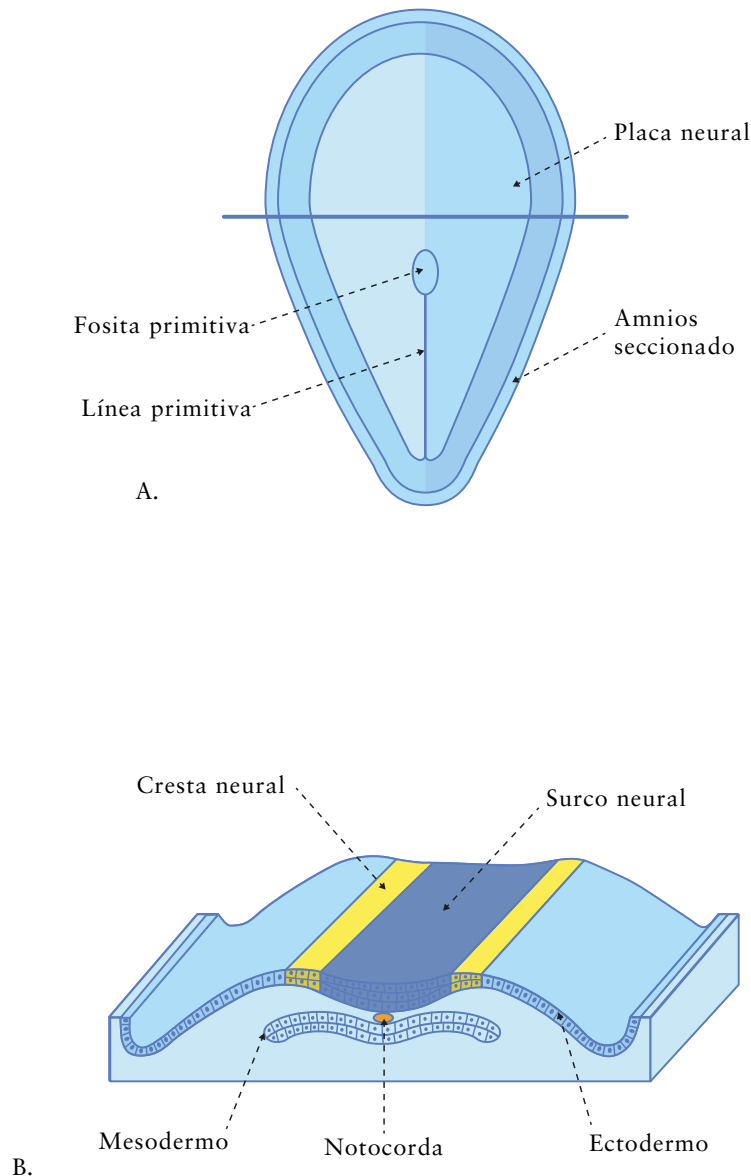




Al comienzo de la tercera semana de vida intrauterina, cuando el embrión presenta una estructura trilaminar, con una capa externa, el ectodermo, una capa media, el mesodermo, y una capa interna, el endodermo, comienza el desarrollo del Sistema Nervioso Central (SNC), a partir de las células ectodérmicas que se sitúan en la

región dorsal y que conforman la placa neural. La placa neural es una estructura de ectodermo engrosado en forma de zapatilla cuyo extremo ensanchado se ubica hacia el cefálico, que se encuentra en la región dorsal media del embrión, por delante de la fosita primitiva (figura 30).

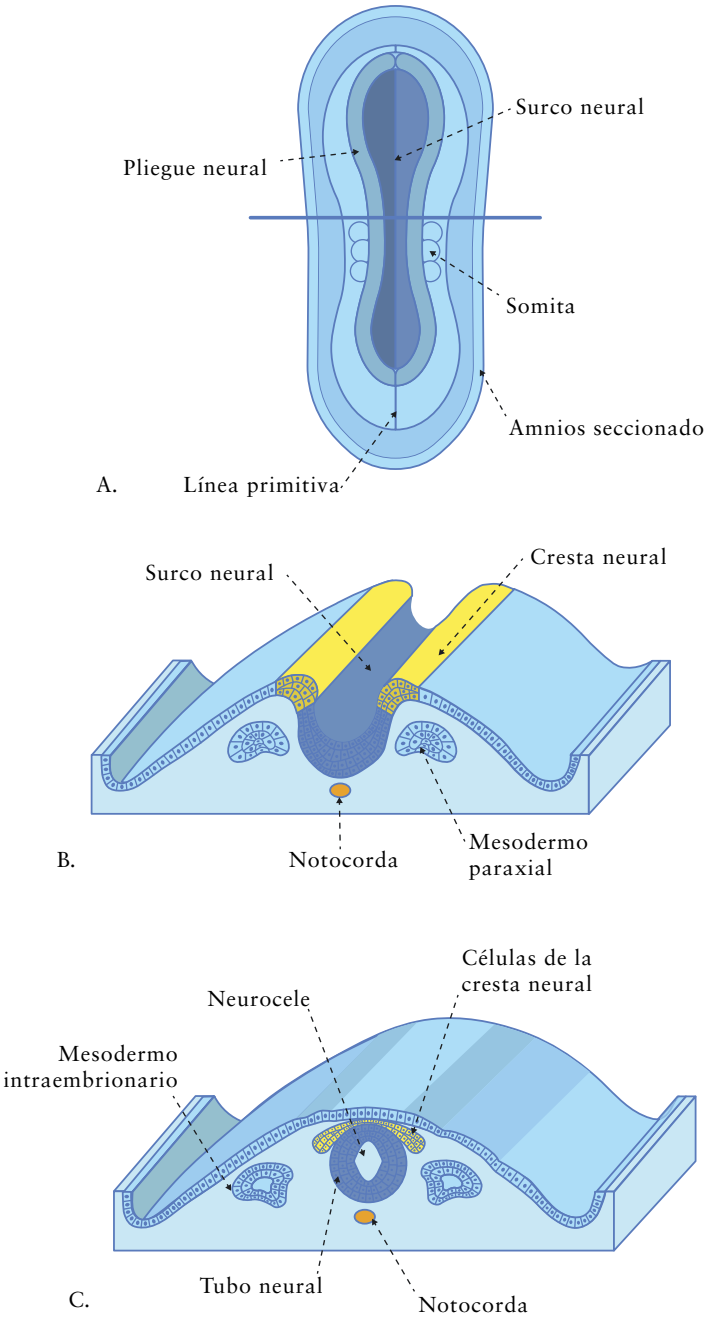
FIGURA 30 A. Embrión en vista dorsal con amnios seccionado donde se visualiza la placa neural; B. Corte transversal de embrión trilaminar, se observa que los bordes de la placa comienzan a elevarse iniciando la formación del surco neural.



En la línea mediana de la placa neural, se genera un surco neural (figura 30 B), limitado lateralmente por los pliegues neurales, los cuales con-

tinúan su proliferación, hasta aproximarse entre sí y ponerse en contacto, constituyendo el tubo neural (figura 31).

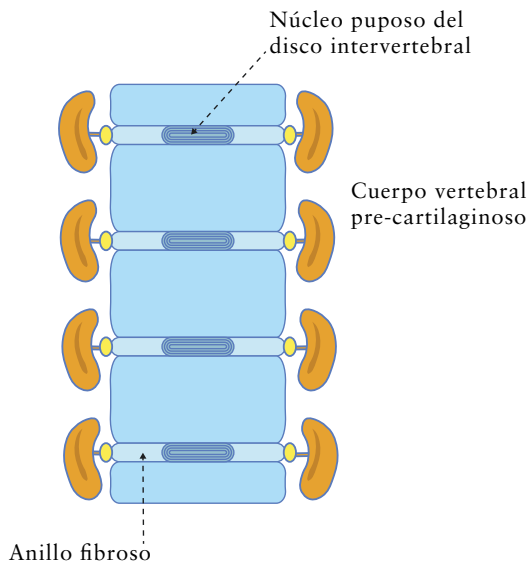
FIGURA 31. Formación del tubo neural. A. Vista dorsal del embrión. B. Corte transversal donde se observan los pliegues y surco neurales. C. Formación del tubo neural.



El plegamiento comienza a nivel de la región cervical del embrión, pero rápidamente se extiende en sentido cefalocaudal. El estímulo que inicia la proliferación de estas células ectodérmicas que constituirán el tubo neural proviene de células

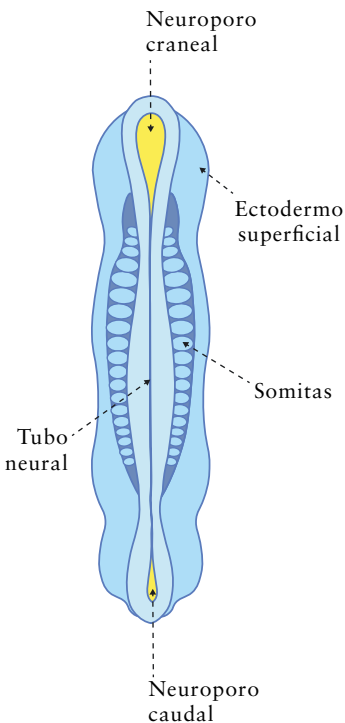
mesodérmicas ubicadas ventrales al tubo neural y que constituyen la notocorda, elemento que en el adulto queda incluido en el centro del núcleo pulposo de los discos intervertebrales (figura 32).

FIGURA 32. Los discos intervertebrales conservan un núcleo pulposo que representa restos de la notocorda.



Si bien el tubo neural se cierra dorsalmente al reunirse los pliegues neurales, sus extremos se mantienen abiertos, constituyéndose los neuroporos craneal y caudal, a través de los cuales el tubo neural mantiene una comunicación con la cavidad amniótica en las etapas más tempranas del desarrollo del sistema nervioso central (figura 33).

FIGURA 33. Neuroporos craneal y caudal que mantienen comunicación con la cavidad amniótica.



El extremo rostral del tubo neural se cerrará aproximadamente al vigesimoquinto día, constituyendo una zona llamada lámina terminal o supraóptica que encontraremos en la pared anterior del tercer ventrículo. La falta de cierre del neuroporo craneal originará la anencefalia; la falta de cierre del neuroporo caudal originará la espina bífida en cualquiera de sus grados.

El extremo cefálico, ensanchado del tubo neural, presenta posterior a su cierre una estructura triventricular, con una porción anterior, llamada cerebro anterior o prosencéfalo, una porción in-

termedia, llamada cerebro medio o mesencéfalo, y una porción caudal, llamada cerebro posterior o rombencéfalo, que se continúa caudalmente con el resto del tubo neural (figura 34). Posteriormente las vesículas prosencefálicas se subdividen en dos dilataciones laterales, llamadas telencefálicas, y una vesícula mediana, llamada diencefálica, mientras que la vesícula romboencefálica se dividirá en una vesícula metencefálica y una mielencefálica, persistiendo sin modificaciones la vesícula mesencefálica situada en posición intermedia (figura 35).

FIGURA 34. Vesículas primarias en el extremo cefálico del tubo neural.

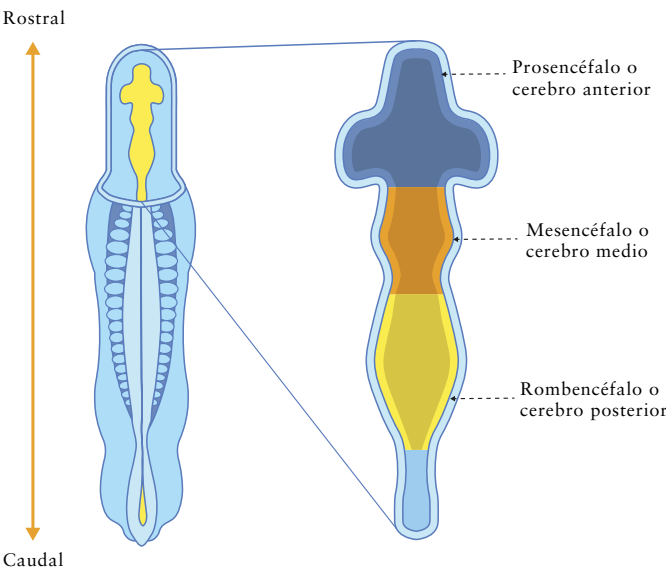


FIGURA 35. Formación de vesículas encefálicas secundarias.

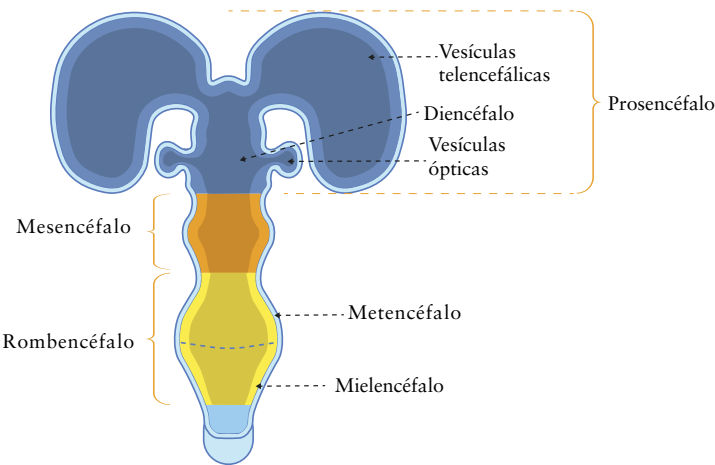


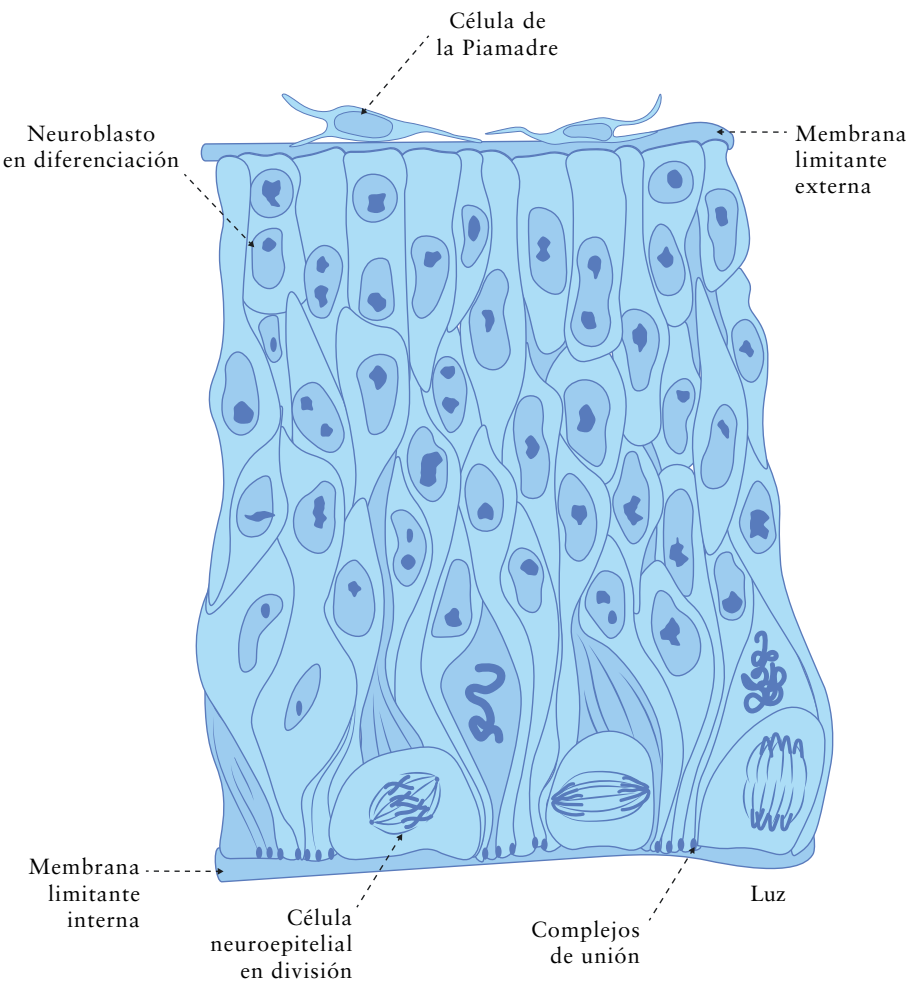
TABLA II. Derivados de cada una de las vesículas cerebrales.

Telencéfalo	Diencefalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Mielencéfalo
Núcleo caudado	Tálamo, hipotálamo	Pedúnculos cerebrales	Puente	Bulbo
Núcleo lentiforme	Epitálamo, subtálamo	Lámina tectoria	Pedúnculos cerebelosos medios	Pedúnculos cerebelosos inferiores
Hemisferios cerebrales	Metatálamo		Cerebelo	

En una etapa temprana, el tubo neural y sus dilataciones craneales presentan una capa de células epiteliales cilíndricas que se encuentra en

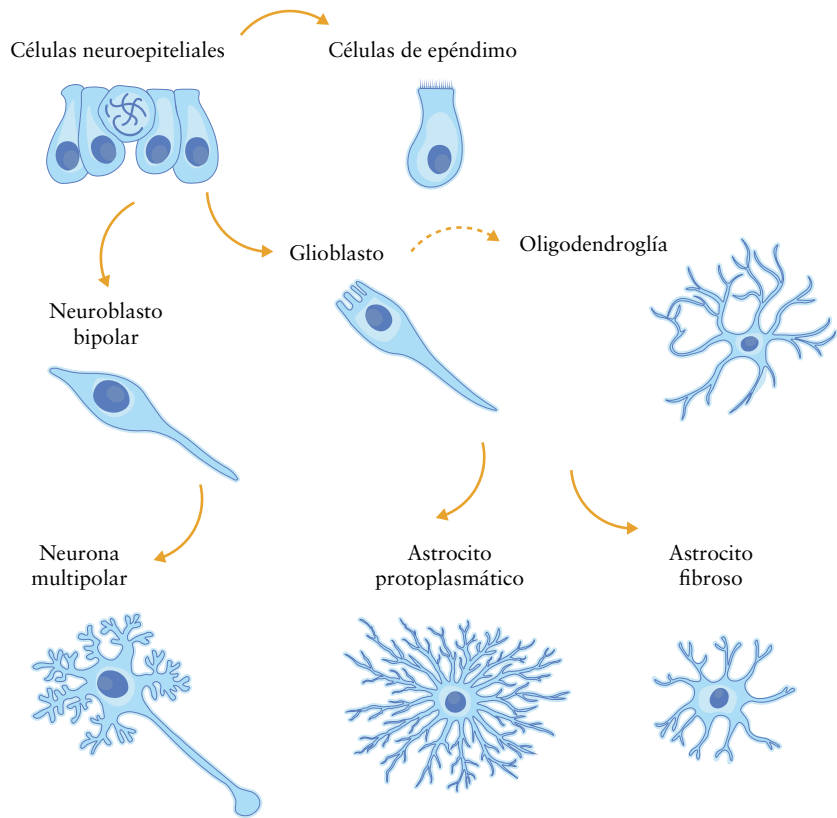
directo contacto con el lumen del tubo neural (figura 36).

FIGURA 36. Aspecto del neuroepitelio.



El neuroepitelio originará neuronas, células gliales y endimarias del sistema nervioso central (figura 37).

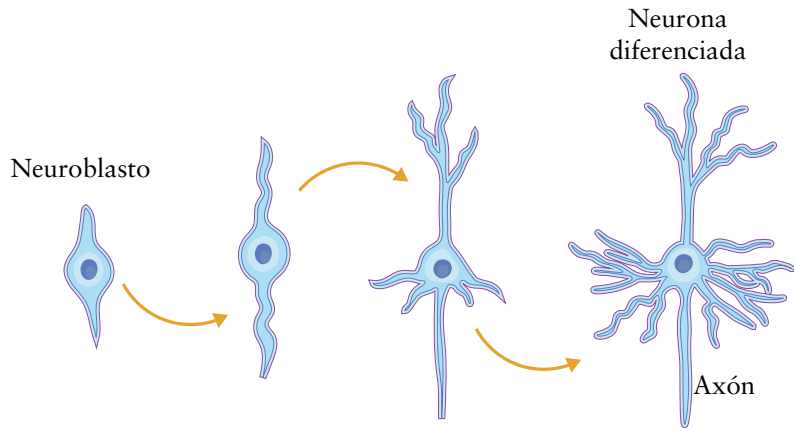
FIGURA 37. Líneas celulares derivadas desde el neuroepitelio.



Las neuronas se originarán de los neuroblastos derivados de este neuroepitelio. En un principio constituyen células ovoideas, cuyo núcleo celular es redondo y apolar, a partir del cual se desarro-

llarán las prolongaciones axonales y dendríticas, para constituir un neuroblasto multipolar y luego una neurona adulta (figura 38).

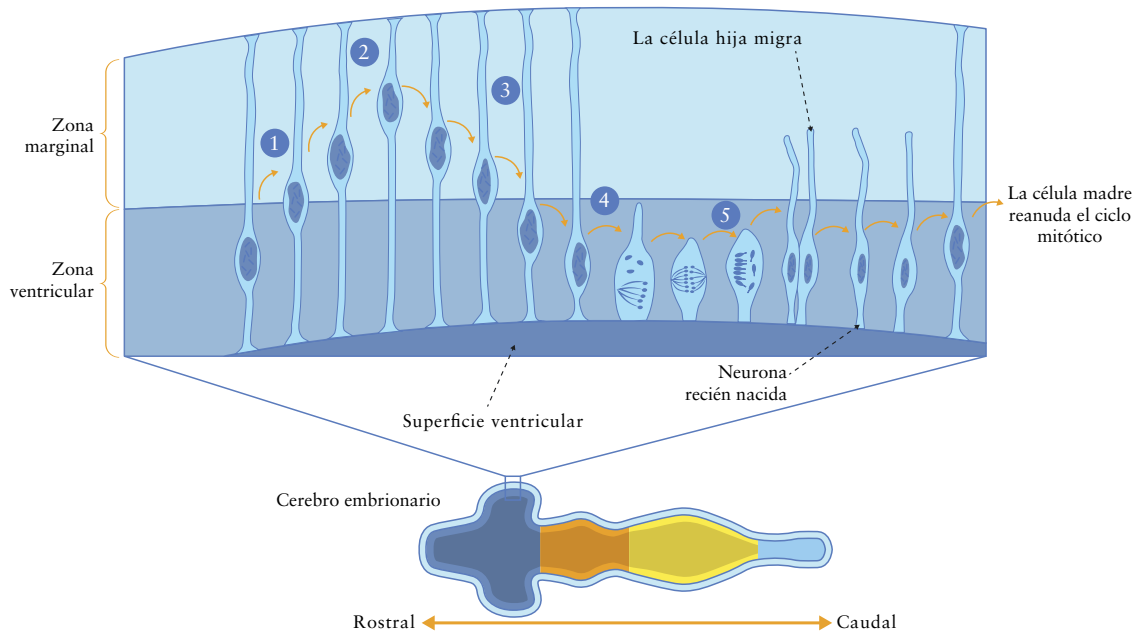
FIGURA 38. Desarrollo de una neurona adulta a partir de un neuroblasto.



A medida que los neuroblastos van migrando y alejándose de la capa de células endoteliales que reviste la luz del tubo neural, los cuerpos de estas neuronas primitivas comienzan a agruparse, formando la denominada **capa del manto**. Por otro lado, los procesos axonales de las neuronas en desarrollo se sitúan en la periferia y comien-

zan a migrar utilizando para ello la guía que le ofrecen las células gliales que constituyen un verdadero andamiaje a partir del cual los axones en desarrollo comienzan a conectar distintos niveles del sistema nervioso central, constituyendo la denominada **capa marginal** (figuras 39 y 40).

FIGURA 39. Diferenciación de las células neocorticales.

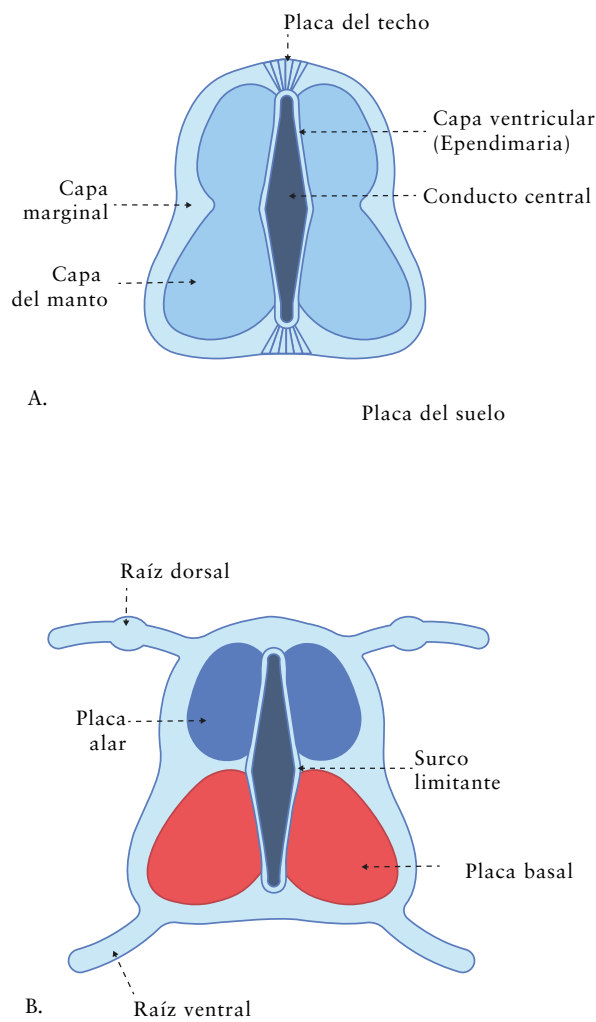


La capa del manto originará en la médula la sustancia gris, mientras que la capa marginal se considera el origen de la sustancia blanca (figura 40 A).

Durante el desarrollo de la capa del manto hay dos zonas de neuroblastos en proliferación

que se encuentran separadas por un surco transversal llamado surco limitante (*sulcus limitans*), que la divide en una porción llamada **placa alar** y otra denominada **placa basal** (figura 40 B).

FIGURA 40. Desarrollo embrionario de la médula espinal. A. Diferenciación de la capa del manto y de la capa marginal. B. Surco limitante que divide la placa alar y la placa basal.



La placa alar se desarrolla en la pared dorsal del tubo neural y origina el **cuerno dorsal de la médula espinal**, esto es las interneuronas y las neuronas de proyección que reciben las aferencias de la sensibilidad general procedentes de las raíces dorsales de los nervios espinales en desarrollo.

La placa basal se desarrolla en la pared ventral del tubo neural y origina el **cuerno ventral de la médula espinal**. En este lugar se van a situar los cuerpos de las motoneuronas, cuyas prolongaciones eferentes constituyen las raíces ventrales del nervio espinal (figura 40 B). De esta manera los neuroblastos comienzan a agruparse, formando poblaciones celulares con funciones comunes, en las cuales los elementos nerviosos que se dirigen

o proyectan sensaciones de territorios somáticos se alejarán del surco limitante en sentido de la superficie de las placas alar y basal, quedando un sector intermedio próximo al surco, relacionado con funciones viscerales.

Ya en etapas tempranas del desarrollo es posible observar que los neuroblastos determinan una organización citoarquitectónica laminar descrita por Rexed, disposición que persiste en los segmentos cefálicos del tubo neural. Las aferencias viscerales que ingresan junto a las raíces dorsales del nervio se van a proyectar en la región dorsal junto al surco limitante.

Las neuronas visceromotoras en desarrollo, origen del sistema nervioso simpático, se ubicarán en la región inmediatamente ventral al surco

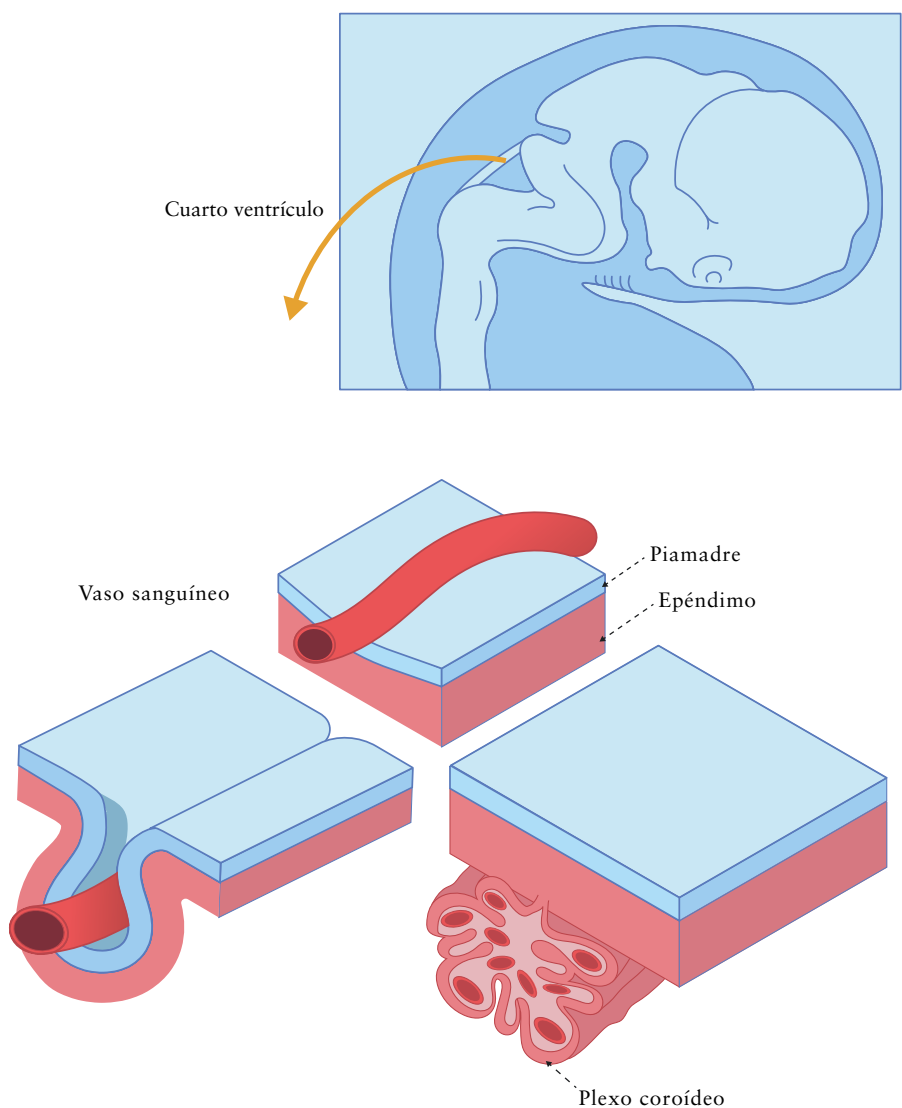
limitante y sus proyecciones saldrán junto a las raíces ventrales del nervio espinal. Esta organización de las células, que derivan del neuroepitelio que reviste el tubo neural en placas alar y basal, determina la estructura de la médula espinal; sin embargo, la organización de la capa del manto y marginal se repite con algunas modificaciones regionales hasta el segmento mesencefálico.

A nivel del tronco encefálico la capa del manto se organiza en sentido vertical, segmentándose de la misma manera que en la médula espinal y constituyendo estructuras aisladas en forma de largas columnas rostrocaudales o pequeños acú-

mulos de neuronas denominadas núcleos de los nervios craneales.

Durante el desarrollo de la vesícula romboencefálica, a partir de la mitad rostral del bulbo, la pared posterior del tubo neural es desplazada lateralmente y parece que el tubo se abriera en su pared dorsal, quedando cubierta a este nivel por una monocapa de células ependimarias y la piamadre adosada a ella constituyendo la tela corioidea inferior a la cual se le adosarán los vasos que constituirán el plexo corioideo del cuarto ventrículo (figura 41).

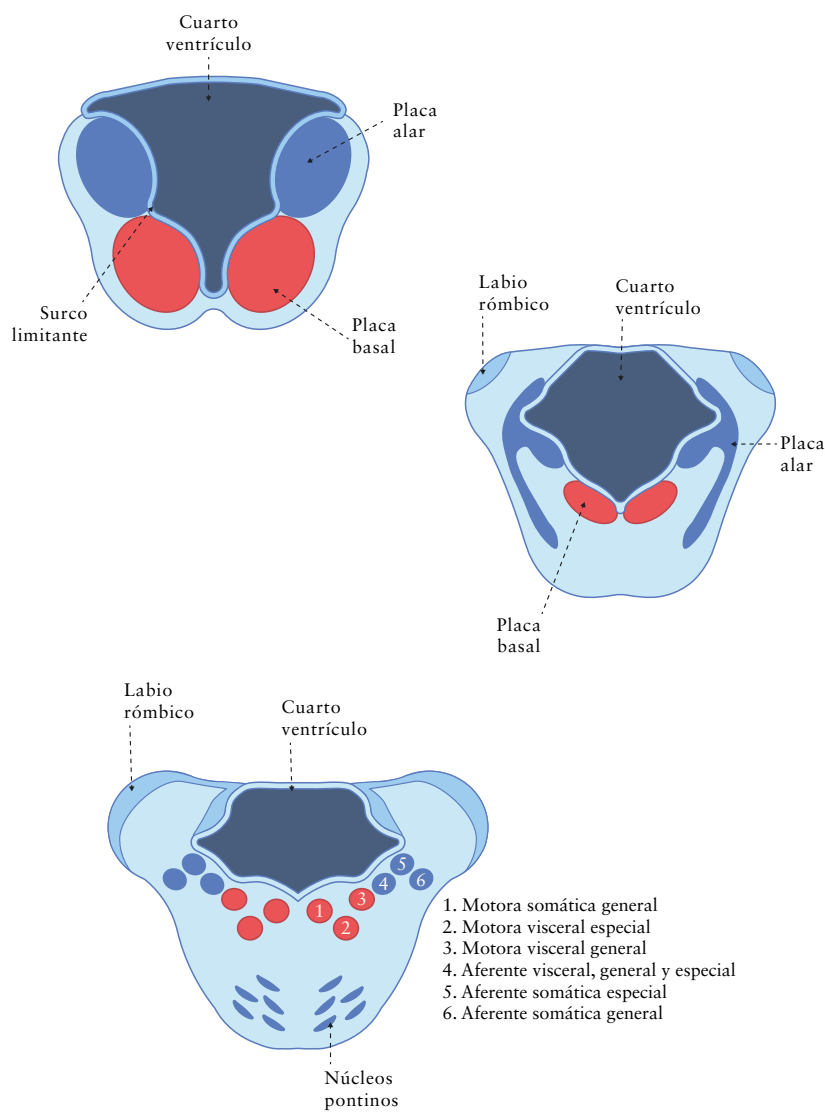
FIGURA 41. Desarrollo de la vesícula rombencefálica.



Es debido a este desplazamiento lateral de la placa alar romboencefálica que las columnas nucleares que se originan de ella pierden la disposición ventrodorsal y se disponen más bien transversales, ventrales a la fosa romboidea. De

esta disposición resulta que las columnas motoras originadas de la placa basal se ubican medial y las columnas sensitivas originadas en la placa alar se ubican hacia lateral (figura 42).

FIGURA 42. Desplazamiento de las columnas nucleares que adoptan una disposición transversal, ventrales a la fosa romboidea.



Las proyecciones de las neuronas hacia las columnas sensitivas generales, especiales y viscerosensitivas constituirán los orígenes reales de los nervios craneales relacionados con la sensibilidad general relacionada con los derivados de los arcos faríngeos, somática general y sensoriales (trigémino, intermedio, vestibulococlear, glossofaríngeo y vago).

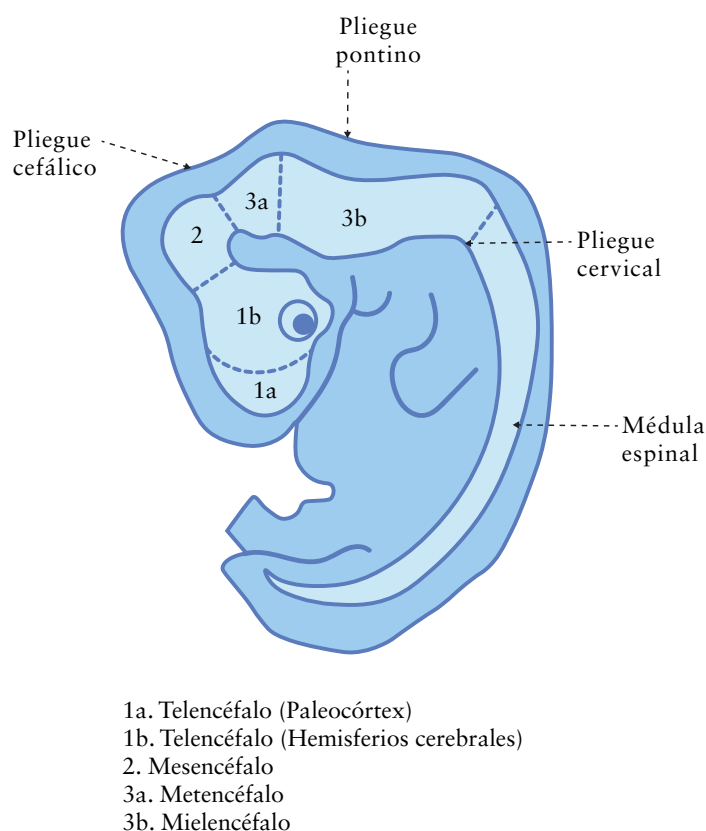
Las neuronas ubicadas en las columnas motoras somáticas generales, especiales y visceromotoras constituyen los orígenes reales de los nervios craneales motores somáticos generales, de origen somítico y los motores relacionados con músculos derivados de arcos faríngeos y parasimpáticos (oculomotor, troclear, trigémino motor, facial, glossofaríngeo vago, hipogloso).

Formación del encéfalo

Como se ha dicho, la porción cefálica del tubo neural constituye tres vesículas primitivas. En este momento, la gran proliferación de los neuroblastos derivados del neuroepitelio que rodea las vesículas determina que la capacidad de la cavidad craneal en desarrollo sea superada y comience un proceso de plegamiento de las estructuras a medida que se van desarrollando, de modo que se generan dos pliegues: uno en el límite caudal del rombencéfalo, el pliegue cervical, y otro entre

rombencéfalo y mesencéfalo, el pliegue cefálico. Posteriormente, cuando aparecen las vesículas secundarias, aparece también un tercer pliegue, ubicado entre metencéfalo y mielencéfalo. Al momento del nacimiento los pliegues cervical y pontino se han enderezado, originando los límites bulbomedular y bulbopontino respectivamente, mientras que el pliegue cefálico persiste, se hace prominente y determina que el cerebro procencefálico se desarrolle casi perpendicular al eje del tronco encefálico (figura 43).

FIGURA 43. Desarrollo de los pliegues cefálico, pontino y cervical.



Los neuroblastos derivados del neuroepitelio que reviste el rombencéfalo originarán el bulbo y el puente, como se ha mencionado; los elementos derivados de las placas alar y basal de la capa del manto originarán las columnas nucleares de los nervios craneales y algunos núcleos propios (como el olivar inferior y los núcleos gracil y cuneiforme), mientras que las proyecciones que ocupan la capa marginal rombencefálica origi-

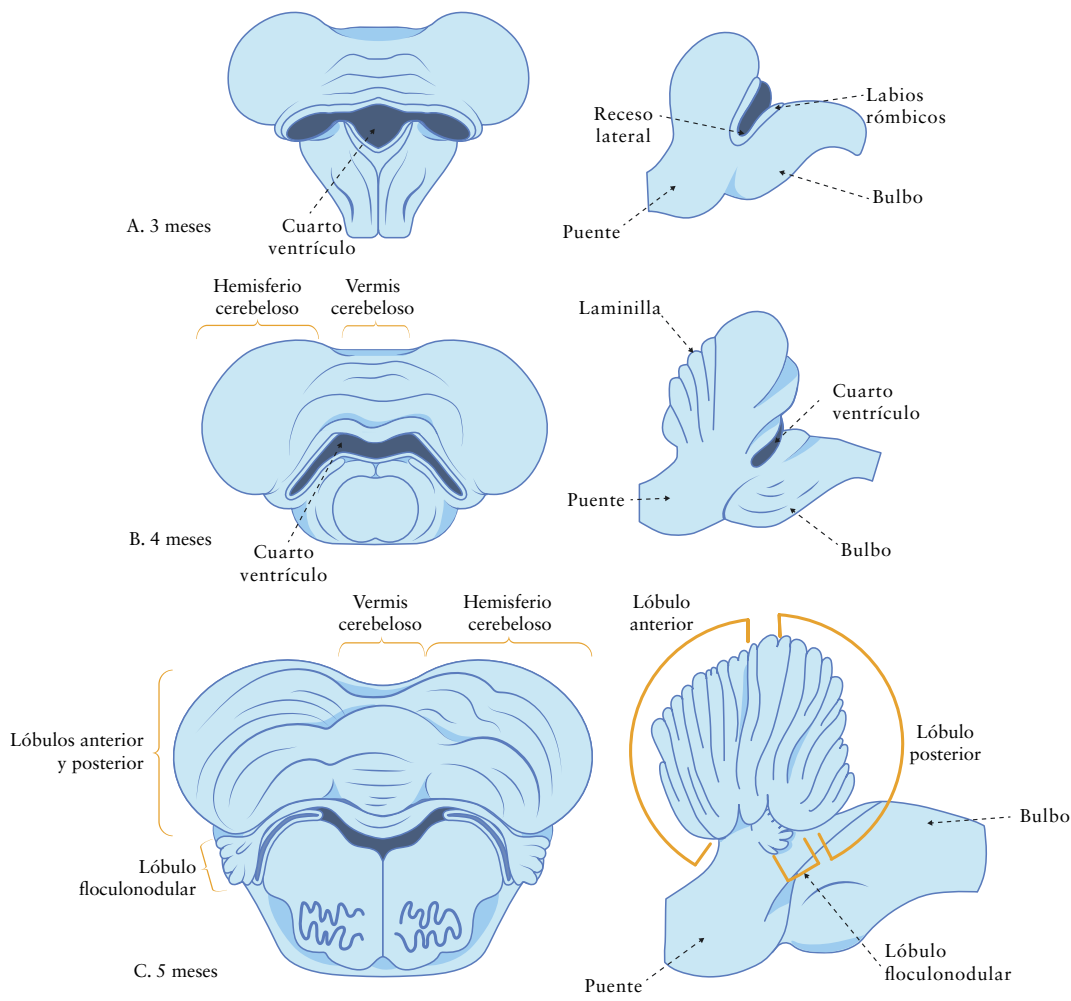
narán las conexiones con los niveles superiores e inferiores del sistema nervioso central, determinando la formación de las pirámides, cordones laterales, fascículos grácil y cuneiforme en el bulbo y los rodetes piramidales del puente, así como también los elementos de la fosa romboidea y los pedúnculos cerebelosos medio e inferior.

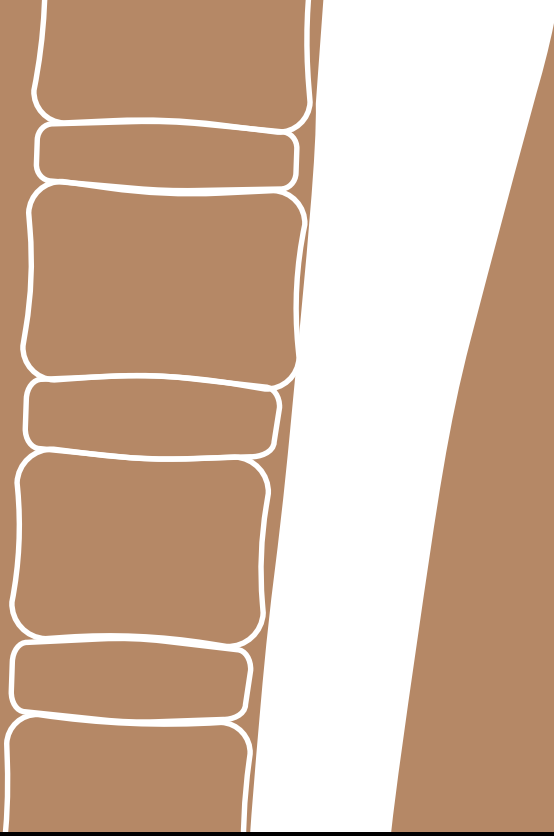
El cerebelo se originará de los neuroblastos de la placa alar de los labios rómbicos, los cuales

se fusionan en la línea mediana y proliferan en sentido ventrodorsal, originando el vermis y luego en sentido lateral los hemisferios cerebelosos. El cerebelo que se encuentra presente en animales filogenéticamente más primitivos se organiza formando el denominado arquicerebelo. A medi-

da que la especificidad en la regulación motora aumenta, aparece el paleocerebelo y finalmente el neocerebelo, el cual alcanza un desarrollo notable en el ser humano, por lo tanto, el córtex cerebeloso debe plegarse formando una estructura laminada (figura 44).

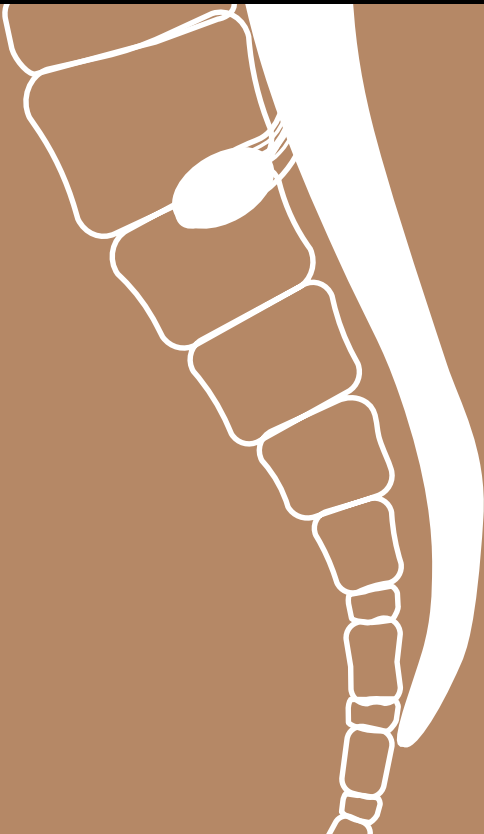
FIGURA 44. Desarrollo del cerebelo desde los 3 a 5 meses.

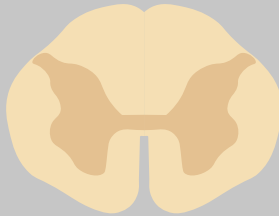




CAPÍTULO IV

Médula espinal





La médula espinal es la parte caudal del sistema nervioso central. Se encuentra alojada en su totalidad dentro del canal vertebral, que es el estuche óseo que la contiene y protege. En el hombre adulto mide 45 cm y 43 cm en la mujer. La columna vertebral mide entre 70 y 75 cm, de lo que se desprende que el canal vertebral no es ocupado completamente por la médula, aunque al principio tienen un desarrollo simultáneo y equivalente, luego la columna sigue creciendo.

Si bien la médula no presenta signos morfológicos de segmentación, funcionalmente la presencia de derivados metaméricos recuerda bastante bien la estructura que tenía en el curso de su desarrollo, elementos que se deben tener en cuenta en el estudio de las lesiones de la médula espinal.

En el límite superior a nivel del foramen magno, se continúa con el encéfalo, a través de la médula oblongada, y en el límite inferior termina en forma de cono y toma el nombre de cono medular, cuyo vértice en el adulto se ubica a nivel entre la primera y segunda vértebra lumbar. De ella se originan 31 pares de nervios espinales, los cuales emergen por el respectivo foramen intervertebral. Si bien las raíces de los nervios espinales cervicales corren horizontalmente, las raíces de los nervios espinales hacen su recorrido cada vez más oblicuo y vertical mientras más bajo es el segmento medular, como consecuencia del crecimiento diferencial vertebromedular (falso ascenso de la médula, figura 45).

Está constituida por segmentos medulares, que corresponden a un área de la médula espinal desde donde se originan las raíces de un nervio espinal. En otras palabras, es toda el área que abarca el origen del nervio, por lo tanto, existen 31 segmentos medulares. Esta organización corresponde a vestigios de la segmentación o metamérica del organismo.

Su aspecto externo es blanquecino, debido a que superficialmente está compuesta de fibras nerviosas mielinizadas. La médula espinal está muy fija en su lugar por la continuidad con el tronco encefálico (hacia rostral), el filum terminal (hacia caudal y que se adhiere al coxis, tras formar el ligamento coccígeo con la duramadre), por la emergencia de los nervios espinales que emergen por los forámenes intervertebrales y sobre todo por la conexión y envoltura de las meninges, entre las cuales se ubican los ligamentos dentados.

La médula espinal presenta una forma cilíndrica, ligeramente aplanada en sentido antero-posterior. Su espesor no es uniforme, el promedio es de 0,8 a 1 cm y presenta dos engrosamientos, llamados intumescencias (figura 46):

Intumescencia cervical: corresponde al lugar donde se originan las raíces del plexo braquial. Mide alrededor de 1,4 a 1,5 cm y se ubica desde C4 a T1.

Intumescencia lumbar: corresponde al lugar donde se originan las raíces del plexo lumbosacro. Mide lo mismo que la cervical, pero se ubica desde los segmentos de T10 a L2.

A las raíces espinales correspondientes a los segmentos lumbares, sacros y coccígeos que corren verticalmente bajo el cono medular se les denomina cauda equina, por su notable parecido a una cola de caballo. Una fina banda de tejido conectivo, el filum terminal, avanza en medio de la cauda equina hasta unirse al periostio del dorso del coxis. Este es una prolongación de la piamadre que tiene la función de fijar el extremo inferior de la médula espinal. Está constituido por piamadre y tejido glial.

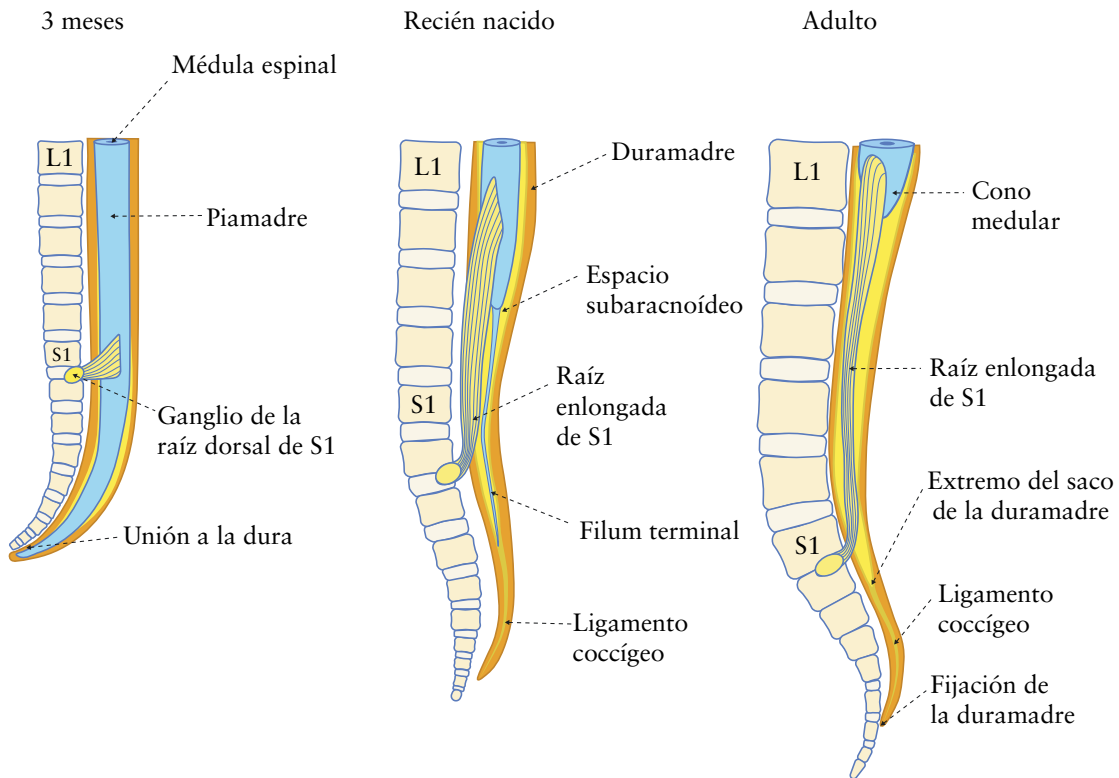
Como se mencionó anteriormente, los segmentos medulares son 31 en total: 8 cervicales, 12 torácicos, 5 lumbares, 5 sacros y 1 coccígeo o 2 como variación. Cada segmento medular origina cuatro raíces, dos anteriores y dos posteriores, y un par de nervios espinales.

Al principio, durante el desarrollo, la médula ocupa la totalidad del canal vertebral. Estos nervios deben encontrar los forámenes de salida (intervertebrales) inmediatamente frente a ellos, o sea, los forámenes de salida se ubican inmediatamente frente a los nervios espinales que se están originando de cada segmento. Por lo tanto, existe una correlación, por ejemplo, el tercer nervio emerge por el tercer foramen intervertebral y así sucesivamente. La dirección de los nervios espinales se modifica a partir del tercer mes de vida intrauterina. A partir de ese momento, el crecimiento de la columna vertebral es más acelerado que el de la médula espinal. De modo que, al momento del nacimiento, el ápice del cono medular se dispone a nivel de L3, mientras que en el adulto se dispone en el disco entre L1 y L2. Entre el nacimiento y la consolidación de la columna adulta, cuando termina el crecimiento, hay un cierto cambio de posición relativa de la médula

con respecto a la columna vertebral, así, los nervios eran en un inicio horizontales y luego se van haciendo oblicuos. Esta oblicuidad es máxima a

nivel de la intumescencia lumbosacra, en donde constituyen la cauda equina junto al filum terminal, que es el elemento mediano (figura 45).

FIGURA 45. Esquema de la relación de la médula espinal con el canal vertebral en distintos momentos del desarrollo. Nótese que, a medida que se avanza en el tiempo, la médula parece ascender. A esto se le denomina falso ascenso medular.



La médula espinal no es solo un lugar de paso para las estructuras del SNC hacia la periferia o viceversa, sino que también es capaz de organizar respuestas por sí sola, por ejemplo, reflejos simples. Los reflejos permiten evaluar clínicamente diferentes segmentos medulares, como:

- Reflejo bicipital: permite evaluar segmentos medulares C5/C6.
- Reflejo tricipital: permite evaluar segmentos medulares C6/C7.
- Reflejo patelar: permite evaluar segmentos medulares L3/L4.
- Reflejo calcáneo: permite evaluar segmentos medulares S1/S2.

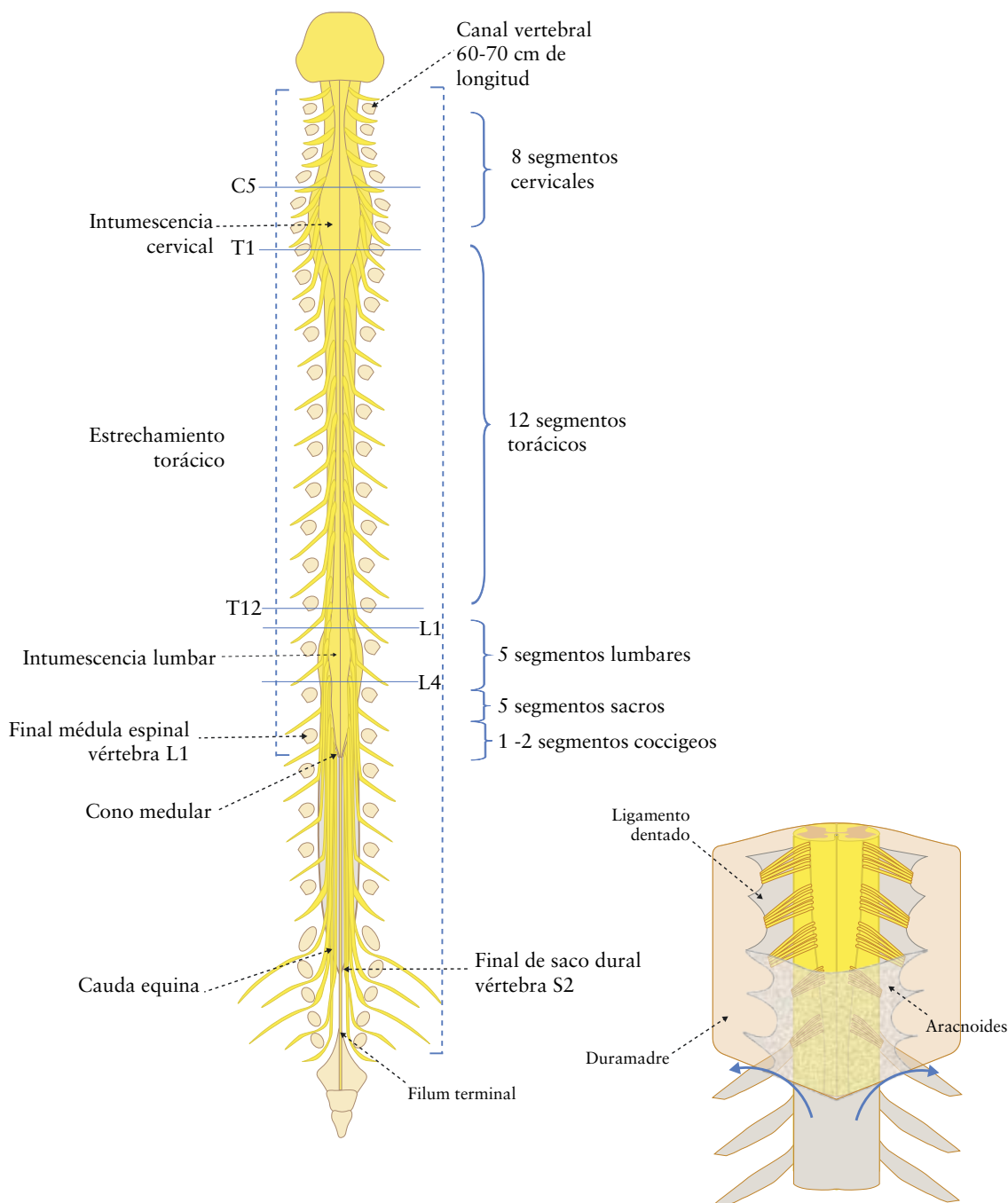
La médula espinal se encuentra contenida en el canal vertebral y protegida por tres cubiertas

denominadas meninges, que son envolturas características del sistema nervioso. En la cabeza la duramadre está firmemente adherida a los huesos del cráneo; mientras en el canal vertebral, esta se encuentra separada del periostio que reviste dicho canal, conformando entre ellos el espacio epidural, en el que encontramos grasa semifluida y plexos venosos que mantienen continuidad con los senos venosos de la duramadre, formando un mecanismo de seguridad para aliviar la tensión intrasinusal, cuando estos senos se encuentran con presión muy alta. Pero a la vez constituyen una posible vía de difusión de procesos infecciosos y tumorales que pueden afectar un segmento vertebral y ser diseminados a la cabeza, vía comunicación venosa. Adherida a la duramadre está la piamadre, y entre duramadre y piamadre la aracnoides.

La médula se mantiene fija en posición por su continuidad craneal con el bulbo, hacia inferior con el filum terminal y ligamento coccigeo que la fijan a la base coxis y lateralmente por los liga-

mentos denticulados, que son prolongaciones de piamadre, alrededor de 30 por lado. Estos fijan en sentido transversal la médula espinal.

FIGURA 46. Esquemas de médula espinal mostrando intumescencias, estrechamientos, ligamento denticulado y coccígeo.

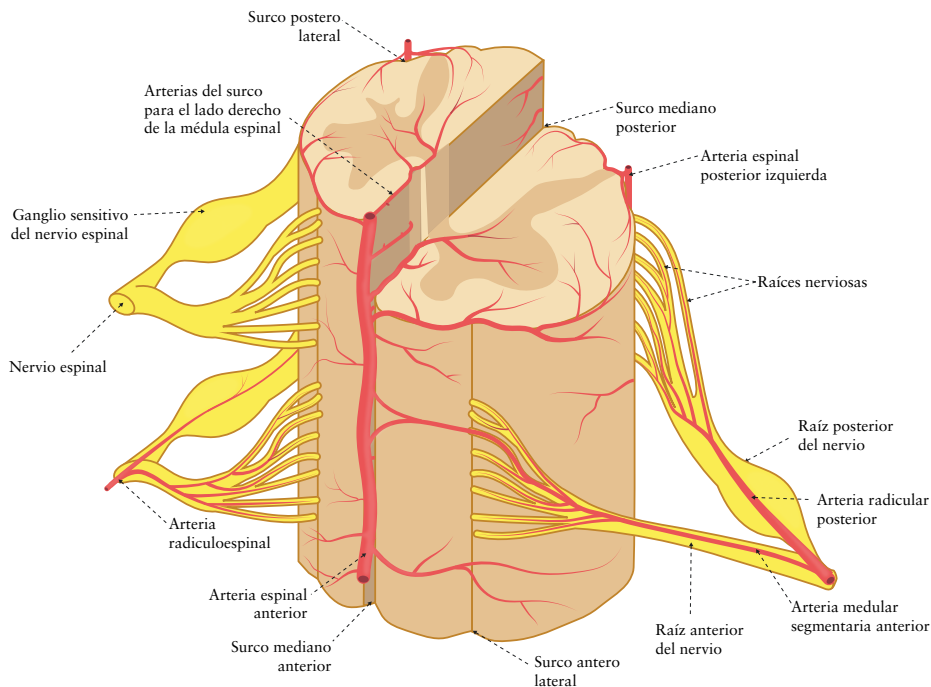


Anatomía macroscópica

En la cara anterior encontramos el surco mediano anterior, de 3-4 mm de profundidad, en donde se aloja la arteria espinal anterior. Hacia

posterior un surco muy poco marcado, el surco mediano posterior, continuado por un septo de células gliales que separa a los cordones posteriores. Este septo llega hasta la zona de sustancia gris en la comisura gris posterior.

FIGURA 47. Esquema de médula espinal con vascularización. Observamos la configuración externa de la médula, nótese cómo las arterias originan ramas que se distribuyen hacia el interior, la irrigación es aportada por arterias espinales anterior y posteriores, así como arterias segmentarias medulares.



Por los surcos anterolateral y posterolateral emergen las raíces de los nervios espinales. Los surcos se constituyen por la unión de los puntos, por donde emergen las raíces, 5 o 6 raíces por cada porción de nervio (figura 47).

En la médula, la sustancia blanca es superficial y la sustancia gris es central. La sustancia blanca se agrupa formando cordones anteriores, laterales y posteriores. Los cordones posteriores se encuentran entre el asta posterior y el tabique medio posterior. En la porción alta de la médula, desde T6 hacia superior se subdivide en fascículo grácil (medial) y fascículo cuneiforme (lateral).

La sustancia gris central se dispone formando dos medias lunas que se unen por una región central y mediana llamada comisura gris. En el centro de esta comisura hay una abertura prácti-

camente virtual que es un vestigio del tubo neural que originó la médula. Anterior a la comisura gris se encuentra la comisura blanca, que sirve como medio de comunicación entre lado derecho e izquierdo de la médula.

La relación entre cantidad de sustancia gris y blanca varía, dependiendo de las regiones en donde nos encontremos (figura 48). En territorios superiores encontramos más sustancia blanca, ya que toda la información ascendente tiene que pasar por los segmentos cervicales. Decimos entonces que la cantidad neta de sustancia blanca aumenta a medida que subimos en los niveles medulares. Vamos a encontrar una mayor cantidad de sustancia gris en los engrosamientos, porque ahí se están originando los plexos, y los nervios que se están originando son principalmente motores, por lo que el asta anterior

se ve muy aumentada de tamaño. La sustancia gris del asta posterior es prácticamente homogénea a lo largo de la médula espinal.

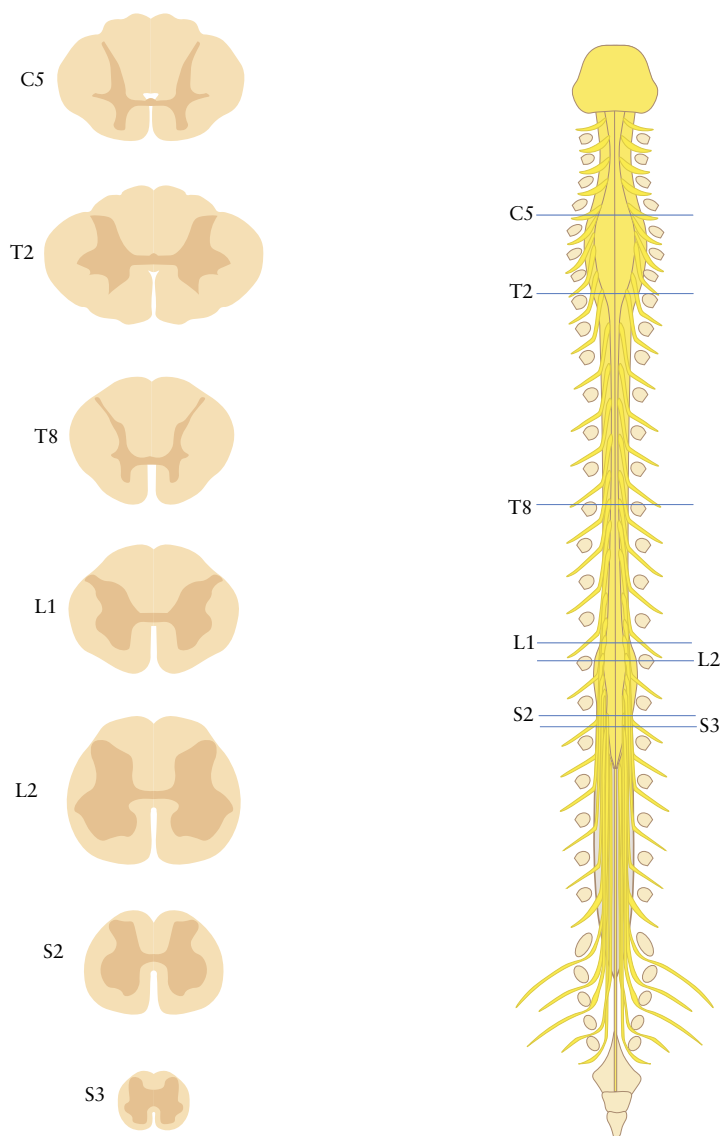
El asta lateral está presente entre C8 y L2, originando el SNA simpático. El parasimpático también tiene un origen medular sacro, en donde no existe asta lateral (S2, S3, S4) pero sí se originan los nervios espláncnicos pélvicos.

En los primeros tres segmentos cervicales, en la región próxima a la base del asta posterior, hay una arborización, una especie de prolongación de la base del asta posterior que corresponde a la sustancia reticular cervical, que después conoce-

remos como núcleo reticular lateral para diferenciarlo de uno que se encuentra en el espesor de la base del asta posterior y que se llama núcleo reticular central. El segmento cervical tiene entonces una estructura que se parece a un asta lateral, pero es menos regular, tiene un extremo y es más estrellada.

En los segmentos torácicos, en la porción de la base del asta anterior próxima a la comisura gris anterior hay un sollevamiento bastante marcado, donde se dispone una columna nuclear (celular) llamada columna dorsal o columna de Clarke.

FIGURA 48. Esquema de diversos segmentos medulares. Muestra la relación entre sustancia gris y blanca.



Configuración interna medular

En un corte transversal se puede observar que la médula espinal consta de una región central, denominada sustancia gris, y una región periférica de aspecto blanquecino, denominada sustancia blanca. La sustancia gris tiene la forma de una H; en su parte media está el canal central de la médula, el que fuera el tubo neural. Por lo tanto, la sustancia gris que está paralela al canal central se denomina sustancia gris intermedia, la más cercana es la sustancia gris intermedia central y el resto es sustancia gris intermedia lateral.

La sustancia gris posee dos cuernos: ventral y dorsal (figura 50). El cuerno anterior presenta una cabeza y una base, mientras que el cuerno posterior tiene una base, un cuello y una cabeza. Esto es muy importante para relacionarlo posteriormente con aspectos funcionales.

La disposición tridimensional de los cuernos anteriores y posteriores conforma verdaderas columnas que recorren la médula espinal, constituyendo las columnas grises anterior y posterior. Los cuernos posteriores, funcionalmente sensitivos, están formados por neuronas sensitivas, que reciben los impulsos que llegan por las raíces posteriores. Los cuernos anteriores, funcionalmente somatomotores, están constituidos por neuronas motoras, cuyos axones salen por las raíces anteriores.

Las columnas grises anterior y posterior de cada lado se encuentran unidas por una banda transversal de sustancia gris: la zona comisural o comisura gris. Justo en medio de la comisura gris se encuentra un pequeño conducto, revestido por epéndimo, que recorre completamente la médula espinal, llamado canal central de la médula espinal. Este conducto suele ser apenas visible, con un diámetro en el adulto de 0,1 mm, y habitualmente ocluido por bridas celulares. Rostralmente, se continúa con el canal central de la mitad caudal de la médula oblongada para luego abrirse paso a la cavidad del cuarto ventrículo. En el extremo inferior de la médula espinal se puede formar una dilatación, que se prolonga hacia el filum terminal (ventrículo terminal). El canal central sirve de referencia para dividir la comisura gris en dos mitades en sentido anteroposterior: la comisura gris anterior y la comisura gris posterior. Entre la comisura gris anterior y la fisura mediana

anterior existe una banda transversal de sustancia blanca, que comunica ambos cordones anteriores: la comisura blanca anterior.

Citoarquitectura de la sustancia gris

Si analizamos la citoarquitectura de la sustancia gris, observaremos neuronas de distinta morfología y tamaño, teniendo diferentes clasificaciones.

Cuerno ventral

En el cuerno ventral se ubican principalmente neuronas motoras grandes (alfa motoneuronas), de forma estrellada y con axón largo (neuronas Golgi-1). Además, existen unas neuronas pequeñas (10-20 um) llamadas gama motoneuronas. Hay otro tipo de neuronas de axón corto, ubicadas en la porción medial del cuerno ventral, que se denominan neuronas inhibitorias o de Renshaw. Las células de Renshaw inhiben las alfa y gama motoneuronas.

Sustancia gris intermedia (SGI):

Está localizada entre los cuernos anterior y posterior. Contiene principalmente neuronas de asociación:

- Intercalares o internunciales (Golgi tipo II): asocian o unen neuronas del cuerno dorsal con el cuerno ventral (del mismo lado). Se denominan también ajustadoras, debido a su capacidad de memoria (son moduladoras).
- Comisurales: conectan neuronas de cuernos de lados diferentes.

Cuerno dorsal

Tiene mayoritariamente neuronas receptoras y neuronas que tienen axón corto. Se activan principalmente por impulsos que entran a la médula a través de las raíces posteriores, donde se encuentra ubicado el ganglio espinal, el cual tiene neuronas pseudounipolares o en T.

Las neuronas pseudounipolares o células en T tienen dos prolongaciones, una de ellas va hacia la periferia y la otra penetra por la raíz posterior.

Su función es transportar el estímulo desde el receptor hacia el cuerno dorsal de la médula.

Por todo lo anterior podemos decir que el cuerno dorsal corresponde a la zona sensitiva de la médula espinal y, además, que estaría actuando como un filtro sensorial de estímulos, dejando pasar solo a algunos a los niveles más altos, mientras que a otros los inhibe o anula.

El cuerno dorsal desde el punto de vista didáctico se puede dividir en:

- **Cabeza:** es la zona más dorsal. Recibe principalmente estímulos exteroceptivos, de estructuras derivadas del ectodermo, como tacto, presión o temperatura.
- **Cuello:** es la región intermedia. Recibe principalmente estímulos provenientes del aparato osteoarticular (propioceptivos) y derivados del mesodermo del embrión.
- **Base:** contiene neuronas que reciben principalmente estímulos interoceptivos, es decir, provenientes de las vísceras derivadas del endodermo.

Cuerno lateral: este cuerno lo encontramos solamente en dos zonas de la médula: en la región torácica (desde C8 y llegando comúnmente hasta L1-L2) aparece este cuerno representando la sustancia gris intermedia lateral, que corresponde a una zona visceral donde se ubica el soma de la primera neurona simpática; y en la región sacra (S2-S3-S4), que representa la ubicación del soma de la primera neurona parasimpática.

Estructura de la sustancia gris (núcleos)

La sustancia gris de la médula espinal está formada por un conjunto de somas neuronales multipolares, neuroglías y vasos sanguíneos. Las neuroglías se encargan de formar una intrincada red que nutre y soporta a las células nerviosas. Existe un número considerable de agrupaciones celulares muy bien definidas:

Núcleos del cuerno ventral:

Sus neuronas tienen funciones motoras y sus axones forman parte de las raíces anteriores de la médula espinal. La mayoría de las neuronas de las colum-

nas grises anteriores son multipolares, con grandes prolongaciones y abundantes cuerpos de Nissl.

- **Alfa motoneuronas:** sus axones eferentes alfa controlan las fibras musculares extrafusales, que tienen que ver con la contracción de los músculos estriados y con la movilización de segmentos corporales. Además, forman las raíces anteriores de los nervios espinales.
- **Gamma motoneuronas:** sus axones eferentes gamma son las prolongaciones de las neuronas multipolares más pequeñas del cuerno ventral e inervan la parte interna del huso muscular (fibras intrafusales), controlando por tanto el tono muscular.

Los núcleos del cuerno ventral los podemos dividir en dorsales y ventrales:

- **Núcleos dorsales:** controlan los músculos flexores.
- **Núcleos ventrales:** controlan los músculos extensores.

A su vez, los grupos celulares se pueden dividir en:

- **Grupos mediales:** inervan la musculatura axial.
- **Grupos laterales:** inervan los músculos del esqueleto apendicular. Esto explica la prominencia del cuerno ventral en los segmentos que originan los plexos braquial y lumbosacro. Los grupos celulares que inervan la musculatura proximal de las extremidades se disponen medialmente, mientras los que inervan la musculatura distal lateralmente. Esta es la razón que explica la existencia de lesiones que producen parálisis de un grupo muscular sin afectar a otro.

En resumen, podemos decir que en la zona donde se presentan las intumescencias encontramos seis núcleos en el asta ventral de la médula.

En la zona situada entre las dos intumescencias (médula torácica) encontramos solo dos núcleos:

- **Núcleo motor ventrolateral:** situado lateralmente, destinado a inervar los músculos laterales y ventrales del tronco.
- **Núcleo motor ventromedial:** situado medialmente, de cuyas neuronas parten fibras destinadas a inervar los músculos dorsales del tronco.

Entre estos grupos de núcleos mediales y laterales también es posible observar unos núcleos centrales que se intercalan entre los anteriores.

Grupo central: es el más pequeño y se encuentra en algunos segmentos cervicales y en los lumbosacros.

En los segmentos cervicales C3, C4 y C5 se encuentra el núcleo frénico que da la inervación del diafragma. En los cinco o seis segmentos cervicales superiores se forma el núcleo para la raíz espinal del nervio accesorio (XI), el cual proporciona la inervación a los músculos esternocleidomastoideo y trapecio. Entre los segmentos L2 y primeros sacros se encuentra el núcleo lumbosacro, cuyos axones tienen una distribución aún no conocida.

Núcleos de los cuernos dorsales:

Tiene neuronas que reciben estímulos nerviosos que entran a la médula a través de las raíces posteriores. Por ejemplo, aquí es posible observar una disposición de los núcleos en sentido más bien dorso ventral, donde se alinean los siguientes núcleos:

- Núcleo marginal (lámina I) exteroceptivo
- Sustancia gelatinosa (lámina II): está formada por pequeñas neuronas Golgi tipo II distribuidas en una red neuroglial. Es sinaptada por neuronas que son amielínicas. Recibe estímulos exteroceptivos que vienen por las raíces posteriores, entre ellos, de dolor y temperatura (estímulos termoalgésicos). Se ubica en la cercanía de los vértices de los cuernos posteriores a lo largo de la médula espinal, constituyendo un componente notable en C1 y C2 que se continúa hacia rostral con núcleo espinal del trigémino. Este núcleo recibe impulsos de la raíz sensitiva del nervio trigémino.
- Núcleo propio (lámina III y IV): se ubica más ventral que la sustancia gelatinosa. Este núcleo recibe también estímulos exteroceptivos.
- Núcleo dorsal o torácico (lámina V y VI): también se denomina núcleo dorsal o columna de Clarke. Se ubica en la porción medial de la base del cuerno posterior desde el segmento medular C8 hasta L3 o L4. Este núcleo recibe estímulos propioceptivos desde los husos musculares y tendinosos.

- Núcleo intermediolateral: formados por neuronas que se encuentran ubicadas lateralmente al núcleo torácico. Están presentes desde los segmentos torácicos hasta el segmento L3, conformando el cuerno lateral de la médula espinal. Se relacionan con la recepción de información visceral aferente que transita por las raíces posteriores. Desde estos núcleos se proyectan axones que acompañan a las fibras de las neuronas somatomotoras, que constituyen la raíz anterior de la médula espinal.

Núcleos y grupos celulares

La nomenclatura para denominar a los cúmulos de neuronas con función determinada fue por mucho tiempo poco clara, por lo que fue muy útil que Rexed, a mediados del siglo pasado, hiciera una descripción de la citoarquitectura de la médula espinal de gato. Analizó cortes de médula teñidos para mielina y se dio cuenta de que había poblaciones de neuronas que compartían características y tenían aspecto similar y las agrupó formando la laminación de Rexed, que fue corroborada en el ser humano y hoy es ampliamente utilizada. Se describen diez láminas en la sustancia gris de la médula. Allí encontramos neuronas que se originaron de neuroblastos de la capa del manto y que originan neuronas que se clasifican en dos tipos, de acuerdo a su comportamiento neuroanatómico: a) neuronas radicales y b) neuronas columnares.

- Neuronas radicales: originan exclusivamente raíces nerviosas anteriores. Se ubican en regiones del asta anterior y lateral, es decir, son neuronas motoras somáticas y motoras viscerales (figura 49).
Las raíces posteriores se originan por el axón central de la neurona ganglionar. Las neuronas de la raíz posterior no son originadas en la médula espinal, son aferencias de la médula. Entonces el nervio espinal tiene un doble origen: del tubo neural (neuronas radicales) y de las crestas neurales (axón central de la neurona ganglionar).
- Neuronas columnares: son aquellas que están destinadas a originar columnas, vías, tanto ascendentes como descendentes, y son las que van

a recibir la información procedente de las células ganglionares (raíces dorsales) y que originarán vías que ascienden o descienden en la médula a través de columnas de sustancia blanca, las que constituyen cordones de sustancia blanca medular. Los axones de estas neuronas columnares podrán comportarse de distinta forma:

b.1) *Neuronas centrales*. Golgi tipo I (prolongaciones largas)

Son neuronas cuyas prolongaciones se dirigen hacia pisos superiores del SNC, generando grandes vías. Por ejemplo, podrán ascender hasta el tálamo y originar una vía espinotalámica o podrán ascender hasta el bulbo y originar un fascículo grácil o cuneiforme que asciende por la sustancia blanca medular.

b.2) *Neuronas comisurales*. Golgi tipo II (prolongaciones cortas)

Son aquellas que cruzan de un lado a otro la médula, es decir, unen territorios homólogos de sustancia gris. Son neuronas comisurales de la médula.

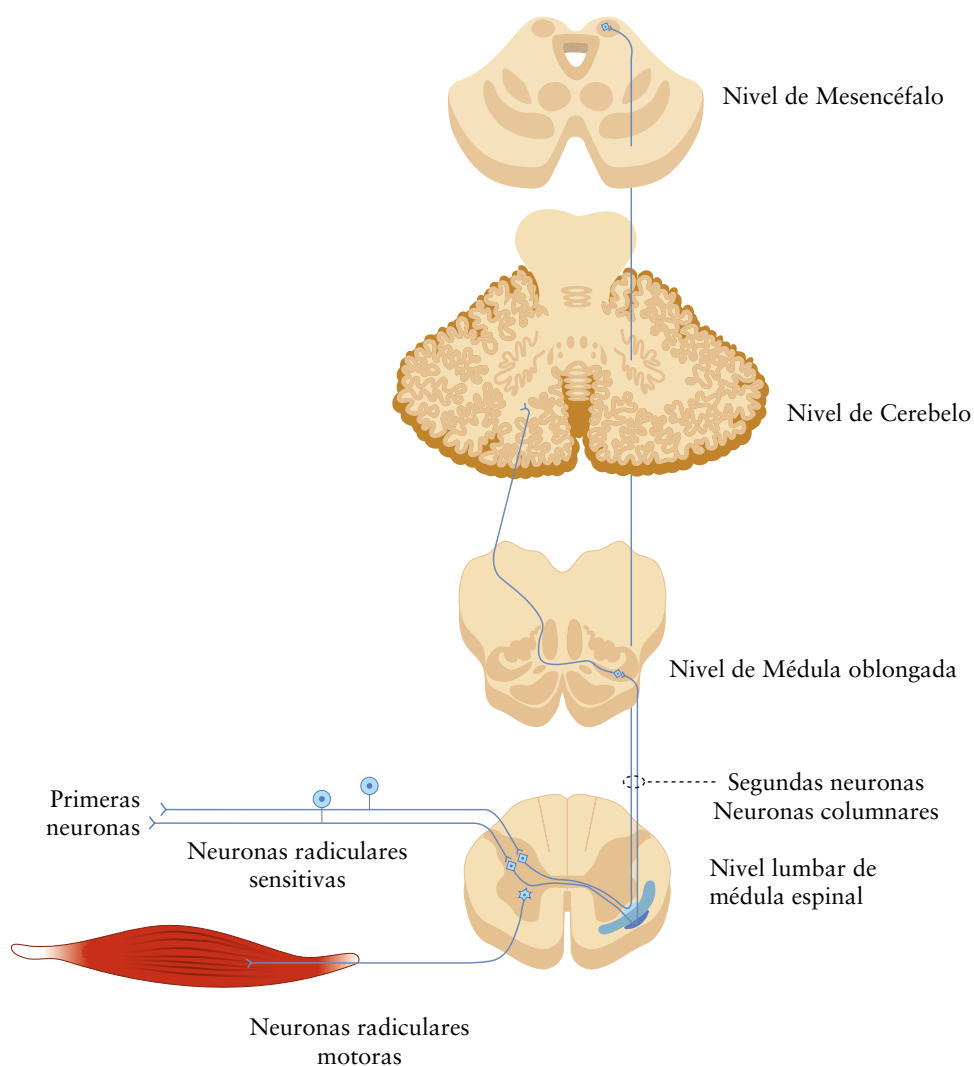
b.3) *Neuronas internunciales o interneuronas*. Golgi tipo II

Sus proyecciones unen las distintas láminas de un mismo segmento.

b.4) *Neuronas intersegmentarias*. Golgi tipo I

Neuronas que abarcan más de un segmento. Generalmente unen una misma lámina en segmentos distintos. Por ejemplo, pueden ir de la lámina II del segmento T3 a la lámina II del segmento medular C8.

FIGURA 49. Esquema de neuronas radicales y columnares. Nótese la dirección de las distintas neuronas.



Tipos de sensibilidad

Antes que podamos comprender la laminación de Rexed y las vías ascendentes debemos aclarar las categorías de sensibilidad. Los neurólogos hablan de dos tipos de sensibilidad: consciente e inconsciente. La primera se percibe en la corteza cerebral, mientras que la segunda lo hace a través del cerebelo.

Sensibilidad consciente

Existen dos tipos de sensibilidad consciente: exterocepción y propiocepción. La primera procede del mundo externo e impacta en receptores somáticos de la superficie corporal o en telerreceptores de la vista o audición. La sensibilidad somática incluye tacto, presión, calor, frío y dolor.

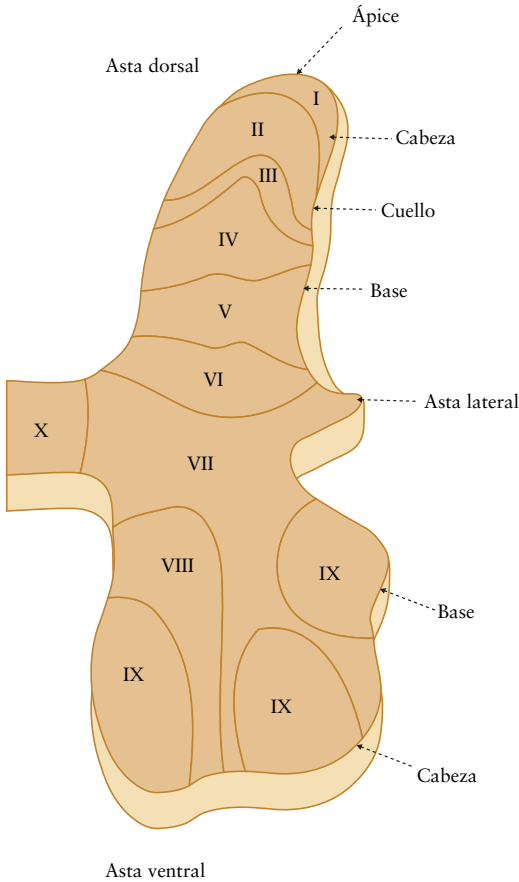
La sensibilidad propioceptiva consciente se

origina en el interior del organismo y los receptores involucrados pertenecen al sistema locomotor y al sistema vestibular. Las vías que lo registren se dirigirán a la corteza cerebral y formarán el sustrato para el sentido de la posición (estático) y sentido cinético durante el movimiento.

Sensibilidad inconsciente

También existen dos tipos. La propiocepción inconsciente es la información aferente que llega al cerebelo a través de las vías espinocerebelosas que se detallan más adelante. Esta información es fundamental para la coordinación motora suave. Otro tipo de sensibilidad inconsciente es la interocepción, que hace referencia a las señales aferentes inconscientes implicadas en los reflejos viscerales.

FIGURA 50. Esquema de laminación de Rexed mostrando las porciones de las astas; ápice, cabeza, cuello y base para el asta dorsal; cabeza y base para el asta ventral.



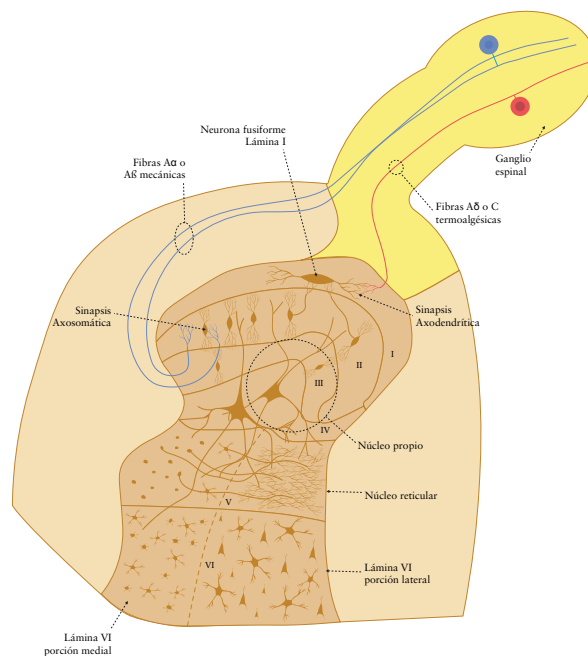
Laminación de Rexed

En la sustancia gris medular podemos distinguir diez láminas, es decir, diez poblaciones celulares con características diferenciables. Estas láminas se identifican con números romanos y se agrupan de la siguiente manera (figura 50):

- de la lámina I a la VI pertenecen al asta posterior
- la lámina VII constituye la denominada zona intermedia
- las láminas VIII y IX corresponden al asta anterior
- la lámina X corresponde a la zona de la comisura, alrededor del conducto central de la médula.

El asta posterior o cuerno dorsal se subdivide en tres regiones: una *cabeza*, que presenta un vértice llamado ápice o ápex; un *cuello*, que es la región más estrecha; y una *base*, que la comunica con la zona intermedia entre los cuernos. La lámina I se ubica en el ápice, las láminas II, III y IV se encuentran en la cabeza, la lámina V corresponde al cuello, y la lámina VI a la base. El cuerno ventral o asta anterior solo presenta una cabeza y una base.

FIGURA 51. Esquema de la organización celular en la asta posterior. Nótese la relación que establecen las aferencias A δ y C con las neuronas de la lámina I, y las A α y A β con las interneuronas de la lámina II.



Estas diez láminas no son homogéneas a lo largo de la médula; dependiendo del segmento pueden variar de tamaño, por ejemplo, la lámina VIII es más grande en los segmentos de los engrosamientos. En algunos segmentos prácticamente puede desaparecer alguna de las láminas.

Tracto dorsolateral

Pequeña banda de sustancia blanca que se ubica superficial al ápice del cuerno posterior. En ese punto ingresan y proyectan todas las aferencias que recibe la médula a través de la raíz posterior, es decir, los axones centrales de las neuronas ganglionares van a atravesar esta zona del tracto dorsolateral y allí sus axones no se introducen inmediatamente al asta posterior que tiene en ese segmento, sino que se divide en ramos ascendentes largos y descendentes cortos y una pequeña parte se proyecta en ese segmento. De modo que el nervio torácico 6, su raíz dorsal, se va a proyectar al segmento medular T6 y va a subir hasta C8 y descender hasta T10. Los nervios entonces no son tan segmentarios. Si todos hacen esto significa que la información se va integrando de manera plurisegmentaria a muchos niveles de la médula a la vez.

Lámina I

Es la lámina más superficial, llamada por esto lámina marginal. Se encuentra dispuesta ocupando todo el ápice del asta posterior y en ella se encuentran neuronas fusiformes (alargadas y con una porción central ancha) que se ubican en sentido paralelo a la superficie del ápice del asta posterior. En esta zona las neuronas reciben dos tipos de aferencias (figura 51):

- Aferencias que vienen directo desde la raíz dorsal y que ingresan vía tracto dorsolateral a la porción ventrolateral del cuerno posterior para sinaptar con las neuronas fusiformes de esta lámina de manera axodendrítica. Estas aferencias son de dos tipos: fibras A δ y fibras C.
- El otro tipo de aferencia lo reciben por medio de células que se encuentran en la lámina II, cuyos axones atraviesan la lámina II y sinaptan con las neuronas fusiformes de la lámina I de manera axosomática.

Aferencias de la lámina I

Las prolongaciones de las neuronas que llevan información termalgésica (dolor y temperatura) ingresan por la porción ventrolateral del cuerno posterior para sinaptar con las neuronas fusiformes de la lámina I.

Las prolongaciones de las neuronas ganglionares que llevan información táctil discriminativa y de propiocepción consciente (fibras A α y A β) ingresan por el surco dorsolateral y atraviesan el tracto dorsolateral, pero ingresan al asta posterior por la porción dorsomedial y no sinaptan inmediatamente con las neuronas de la lámina I, sino que van a ir en busca de las neuronas de la lámina II, las que finalmente sinaptan con las células fusiformes.

Aferencias de la lámina I

Las neuronas aferentes termalgésicas que sinaptan con las neuronas fusiformes de manera axodendrítica originan una vía que recorre la sustancia gris, luego emerge de la sustancia gris, cruzan la comisura blanca anterior y ascienden

como fascículo espinotalámico lateral por el cordón lateral para llegar al tálamo, es decir, son neuronas de tipo columnares centrales Golgi tipo I.

Además, la neurona fusiforme de la lámina I puede generar comunicaciones con otras láminas de la médula, como las láminas VIII y IX motoras que requieren recibir información de dolor y temperatura. La lámina VIII regula la función motora y la IX ejecuta el acto motor. En este caso la neurona fusiforme actúa como neurona columnar, comisural si pasa hacia el otro lado, interneurona si se queda en el mismo lado o intersegmentaria si además se desplaza por los segmentos. Desde el punto de vista didáctico son neuronas que actúan como neuronas internunciales o interneuronas.

El hecho de que exista diferencia en el tipo de sinapsis, axodendrítica o axosomática, de la célula fusiforme de la lámina I determina un modo de modulación de esas sensaciones. La información termalgésica viaja desde la zona donde existe un daño tisular a través de una terminación periférica, una neurona pseudounipolar que descarga y genera un potencial de acción, esta neurona entra a la médula por la porción ventrolateral y sinapta de manera axodendrítica. Esta sinapsis es pobremente modulada, es decir, la tendencia de esta estimulación es generar una vía, ya sea central, que va a informar a pisos superiores del SNC, o segmentaria, informando a otras láminas del mismo segmento medular, y esto es para integrar reflejos. La modulación de las sensaciones de dolor y temperatura se realiza gracias a la otra aferencia que viene de la neurona ganglionar por fibras tipo A α y A β , que son neuronas mielinizadas gruesas con una importante velocidad de conducción. Las vías táctiles discriminativas, propioceptivas y de presión desencadenan un impulso nervioso que ingresa por la porción dorsomedial de la sustancia gris, atraviesa la lámina IV y III sin sinaptar en ellas, y llega a la lámina II, estimulando a sus neuronas para que sinapten de manera axosomática con las neuronas fusiformes de la lámina I hiperpolarizándolas, es decir, elevando su umbral de estimulación con lo que las sensaciones de dolor y temperatura son moduladas a un nivel segmentario. Conocer este mecanismo dio origen a una teoría llamada Teoría de la compuerta o *Gate control*.

Lámina II

En la lámina II hay neuronas más pequeñas que las de la lámina I, que son multipolares y se disponen de manera radiada, es decir, perpendiculares a las neuronas fusiformes y a la superficie del asta posterior. Estas neuronas reciben aferentes principalmente de los axones que ingresan por la porción dorsomedial del cuerno dorsal. Estos axones ingresan por el surco dorsolateral, atraviesan el tracto dorsolateral y de inmediato se introducen en el cordón posterior y desde allí ingresan al nivel de la lámina IV, recorren la lámina IV y la III sin sinaptar en ellas y llegan a la lámina II.

Otras aferencias provienen de láminas más profundas de la médula (III y IV), recibe influencias contralaterales y suprasegmentarias desde la sustancia reticular bulbar del tronco encefálico, generando vías retículoespinales, de los colículos generando vías tectoespinales, desde el sistema límbico generando vías como el fascículo longitudinal medial, vías que descienden hasta la médula y estimulan las neuronas de la lámina II, modulando de esa manera el dolor desde niveles superiores. De esta manera se inhibe el dolor con la estimulación hipnótica, estimulación aromática, acústica, estimulación de tipo interpersonal. Las eferencias que emiten las neuronas de la lámina II son hacia las células fusiformes, a las láminas III y IV, y hacia la lámina II de otros segmentos.

La lámina II es conocida como sustancia gelatinosa por el aspecto que dan sus neuronas.

Lámina III

Zona de menor densidad neuronal. Son células fusiformes, pequeñas, estrelladas y multipolares que se disponen formando nexos entre las neuronas grandes de la lámina IV. Son neuronas ínter laminares (figura 51).

Lámina IV

Compuesta por grandes neuronas multipolares, estrelladas o piramidales con gran cantidad de prolongaciones dendríticas. Junto a las células de la tercera lámina constituyen el llamado núcleo propio.

Aferencias:

- Las neuronas de las láminas III y IV que reciben algunas colaterales desde neuronas pobremente mielinizadas de tipo Aδ que ingresan a la sustancia gris vía porción dorsomedial, llevando información táctil no discriminativa.
- Desde otras láminas del asta posterior.

Eferencias:

- Constituyen una vía de tacto no discriminativo que se introduce al cordón lateral, pasando antes por la comisura blanca anterior, constituyendo el fascículo espino talámico anterior.

Lámina V

Formada por neuronas estrelladas de pequeño tamaño y escasa densidad. Se dividen en un grupo lateral y otro medial. Son interneuronas que se comunican con regiones del asta anterior, es decir, neuronas de integración.

Lámina VI

También se encuentra subdividida en un segmento lateral y otro medial. Es notable a nivel cervical, porque en este punto origina proyecciones dentadas hacia lateral que corresponden al núcleo reticular lateral. La sustancia reticular es una red de interneuronas ampliamente comunicadas, continua a lo largo del SNC. Tiene como función generar una activación difusa del sistema, participando en los procesos de alerta y de vigilia. Se encuentra fundamentalmente en las láminas VI y X de la médula.

En la lámina VI se originan dos núcleos:

- uno que protruye hacia lateral, llamado *núcleo reticular lateral* a nivel cervical;
- otro que protruye hacia medial, llamado *núcleo reticular central*, que se encuentra en segmentos cervicales inferiores.

FIGURA 52. Esquema laminación de Rexed, astas anterior. Nótese que en los subnúcleos que forma la lámina IX se encuentran tanto alfa como gama motoneuronas.

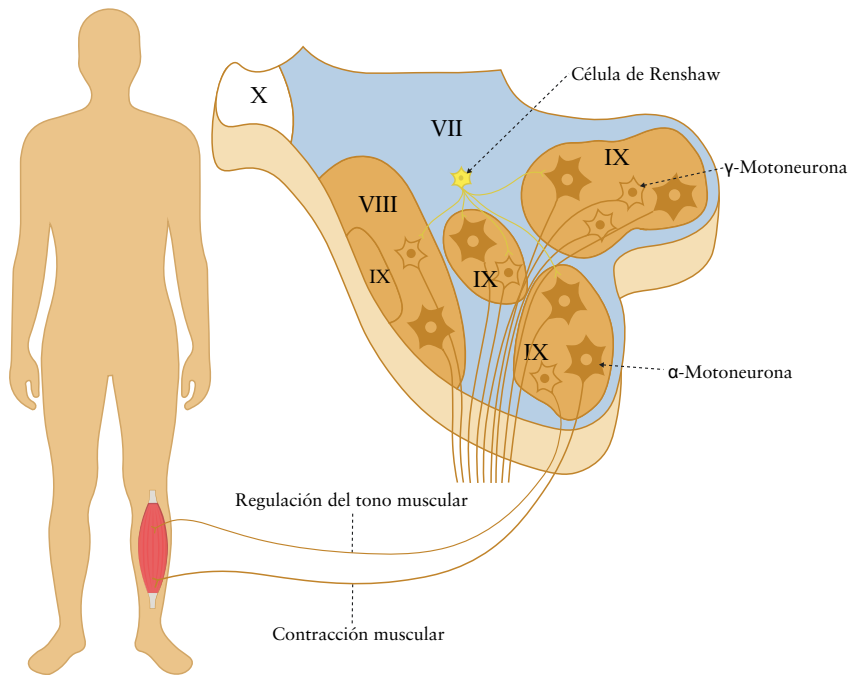


Lámina VII

Tiene un desarrollo distinto en los diferentes niveles medulares.

En la región cervical es poco desarrollada, mientras que en la región torácica alcanza su máximo desarrollo, subdividiéndose en tres núcleos:

- *Núcleo intermedio medial* (viscerosensitivo): se encuentra en la base del asta anterior, próxima a la comisura. Recibe las aferencias sensitivas desde territorios viscerales, ya que este núcleo deriva de los neuroblastos que se encontraban por dorsal del surco limitante. Luego se proyecta vía cordón posterior hasta el núcleo intermedio medial.

Las eferencias de este núcleo son:

- Vía del dolor espino reticular, específica y que llega a todos los niveles del SNC.
- A nivel segmentario, comunicándose con neuronas de la lámina VII en el núcleo intermedio lateral, para realizar respuestas reflejas viscerales que no requieren llegar a la corteza.

- *Núcleo intermedio lateral* (visceromotor): se encuentra lateral al núcleo intermedio medial, a lo largo de toda la médula espinal. Encontramos neuronas grandes, colinérgicas, eferentes viscerales generales (muskulatura lisa de vísceras), que pueden ser:
 - los cuerpos de las neuronas preganglionares del SNA simpático (asta lateral de C8 a L2), o
 - los cuerpos de las neuronas preganglionares del SNA parasimpático (S2, S3 y S4) que originan los nervios espláncnicos pélvicos.

Por lo tanto, el asta lateral va a ser una parte del núcleo intermedio lateral que es más grande entre los segmentos C8 y L2.

- *Núcleo dorsal o torácico de Clarke*: se encuentra en el ángulo que forma la base del asta anterior con la comisura. Está más desarrollado a nivel de la región torácica. Recibe información procedente de las articulaciones (husos neuromusculares y receptores órgano tendinosos) que informan acerca de la posición corporal. En este punto se origina un tracto que cruza a través de la comisura blanca anterior, el

fascículo espinocerebelar dorsal, que se va a comunicar con el cerebelo a través de los pedúnculos cerebelares. Este tracto ocupa el cordón lateral de la médula.

En resumen, la zona intermedia, por lo tanto, va a recibir fibras viscerales y propioceptivas. Por otro lado, va a emitir fibras visceromotoras que salen por la raíz anterior. En esta raíz, van a ir neuronas motoras somáticas y motoras viscerales. A través de las proyecciones eferentes del núcleo dorsal de Clarke, va a originar también una vía ascendente llamada espinocerebelar dorsal.

Lámina VIII

Pertenecen al cuerno ventral. La lámina VIII está poco desarrollada si se compara con la lámina IX. Se ubica en la porción medial del cuerno ventral, formando un núcleo alargado que ocupa gran parte de la región medial de esta asta. A través de ella se genera modulación de las neuronas motoras de la lámina IX. La vía corticoespinal que desciende desde la corteza a la médula llega en gran medida a la lámina VIII, para que desde esta salga la modulación sobre la lámina IX (figura 52).

La mayor parte de la vía corticoespinal que es consciente (vía piramidal) llega a la lámina VIII y el resto a la lámina IX. Por otro lado, casi el 100% de la información de la vía extrapiramidal llega a la lámina VIII de manera directa.

Lámina IX

La función de la lámina IX es motora. En ella encontramos neuronas muy grandes que recuerdan a las neuronas de la corteza cerebral, que también son motoras y que tienen forma piramidal y son multipolares.

Las neuronas de la lámina IX son motoras efectoras y existen de dos tipos: unas destinadas a los músculos estriados esqueléticos, llamadas fibras eferentes alfa, más conocidas como alfa motoneuronas; y otras destinadas a inervar a la musculatura que se encuentra en el interior de los husos neuromusculares, llamadas fibras intrafusales eferentes gamma, más conocidas como gamma motoneuronas. Las que se encuentran en mayor cantidad son las alfa motoneuronas, ya

que la proporción de fibras musculares extrafusales es bastante mayor que las fibras intrafusales. Cada neurona motora, cada alfa motoneurona va a inervar a un grupo de fibras musculares, el conjunto de una alfa motoneurona más todas las fibras musculares que están siendo inervadas por ella se llama unidad motora. En la médula se van a encontrar los cuerpos de las alfa motoneuronas que constituyen las unidades motoras de los músculos estriados del organismo. Las unidades motoras de los músculos intercostales son grandes, ya que no requieren realizar movimientos precisos; la fineza del movimiento es pobre cuando la unidad motora es grande. Las unidades motoras destinadas al músculo aductor del pulgar son pequeñas, alrededor de una alfa motoneurona por cada 10 fibras musculares.

Las neuronas de la lámina IX se encuentran ordenadas en el cuerno ventral formando subnúcleos, de modo que las neuronas que se encuentran más cerca de la línea media inervan musculatura axial, y a medida que se alejan de la línea media inervan musculatura más distal. Así también, las alfa motoneuronas que constituyen unidades motoras para músculos extensores se ubican más anteriores, mientras que para los músculos flexores se ubican más posteriores.

En la lámina IX vamos a encontrar seis subnúcleos:

- Grupos mediales: anteromedial y postero-medial
- Grupos centrales: central y central anterior
- Grupo laterales: anterolateral y postero-lateral

En el segmento entre C7, C8, T1, donde se origina la inervación para la musculatura distal, por ejemplo, para la mano, vamos a tener un séptimo núcleo que pertenece al grupo lateral y que se denomina retroposterolateral. Entonces la musculatura de la mano, fundamentalmente la musculatura flexora de la mano, aquella que nos permite realizar movimiento de pinza, va a tener su inervación originándose en las alfa motoneuronas de este subnúcleo.

Lámina X

Esta zona corresponde a la sustancia gris que rodea al conducto central de la médula, por lo que no pertenece al asta anterior ni a la posterior. Morfológicamente está constituida por una gran cantidad de pequeñas neuronas relacionadas con funciones endorfinérgicas.

Médula en los distintos niveles

Médula cervical

En este segmento encontramos cerca de la base, proyectándose, el núcleo reticular lateral con unas especies de digitaciones que sobresalen hacia lateral. Esto es característico de los cuatro primeros segmentos cervicales. Existe además una zona gelatinosa (lámina II) muy amplia. En la zona intermedia de la lámina VII no hay asta lateral, pero sí existe núcleo intermedio lateral, núcleo intermedio medial. El núcleo dorsal prácticamente no se insinúa en esta región cervical.

Médula torácica

Su principal característica es la presencia del asta lateral, constituida por el núcleo intermedio lateral de la lámina VII en donde encontramos neuronas visceromotoras, neuronas preganglionares del sistema nervioso autónomo simpático. También se caracteriza porque la cantidad de sustancia gris es bastante menor, hay un amplio tracto dorsolateral, muy delgado y alargado. En esta

zona se visualiza una eminencia bastante importante que corresponde al núcleo dorsal de Clarke.

Médula lumbar

El cuerno ventral se engruesa. La zona gelatinosa vuelve a expandirse, sin embargo, la proporción entre sustancia gris y sustancia blanca es bastante menor comparada con la zona cervical.

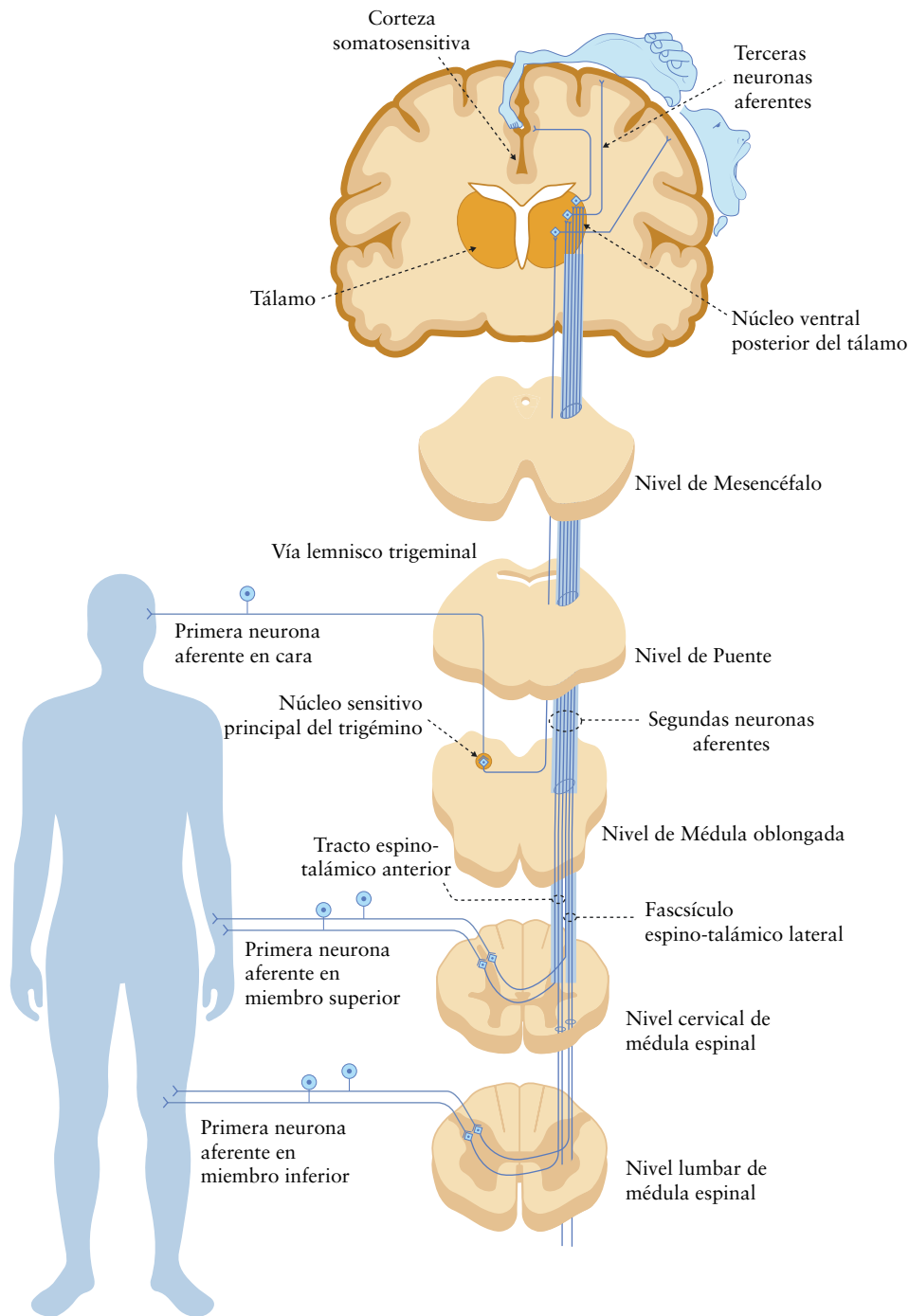
Haces medulares ascendentes

En la médula tenemos dos grandes divisiones para la sustancia blanca: vías ascendentes y vías descendentes. Las ascendentes tienen que ver con información que recogemos desde el mundo exterior, es informada hacia pisos superiores del sistema nervioso central y eso lo hace la médula espinal, principalmente a través de dos grandes sistemas:

El *sistema anterolateral*, constituido por el tracto espinotalámico lateral y el tracto espinotalámico ventral (figura 53). El espinotalámico lateral lleva información termoalgésica, mientras que el espinotalámico ventral lleva información táctil no discriminativa.

El *sistema de la columna dorsal lemnisco medio* (figura 54), constituido por el cordón posterior de la médula y que desde T6 hacia superior se subdivide en fascículo grácil y cuneiforme. Este cordón posterior lleva información de tipo táctil discriminativa y de propiocepción consciente, la proveniente del tórax y miembros inferiores ascienden por el fascículo grácil mientras que la información del cuello y los miembros superiores lo hacen a través del fascículo cuneiforme.

FIGURA 53. Vía espinotalámica. Sistema anterolateral.



Otro sistema de vías ascendentes lo constituyen las vías espinocerebelares ventral o cruzada y las vías espinocerebelares dorsal o directa (figura 55). Se originan de neuronas de la sustancia gris, el espinocerebelar dorsal de neuronas de la lámina VII, del núcleo dorsal de Clarke, y el espinocerebelar ventral de varios segmentos las

láminas IV, V y también puede ser de la lámina VIII, de modo que decimos que tiene un origen inespecífico.

Los sistemas espinotalámico ventral y lateral también se originan de la sustancia gris de la médula, el lateral de las neuronas de la lámina I y el ventral de las neuronas de lámina III, del núcleo

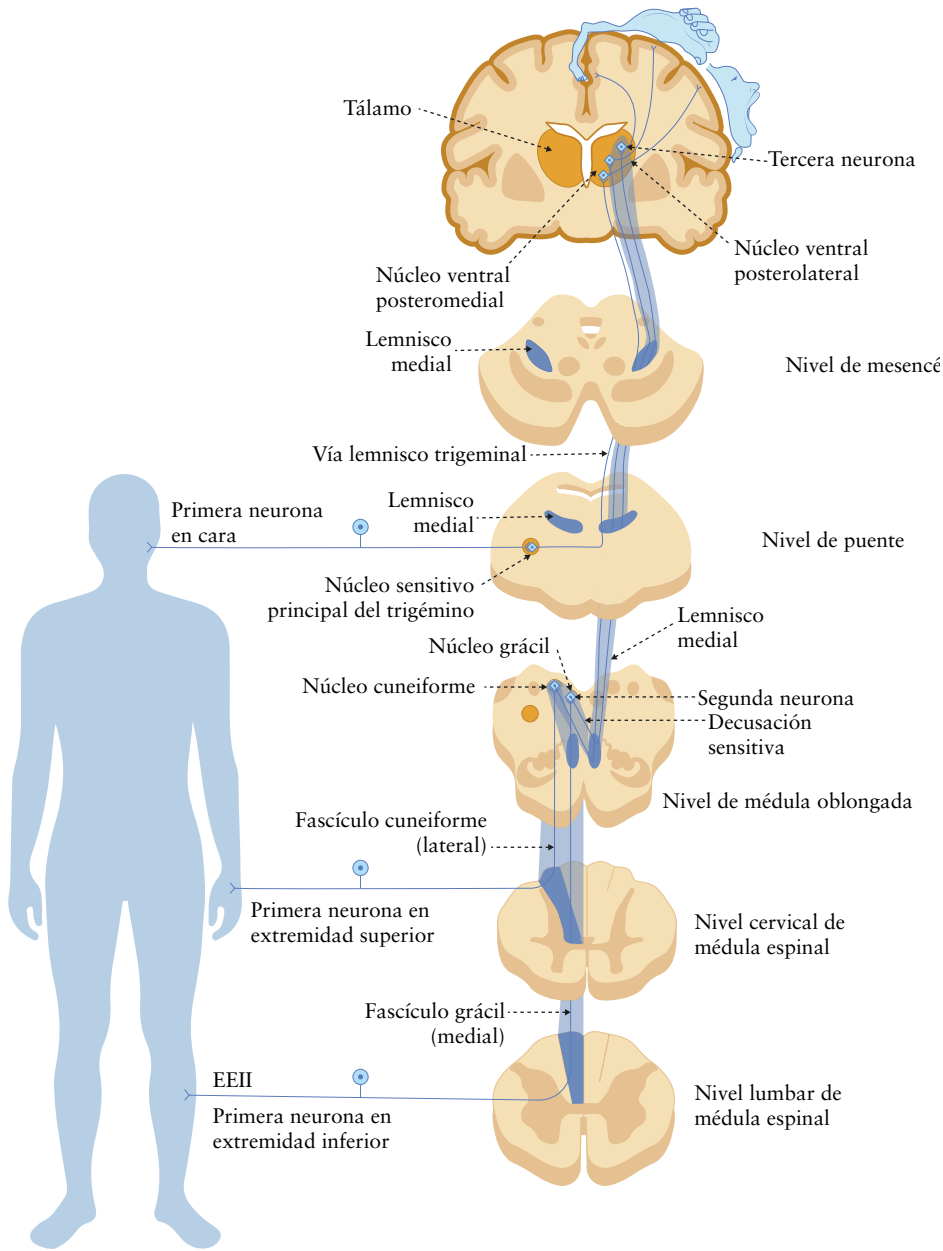
propio. Mientras que las neuronas de la columna dorsal no sinaptan en la médula, por tanto, no se origina de neuronas que se encuentran en la médula.

El sistema anterolateral está constituido por los axones de segundas neuronas, mientras que el sistema de la columna dorsal está compuesto por axones de primeras neuronas que tienen su cuerpo ubicado en los ganglios.

El cuerpo de los receptores de temperatura o termoalgésicos se encuentra en el ganglio sensi-

vo, la prolongación central de esta célula ingresa a la médula por el surco dorso lateral incorporado en la raíz posterior, luego sinapta con la neurona fusiforme de la lámina I ingresando por la porción ventrolateral. Esta neurona sinapta y se cruza por la comisura blanca anterior dirigiéndose al cordón lateral contralateral y se curva hacia superior, siguiendo al cordón y constituyendo el tracto espinotalámico lateral.

FIGURA 54. Vía de la columna dorsal-lemnisco medial.

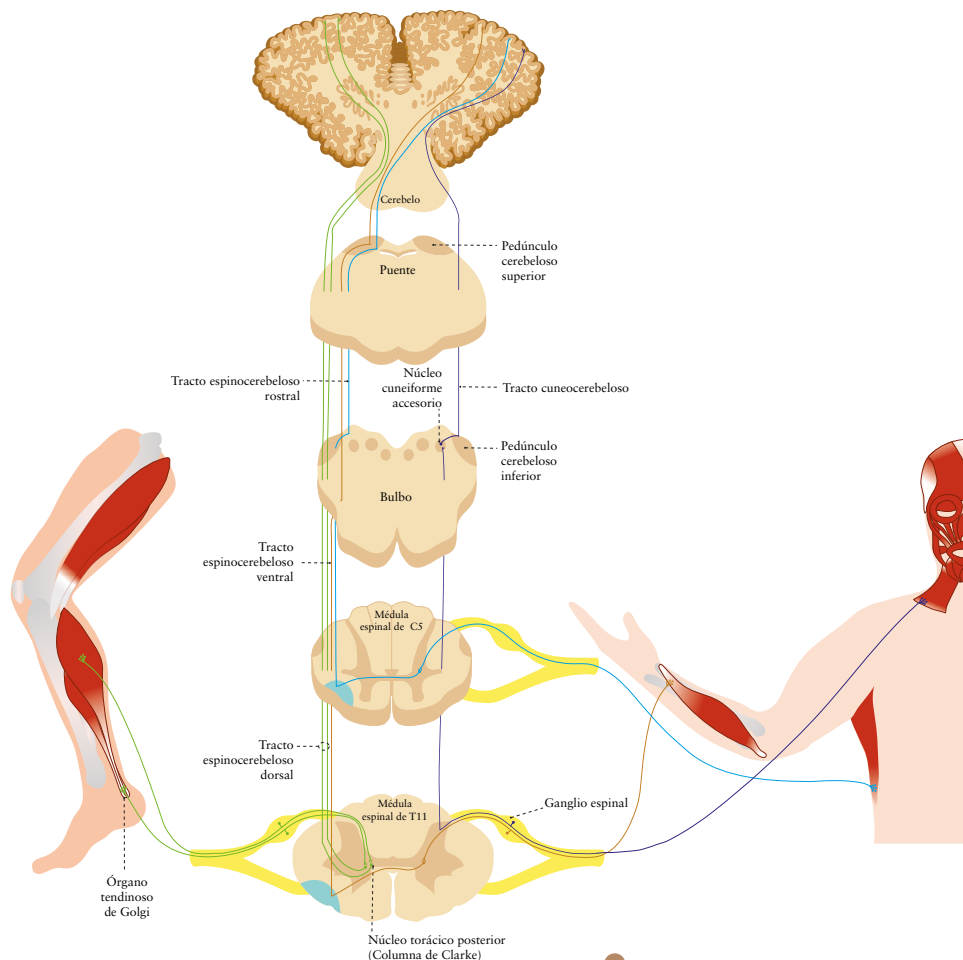


Los receptores órgano tendinosos de estiramiento, capsulares de las articulaciones, también están formados por neuronas pseudounipolares que tienen su cuerpo en el ganglio e ingresan por la raíz posterior de la médula, precisamente hacia el cordón posterior, pasando por la porción dorsomedial al asta posterior y luego va a ingresar cercano a la base del asta posterior en donde sinapta con la lámina VII, específicamente con el núcleo de la columna dorsal o de Clarke. Desde ahí sale una segunda neurona ascendente que se introduce al cordón lateral ipsilateral, formando un fascículo alargado que llega a situarse en relación con el tracto dorsolateral y que constituye el tracto espinocerebelar dorsal o directo (por ser ipsilateral). Este asciende recorriendo toda la médula y bulbo y luego ingresa al cerebelo por el pedúnculo cerebelar inferior. La propiocepción inconsciente del miembro inferior y de la región más baja del tronco es transmitida por este tracto, mientras que la del miembro superior y la

zona más ascendida del tronco lo es por el tracto cuneocerebeloso. Ninguno de los tractos se cruza, coincidiendo con el conocido control del hemisferio cerebeloso de su propio lado corporal.

El tracto espinocerebeloso dorsal dijimos que se iniciaba en el núcleo torácico posterior (núcleo dorsal o columna de Clarke) de la lámina VII de Rexed. Esta formación nuclear se extiende desde T1 a L1 y las fibras aferentes provenientes desde el miembro inferior alcanzan el fascículo grácil. Recibe aferencias de todos los tipos de músculos y articulaciones, que incluyen los husos musculares y adicionalmente colaterales de aferencias cutáneas. Las fibras del tracto espinocerebeloso posterior son las más gruesas del SNC y, por tanto, extremadamente rápidas (diámetro de fibra 20 μ m). Esto tiene sentido si queremos mantener el cerebelo informado de los movimientos en curso. Este tracto asciende cerca de la superficie externa de la médula espinal e ingresa por el pedúnculo cerebeloso inferior.

FIGURA 55. Vías de la propiocepción inconsciente e información de arcos reflejos; Tracto espinocerebeloso dorsal; Tracto cuneocerebeloso; Tracto espinocerebeloso ventral y Tracto espinocerebeloso rostral.



El tracto cuneocerebeloso procede del núcleo cuneiforme accesorio, que se sitúa cerca y encima del núcleo cuneiforme. La naturaleza de sus aferencias es equivalente al núcleo torácico posterior (propiocepción inconsciente) y llega a este nivel a través del fascículo cuneiforme. Este tracto ingresa por el pedúnculo cerebeloso inferior.

Con respecto a la información de los arcos reflejos (informan constantemente sobre el estado funcional entre neuronas intercalares de la médula espinal), tenemos que dos vías se encargan de esto: tracto espinocerebeloso ventral y rostral.

La información proveniente de la mitad inferior de la médula espinal, y de manera contralateral, forma una vía llamada espinocerebelosa ventral. En efecto, sus fibras se cruzan inicialmente y ascienden cerca de la superficie de la médula espinal hasta el mesencéfalo. A continuación, giran hacia el pedúnculo cerebelar superior y vuelven a cruzarse dentro de la sustancia blanca cerebelosa.

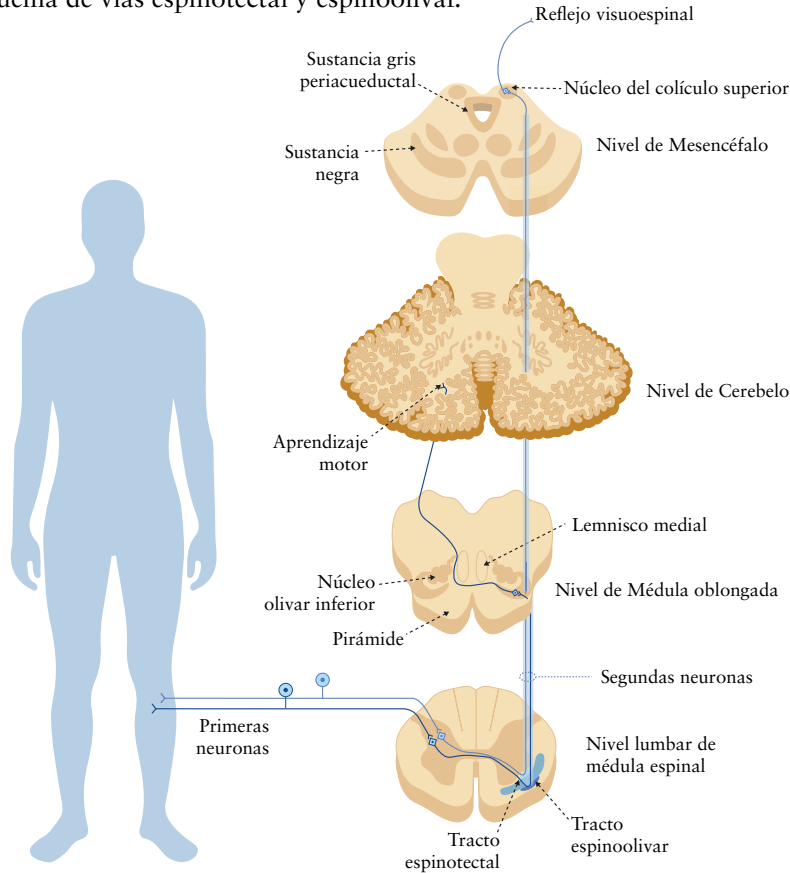
De la mitad superior de la médula espinal se forma el tracto espinocerebeloso rostral, asciende sin cruzar e ingresa principalmente a través del pedúnculo cerebeloso inferior.

Otras vías ascendentes

El tracto espinotectal (figura 56) discurre al lado de la vía espinotalámica, su composición funcional es similar. Termina en el colículo superior, donde se reúne con aferencias visuales cruzadas que están implicadas en los movimientos oculocefalogiros hacia la fuente de estimulación (reflejo visuoespinal).

El tracto espinoolivario envía información táctil al complejo olivar inferior de la médula oblongada. El núcleo olivar inferior posee una importante función en el aprendizaje motor, que funciona en la corteza cerebelosa contralateral. Las descargas espinoolivares pueden modificar la actividad del cerebelo en respuesta a cambios ambientales (adaptación motora). Ejemplo de esto es subir todos los días una escalera para llegar al trabajo, pero un día inesperado modifican la escala y adicionan altura a cada escalón; la dificultad será solo en los primeros escalones, luego se adapta.

FIGURA 56. Esquema de vías espinotectal y espinoolivario.



Haces medulares descendentes

Los sistemas descendentes van a estar relacionados con la función motora y con la modulación del dolor. Los relacionados con la función motora forman grupos anteriores y grupos laterales, a su vez los relacionados con la modulación del dolor se ubican próximos a la región dorsal de la médula espinal. Los sistemas descendentes de control motor pueden ser corticales o subcorticales y los llamamos vía piramidal o vía extrapiramidal.

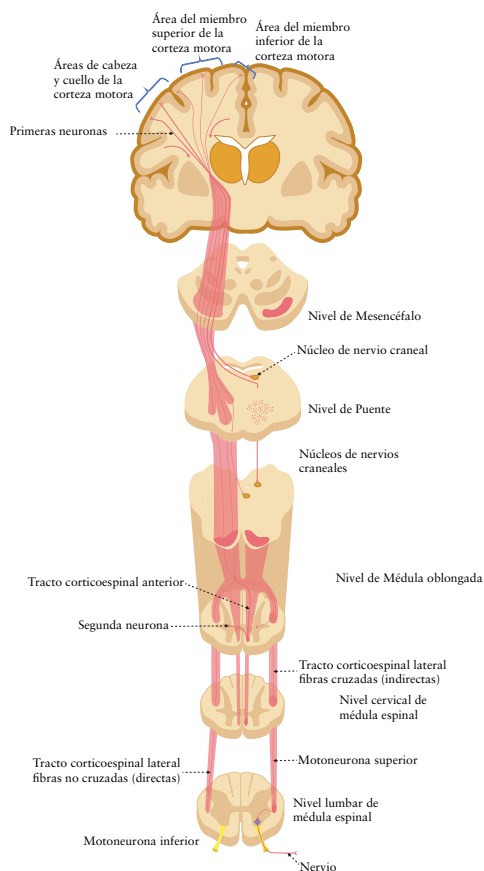
Los tractos corticoespinales (figura 57) se originan en la corteza cerebral y se dirigen a la médula. Se originan específicamente en un sitio de la corteza donde existen neuronas con forma de pirámide. Estas neuronas originan vías descendentes que atraviesan la cápsula interna y el pedúnculo cerebral y cuando llegan al bulbo constituyen las pirámides, las que se cruzan a nivel de la

decusación de las pirámides (90% de las fibras), ocupando principalmente el cordón lateral. Este tracto está compuesto o constituido por axones, y estos axones sinaptan con neuronas de la lámina VIII, tan solo una pequeña parte lo hace directamente con neuronas de la lámina IX.

El haz tectoespinal se proyecta a partir del colículo superior, originando una vía descendente que ocupa el cordón anterior. El haz rubroespinal se origina en una porción del núcleo rojo llamado magno celular y desciende por el cordón lateral para llegar también a la lámina VIII, al igual que el tectoespinal.

La información de equilibrio que llega a los núcleos vestibulares origina una de las más potentes regulaciones reflejas de la función motora, que viaja a través del haz vestibuloespinal, el cual desciende por la parte media del cordón anterior fundamentalmente ipsilateral.

FIGURA 57. Esquema de las vías corticoespinales para el control motor. Nótese que en su trayecto origina colaterales para los núcleos motores de los nervios craneales.



Reflejos medulares

El reflejo es la unidad morfofuncional del sistema nervioso. Se define como una respuesta motriz de tipo involuntaria que ocurre inmediatamente después de aplicar un estímulo en particular, y que puede ser o no consciente. Si la respuesta no es inmediata no puede ser considerada un reflejo. Otra característica de la respuesta refleja es que parece presentarse y ejecutarse con un fin determinado, y la respuesta se coordina y adapta en vista de tal fin. Estos reflejos (propioceptivos) permiten evaluar diferentes segmentos medulares.

Existen arcos reflejos que involucran solo una sinapsis, estos se denominan reflejos monosinápticos. Por ello el tiempo entre la aplicación del estímulo y la aplicación del reflejo es muy corto (periodo de latencia breve), como sucede en el reflejo patelar o corneal.

Los arcos reflejos cumplen importantes funciones, entre ellas, la mantención del tono muscular y, por ende, la postura corporal. De hecho, el movimiento puede considerarse como una expresión motora de un conjunto de respuestas reflejas influenciadas por el encéfalo.

Los reflejos tienen una localización perfecta y estricta, o sea, originan siempre una respuesta que ocurre siempre en el mismo sitio. Se ha demostrado que luego de la descarga normal de la neurona eferente sobre el órgano efector viene un periodo prolongado de descarga asincrónica. Este suceso se explica por la presencia de colaterales del axón de la neurona aferente, que hacen el papel de interneuronas y vuelven a sinaptar con la neurona eferente, produciendo una descarga prolongada luego del impulso inicial. Una vez ocurrido el reflejo, existe un periodo refractario, en el cual no es posible una respuesta refleja ante un estímulo.

Los centros reflejos son muy susceptibles a la hipoxia y a ciertos fármacos, y es por ello que la ausencia o cualquier alteración de la actividad refleja juega un papel preponderante en el diagnóstico clínico. Existen dos propiedades de los reflejos medulares que deben considerarse:

Ley de la inervación recíproca:

Indica que los reflejos extensor y flexor de un mismo miembro no pueden realizarse simultánea-

mente. Se cree que la neurona aferente que llega al músculo flexor envía colaterales a las neuronas que controlan al músculo extensor para inhibirlo.

Reflejo de extensión cruzado:

Al provocar el reflejo de flexión en el miembro inferior de un lado, el miembro del otro lado se hiperextiende. Si se estimula alternativamente la planta de un pie y la del otro, se produce un movimiento de pedaleo. Estas respuestas también han sido observadas en el miembro superior, pero son menos frecuentes.

Los reflejos segmentarios son fuertemente influenciados por centros neuronales superiores a través de los tractos descendentes largos que forman parte de las grandes vías eferentes. Así, la sección transversal de la médula espinal involucra la pérdida de estas influencias y causa un estado de depresión funcional de toda la región corporal, que depende de los segmentos medulares bajo la sección. Esta respuesta se caracteriza por una parálisis flácida, gran vasodilatación e hipotensión arterial, incontinencia urinaria y fecal y ausencia de reflejos (arreflexia). Esta etapa transitoria de shock espinal evoluciona hacia una rigidez de descerebración, caracterizada por la aparición de los reflejos segmentarios y aumento del tono muscular, debido a una hiperactividad de las neuronas eferentes gamma sobre los husos musculares, descontroladas porque no tienen control de los centros superiores (automatismo medular). Se admite corrientemente que la acción de la corteza motora y la vía piramidal inhiben el tono muscular. Es por ello que, en la rigidez de descerebración, por lesión de la vía corticoespinal, se observa una marcada hipertonía. Algunos investigadores afirman que en realidad la corteza motora es una gran potenciadora del tono muscular y que el área premotora (porción anterior al giro precentral) es la que genera los impulsos inhibitorios que descienden a través de la vía piramidal.

La lesión de las vías piramidales y la corteza motora no produce hipertonía si es que no se lesiona al mismo tiempo el área premotora o las vías extrapiramidales. De este modo, se ha llegado a la conclusión de que la hipertonía es en realidad extrapiramidal y no piramidal.

Un corte incompleto de la médula espinal que involucre todos los tractos excepto el vestibuloes-

pinal produce un dominio marcado del incremento del tono en los músculos extensores más que en los flexores (paraplejia en extensión). La sección de todos los tractos produce una flexión como respuesta a reflejos y una disminución del tono de los músculos extensores (paraplejia en flexión).

Cuando las motoneuronas inferiores van atravesando la sustancia blanca camino a formar las raíces anteriores de los nervios espinales, emiten colaterales que hacen sinapsis con unas neuronas de tipo Golgi II colinérgicas denominadas células de Renshaw. Estas interneuronas vuelven a hacer sinapsis con motoneuronas inferiores cercanas, formando un circuito reverberante que inhibe la actividad de estas últimas. Por ello, la estimulación de cada motoneurona tiende a inhibir las neuronas motoras circundantes. Este sistema de inhibición recurrente muestra que el sistema motor hace uso del principio de la inhibición lateral para permitir la transmisión de la señal primaria sin que disminuya su intensidad, al mismo tiempo que suprime la tendencia a diseminarse por las neuronas contiguas.

Lesiones medulares

Motoneurona superior

Las motoneuronas superiores o primeras neuronas de la vía motora transmiten información desde otras partes del sistema nervioso central hacia la motoneurona inferior. Las motoneuronas superiores regulan la actividad de las motoneuronas inferiores, integrando la información para que estas actúen de una u otra manera. Mientras que ciertas motoneuronas superiores facilitan la actividad de las motoneuronas inferiores, la mayor parte de estas son inhibitorias de las inferiores. Así, las lesiones de las motoneuronas superiores generalmente desinhiben a las segundas neuronas de la vía, con el consiguiente aumento en la actividad refleja. Las motoneuronas superiores reciben información de numerosas fuentes, incluyendo las vías sensitivas ascendentes. Estos insumos de información proveen de retroalimentación a las motoneuronas superiores que alteran en consecuencia su regulación sobre las motoneuronas inferiores. Desde un punto de vista práctico, las motoneuronas superiores representan el control

cortical y cerebeloso de la conducta motora por medio de la modulación de las vías motoras dentro del sistema nervioso central. Como tales, son una especie de neuronas internunciales que están alojadas dentro del sistema nervioso central y se dedican a modificar la actividad de las motoneuronas inferiores. Las motoneuronas inferiores pueden ser concebidas como la maquinaria para la producción de los reflejos, y las motoneuronas superiores como la causa de dicha conducta motora. Dado que las motoneuronas superiores (o sus insumos de información) descienden a lo largo de todo el eje neural, cualquier alteración de esta impide al correcto funcionamiento de la zona caudal a la referida lesión.

Lesión de motoneurona superior (parálisis supranuclear): la disrupción de una motoneurona superior puede detectarse estudiando los efectos sobre las motoneuronas inferiores que se encuentren caudales a la referida lesión. A esta disrupción se la conoce comúnmente como signos de la vía larga o síndrome de motoneurona superior. La lesión compromete la vía motora central (corteza cerebral, haces corticoespinales y subcorticales, vías de asociación entre corteza y tronco encefálico) por compromiso polimuscular, hipertonia y rigidez en navaja, hiperreflexia tendinomuscular, reflejos cutáneos disminuidos o ausentes, respuesta plantar extensora (signo de Babinsky). El trofismo muscular está poco comprometido, no hay fasciculaciones musculares y las reacciones eléctricas musculares son normales. Generalmente es secundario a alteraciones vasculares (procesos isquémicos o hemorrágicos), trauma y lesiones que causen efecto compresivo sobre el tejido nervioso (hematomas, colecciones endocraneanas, hidrocefalia y neoplasias).

Motoneurona inferior

Las motoneuronas inferiores son las que se encuentran en los núcleos motores de los nervios craneanos (p. ej. núcleo motor del VII par) o las neuronas del cuerno ventral de la médula. La unidad motora incluye la motoneurona, su axón, el músculo inervado, la fibra sensitiva desde los receptores de estiramiento del músculo y los tendones, y el proceso central sensitivo que hace retroalimentación sobre la motoneurona.

La integridad de cada uno de estos componentes de la unidad motora es necesaria para mantener el arco reflejo. La motoneurona inferior es la vía final por la cual ocurre la actividad motora refleja; si esta es dañada, se pierde el reflejo.

Lesión de motoneurona inferior (parálisis nuclear e infranuclear): las lesiones detectables de la motoneurona inferior están limitadas a las localizaciones donde los reflejos pueden ser testeados, es decir, los nervios craneanos y los plexos braquial y lumbosacro. Una lesión que altere la función de una motoneurona inferior solo será detectable si dicha motoneurona inerva un reflejo posible de ser testado. La lesión afecta la vía motora periférica (núcleos de nervios craneanos, cuernos medulares anteriores, raíces nerviosas

motoras, nervio periférico, placa neuromuscular, fibra muscular). Se manifiesta por compromiso de grupos musculares aislados, hipotonía, hiporreflexia tendinomuscular, respuesta plantar flexora. El trofismo muscular se compromete rápidamente, se presenta fasciculación muscular y se encuentran reacciones eléctricas musculares anormales (denervación). Se puede deber a traumatismos sobre la médula espinal o los troncos nerviosos, polineurorradiculopatías, procesos infecciosos (poliomiелitis), anomalías de la unión craneocervical, lesiones compresivas (tumores, siringomielia) y procesos degenerativos (esclerosis lateral amiotrófica o esclerosis múltiple).



CAPÍTULO V

Tronco encefálico



TABLA III. Guía de color para la correcta comprensión del capítulo.

COLOR	ESTRUCTURAS
	COLUMNAS NUCLEARES AFERENTES & NÚCLEOS SENSITIVOS Columna aferente somática general, Columna aferente somática especial, Columna aferente visceral, general y especial, Núcleo espinal del trigémino, Núcleo solitario, Núcleo vestibular inferior, Núcleo vestibular medial, Núcleo vestibular lateral, Núcleo vestibular superior, Núcleo coclear posterior, Núcleo coclear ventral, Núcleo sensitivo principal del trigémino y Núcleo mesencefálico del trigémino.
	COLUMNAS NUCLEARES EFERENTES & NÚCLEOS MOTORES Columna motora somática general, Columna motora visceral especial, Columna motora visceral general, Núcleo hipogloso, Núcleo motor dorsal del vago, Núcleo nervio accesorio, Núcleo ambiguo, Núcleo motor trigémino, Núcleo del nervio abducens, Núcleo troclear y Núcleo oculomotor.
	SUSTANCIA GRIS INTRÍNSECA Sustancia gris central, Núcleo cuneiforme, Núcleo cuneiforme accesorio, Núcleo grácil, Núcleo olivar inferior accesorio medial, Núcleo olivar inferior accesorio dorsal, Núcleo olivar inferior principal, Núcleo olivar superior, Núcleos pontinos, Interneuronas encefalinérgicas de la sustancia gris central, Locus coeruleus, Núcleo del colículo superior, Núcleo interpeduncular, Núcleo tegmental ventral, Sustancia negra compacta, Sustancia negra reticular, Núcleo intersticial del fascículo longitudinal medial y Núcleo rojo.
	SUSTANCIA BLANCA Proyección autónoma del hipotálamo, Fibras arqueadas internas, Fascículo longitudinal medial, Fascículo longitudinal posterior, Fascículo longitudinal dorsal, Cuerpo trapezoide, Fibras transversas del puente, Haz central de la calota (amiculum olivae), Cuerpo trapezoide, Fibras cerebelotalámicas, Tracto óptico y Tracto trigémino mesencefálico.
	FASCÍCULOS DESCENDENTES Decusación piramidal, Tracto corticoespinal anterior, Tracto corticoespinal lateral, Tracto piramidal, Tracto vestibuloespinal lateral, Tracto vestibuloespinal medial, Pirámide, Tracto reticuloespinal pontino, Tracto rubroolivario, Fibras corticopontinas, Tracto rubroolivario, Fibras corticoespinales, Fibras frontopontinas, Tracto tectoespinal, Fibras frontopontinas, Fibras occipitopontinas, Fibras parietopontinas, Fibras temporopontinas, Tracto corticobulbar y Tracto corticoespinal.
	FASCÍCULOS ASCENDENTES & RAÍCES NERVIOSAS Fascículo cuneiforme, Fascículo grácil, Fibras del nervio facial, Lemnisco espinal, Lemnisco lateral, Lemnisco medial, Lemnisco trigeminal, Raíz craneal Nervio accesorio, Tracto espinocerebeloso posterior, Tracto espinal del trigémino, Tracto solitario, Tracto trigeminal, Nervio oculomotor, Nervio troclear, Nervio coclear, Nervio vestibular, Nervio facial, Rodilla nervio facial, Nervio abducens, Nervio vago, Nervio hipogloso, Tracto espinocerebeloso posterior, Tracto reticuloespinal pontino y Tracto espinal del trigémino.
	FORMACIÓN RETICULAR Formación reticular lateral, Formación reticular paramediana, Núcleo magno del rafe, Núcleo olivar superior y Centro de la mirada.

BULBO

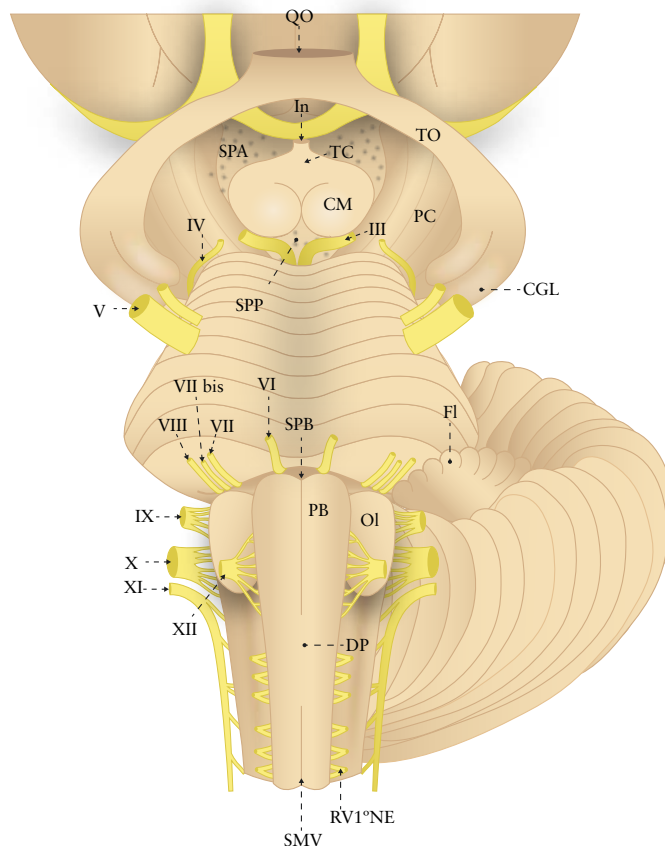
El bulbo o médula oblongada conecta la médula espinal con el puente. Su límite inferior no está anatómicamente definido, mientras su límite superior se encuentra cefálico al nacimiento de las raíces de los últimos pares de nervios craneales. En esa zona el límite lo constituye el surco bulbopontino.

ANATOMÍA MACROSCÓPICA. En una visión anterior se observa el surco mediano ventral, el que se extiende desde el surco bulbo pontino por rostral, desapareciendo caudalmente en la decusación de las pirámides. Los cordones anteriores de la médula espinal se transforman a este nivel en pirámides bulbares, que se van ensanchando

hacia rostral formando rodetes redondeados que terminan a nivel del surco bulbopontino. A cada lado de las pirámides está el cordón lateral del bulbo, donde se ve una eminencia ovoidea denominada oliva. El surco preolivar separa el cordón anterior del lateral. En él, se observa el nacimiento de las raíces del nervio hipogloso (XII).

El cordón lateral del bulbo se separa del surco dorsolateral por la corredera bulbar. En el surco dorsolateral se encuentran una serie de raíces que se van escalonando. Estas son las raíces de los nervios glosofaríngeo, vago y accesorio (pares craneales IX, X y XI) (figura 58).

FIGURA 58. Vista ventral de la médula oblongada. III. Nervio oculomotor, IV. Nervio troclear, V. Nervio trigémino, VI. Nervio abducens, VII. Nervio facial, VII-bis. Nervio intermedio, VIII. Nervio vestibuloclear, IX. Nervio glosofaríngeo, X. Nervio vago, XI. Nervio accesorio, XII. Nervio hipogloso, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CM. Cuerpo mamilar, DP. Decusación piramidal, Fl. Flóculo del cerebelo, In. Infundíbulo (pedículo hipofisiario), Ol. Oliva, PB. Pirámide bulbar, PC. Pedúnculo cerebral, QO. Quiasma óptico, RV1°NE. Raíces ventrales del 1° nervio espinal, SBP. Surco bulbopontino, SMV. Surco medio ventral, SPI. Sustancia perforada inferior, SPS. Sustancia perforada superior, TC. Túber cinereum, TO. Tracto óptico.



El nervio accesorio surge del cordón lateral. Posee dos porciones: una *porción bulbar*, que tiene su origen en la porción caudal del núcleo ambiguo, y una *porción espinal*, que proviene del núcleo del nervio accesorio en relación a la cara lateral del asta anterior hasta C5. El núcleo del nervio accesorio tiene neuronas motoras somáticas generales que se originan de la porción más ventral de la placa basal, por lo tanto, inervan musculatura estriada esquelética (músculos esternocleidomastoideo y trapecio, de derivación somática). Por lo que la porción espinal que constituye un solo nervio con el accesorio tiene una parte derivada desde un nervio espinal (apéndice de C1), mientras que la porción rostral, el nervio accesorio bulbar, es un nervio craneal. Es decir, el nervio accesorio propiamente tal va a ser el nervio accesorio bulbar.

El núcleo ambiguo pertenece a la columna eferente somática especial, de tipo branquial (nervio branqueomérico), destinado a inervar la musculatura de los arcos faríngeos. La musculatura laríngea está inervada por el nervio laríngeo inferior y la porción motora del nervio laríngeo superior que es ramo del nervio vago, el cual obtiene esas fibras en la comunicación que tiene con el nervio accesorio inmediatamente a la salida del foramen yugular. Allí el nervio se divide, comunicándose las fibras somáticas generales con el plexo cervical, que inerva los músculos esterno-

cleidomastoideo y trapecio. Así se entiende que la porción espinal del nervio accesorio es solo una parte del plexo cervical.

El nervio vago tiene su origen aparente en el surco dorsolateral, de donde nacen más o menos ocho raicillas que forman un grueso cordón.

El nervio glossofaríngeo forma un cordón muy fácil de seguir en profundidad, porque no se disgrega en el interior del SNC.

En el surco bulbopontino se encuentran los orígenes aparentes de los nervios abducens, intermedio, facial y vestibulococlear, los que en algún momento transitan entre el bulbo y el puente (figura 58).

La cara posterior del bulbo se divide en una porción inferior, continuación de la médula y una mitad superior en donde aparece el cuarto ventrículo.

El cordón posterior de la médula espinal se encuentra subdividido por el surco intermedio dorsal en fascículos grácil y cuneiforme, que terminan en el bulbo, constituyendo los tubérculos grácil y cuneiforme. Este último es el más lateral y se encuentra 3 a 4 mm más elevado.

El cordón lateral se ensancha superiormente y se dirige a lateral, cambia de nombre y junto con el cordón posterior reúnen fibras, ya no hay surcos de separación. Unidos constituyen los pedúnculos cerebelares inferiores (cuerpos restiformes) (figura 59).

FIGURA 59 A. Vista dorsal de tronco encefálico que muestra el piso del 4º ventrículo. 3ºV. 3º ventrículo, CF. Colículo facial, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CGM. Cuerpo geniculado medial, CI. Colículo inferior, CL. Columna lateral, CS. Colículo superior, EM. Eminencia media, EsM. Estrías medulares, FC. Fascículo cuneiforme, FG. Fascículo grácil, FI. Fóvea inferior, FS. Fóvea superior, GP. Glándula pineal, Ob. Óbex, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, PCM. Pedúnculo cerebelar medio, PCS. Pedúnculo cerebelar superior, PT. Pulvinar del tálamo, SMD. Surco mediano dorsal, TC. Tubérculo cuneiforme, TG. Tubérculo grácil, TH. Trígono del hipogloso, TT. Tubérculo trigeminal (Núcleo espinal del trigémino), TV. Trígono del vago, VMS. Velo medular superior.

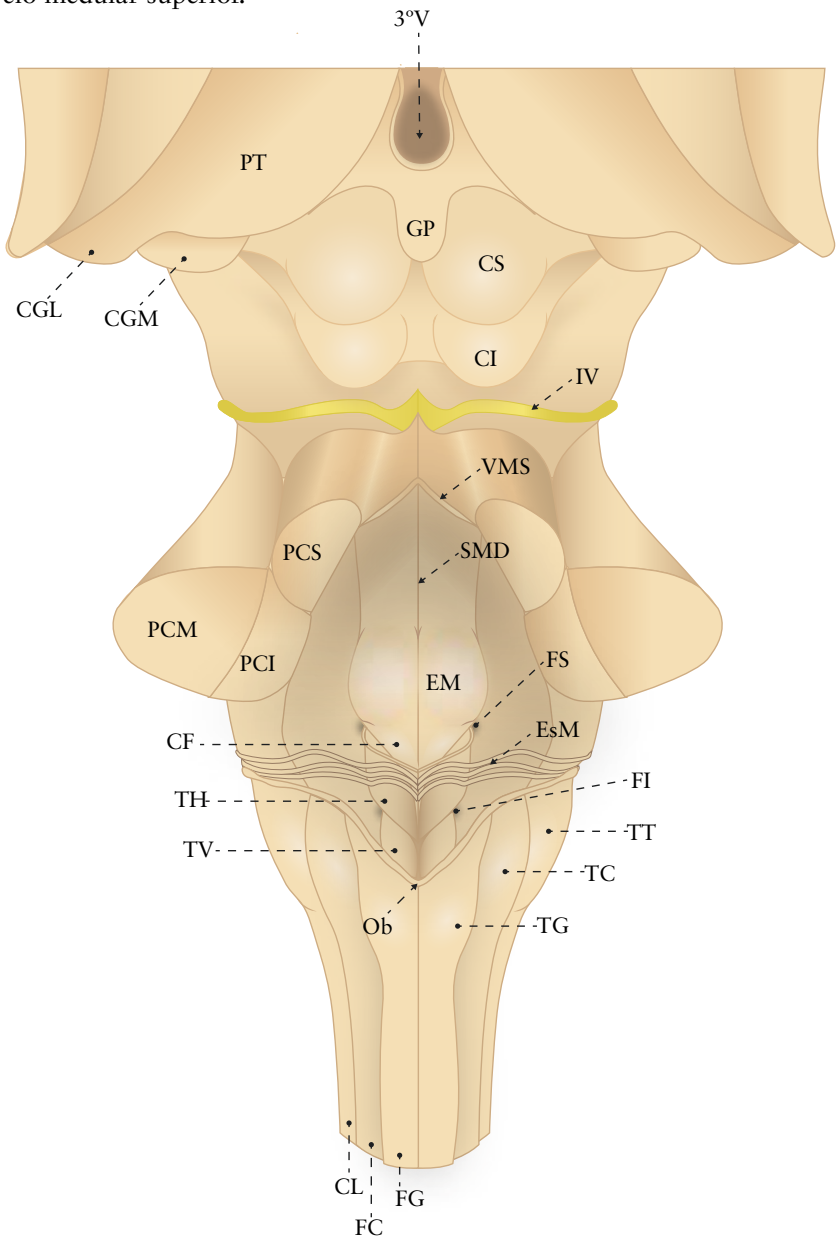
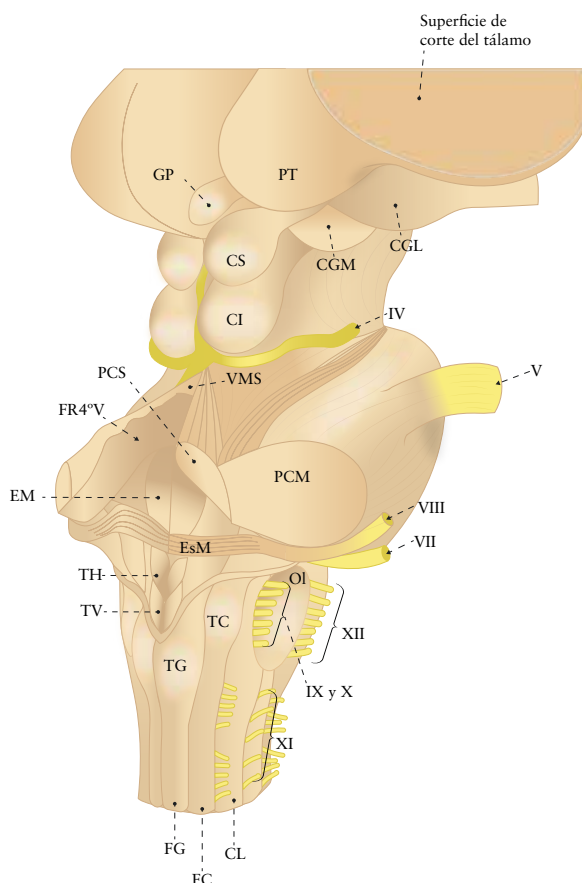


FIGURA 59 B. Vista lateral de tronco encefálico que muestra el piso del 4º ventrículo. III. Nervio oculomotor, IV. Nervio troclear, V. Nervio trigémino, VI. Nervio abducens, VII. Nervio facial, VII-bis. Nervio intermedio, VIII. Nervio vestibulococlear, IX. Nervio glossofaríngeo, X. Nervio vago, XI. Nervio accesorio, XII. Nervio hipogloso, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CGM. Cuerpo geniculado medial, CI. Colículo inferior, CL. Columna lateral, CS. Colículo superior, EM. Eminencia media, EsM. Estrías medulares, FC. Fascículo cuneiforme, FG. Fascículo grácil, FR4ºV. Fosa romboidea del 4º ventrículo, GP. Glándula pineal, Ol. Oliva, PCM. Pedúnculo cerebelar medio, PCS. Pedúnculo cerebelar superior, PT. Pulvinar del tálamo, TC. Tubérculo cuneiforme, TG. Tubérculo grácil, TH. Trígono del hipogloso, TT. Tubérculo trigeminal, TV. Trígono del vago, VMS. Velo medular superior.



CUARTO VENTRÍCULO. Es una cavidad de forma romboidal, ubicada en las caras posteriores tanto del puente como del bulbo. Su techo corresponde al cerebelo y los velos medulares superior e inferior. El piso está constituido por la fosa romboidea. En el vértice caudal se encuentra el obex o cerrojo, punto donde esta cavidad se continúa con el canal ependimario. Está constituido por sustancia blanca que cruza de un lado a otro, uniendo al mismo nivel un tubérculo grácil con el otro. Pertenece al techo del cuarto ventrículo (figura 59).

A cada lado del obex encontramos la llingula. A su nivel, en la región de sustancia blanca adya-

cente, está el área postrema, pequeña eminencia redondeada, relacionada con funciones heméticas (vómito).

La fosa romboidea se encuentra dividida simétricamente por un surco mediano. A cada lado se observa una eminencia alargada, más ancha por rostral que se denomina Trígono del hipogloso. Lateralmente encontramos otra estructura denominada Trígono del Vago. Este último forma una depresión grisácea, que adopta tal color producto de la tinción de un grupo de células cromatógenas que existe en esa zona. Lateralmente y hacia los ángulos se encuentran los núcleos vestibulares, es

el área vestibular lateral de la fosa romboidea.

También hay un surco menos marcado que separa la región del Trígono del hipogloso y del vago de la región vestibular. Es una proyección del surco limitante primitivo. Divide los territorios de la placa basal hacia medial y los de la placa alar hacia lateral, por lo que hay elementos sensitivos laterales al surco y elementos motores mediales al surco.

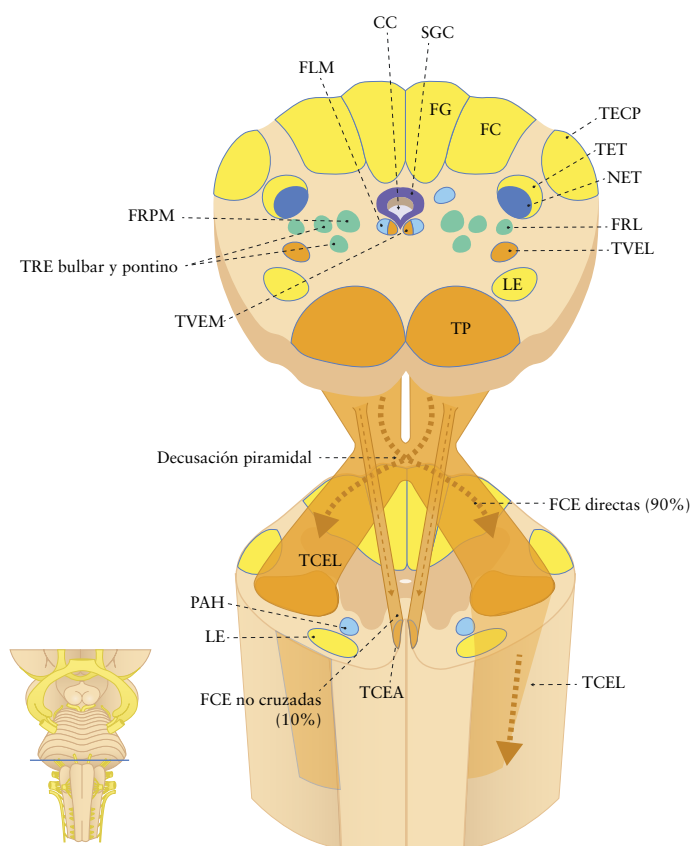
Bulbo caudal

La figura 60 muestra un corte horizontal a nivel de la decusación corticoespal, la que se comienza a insinuar a este nivel. Los cordones pos-

teriores son conservados desde la médula espinal. Constituye el sistema de la columna dorsal, con información de sensibilidad táctil discriminativa y propiocepción consciente. Son neuronas que aún no han sinaptado, es decir, no han llegado a los núcleos grácil y cuneiforme.

En la porción central (lámina X), la zona comisural se vuelve intensamente celular, constituyendo la sustancia gris central y dejando en el centro un equivalente al conducto central de la médula espinal. Se ensancha la sustancia gris central, ahora está mucho más amplia que la lámina X de la zona cervical.

FIGURA 60. Unión bulboespinal, representación esquemática de bulbo caudal. CC. Conducto central, DP. Decusación piramidal, FC. Fascículo cuneiforme, FCE. Fibras corticoespinales no cruzadas, FG. Fascículo grácil, FLM. Fascículo longitudinal medial, FRL. Formación reticular latera, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, NET. Núcleo espinal del trigémino, PAH. Proyección autónoma del hipotálamo, SGC. Sustancia gris central, TCEA. Tracto corticoespinal anterior, TCEL. Tracto corticoespinal lateral, TECP. Tracto espinocerebelar posterior, TET. Tracto espinal del trigémino, TP. Tracto piramidal, TRE. Tractos reticuloespinales bulbar y pontino, TVEL. Tracto vestibuloespinal lateral, TVEM. Tracto vestibuloespinal medial.



En este punto podemos observar condensaciones de la formación reticular, formando la formación reticular lateral y paramediana.

El asta posterior cambia considerablemente: era aplanada y comienza a ensancharse, tenía seis láminas claramente diferenciadas. La lámina I y II se indiferencian, no existen límites entre ambas y reciben, en conjunto, el nombre de sustancia gelatinosa. El núcleo propio (lámina III y IV) mantiene cierta independencia.

El tracto dorsolateral, por el que entran fascículos de las raíces del nervio vago, del glossofaríngeo y del accesorio encargadas de la información propioceptiva muscular y algésica de las fascias de los músculos, se confunde con fibras descendentes desde el nervio trigémino que debe proyectarse hasta la sustancia gelatinosa a nivel de C1, C2 e incluso C3. El trigémino entra en el puente y desciende hasta llegar a C2 por el haz dorsolateral o trigéminoespinal. En la parte media hay un gran contingente de fibras que cruzan de un lado a otro (decusación de las pirámides).

La sustancia gris central se condensa y se hace más pequeña, comienza a cambiar su población y se van constituyendo células con función endorfinérgica cada vez más marcada (modulación de la sensación dolorosa).

Ya no existe asta posterior, se ensancha la sustancia gelatinosa, la que en el corte anterior incorporó a la zona marginal ahora hace lo mismo con el núcleo propio, que constituye una sola estructura denominada núcleo espinal de trigémino.

El cordón posterior, que antes eran solo axones, ahora presenta núcleos, donde ocurren sinapsis. El fascículo grácil termina en el núcleo grácil (núcleo delgado), esto toma varios milímetros en terminar de sinaptar. En el núcleo grácil sinapta la información táctil discriminativa y propioceptiva consciente del miembro inferior y buena parte del tronco hasta T6, en donde aparece el surco intermedio.

Al núcleo cuneiforme se proyectan las fibras procedentes del fascículo homónimo; en él hacen sinapsis las neuronas que llevan información táctil discriminativa y propioceptiva consciente de tórax superior, miembro superior y cuello.

De los núcleos grácil y cuneiforme se proyectan pequeños axones de segundas neuronas, contorneando la sustancia gris central, las que se denominan fibras arciformes internas.

El núcleo espinal del trigémino está formado por cuatro láminas (I, II, III, IV). A él se proyectan

fibras que descienden del sistema del nervio facial que viene del surco bulbopontino, del glossofaríngeo y del vago, que vienen del surco dorsolateral introduciéndose al haz trigéminoespinal, por el que viaja la información de dolor y temperatura (lámina I y II), tacto no discriminativo y algo de propiocepción inconsciente.

El meato acústico externo está inervado por varios nervios, principalmente por el ramo auricular del nervio facial y el ramo auricular del vago que ingresa por un foramen en la pared lateral de la fosa yugular e ingresa al proceso mastoideo inervando la región retroauricular. El glossofaríngeo se encarga de la inervación sensitiva de los pilares del velo del paladar, de la cara superior del velo palatino en la región tonsilar, la cavidad timpánica, tuba auditiva, más las ventana vestibular y coclear y los márgenes de la lengua a nivel de su base. Estos territorios son sensitivos somáticos generales (inervación de mucosa y piel). A los pequeños territorios sensitivos somáticos generales que tienen estos nervios no les alcanza para tener núcleos propios, por lo que proyectan su información al núcleo espinal de trigémino, el cual es el núcleo sensitivo somático general de la cabeza.

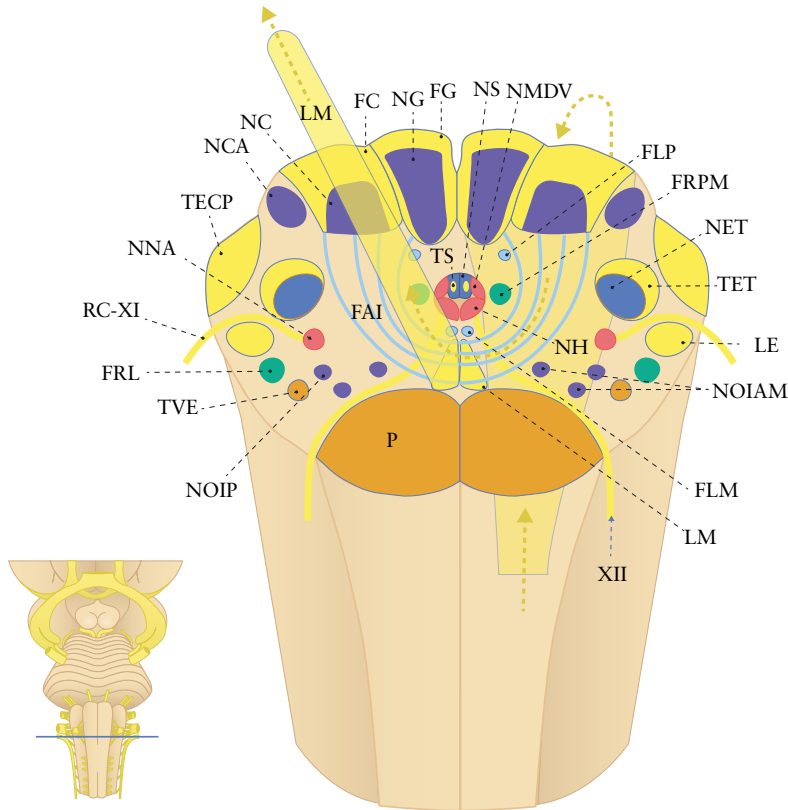
Bulbo medio

Dorsolateral a las pirámides, un derivado de la placa alar migra y constituye los núcleos olivares inferiores. A este nivel existe parte del fascículo cuneiforme, pero la gran mayoría corresponde a los núcleos grácil y cuneiforme.

Aparece un núcleo adicional, núcleo cuneiforme accesorio, que recibe información de tacto discriminativo y propiocepción consciente del cuello, parte de la cabeza y tronco superior, proyectándola al espino cerebelo por la vía pedúnculo cerebelar inferior.

Las fibras arciformes internas (segundas neuronas de los núcleos grácil, cuneiforme y cuneiforme accesorio) rodean la sustancia gris central y se cruzan, ascendiendo contralateralmente y constituyendo columnas que se conocen con el nombre de lemnisco medial, las cuales se dirigen al núcleo ventroposterolateral del tálamo, donde sinaptan con una tercera neurona que llegará finalmente a la corteza cerebral. A este sistema se le denomina sistema de la columna dorsal lemnisco medio.

FIGURA 61. Representación esquemática de bulbo medio, corte horizontal. FAI. Fibras arqueadas internas, FC. Fascículo cuneiforme, FG. Fascículo grácil, FLM. Fascículo longitudinal medial, FLP. Fascículo longitudinal posterior, FRL. Formación reticular lateral, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NC. Núcleo cuneiforme, NCA. Nucleo espinal del trigémino. Núcleo cuneiforme accesorio, NG. Núcleo grácil, NH. Núcleo hipoglosa, NMDV. Núcleo motor dorsal del vago, NNA. Núcleo del nervio accesorio, NOIAM. Núcleo olivar inferior accesorio medial, P. Pirámide, RC-XI. Raíz craneal Nervio accesorio, TECP. Tracto espinocerebelar posterior, TET. Tracto espinal del trigémino, TNS. Tracto y núcleo solitario, TVE. Tracto vestibuloespinal, XII. Nervio hipoglosa.



Bulbo rostral

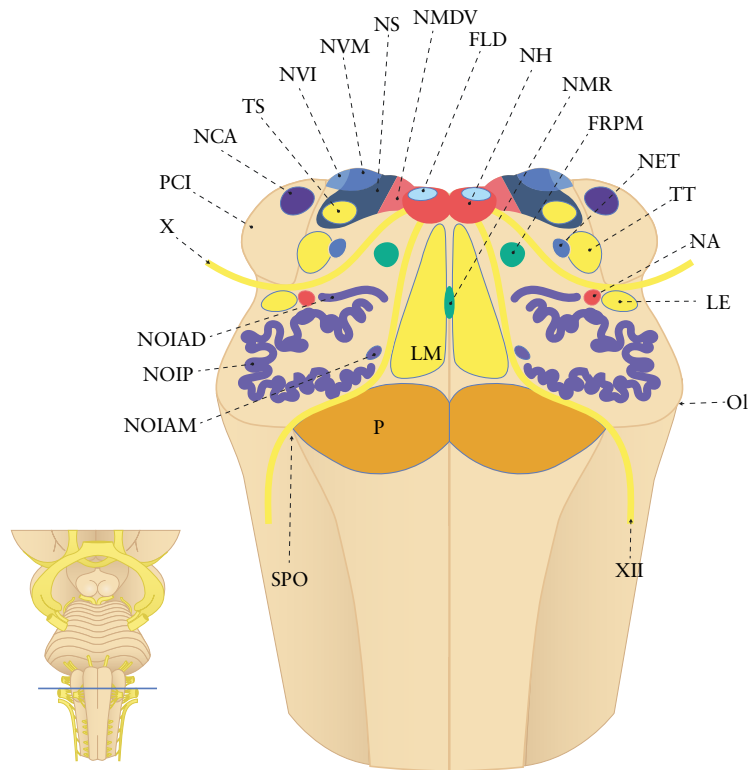
A este nivel encontramos las olivas. El complejo olivar inferior, constituido por varios núcleos, envía sus eferencias al cerebelo a través del pedúnculo cerebelar inferior. Tales eferencias parten de regiones centrales del complejo olivar inferior que constituyen una estructura plegada, la cápsula del complejo olivar inferior. En estricto rigor no es una cápsula, sino que axones, por lo que se denomina *amiculum*, que es por tanto un conjunto de axones eferentes del complejo olivar inferior que se dirigen al cerebelo rodeando a este complejo. Las olivas comprimen a los lemniscos

medios y los aplanan aún más. Las pirámides se desplazan levemente y se restringen un poco en cuanto a su dimensión.

En los cordones laterales de la médula y luego del bulbo vamos a encontrar tractos, que son ascendentes del sistema anterolateral y están dorsolateral con respecto a la oliva, ocupando el margen lateral, la región retroolivaria del cordón lateral.

En el surco preolivario se origina el nervio hipoglosa, cuyas fibras recorren internamente desde posterior hacia anterior y pasan por el lemnisco medial, por ventral de la oliva atravesando las fibras corticoespinales.

FIGURA 62. Representación esquemática de bulbo rostral, a nivel del complejo olivar inferior, corte horizontal. FLD. Fascículo longitudinal dorsal, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NA. Núcleo ambiguo, NCA. Núcleo cuneiforme accesorio, NH. Núcleo hipogloso, NMDV. Núcleo motor dorsal del vago, NMR. Núcleo magno del rafe, NOIAD. Núcleo olivar inferior accesorio dorsal, NOIAM. Núcleo olivar inferior accesorio medial, NOIAP. Núcleo olivar inferior accesorio principal, NS. Núcleo solitario, NET, Núcleo espinal del trigémino, NVI. Núcleo vestibular inferior, NVM. Núcleo vestibular medial, Ol. Oliva, P. Pirámide, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, SPO. Surco pre olivar, TS. Tracto solitario, TT. Tracto trigeminal, X. Nervio vago, XII. Nervio hipogloso.



Recordando la anatomía de la fosa romboidea del cuarto ventrículo tenemos que, en su porción inferior o bulbar, se encuentran el Trígono del hipogloso (determinado por el núcleo del hipogloso) y el Trígono del vago (determinado por el núcleo motor dorsal del vago). El núcleo del hipogloso constituye columnas motoras eferentes y somáticas generales. El núcleo motor dorsal del vago entrega fibras eferentes viscerales generales y es parasimpático.

El núcleo ambiguo se encuentra entre núcleos motores somáticos generales y motores viscerales generales. Este núcleo es una columna interpuesta que aparece en el tronco del encéfalo, debido a que este tronco destinará inervación a derivados branquiales, por lo tanto, el núcleo ambiguo y los

nervios que originará este núcleo serán nervios motores para músculos branquiales. En principio se ubican ventrolaterales, luego se desplazan para interponerse entre el núcleo motor dorsal del vago y núcleo del hipogloso. En el núcleo ambiguo se van a originar tres nervios: nervio glossofaríngeo (inerva faringe y musculatura relacionada con velo palatino), nervio vago (inerva faringe) y nervio accesorio (inerva la musculatura intrínseca de la laringe).

Hacia lateral del surco limitante encontraremos las columnas sensitiva visceral y sensitiva general. Las columnas sensitivas viscerales constituyen el núcleo sensorial dorsal del nervio vago. A esta columna va a proyectarse la inervación sensitiva visceral del nervio vago y glossofaríngeo

(inervan sensitivamente vísceras generales, parte posterior de cavidad oral, faringe y tuba auditiva).

En la inervación sensorial especial del gusto participan el nervio facial (dos tercios anteriores de la lengua), glossofaríngeo (V lingual) y vago (tercio posterior de la lengua). El núcleo solitario envuelve al tracto solitario. Lateral al surco limitante y al triángulo del vago está el área vestibular (somática especial). La fosa romboidal incluye las proyecciones de las columnas viscerales generales y viscerales especiales, incluyendo el núcleo dorsal del vago y tracto solitario. Más lateral, el núcleo y el haz trigéminoespinal van a constituir la columna aferente somática general. A cada lado del obex está la línula, y en sus márgenes se constituye el área postrema. Este área es sensible a la alcalinidad de la sangre. Para poder percibir estos cambios debe tener quimiorreceptores y carecer de barrera hematoencefálica, característica de los llamados órganos circunventriculares, en donde los quimiorreceptores están en directo contacto con el endotelio.

La sustancia reticular está en la región posterolateral; los núcleos que se ubican más hacia ventral, como el núcleo del trigémino y núcleo ambiguo, se encuentran en el espesor de la sustancia reticular.

Las fibras del nervio vago y glossofaríngeo, que se dirigirán al núcleo solitario, al núcleo ambiguo y al núcleo sensorial del vago, van a atravesar el núcleo del nervio trigémino y también el espesor de la sustancia reticular. La sustancia reticular es desorganizada con excepción de la aparición de islotes nucleares. Pero en algunos puntos se delimita mejor y se habla de núcleo reticular bulbar. Los núcleos reticulares bulbares, pontinos y mesencefálicos están implicados en dos funciones: modulación de transmisión dolorosa y modulación de función motora.

En el puente vamos a encontrar acúmulo de núcleos llamados núcleos del rafe, los que también se proyectan al bulbo, y que descendiendo constituyen una vía que llega a la médula, vías retículo-espinales, que originan un fascículo llamado fascículo longitudinal medial.

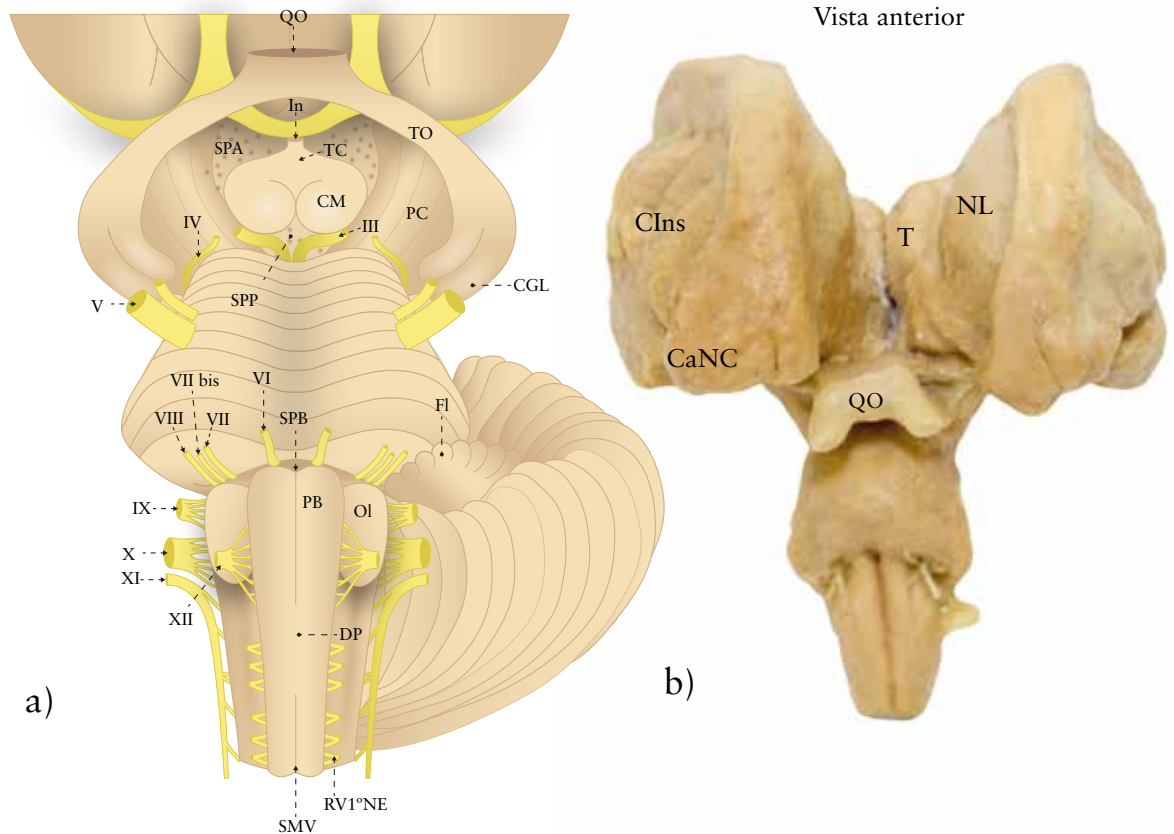
PUENTE

El puente o protuberancia es la estructura media del tronco encefálico, limitada rostralmente por el mesencéfalo y caudalmente por el bulbo. Macroscópicamente describiremos porciones ventral y dorsal.

PUENTE VENTRAL: en esta porción la disposición de las fibras es horizontal, lo que representa un cambio respecto del bulbo y del mesencéfalo. Los pedúnculos cerebrales que llevan información corticoespinal se introducen por debajo de estas fibras transversales y las sollevantan, constituyendo unos rodetes, llamados rodetes piramidales, los que dejan en la línea mediana un surco marcado, el surco asilar.

El puente limita lateralmente con un plano que pasa tangente al origen aparente del nervio trigémino. El surco pontopeduncular indica la separación entre el puente y los pedúnculos cerebrales del mesencéfalo.

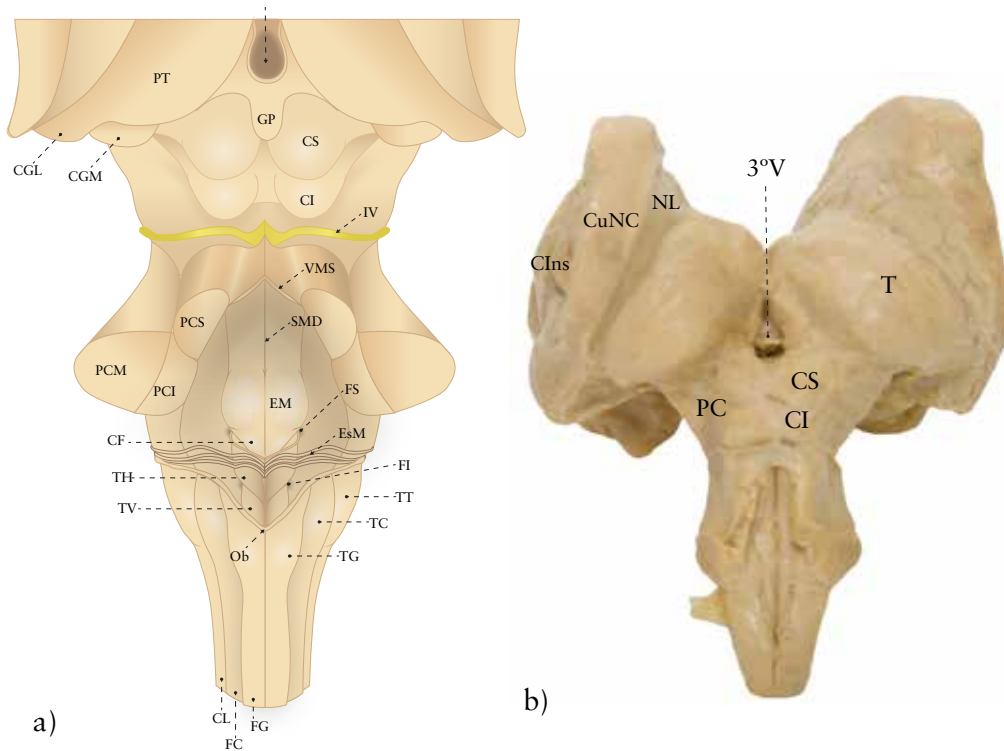
FIGURA 63. Vista ventral del tronco encefálico. A la izquierda, la ilustración esquemática de bulbo, puente y mesencéfalo; a la derecha, el tronco encefálico con núcleos de la base (plastinado). QO. Quiasma óptico, NL. Núcleo lentiforme, T. Tálamo, CaNC. Cabeza núcleo caudado, Cins. Corteza insular, III. Nervio oculomotor, IV. Nervio troclear, V. Nervio trigémino, VI. Nervio abducens, VII. Nervio facial, VII-bis. Nervio intermedio, VIII. Nervio vestibulococlear, IX. Nervio glossofaríngeo, X. Nervio vago, XI. Nervio accesorio, XII. Nervio hipogloso, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CM. Cuerpo mamar, DP. Decusación piramidal, Fl. Flóculo del cerebelo, In. Infundíbulo (pedículo hipofisiario), Ol. Oliva, PB. Pirámide bulbar, PC. Pedúnculo cerebral, QO. Quiasma óptico, RV1°NE. Raíces ventrales del 1° nervio espinal, SBP. Surco bulbopontino, SMV. Surco medio ventral, SPI. Sustancia perforada inferior, SPS. Sustancia perforada superior, TC. Túber cinereum, TO. Tracto óptico.



PUENTE DORSAL: la cara posterior del puente corresponde a la fosa romboidea, que es el piso del cuarto ventrículo. Encontramos en la fosa romboidea diversos accidentes anatómicos. El surco mediano del cuarto ventrículo, que lo recorre de extremo a extremo. A cada lado del surco mediano, el colículo facial, el cual no está determinado por el núcleo del nervio facial, sino por el núcleo del nervio abductor, que en ese punto es abrazado por las fibras del nervio facial y forman una rodilla. La eminencia media, que corresponde a un abultamiento que se ubica superiormente, es

menos elevada que el colículo. La fóvea superior corresponde a una fosa marcada a cada lado de la eminencia media. En los extremos supero laterales de la fosa romboidea se encuentra el locus coeruleus, el que se observa como una pequeña fosita azulosa. Cercano a los ángulos laterales de la fosa romboidea encontramos el área coclear o auditiva, relacionada con funciones auditivas. Lateralmente a la fosa romboidea pontina vamos a encontrar los pedúnculos cerebelares superiores (pequeños y mediales) que han sido traccionados por los pedúnculos cerebelares medios (figura 64).

FIGURA 64. A. Vista dorsal de tronco encefálico que muestra el piso del 4º ventrículo. B. Vista dorsal del tronco encefálico y núcleos de la base (plastinado). T. Tálamo, PC. Pedúnculo cerebral, NL. Núcleo lenticular, CuNC. Cuerpo núcleo caudado, Cins. Corteza insular, 3ºV. 3º ventrículo, CF. Colículo facial, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CGM. Cuerpo geniculado medial, CI. Colículo inferior, CL. Columna lateral, CS. Colículo superior, EM. Eminencia media, EsM. Estrías medulares, FC. Fascículo cuneiforme, FG. Fascículo grácil, FI. Fóvea inferior, FS. Fóvea superior, GP. Glándula pineal, Ob. Óbex, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, PCM. Pedúnculo cerebelar medio, PCS. Pedúnculo cerebelar superior, PT. Pulvinar del tálamo, SMD. Surco mediano dorsal, TC. Tubérculo cuneiforme, TG. Tubérculo grácil, TH. Trígono del hipogloso, TT. Tubérculo trigeminal (Núcleo espinal del trigémino), TV. Trígono del vago, VMS. Velo medular superior.



ESTUDIO DE CORTES HORIZONTALES DEL PUENTE. Para el estudio de cortes horizontales el puente nos ofrece dos porciones características: una porción caudal y otra porción rostral. A su vez, cada una de ellas será dividida en una porción ventral y otra dorsal.

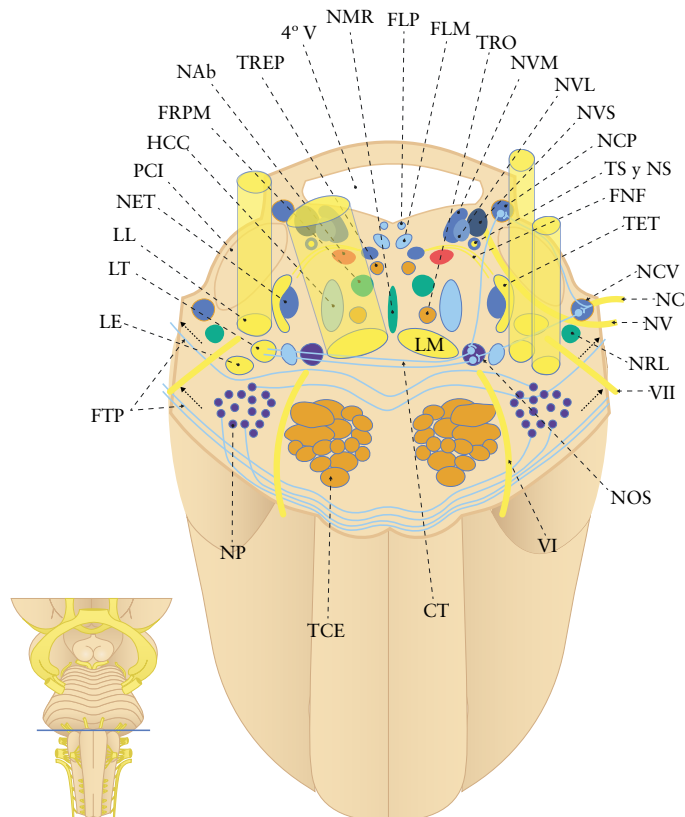
Puente caudal

PORCIÓN VENTRAL: en esta porción encontraremos dos zonas de fibras. Una zona con fibras descendentes, corticoespinales (más profundas); y otra zona con fibras transversales u horizontales, las fibras pontocerebelares (más superficiales).

Las fibras corticoespinales forman dos cordones a cada lado de la línea mediana. Interpuestos entre estas fibras, la región está completada por una gran cantidad de núcleos conocidos como

núcleos pontinos. Estos reciben fibras aferentes desde todas las áreas de la corteza, especialmente de la corteza premotora, que es la encargada de la planificación del movimiento. Estas neuronas descienden y sinaptan con los núcleos pontinos que están dispuestos en todo el puente ventral, originando una vía que constituye la porción de fibras transversales del puente y que se dirigen al cerebelo contralateral, constituyendo el pedúnculo cerebelar medio. La corteza envía al cerebelo la información acerca del acto motor que se pretende realizar y el cerebelo regula aquella función motora. La información viaja en sentido horizontal y solo desde el puente a cerebelo, y no al revés. La información que recorre el pedúnculo cerebelar medio es unidireccional, a diferencia de lo que ocurre en los pedúnculos inferior y superior, que son bidireccionales.

FIGURA 65. Representación esquemática de la unión bulbopontina. 4°V. 4° ventrículo, CT. Cuerpo trapezoide, FLM. Fascículo longitudinal medial, FLP. Fascículo longitudinal posterior, FNF. Fibras del nervio facial, FRPM. Formación reticular paramediana, FTP. Fibras transversas del puente, HCC. Haz central de la calota amiculum, LM. Lemnisco medial, LE. Lemnisco espinal, LL. Lemnisco lateral, LT. Lemnisco trigeminal, NAb. Núcleo del nervio abducens, NC. Nervio coclear, NCP. Núcleo coclear posterior, NCV. Núcleo coclear ventral, NMR. Núcleo magno del rafe, NOS. Núcleo olivar superior, NP. Núcleos pontinos, NRL. Núcleo reticular lateral, NET. Núcleo espinal del trigémino, NV. Nervio vestibular, NVL. Núcleo vestibular lateral, NVM. Núcleo vestibular medial, NVS. Núcleo vestibular superior, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, TCE. Tracto corticoespinal, TET. Tracto espinal del trigémino, TREP. Tracto reticuloespinal pontino, TRO. Tracto rubroolivar, VII. Nervio facial.



PORCIÓN DORSAL: se relaciona con el cuarto ventrículo, el cual constituye la porción superior de la fosa romboidea. Frente a él se puede observar una porción del cerebelo, el vermis cerebelar, tapizado por superior por los pedúnculos cerebelares superiores.

Llamamos puente dorsal a la porción que se encuentra por dorsal al lemnisco medial. El puente dorsal corresponde a la región donde los núcleos se encuentran dispuestos en el espesor de la sustancia reticular pontina. Entonces esta porción tiene núcleos y sustancia reticular, y es limitada dorsalmente por el cuarto ventrículo.

En el bulbo rostral el lemnisco medial se encuentra en una posición medial, por detrás de las pirámides y por delante del fascículo longitudinal medial, entre las olivas, siempre ubicado en una posición medial (figura 65). Una vez en el puente, el lemnisco medial rota, haciéndose horizontal. El fascículo longitudinal medial permanece en su posición, disminuyendo su grosor un poco después de la rotación. En el puente ha desaparecido la oliva, que es una estructura típica del bulbo rostral. No obstante, en el puente persisten núcleos olivares superiores.

El lemnisco medial rotado será entonces el límite entre el puente dorsal y ventral.

A cada lado del lemnisco medial, en los extremos laterales del lemnisco medial, encontramos el núcleo olivar superior, una porción migrada del complejo olivar inferior. Dorsalmente al núcleo olivar superior, existe un núcleo motor que pertenece a una columna eferente visceral especial, una columna branquiomérica que corresponde al núcleo del nervio facial, el que inerva musculatura del segundo arco branquial. El núcleo motor del facial origina fibras que se dirigen a dorsal y medial para llegar casi a la fosa romboidea y luego se va a hacer medial muy superficial para constituir su rodilla, esta rodilla determina una eminencia que conocimos como colículo facial. Esta rodilla contornea el núcleo del nervio abductor, atraviesa la sustancia reticular, por lateral al fascículo longitudinal medial, y luego se dirige hacia delante y hacia fuera, cruzando el lemnisco medial y luego las fibras transversales del puente ventral para emerger a nivel del surco bulbopontino.

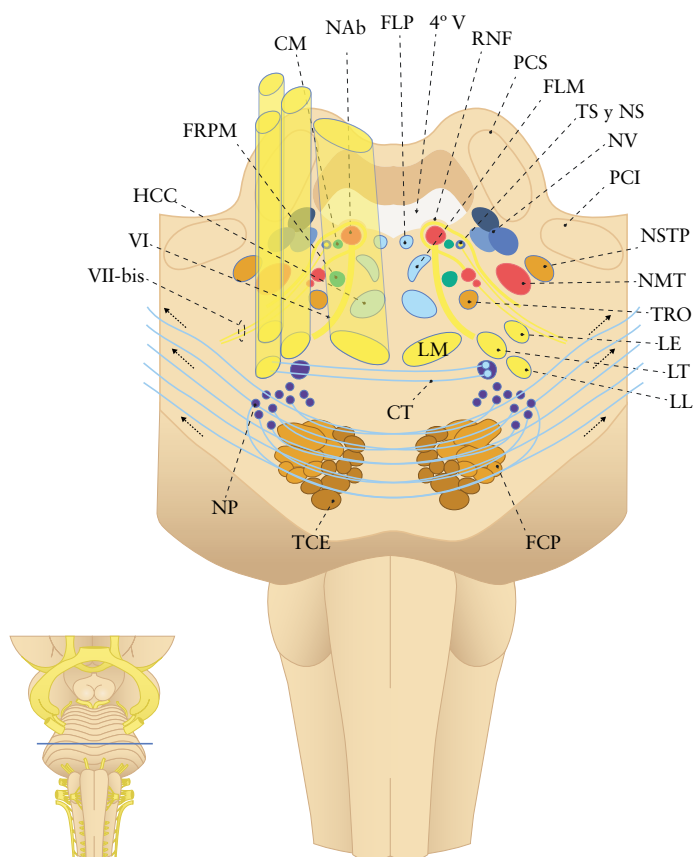
El núcleo espinal del nervio trigémino se desplaza hacia lateral y hacia dorsal a medida que nos acercamos al bulbo, acompañado de un grueso haz. El núcleo espinal del trigémino comienza a nivel del puente caudal, recorre todo el bulbo y llega hasta la médula espinal a nivel de C2.

Por delante del lemnisco medial, en un corte más rostral pero aún en el puente caudal, va a presentar una estructura en forma cuadrilátera que se constituye por la decusación de fibras que vienen desde los núcleos cocleares, especialmente los núcleos cocleares ventrales, y que constituyen

una estructura que se conoce como cuerpo trapezoide.

En las regiones laterales del puente cercano a la fosa romboidea, vamos a encontrar núcleos cocleares. Es la llamada área coclear, que es homóloga al área vestibular del bulbo. Los núcleos cocleares dorsales y ventrales forman vías ascendentes y se ubican en el puente caudal. Los núcleos cocleares reciben información monoaural (de un solo oído), pero se proyectan en sentido biaural. La única razón para tener una sordera completa de un oído exclusivamente es una lesión del órgano auditivo, del nervio vestíbulo coclear de un lado o de los núcleos cocleares del mismo lado. Para que llegue la información a la corteza de algo que escuchamos, primero tiene que haber un receptor que está en el órgano auditivo, luego un nervio que lleve esa información al núcleo. El receptor, el nervio y el núcleo son monoaurales. Una vez que llega al núcleo todas las proyecciones son biaurales. Los núcleos ventrales y dorsales cocleares originan vías ascendentes que se ubican laterales al lemnisco medial y van a constituir el lemnisco lateral. Las proyecciones de los núcleos cocleares ventrales originan vías que se cruzan en un segmento característico por delante del lemnisco medial, originando el cuerpo trapezoide. Entonces el cuerpo trapezoide son las decusaciones de las vías eferentes desde los núcleos cocleares ventrales que van a venir a constituir el lemnisco lateral, y esto lo observaríamos en el puente caudal (figura 65).

FIGURA 66. Esquema de puente rostral. FLP. Fascículo longitudinal posterior, FRPM. Formación reticular paramediana, HCC. Haz central de la calota, VI. Nervio abducens, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NAb. Núcleo del nervio abducens, NTS y TS. Núcleo y tracto solitario, NP. Núcleos pontinos, TCE. Tracto corticoespinal, CT. Cuerpo trapezoide, FCP. Fibras corticopontinas, LL. Lemnisco lateral, LT. Lemnisco trigeminal, TRO. Tracto rubroolivar, NMT. Núcleo motor trigémino, NSPT. Núcleo sensitivo principal del trigémino, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, NV. Núcleos vestibulares, FLM. Fascículo longitudinal medial, PCS. Pedúnculo cerebelar superior, CM. Centro de la mirada, VII-bis. Núcleo intermedio, RNF. Rodilla nervio facial.



Puente rostral

PORCIÓN VENTRAL: En su porción ventral se ven fibras corticoespinales, gran cantidad de núcleos, llamados núcleos pontinos, y gran cantidad de fibras horizontales, las que se han condensado tanto que constituyen el pedúnculo cerebelar medio. La porción ventral es más amplia en el puente rostral, comparada con la porción caudal, fundamentalmente por la gran expansión que sufren las fibras horizontales.

A este nivel encontraremos el punto de ingreso del nervio trigémino. Este sigue un trayecto dorsomedial en busca de sus núcleos ubicados

en el tegmento dorsolateral del puente rostral (figura 66).

PORCIÓN DORSAL: La sustancia reticular pontina, llamada también calota, es atravesada por las fibras del nervio trigémino, a cada lado de las cuales vamos a encontrar los núcleos pontinos del V nervio, el núcleo sensitivo principal, ubicado lateral a las fibras y el núcleo motor (también llamado núcleo masticador), ubicado medial a las fibras.

En el nivel más rostral del puente ya se está cerrando el cuarto ventrículo. El lemnisco medial

se ha desplazado más hacia lateral y hacia dorsal. Cerca del cuarto ventrículo vamos a encontrar una sustancia gris endorfinérgica que luego originará la sustancia gris periacueductal. A los lados de esta sustancia gris, en relación con los extremos laterales de la fosa romboidea a este nivel vamos a encontrar el núcleo mesencefálico del trigémino. Por tanto, la porción más caudal del núcleo mesencefálico se ubica en el puente rostral, y diremos que este núcleo no es exclusivamente mesencefálico, sino que además pontino. Hacia el núcleo mesencefálico se proyectarán algunas fibras que ingresaron junto con la raíz motora del V nervio.

MESENCÉFALO

Corresponde a la porción más rostral y más pequeña del tronco encefálico. En su cara anterior es posible identificar algunas estructuras, dentro de las cuales las más llamativas son los pedúncu-

los cerebrales, delimitando a este nivel el espacio interpeduncular, el cual constituye un elemento del diencefalo basal (figura 67). A partir de un surco situado en la cara medial de los pedúnculos cerebrales se observa la emergencia de los nervios oculomotor (III nervio craneal) de cada lado. Rodeando los pedúnculos cerebrales se observan los nervios trocleares (IV nervio craneal), que vienen emergiendo desde la cara posterior.

Los pedúnculos cerebrales recuperan la dirección longitudinal de las fibras, presentes en el bulbo y médula, pero que se habían interrumpido por la aparición de las fibras transversales del puente.

El límite rostral del mesencéfalo lo determina macroscópicamente el punto donde los pedúnculos son cruzados por los tractos ópticos; no obstante, neuroanatómicamente, sus fibras, que como veremos las constituyen axones de la vía corticoespinal, se confunden con la región subtalámica y porción posterior del piso del ventrículo mediano.

FIGURA 67. Vista ventral de la médula oblongada. III. Nervio oculomotor, IV. Nervio troclear, V. Nervio trigémino, VI. Nervio abducens, VII. Nervio facial, VII-bis. Nervio intermedio, VIII. Nervio vestibuloclear, IX. Nervio glosofaríngeo, X. Nervio vago, XI. Nervio accesorio, XII. Nervio hipogloso, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CM. Cuerpo mamilar, DP. Decusación piramidal, Fl. Flóculo del cerebelo, In. Infundíbulo (pedículo hipofisiario), Ol. Oliva, PB. Pirámide bulbar, PC. Pedúnculo cerebral, QO. Quiasma óptico, RV1°NE. Raíces ventrales del 1° nervio espinal, SBP. Surco bulbopontino, SMV. Surco medio ventral, SPI. Sustancia perforada inferior, SPS. Sustancia perforada superior, TC. Túber cinereum, TO. Tracto óptico.

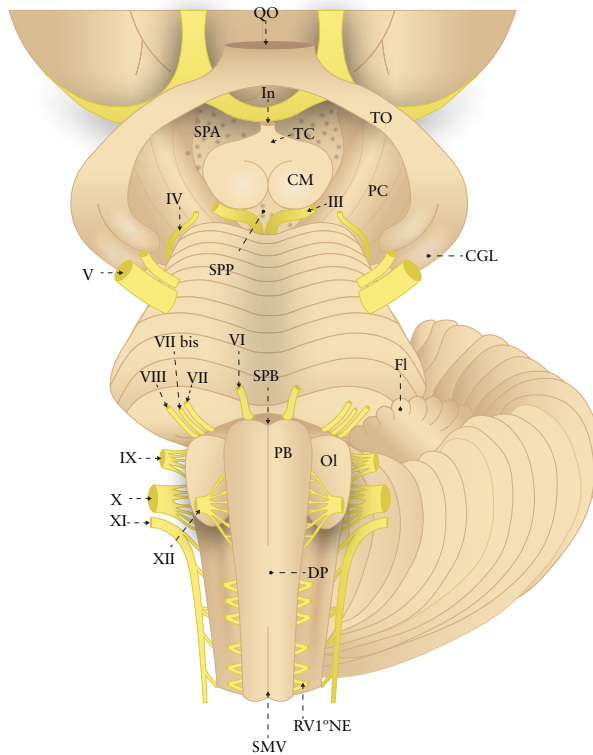
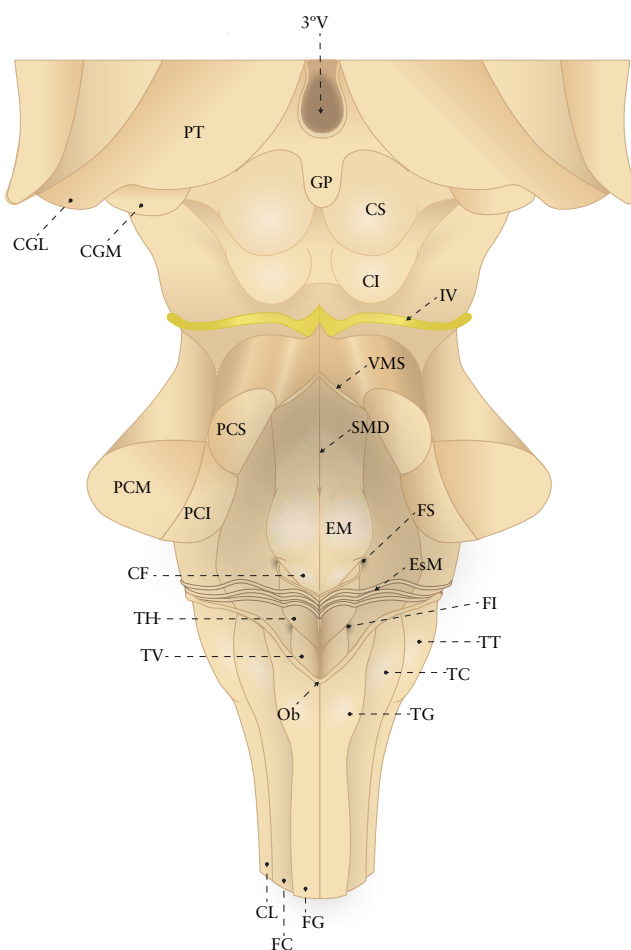


FIGURA 68. Vista dorsal de tronco encefálico que muestra el piso del 4° ventrículo. 3°V. 3° ventrículo, CF. Colículo facial, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CGM. Cuerpo geniculado medial, CI. Colículo inferior, CL. Columna lateral, CS. Colículo superior, EM. Eminencia media, EsM. Estrías medulares, FC. Fascículo cuneiforme, FG. Fascículo grácil, FI. Fóvea inferior, FS. Fóvea superior, GP. Glándula pineal, Ob. Óbex, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, PCM. Pedúnculo cerebelar medio, PCS. Pedúnculo cerebelar superior, PT. Pulvinar del tálamo, SMD. Surco mediano dorsal, TC. Tubérculo cuneiforme, TG. Tubérculo grácil, TH. Trígono del hipogloso, TT. Tubérculo trigeminal (Núcleo espinal del trigémino), TV. Trígono del vago, VMS. Velo medular superior.



En una visión posterior (figura 68), se puede ver la emergencia de las fibras del cuarto nervio, lateral a la línea media, que va a rodear los pedúnculos cerebrales en dirección anterior. También aparecen cuatro estructuras bastante notorias, dos a cada lado, que corresponden a los colículos. Los colículos superiores están relacionados con la función visual y los inferiores fundamentalmente con la audición. Los colículos se encuentran comunicados con los cuerpos geniculados metatálamicos por medio de los denomina-

dos brazos de los colículos. El colículo superior se comunica con el cuerpo geniculado lateral, mientras que el inferior lo hace con el medial.

Neuroanatómicamente el mesencéfalo se estudia en dos niveles, rostral y caudal, y en estos segmentos se repite la disposición ordenada de los núcleos derivados de las columnas alares y basales. Vamos a encontrar los núcleos motores cercanos a la línea media y los núcleos sensitivos más laterales. En el mesencéfalo se encuentran los orígenes de los nervios troclear y oculomotor,

mediante núcleos eferentes somáticos (motores) y eferentes viscerales (parasimpáticos). Junto con los elementos mencionados destacan los núcleos de los colículos, algunos componentes de la vía auditiva en la columna aferente especial, apareciendo en su segmento rostral formaciones nucleares relacionadas con el control motor como el núcleo rojo y la sustancia negra.

En sentido anteroposterior, el mesencéfalo se divide en tres regiones:

1. **TECHO.** Se ubica en la región dorsal en relación a los colículos, de modo que al conjunto de los colículos se les llama también lámina del techo. Está limitado anteriormente por un plano que pasa tangente a la sustancia gris periacueductal.

La sustancia gris periacueductal es una condensación de células (endorfinérgicas) que se dispone alrededor del acueducto cerebral. Ocupa, por tanto, la porción medial del techo del mesencéfalo.

2. **TEGMENTO.** Se ubica entre el límite del techo y el locus niger o sustancia negra, que es un núcleo ubicado en la base de los pedúnculos cerebrales. En esta porción encontramos el núcleo rojo, hacia lateral está el lemnisco medial y el sistema anterolateral.

El lemnisco lateral, que lleva información auditiva, termina o llega a nivel del colículo inferior, desprendiéndose del lemnisco medial. El colículo inferior, como ya ha sido mencionado, tiene función auditiva, participando en reflejos cocleares.

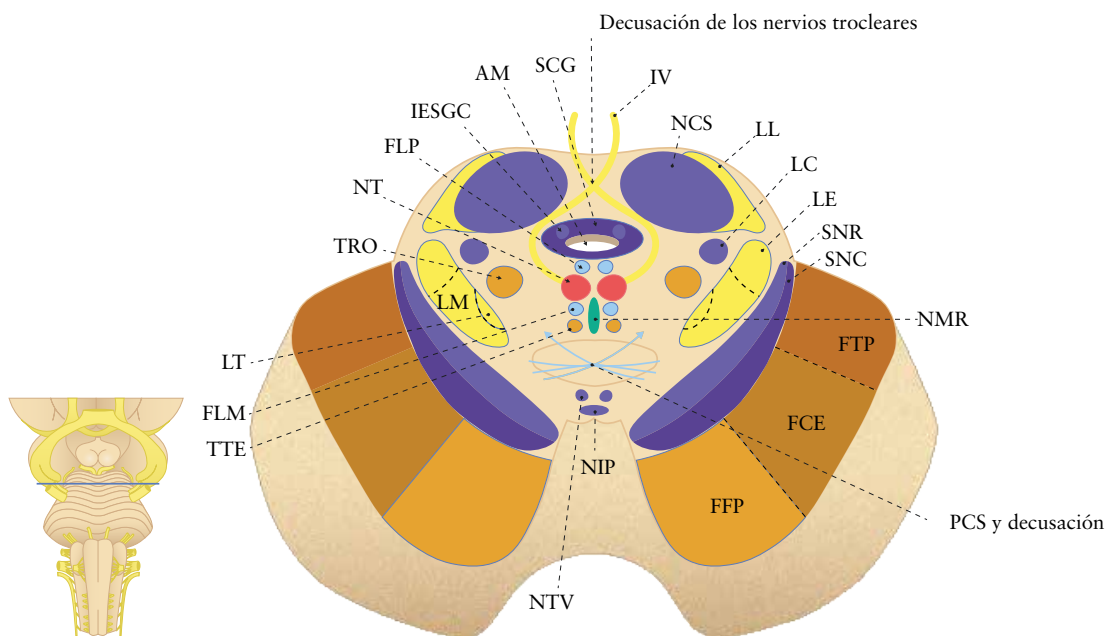
También está el núcleo mesencefálico del trigémino, que se ubica a cada lado de la sustancia periacueductal, rodeándola completamente. Este núcleo no es exclusivo del mesencéfalo, sino que además se encuentra en el puente.

El resto se encuentra cubierto por sustancia reticular mesencefálica o calota mesencefálica. El haz central de la calota es su principal eferencia y se ubica en una posición central.

3. **PIE O BASE PEDUNCULAR.** Se ubica anterior al locus niger. Los pedúnculos cerebrales llevan fibras corticoespinales, que son las mismas que atraviesan la región ventral del puente y las mismas que constituyen las pirámides bulbares. En este nivel estas fibras conservan una organización somatotópica.

En un corte a nivel del colículo inferior el elemento más prominente para diferenciarlo de un corte a nivel del colículo superior va a ser una estructura mielinizada en la zona mediana que corresponde a la decusación de los pedúnculos cerebelares superiores.

FIGURA 69. Esquema de mesencéfalo caudal, corte horizontal. AM. Acueducto mesencefálico, FCE. Fibras corticoespinales, FFP. Fibras frontopontinas, FLM. Fascículo longitudinal medial, FLP. Fascículo longitudinal posterior, FTP. Fibras temporopontinas, IESGC. Interneuronas encefalínérgicas de la sustancia gris central, IV. Nervio troclear, LC. Locus coeruleus, LE. Lemnisco espinal, LL. Lemnisco lateral, LM. Lemnisco medial, LT. Lemnisco trigeminal, NCS. Núcleo del colículo superior, NIP. Núcleo interpeduncular, NMR. Núcleo magno del rafe, NT. Núcleo troclear, NTV. Núcleo tegmental ventral, PCS. Pedúnculo cerebelar superior y decusación, SGC. Sustancia gris central, SNC. Sustancia negra compacta, SNR. Sustancia negra reticular, TRO. Tracto rubroolivario, TTE. Tracto tectoespinal.



A este nivel existe una transición entre la zona del puente ventral y los pedúnculos cerebrales, de modo que aún es posible ver grupos de núcleos pontinos; aparece, también, posterior a ellos, la sustancia negra.

Existe una estructura mielinizada que se ha ido estrechando cada vez más y que corresponde al lemnisco medial. Este se ha situado en la región del tegmento ventrolateral del mesencéfalo caudal. En una zona más lateral y posterior todavía encontramos el lemnisco lateral que va a estar llegando al colículo inferior.

El pedúnculo cerebelar superior y su decusación queda circunscrito por la línea mediana, el lemnisco medial y el lateral, en el tegmento mesencefálico.

Como ya se había mencionado, la zona de los núcleos mesencefálicos del trigémino va a estar ubicada muy cercana a la sustancia gris periacueductal, las fibras del V nervio acceden al núcleo mesencefálico, pasando por un espacio limitado dorsolateralmente por el lemnisco lateral y el nú-

cleo del colículo inferior y ventromedialmente por el pedúnculo cerebelar superior.

Ventromedial al núcleo mesencefálico se encuentra una formación compuesta de varias capas de células adrenérgicas, denominada locus coeruleus. A este nivel también es posible observar fibras emergiendo desde la cara posterior del mesencéfalo y que van a corresponder al nervio troclear, el cual es el único par craneal cuyo origen aparente se encuentra en la cara dorsal del tronco encefálico.

Las fibras del nervio troclear las constituyen los axones de las neuronas motoras somáticas, que se agrupan en el núcleo del nervio troclear, ubicado en el segmento dorsal del tegmento, a cada lado de la línea mediana, inmediatamente ventral a la sustancia gris periacueductal, ventromedial con respecto a locus coeruleus y al núcleo mesencefálico del trigémino. A partir de su núcleo las fibras del nervio troclear rodean lateralmente a la sustancia gris periacueductal y luego cruzan la línea mediana formando parte del velo medular superior, dirigiéndose luego al mús-

culo oblicuo superior del bulbo ocular.

Los núcleos del colículo inferior ocupan la mayor parte del techo del mesencéfalo caudal. Están constituidos por una masa celular central, ovoidea, llamada núcleo central, rodeado dorsalmente por una corteza, ventromedial y lateralmente limitado por una zona llamada pericolicular, que no es más que el conjunto de axones que rodean el núcleo central antes de terminar en él.

El núcleo del colículo inferior recibe los axones provenientes del lemnisco lateral, el cual termina en este núcleo, constituyéndose en un núcleo de relevo de la vía auditiva. El núcleo del colículo inferior recibe aferencias desde el colículo opuesto, lo que permite identificar la dirección de la fuente de emisión del sonido.

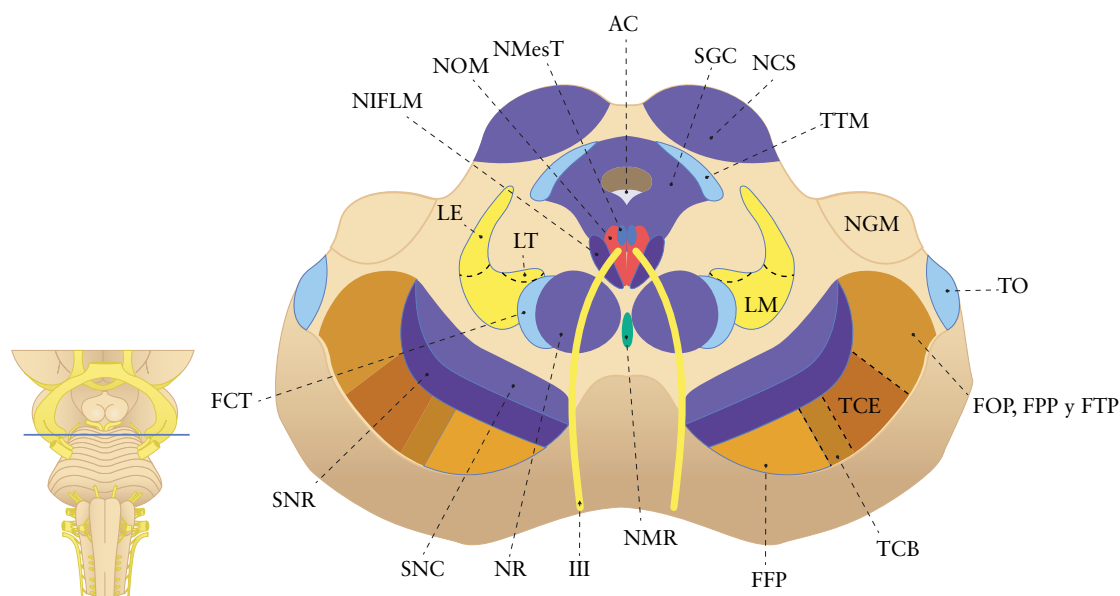
Los axones de la mayor parte de las neuronas que se originaron en el núcleo del colículo infe-

rior se proyectan al núcleo geniculado medial del metatálamo diencefálico, mediante el brazo del colículo al cual constituyen.

MESENCÉFALO ROSTRAL. En otro corte, esta vez a nivel del colículo superior, vamos a ver las estructuras más rostrales del tronco del encéfalo (figura 70). Nuevamente esperamos encontrar el núcleo mesencefálico del trigémino, por lo que los orígenes del nervio trigémino se encuentran en todos los niveles del tronco encefálico.

Cercano a la línea mediana se aprecia el núcleo del tercer par craneal, nervio oculomotor, del cual emergen las fibras que se dirigen a la cara anterior del mesencéfalo.

FIGURA 70. Esquema de mesencéfalo rostral, corte horizontal. FCT. Fibras cerebelotalámicas, FFP. Fibras frontopontinas, FOP. Fibras occipitopontinas, FPP. Fibras parietopontinas, FTP. Fibras temporopontinas, III. Nervio oculomotor, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NCS. Núcleo del colículo superior, NGM. Núcleo geniculado medial, NIFLM. Núcleo intersticial del fascículo longitudinal medial, NMesT. Núcleo mesencefálico del trigémino, NMR. Núcleo magno del rafe, NOM. Núcleo oculomotor, NR. Núcleo rojo, SGC. Sustancia gris central, SNC. Sustancia negra compacta, SNR. Sustancia negra reticular, TCB. Tracto corticobulbar, TCE. Tracto corticoespinal, TO. Tracto óptico, TTM. Tracto trigémino mesencefálico.



En la zona lateral se puede ver claramente una estructura ya analizada y que corresponde al lemnisco medial. El lemnisco lateral llegó hasta el colículo inferior, por lo que no esperamos encontrarlo acá.

El colículo superior está relacionado con las funciones visuales. Participa en los reflejos oculocefalogiros, que permiten escuchar y mirar hacia dónde se emite el sonido. A esta estructura se

proyectan las neuronas ganglionares que proceden desde la retina, son axones retinianos. Estos sinaptan con las neuronas de la capa óptica.

Lo que permite diferenciar e identificar este corte es una estructura con poca mielina, que corresponde al núcleo rojo. Estos núcleos tienen bastante menos mielina que los pedúnculos cerebrales que habíamos visto anteriormente, por lo que es posible hacer la diferenciación (figura 70).

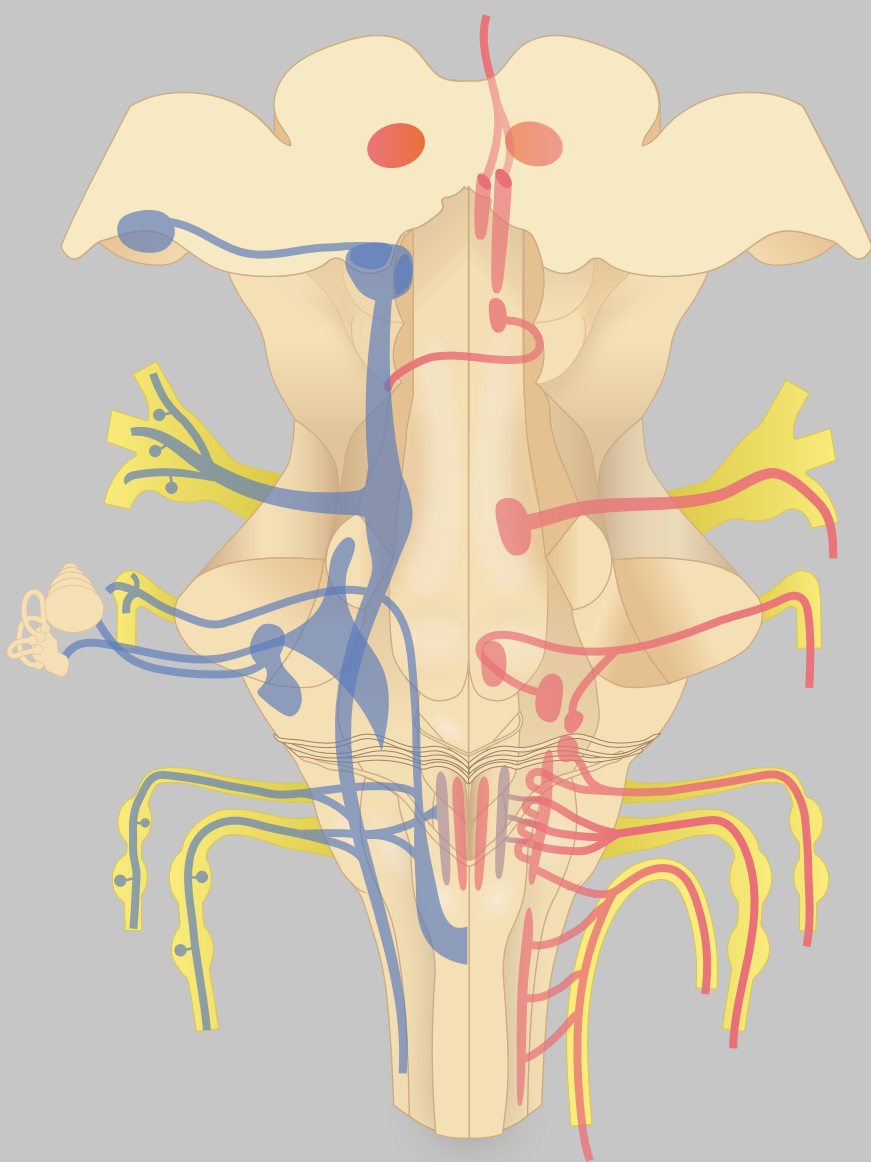
The background is a solid brown color. At the top, there are white line-art shapes: a large, elongated, rounded rectangle with a pointed bottom, and a smaller, rounded rectangle to its right. Below these, there is a small, white, pointed shape. The bottom section of the image features a black horizontal band containing the chapter title. Below this band, there are white line-art shapes: two large, rounded, cloud-like shapes on the left and right, and a cluster of small circles on the right. At the bottom, there are several white, wavy lines that resemble a landscape or a stylized border.

► CAPÍTULO VI



Configuración interna del tronco encefálico





La configuración interna del tronco encefálico (TE) es compleja. Su organización es similar a la médula espinal, pero la sustancia gris se ve modificada y aumentada por el incremento de complejas funciones, así como por la aparición de la formación reticular. La **sustancia gris extrínseca**, también llamada **sustancia gris homóloga**, corresponde a columnas nucleares que derivan de las astas posteriores y anteriores de la médula espinal y que se proyectan rostralmente al tronco del encéfalo. Por esa razón es llamada extrínseca, dado que no es propia del TE. De esta sustancia gris extrínseca derivan dos columnas nucleares: una aferente (astas posteriores) y otra eferente

(astas anteriores) y formarán núcleos de algunos nervios craneales. Por otro lado, la **sustancia gris intrínseca** es una formación gris propia del tronco encefálico, que interactúa con distintos núcleos de nervios craneales, pero que no formarán nervios. Por ejemplo, el núcleo cuneiforme forma un abultamiento en la región posterior de la médula oblonga, que interactúa con diversas formaciones grises. Estas formaciones grises propias del tronco se pueden dividir en núcleos mesencefálicos, pontinos o bulbares.

TABLA IV. Guía de color para la correcta comprensión del capítulo.

COLOR	ESTRUCTURAS
	COLUMNAS NUCLEARES AFERENTES & NÚCLEOS SENSITIVOS Columna aferente somática general, Columna aferente somática especial, Columna aferente visceral, general y especial, Núcleo espinal del trigémino, Núcleo solitario, Núcleo vestibular inferior, Núcleo vestibular medial, Núcleo vestibular lateral, Núcleo vestibular superior, Núcleo coclear posterior, Núcleo coclear ventral, Núcleo sensitivo principal del trigémino y Núcleo mesencefálico del trigémino.
	COLUMNAS NUCLEARES EFERENTES & NÚCLEOS MOTORES Columna motora somática general, Columna motora visceral especial, Columna motora visceral general, Núcleo hipogloso, Núcleo motor dorsal del vago, Núcleo nervio accesorio, Núcleo ambiguo, Núcleo motor trigémino, Núcleo del nervio abducens, Núcleo troclear y Núcleo oculomotor.
	SUSTANCIA GRIS INTRÍNSECA Sustancia gris central, Núcleo cuneiforme, Núcleo cuneiforme accesorio, Núcleo grácil, Núcleo olivar inferior accesorio medial, Núcleo olivar inferior accesorio dorsal, Núcleo olivar inferior principal, Núcleo olivar superior, Núcleos pontinos, Interneuronas encefalinérgicas de la sustancia gris central, Locus coeruleus, Núcleo del colículo superior, Núcleo interpeduncular, Núcleo tegmental ventral, Sustancia negra compacta, Sustancia negra reticular, Núcleo intersticial del fascículo longitudinal medial y Núcleo rojo.
	SUSTANCIA BLANCA Proyección autónoma del hipotálamo, Fibras arqueadas internas, Fascículo longitudinal medial, Fascículo longitudinal posterior, Fascículo longitudinal dorsal, Cuerpo trapezoide, Fibras transversas del puente, Haz central de la calota (amiculum olivae), Cuerpo trapezoide, Fibras cerebelotalámicas, Tracto óptico y Tracto trigémino mesencefálico.
	FASCÍCULOS DESCENDENTES Decusación piramidal, Tracto corticoespinal anterior, Tracto corticoespinal lateral, Tracto piramidal, Tracto vestibuloespinal lateral, Tracto vestibuloespinal medial, Pirámide, Tracto reticuloespinal pontino, Tracto rubroolivario, Fibras corticopontinas, Tracto rubroolivario, Fibras corticoespinales, Fibras frontopontinas, Tracto tectoespinal, Fibras frontopontinas, Fibras occipitopontinas, Fibras parietopontinas, Fibras temporopontinas, Tracto corticobulbar y Tracto corticoespinal.

	FASCÍCULOS ASCENDENTES & RAÍCES NERVIOSAS Fascículo cuneiforme, Fascículo grácil, Fibras del nervio facial, Lemnisco espinal, Lemnisco lateral, Lemnisco medial, Lemnisco trigeminal, Raíz craneal Nervio accesorio, Tracto espinocerebeloso posterior, Tracto espinal del trigémino, Tracto solitario, Tracto trigeminal, Nervio oculomotor, Nervio troclear, Nervio coclear, Nervio vestibular, Nervio facial, Rodilla nervio facial, Nervio abducens, Nervio vago, Nervio hipogloso, Tracto espinocerebeloso posterior, Tracto reticuloespinal pontino y Tracto espinal del trigémino.
	FORMACIÓN RETICULAR Formación reticular lateral, Formación reticular paramediana, Núcleo magno del rafe, Núcleo olivar superior y Centro de la mirada.

Generalidades

Filogenéticamente, la médula espinal y el tronco encefálico son estructuras que están bajo control supra segmentario (bajo la corteza cerebral o corteza cerebelosa). Su organización con una sustancia blanca externa y sustancia gris interna proviene de un desarrollo embrionario similar entre la médula espinal y el tronco encefálico. La médula espinal se encuentra comunicada con los sistemas orgánicos a través de los nervios espinales y el tronco encefálico lo hace a través de los nervios craneales cuya configuración va a ser similar a la de los nervios espinales, metaméricos, provenientes de núcleos internos. Ambas estructuras controlan reflejos estereotipados. En el tronco encefálico las respuestas reflejas son más complejas, dado que existen situaciones en que un núcleo interactúa con hasta seis nervios craneales para poder ejecutar alguna acción, como por ejemplo el núcleo sensitivo del nervio trigémino, que en su recorrido envía fibras por diversos núcleos craneales motores para producir reflejos.

La configuración interna se divide en tres partes con fines didácticos: Sustancia gris, sustancia blanca y formación reticular

Sustancia gris (núcleos): se dividen en intrínsecos y extrínsecos

Sustancia blanca: al igual que en la médula espinal, presenta **fascículos de asociación**, pero ahora entre niveles del tronco encefálico, por lo que estos no descienden a la médula espinal, por ejemplo, el fascículo tegmental central; también

presentará fascículos descendentes, como el fascículo corticoespinal, que se distribuirá por diversos niveles medulares y fascículos ascendentes, como el fascículo espino cerebelar ventral, que asciende desde la médula espinal y recorre el tronco encefálico. Además de las formaciones grises extrínsecas, intrínsecas y vías ocupando el tronco encefálico, tenemos la formación reticular, que es una estructura gris difusa expansiva que transcurre por el tronco encefálico, configurando internamente diversos núcleos, aunque más pequeños. Imagine una malla de pescador interpuesta en todos los sentidos del espacio, dentro del tronco encefálico que interactúa con todos los núcleos, solo que en algunas regiones de esta «malla» existirán algunos «peces atrapados». Esas mayores concentraciones de sustancia gris derivada de la formación reticular se pueden visualizar en el tronco encefálico macroscópicamente y se conocen, por ejemplo, como núcleo magno del rafe, formación reticular pontina paramediana o núcleo reticular lateral. Es decir, los núcleos reticulares son una concentración de pequeños núcleos de la formación reticular, aunque se designen como núcleos independientes. Es importante aclarar esto, dado que se presta para confusiones en diversos textos del área.

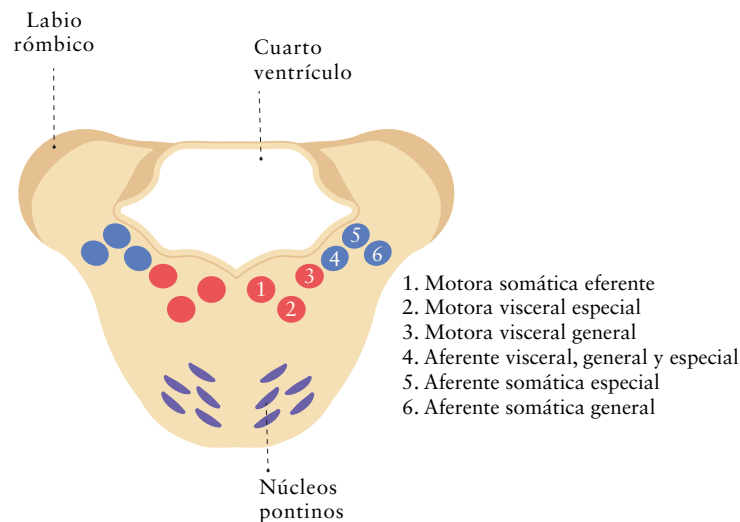
Sustancia gris extrínseca u homóloga Aspectos embriológicos

En la médula espinal se describió una región sensitiva, desarrollada a partir de la placa alar, y otra motora, que surge a partir de la placa basal, pero por distintos factores, como la aparición del **cuarto ventrículo**, las **decusaciones** y la aparición de la formación reticular, se van interrumpiendo columnas nucleares y formando nuevos **núcleos**. Por estas razones las placas basales serán pro-

yectadas hacia medial y las placas alares hacia lateral, por lo tanto, todos los **núcleos motores** estarán ubicados hacia medial y todos los **núcleos**

sensitivos estarán orientados hacia posterolateral, como se observa en la imagen (figura 71).

FIGURA 71. 1, 2 y 3 columnas nucleares eferentes y 4, 5 y 6 columnas nucleares aferentes.



A partir de lo anterior, se deduce que las columnas de **sustancia gris extrínseca u homóloga** se organizan en sensitivas y motoras.

Los cambios mencionados en las placas embrionarias se producen por al menos seis factores:

Aparición de **núcleos propios** del tronco encefálico, tales como el núcleo tegmental, núcleo arcuato, etcétera. Los que no son parte de nervios craneales.

Decusación motora, que se produce a nivel de pirámides bulbares.

Decusación sensitiva, decapitando columnas nucleares y dejando núcleos dispersos en el tronco.

Aparición del cuarto ventrículo, que proporciona la organización lateralizada, abriendo las placas alares y llevando los núcleos sensitivos hacia lateral.

Formación reticular, por su forma de malla es capaz de dispersar la sustancia gris.

Fragmentación de la sustancia gris por el paso de vías, decapitando o desplazando los núcleos del tronco.

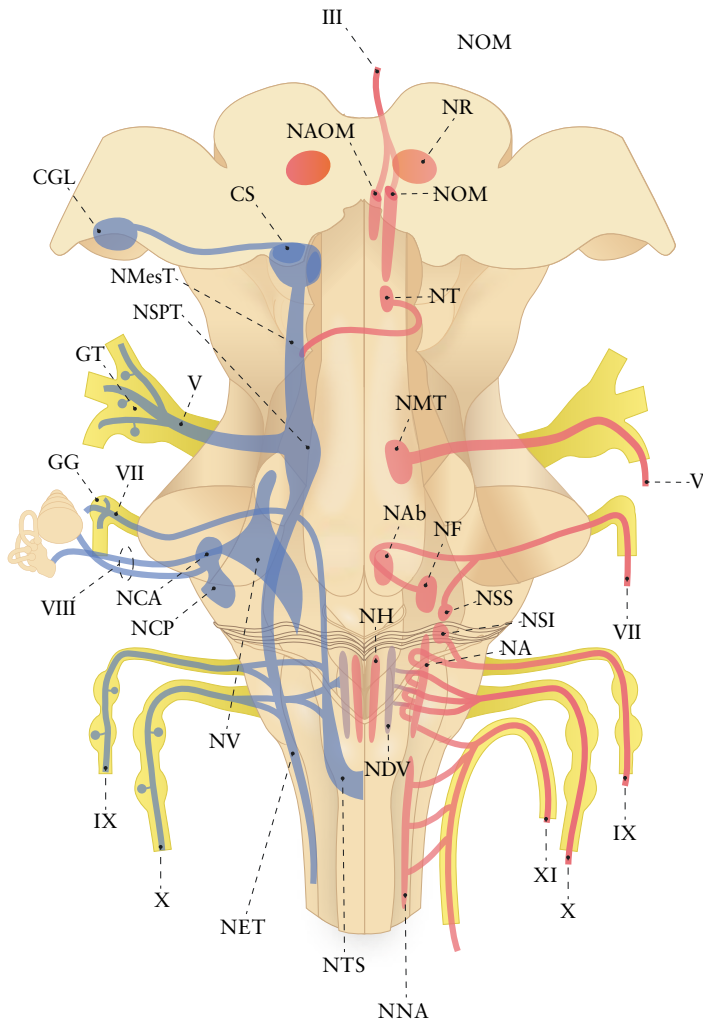
Para avanzar de manera clara en lo que resta del capítulo, debemos resumir:

Sustancia gris: se distinguirán dos tipos en el tronco del encéfalo:

- **Extrínseca:** constituida por núcleos de nervios craneanos.
- **Intrínseca:** constituida por núcleos propios del tronco encefálico.
- **Sustancia blanca:** en el tronco encefálico se encuentra representada por fascículos:
- **Descendentes, motores o eferentes:** por ejemplo, el fascículo corticoespinal, rubroespinal y tectoespinal.
- **Ascendentes, aferentes o sensitivos:** por ejemplo, el fascículo espinotalámico lateral.
- **Asociación:** por ejemplo, el fascículo longitudinal medial.

SUSTANCIA GRIS EXTRÍNSECA: corresponde a las columnas grises que configuran los núcleos de los nervios craneanos. Los que se representan en rojo son núcleos motores, y en azul, núcleos sensitivos (figura 72), pero se encuentran sobreproyectados unos con otros. El esquema tiene fines didácticos, dado que estas formaciones nucleares se conforman en ambos lados.

FIGURA 72. Columnas nucleares aferentes y eferentes, vista dorsal del tronco encefálico; orígenes de nervios craneanos. III. Nervio oculomotor, VII. Nervio facial, VIII. Nervio vestibulococlear, IX. Nervio glosofaríngeo, X. Nervio vago, XI. Nervio accesorio, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CS. Colículo superior, GG. Ganglio geniculado (Rodilla del nervio facial), GT. Ganglio trigeminal (de Gasser), NA. Núcleo ambiguo, NAb. Núcleo abducens, NAOM. Núcleo accesorio oculomotor (de Edinger-Westphal), NCA. Núcleo coclear anterior, NCP. Núcleo coclear posterior, NDV. Núcleo dorsal del vago, NET. Núcleo espinal del trigémino, NF. Núcleo facial, NH. Núcleo hipogloso, NMest. Núcleo mesencefálico del trigémino, NMT. Núcleo motor del trigémino, NNA. Núcleo del nervio accesorio, NOM. Núcleo oculomotor, NR. Núcleo rojo, NSPT. Núcleo sensitivo principal del trigémino, NSI. Núcleo salivatorio inferior, NSS. Núcleo salivatorio superior, NT. Núcleo troclear, NST. Núcleo del tracto solitario, NV. Núcleos vestibulares.



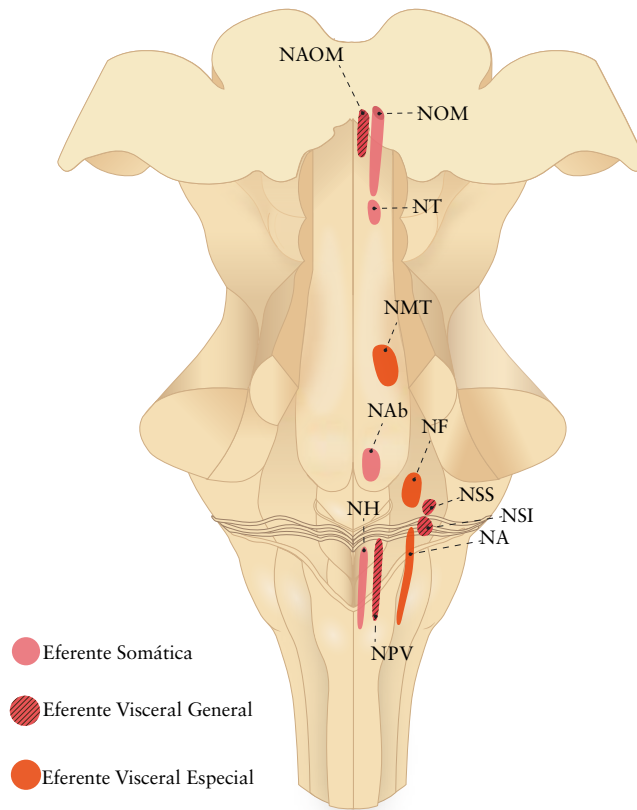
Las columnas de sustancia gris extrínseca se dividen en eferentes y aferentes

COLUMNAS MOTORAS O EFERENTES: son tres columnas dispuestas en sentido rostrocaudal, que se

ubican por medial y un poco más anterior a las columnas sensitivas. Se observan en la figura 73 en color rojo.

Estas columnas se denominan eferente somática, eferente visceral especial y eferente visceral general.

FIGURA 73. Columna eferente. NA. Núcleo ambiguo, NAb. Núcleo abducens, NAOM. Núcleo accesorio oculomotor (de Edinger-Westphal), NF. Núcleo facial, NH. Núcleo hipogloso, NOM, Núcleo oculomotor, NPV. Núcleo posterior del vago, NMT. Núcleo motor del trigémino, NSI. Núcleo salivatorio inferior, NSS. Núcleo salivatorio superior, NT. Núcleo troclear, Núcleo oculomotor.

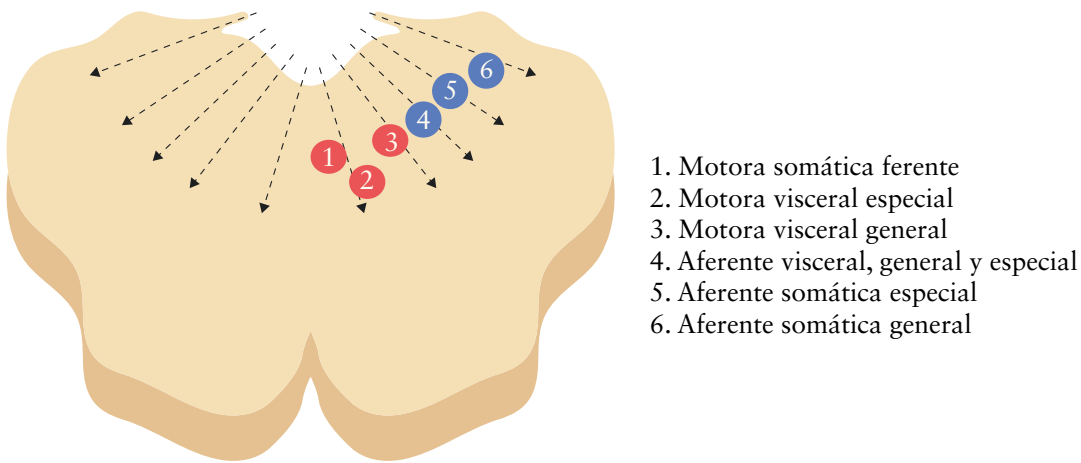


Columna eferente somática

Está compuesta de núcleos que originan inervación para grupos musculares estriados, de origen somático, que constituyen la lengua y músculos extraoculares. Su nombre deriva de la inervación exclusiva para los somitos cefálicos del embrión.

Esta columna nuclear se observa por medial en la figura 74 y de configuración simple y somática, porque se dirige hacia la periferia, es eferente (motora). Produce inervación motora simple, los nervios involucrados en esta columna gris son los nervios III, IV, VI y XII: **oculomotor, troclear, abducens e hipogloso.**

FIGURA 74. Representación esquemática de las columnas nucleares de acuerdo a su posición derivada de la formación embrionaria. 1. Columna somática eferente.



En la figura 73, se observa que los núcleos de color rojo de la misma columna corresponden al mismo tipo de innervación y se ubican cercanos a la línea media (placas basales), entonces, los ápices de las astas ventrales que se representan en la médula espinal, en esta columna, están orientados hacia medial, por lo tanto, es la columna más cercana a la línea media.

El primer núcleo que conocemos de esta columna nuclear es:

Núcleo oculomotor (III)

El núcleo de la columna somática eferente (CSE) se ubica dentro del mesencéfalo, a nivel del colículo superior. Su origen aparente es en la fosa interpeduncular, por medial al pedúnculo cerebral, y su territorio de innervación son los músculos extrínsecos del ojo. Estos núcleos del III par también se organizan en subnúcleos. Tienen una orientación general ipsilateral, o sea, se organizan en innervación a rectos y oblicuos del mismo lado, excepto el núcleo del recto superior, que es contralateral, mientras el músculo elevador del párpado superior de la innervación es ipso y contralateral. Estos núcleos del tercer par son

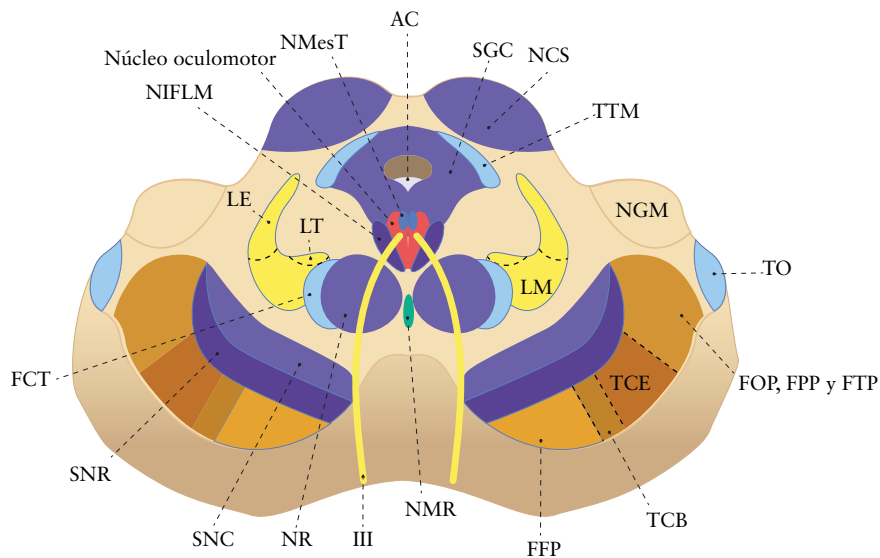
controlados de manera consciente por la vía corticonuclear.

Aferencias del núcleo oculomotor:

- Corteza cerebral (fibras corticorreticulonucleares bilaterales)
- Núcleos accesorios del oculomotor (núcleo de Edinger Westphal, fotoacomodador)
- Núcleos vestibulares
- Núcleo abductor
- Núcleo prepósito (parahipoglosal), es un núcleo intrínseco del bulbo que se ubica cerca del núcleo del nervio hipoglosal. Este lleva información al oculomotor y a los núcleos del movimiento de los ojos (fijación de mirada y movimientos oculares rápidos) y núcleo dentado (núcleo propio del cerebelo).

Es importante recalcar que el núcleo oculomotor se ubica a nivel mesencefálico, en la región anterior de la **sustancia gris periacueductal**, y emerge hacia anterior por la **fosa interpeduncular**, donde se observa su origen aparente (figura 75).

FIGURA 75. Corte horizontal del tronco a nivel del núcleo oculomotor que muestra la emergencia del III par craneal. FCT. Fibras cerebelotalámicas, FFP. Fibras frontopontinas, FOP. Fibras occipitopontinas, FPP. Fibras parietopontinas, FTP. Fibras temporopontinas, III. Nervio oculomotor, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NCS. Núcleo del colículo superior, NGM. Núcleo geniculado medial, NIFLM. Núcleo intersticial del fascículo longitudinal medial, NMesT. Núcleo mesencefálico del trigémino, NMR. Núcleo magno del rafe, NR. Núcleo rojo, SGC. Sustancia gris central, SNC. Sustancia negra compacta, SNR. Sustancia negra reticular, TCB. Tracto corticobulbar, TCE. Tracto corticoespinal, TO. Tracto óptico, TTM. Tracto trigémino mesencefálico.

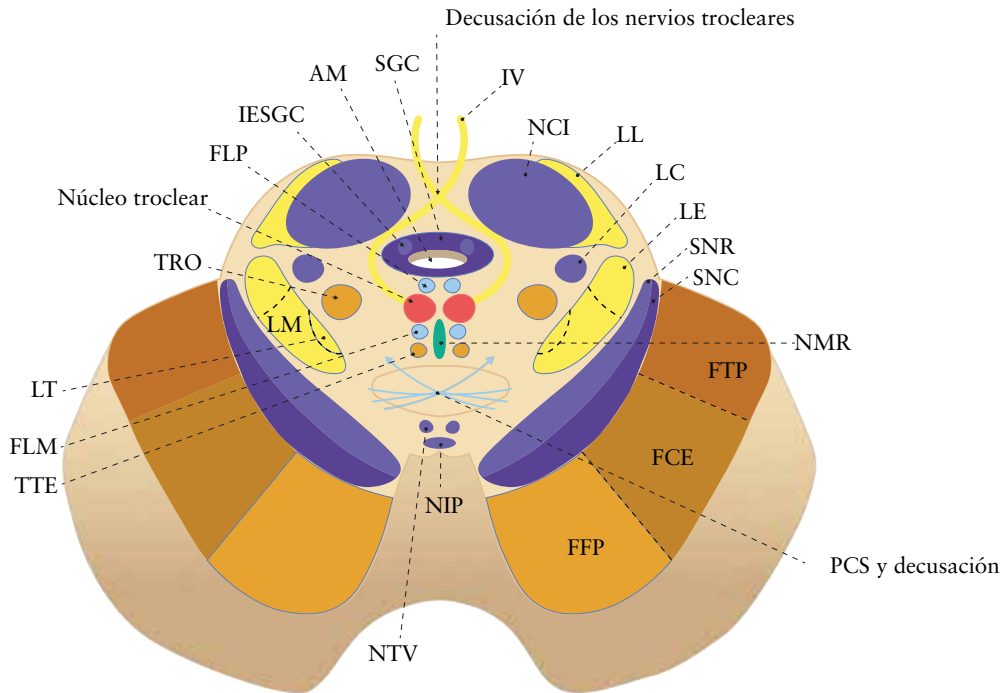


Núcleo troclear (IV)

Es parte de la columna somática eferente. El origen aparente del nervio se encuentra por pos-

terior, pero el origen real se encuentra por anterior a la sustancia gris periacueductal que se encuentra rodeando el acueducto mesencefálico, como se observa en la figura 76.

FIGURA 76. Posición del núcleo troclear en el mesencéfalo, a nivel del colículo inferior. AM. Acueducto mesencefálico, FCE. Fibras corticoespinales, FFP. Fibras frontopontinas, FLM. Fascículo longitudinal medial, FLP. Fascículo longitudinal posterior, FTP. Fibras temporopontinas, IESGC. Interneuronas encefalínérgicas de la sustancia gris central, IV. Nervio troclear, LC. Locus coeruleus, LE. Lemnisco espinal, LL. Lemnisco lateral, LM. Lemnisco medial, LT. Lemnisco trigeminal, NCI. Núcleo del colículo inferior, NCS. Núcleo del colículo superior, NIP. Núcleo interpeduncular, NMR. Núcleo magno del rafe, NTV. Núcleo tegmental ventral, PCS. Pedúnculo cerebelar superior y decusación, SGC. Sustancia gris central, SNC. Sustancia negra compacta, SNR. Sustancia negra reticular, TRO. Tracto rubroolivario, TTE. Tracto tectoespinal.



En el mesencéfalo los núcleos trocleares se ubican por anterior a la sustancia gris periacueductal, cruzándose antes del frenillo del velo medular superior para aparecer cruzados en la región posterior del tronco encefálico. Por lo tanto, la inervación es cruzada hacia los músculos oblicuos superiores del ojo. Es el único nervio donde ocurre una decusación dorsal mesencefálica, todo esto a nivel del colículo inferior. Es habitual que

se muestren cortes a nivel del colículo inferior para mostrar el núcleo del IV par, o la formación de las fibras del nervio troclear (figura 76).

Núcleo abducens (VI)

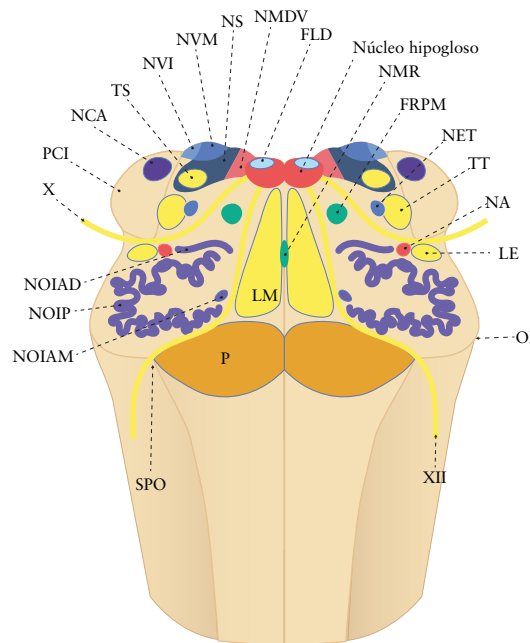
Es otro núcleo de la columna somática eferente, que proporciona la inervación hacia el músculo recto lateral del ojo.

Núcleo Hipogloso (XII)

El núcleo Hipogloso está en relación con el área del trígono del hipogloso en el piso del IV

ventrículo; pero en un corte transversal para ubicarlo se posicionará a nivel del complejo olivar inferior, que produce un abultamiento en la médula oblonga llamado oliva bulbar (figura 78).

FIGURA 78. Corte horizontal de tronco encefálico a nivel de núcleos hipoglosos. FLD. Fascículo longitudinal dorsal, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NA. Núcleo ambiguo, NCA. Núcleo cuneiforme accesorio, NMDV. Núcleo motor dorsal del vago, NMR. Núcleo magno del rafe, NOIAD. Núcleo olivar inferior accesorio dorsal, NOIAM. Núcleo olivar inferior accesorio medial, NOIAP. Núcleo olivar inferior accesorio principal, NS. Núcleo solitario, NET, Núcleo espinal del trigémino, NVI. Núcleo vestibular inferior, NVM. Núcleo vestibular medial, Ol. Oliva, P. Pirámide, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, SPO. Surco preolivar, TS. Tracto solitario, TT. Tracto trigeminal, X. Nervio vago, XII. Nervio hipogloso.



Las fibras del nervio hipogloso son clásicas en los cortes a nivel del núcleo olivar inferior, porque se forman hacia anterior y se dispersan después hacia lateral cuando están en presencia de las pirámides bulbares para ir a aparecer mediante 10 o 12 raicillas en el surco preolivar, donde se origina.

Las lesiones a este nivel podrían afectar el núcleo del nervio XII o el nervio en sí, ambas situaciones producirán una lesión de vía motora inferior, o lo que en neurociencias se denomina parálisis infranuclear. Por lo tanto, se van a presentar características patognomónicas de este caso (atrofia, fasciculaciones y debilidad); el individuo quiere hablar y no puede porque se desvía hacia

el lado atrófico de la lesión. Si fuera supranuclear la lengua tendría una parálisis espástica, es decir, poseería una contracción o una semicontracción aumentada permanente.

Columna eferente visceral especial

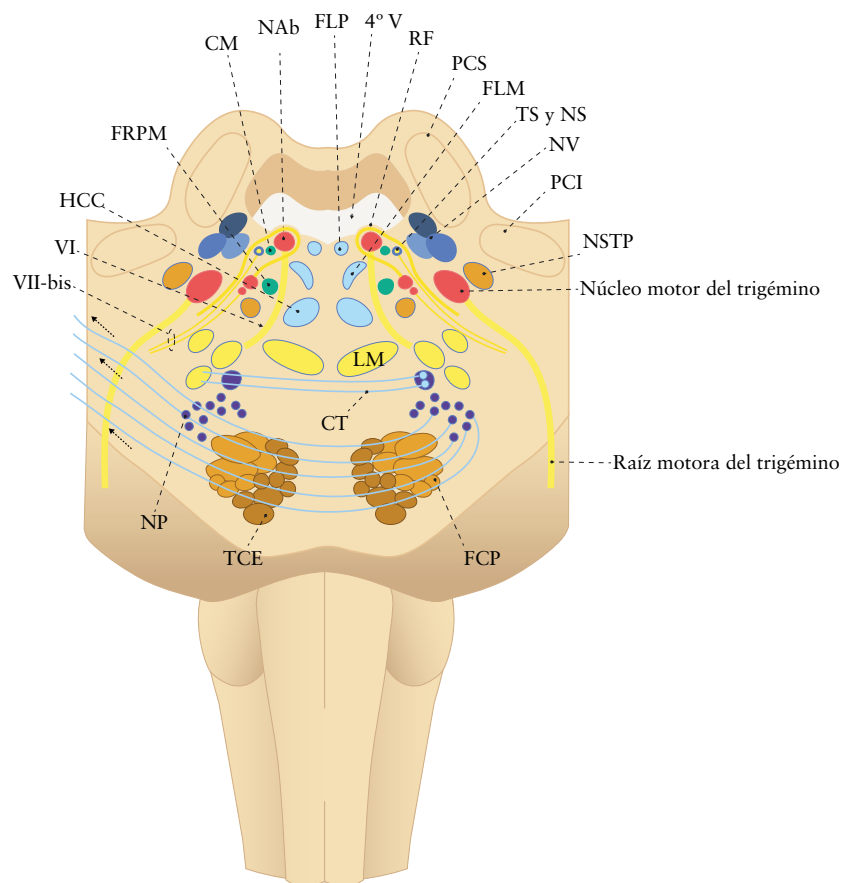
La columna eferente visceral especial contiene núcleos que originan nervios para músculos estriados, que se forman a partir de arcos faríngeos. Los derivados del primer arco faríngeo son inervados por el nervio trigémino, el segundo por el nervio facial, el tercero y el cuarto por el nervio glossofaríngeo y vago respectivamente. Por esto la columna eferente visceral va a estar constituida

por los núcleos motores de estos nervios: el núcleo motor del trigémino, el núcleo motor del facial, que es el responsable de movimiento de la cara, y el núcleo ambiguo, porque este interactúa con varios nervios, específicamente con glossofaríngeo, vago y accesorio. El núcleo ambiguo efectivamente es un territorio compartido para estos tres nervios, aunque el nervio accesorio no se forma totalmente desde este núcleo, cuya función será movilizar principalmente distintos músculos del cuello; entonces, mantiene otro núcleo motor propio que se denomina núcleo del nervio accesorio.

Núcleo masticatorio o núcleo motor del trigémino

El núcleo masticatorio o motor del trigémino se ubica en el tegmento pontino, y su origen aparente se encuentra en el límite del puente, donde comienzan los pedúnculos cerebelares medios. En la figura 79, se destaca el núcleo motor y a su lado la columna nuclear del trigémino. El núcleo motor del trigémino es relativamente pequeño y esférico, en cambio, la columna trigeminal está segmentada porque es larga y abarca desde mesencéfalo a médula espinal.

FIGURA 79. Representación de un corte simplificado de tronco encefálico que muestra la posición y nivel del núcleo motor del trigémino. FLP. Fascículo longitudinal posterior, FRPM. Formación reticular paramediana, HCC. Haz central de la calota, VI. Nervio abducens, LM. Lemnisco medial, NAb. Núcleo del nervio abducens, NS y TS. Núcleo y tracto solitario, NP. Núcleos pontinos, TCE. Tracto corticoespinal, CT. Cuerpo trapezoide, FCP. Fibras corticopontinas, LL. Lemnisco lateral, LT. Lemnisco trigeminal, NSPT. Núcleo sensitivo principal del trigémino, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, NV. Núcleos vestibulares, FLM. Fascículo longitudinal medial, PCS. Pedúnculo cerebelar superior, VII-bis. Núcleo intermedio, RF. Rodilla del facial.

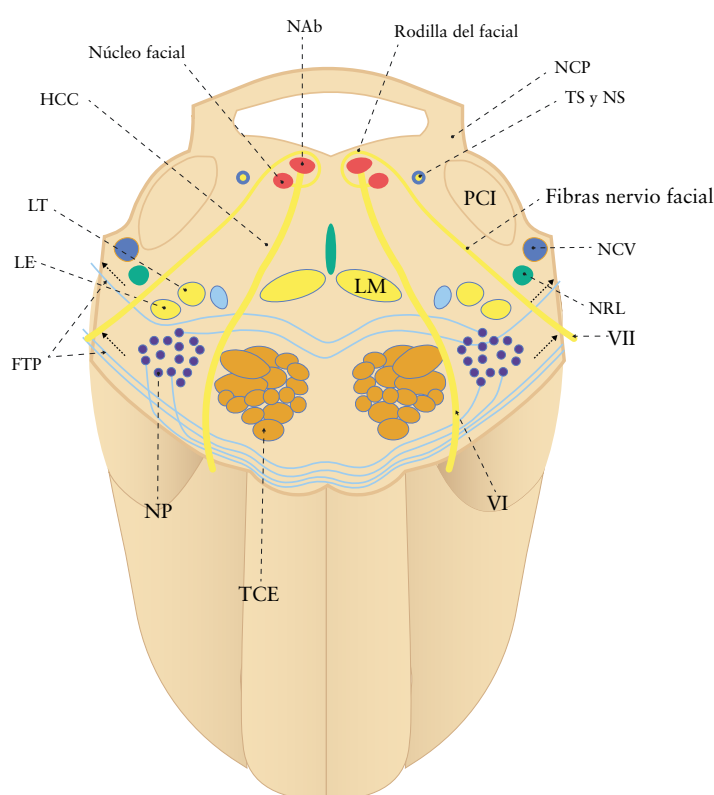


El territorio de inervación serán los músculos derivados del primer arco faríngeo, específicamente los músculos masticatorios, pero además los músculos tensores del velo palatino, del tímpano y vientre anterior del músculo digástrico. Sus aferencias principales vendrán desde la corteza cerebral y desde el propio núcleo mesencefálico del trigémino.

Núcleo motor del nervio facial

El núcleo motor del nervio facial se ubica a nivel del cuarto ventrículo en relación con el colículo facial, donde se encuentra el núcleo del abducens, por lo que el nervio facial da una vuelta por detrás del núcleo abducens. Entonces, el núcleo del nervio facial está levemente inferior y lateral a nivel de las áreas vestibulares (figura 80).

FIGURA 80. Ubicación del núcleo motor del facial. FTP. Fibras transversas del puente, LM. Lemnisco medial, LE. Lemnisco espinal, LT. Lemnisco trigeminal, NAb. Núcleo del nervio abducens, NCV. Núcleo coclear ventral, NOS. Núcleo olivar superior, NP. Núcleos pontinos, NRL. Núcleo reticular lateral, NET. Núcleo espinal del trigémino, NV. Nervio vestibular, NVL. Núcleo vestibular lateral, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, TCE. Tracto corticoespinal, VII. Nervio facial.



La inervación que entrega es a nivel de los músculos derivados del segundo arco faríngeo y este núcleo está subdividido en subnúcleos dorsal, ventral, lateral y medial, es decir, son mini columnas nucleares destinadas al control de diferentes músculos faciales. Por ejemplo, el núcleo medial se dirige específicamente a los músculos platismo y auriculares, el subnúcleo dorsal inerva los músculos faciales del tercio superior del rostro y el subnúcleo lateral inerva los músculos

del tercio inferior de cara y el subnúcleo ventral
el resto.

Sus principales aferencias provienen desde la corteza cerebral, por lo que se debe asumir que es consciente, también desde los núcleos de la base, lo que sugiere que los movimientos están refinados por las vías extrapiramidales, por lo que son precisos. Son conscientes y se integran con el oído, dado que ya se había mencionado que el núcleo olivar superior, que se ubica a nivel del

cuerpo trapezoide de la vía acústica, tiene relación con la expresión facial en respuesta a ruidos intensos. Este reflejo está integrado a través del núcleo olivar superior, sistema trigeminal o núcleos del trigémino. Esto indica que la inervación sensitiva podría estimular reflejos para poder impulsar expresiones dolorosas. A nivel del colículo superior se observan reflejos que están asociados a luz intensa, por ejemplo, el parpadeo ante una fuente lumínica no se puede controlar de manera consciente.

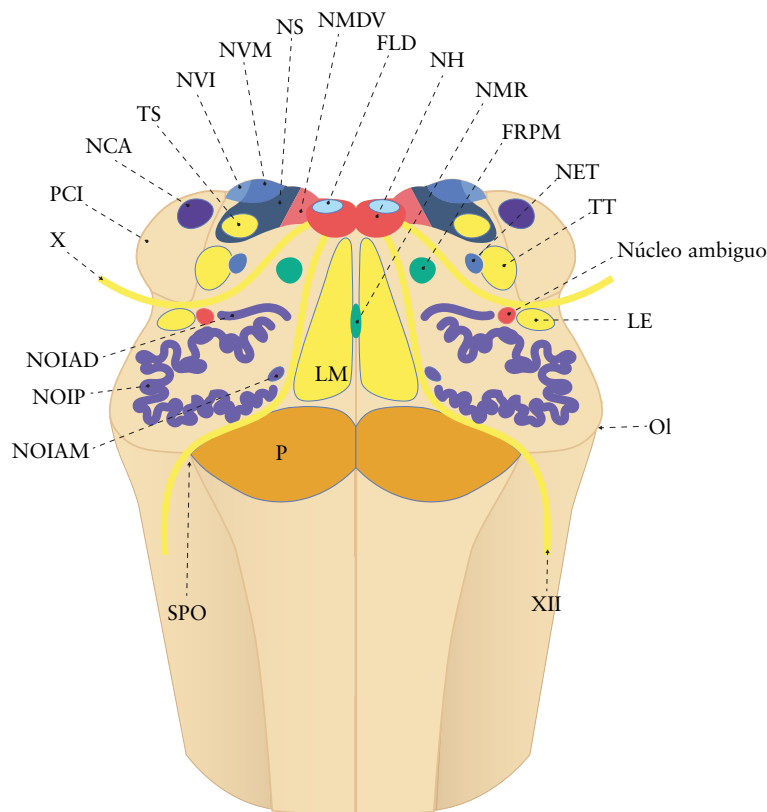
Núcleo ambiguo

Participa en la coordinación segmentaria del proceso deglutorio. Para que la deglución ocurra de manera coordinada, deben actuar en el momen-

to preciso el velo palatino, faringe, epiglotis y tubo digestivo alto. Esto requiere la participación de distintos nervios craneales como el glossofaríngeo, vago y accesorio (figura 81).

El núcleo ambiguo inerva a través del N. glossofaríngeo al músculo estilo faríngeo. Desde su tercio medio emite fibras para el nervio vago y se denomina núcleo motor ventral del vago e inerva a los músculos de la laringe y faringe. Y el nervio accesorio recibe filetes del tercio inferior del núcleo ambiguo (raíz craneal). Esta raíz se une a las raicillas del nervio vago para conformar el nervio recurrente laríngeo e inervar los músculos intrínsecos de la laringe. Este nervio mantiene otro núcleo accesorio a nivel medular y es esta raíz la que inerva los músculos esternocleidomastoideo y trapecio.

FIGURA 81. Esquema de la posición del núcleo ambiguo en un corte transversal del tronco encefálico. FLD. Fascículo longitudinal dorsal, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NCA. Núcleo cuneiforme accesorio, NH. Núcleo hipogloso, NMDV. Núcleo motor dorsal del vago, NMR. Núcleo magno del rafe, NOIAD. Núcleo olivar inferior accesorio dorsal, NOIAM. Núcleo olivar inferior accesorio medial, NOIAP. Núcleo olivar inferior accesorio principal, NS. Núcleo solitario, NET, Núcleo espinal del trigémino, NVI. Núcleo vestibular inferior, NVM. Núcleo vestibular medial, Ol. Oliva, P. Pirámide, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, SPO. Surco preolivar, TS. Tracto solitario, TT. Tracto trigeminal, X. Nervio vago, XII. Nervio hipogloso.



INERVACIÓN: hacia los músculos derivados desde el 3° y 4° arco faríngeo.

UBICACIÓN: es un núcleo amplio que se posiciona en varios niveles, dado que emite fibras para tres nervios. Debemos recordar que glossofaríngeo, vago y accesorio nacen en orden desde el surco dorso lateral del bulbo; si se recorre por lateral y se introduce una aguja, se encontrará el núcleo ambiguo, en el 1/3 superior del bulbo.

Recordar: Nervio accesorio tiene una raíz craneal desde el núcleo ambiguo, pero el resto de sus raíces provienen del núcleo central que se encuentra a nivel de la médula espinal cervical.

Columna eferente visceral general (visceromotriz)

La columna eferente visceral general es parte del sistema nervioso parasimpático. Está compuesta por núcleos que originan inervación a musculatura lisa intraocular, de los aparatos excretores de glándulas, de las mucosas y de paredes de vísceras. Por ello, están constituidos por cuerpos de neuronas preganglionares parasimpáticas. Los núcleos que forman parte de esta columna son: núcleo accesorio del oculomotor o de Edinger-Westphal, núcleo salivatorio superior, salivatorio inferior y núcleo dorsal del vago, el cual se posiciona profundo al trigono del vago. Hay otro núcleo que rara vez lo nombran, que también es importante y se encuentra delante del núcleo salivatorio superior, se llama núcleo lacrimomuconasal y están al mismo nivel.

En la figura 73 se observa la columna eferente visceral general compuesta por el núcleo accesorio del oculomotor, salivatorio superior, lacrimomuconasal, salivatorio inferior y el núcleo dorsal del vago, que se visualizan en rojo con líneas negras.

EL NÚCLEO ACCESORIO DEL OCULOMOTOR interactúa con núcleos denominados pretectales (antes del *tectum*), los cuales tienen relación con la glándula pineal y el ciclo luz y oscuridad, pudiendo generar miosis a través del núcleo de Edinger Westphal, porque todos estos núcleos pequeños están en la misma zona.

El núcleo SALIVATORIO SUPERIOR inerva las glándulas salivales mayores, pero no todas, sino que inerva a la glándula sublingual, la glándula submandibular y las glándulas salivales menores, a través del VII par intermedio (Wrisberg).

El núcleo LACRIMOMUCONASAL es considerado la porción superior del núcleo salivatorio superior y tiene relación con la secreción de las glándulas lagrimales. El nervio facial lleva la información hacia la glándula lagrimal, interactuando con el nervio maxilar, en la fosa pterigopalatina, para proporcionar el nervio ramo comunicante con el nervio cigomático, dándole finalmente la inervación a la glándula lagrimal, aunque también se encarga de la secreción de glándulas nasales y faríngeas. Toda esta información proviene del núcleo lacrimomuconasal, pero está al mismo nivel del núcleo salivatorio superior; entonces, estas formaciones se consideran orígenes de nervio facial.

El NÚCLEO SALIVATORIO INFERIOR es propio para la glándula parótida, es origen real para el nervio glossofaríngeo.

El NÚCLEO DORSAL DEL VAGO está a nivel del trigono del vago, lateral al trigono del hipogloso, en el piso del 4° ventrículo encefálico. Este núcleo parasimpático se denomina comúnmente cardioneumoentérico y proporciona la inervación eferente y parasimpática del nervio vago.

Cuando estimulamos las vías vestibulares (misma ubicación que núcleo dorsal del vago), mediante un consumo excesivo de alcohol, se afecta el paleo-córtex cerebelar, el cual interactúa directamente con el núcleo vestibular, estimulando el reflejo del vómito. Esto también ocurre cuando se gira bruscamente en el eje axial. Entonces interactúa con fibras que son parasimpáticas, generando, incluso, un ascenso en la presión arterial, con el simple hecho de girar. Por lo tanto, dada la posición del núcleo dorsal del vago, la sobreestimulación de las áreas vestibulares, ya sea a nivel cerebelar o en las mismas fibras vestibulares, genera la sensación nauseosa o el vómito en sí. De esta función también se encarga el área postrema del piso del 4° ventrículo.

COLUMNAS SENSITIVAS O AFERENTES: son tres columnas dispuestas en sentido rostrocaudal, que se ubican por lateral a las columnas motoras, de las cuales se separan por el surco limitante.

Estas columnas se denominan: aferente somática general, aferente somática especial y aferente visceral general y especial.

Columna aferente somática general

La columna aferente somática general representa la columna nuclear más lateral y corresponde a una columna homóloga al asta posterior de la médula espinal. En términos generales, en esta columna se encuentran los cuerpos de las segundas neuronas de las vías sensitivas procedentes de territorios inervados por el nervio trigémino, facial, glosofaríngeo y vago (figura 82.). En esta columna ocurre una importante convergencia, ya que mientras en la periferia los territorios sensitivos somáticos eran inervados por diferentes pares craneales (V, VII, IX, X), solo el nervio trigémino presenta núcleos sensitivos propios, por lo que los otros nervios deben aportar esta información al sistema trigeminal que en este nivel forma una larga columna dispuesta en sentido rostrocaudal.

La columna de núcleos trigeminales es muy extensa y se divide convencionalmente en una porción superior, en una media y en otra inferior. La porción superior se llama **núcleo mesencefálico del trigémino**. La porción media se denomina **núcleo sensitivo principal** del trigémino, el cual se encuentra lateral a su núcleo motor. La tercera porción es la más extensa, ya que comienza en el puente caudal, atraviesa todo el bulbo y se extiende hasta la médula espinal, hasta C3, confundiendo con la sustancia gelatinosa de estos niveles. Se denomina **núcleo espinal del trigémino** (figura 82). Alrededor de la columna nuclear del trigémino se van formando los tractos ascendentes de la vía trigeminal; el núcleo está rodeado de fibras de la constitución del nervio trigémino hacia el núcleo o las que emergen del núcleo para ascender hacia el tálamo y constituyen las vías **trigeminotalámicas ventral y dorsal** y el **lemnisco trigeminal**.

El núcleo mesencefálico es propioceptivo (propiocepción consciente) y sensibilidad vibratoria, es específico para la cabeza. El núcleo sensitivo principal del trigémino recibe información de sensibilidad táctil de la cabeza. El núcleo espinal del trigémino es mucho más complejo, es homólogo

al tracto dorso lateral y láminas I y II de Rexed de la médula espinal. En general, se dice que conduce las sensaciones de dolor y temperatura y se divide en las porciones oral, interpolar y caudal. La porción oral va a tener una pequeña región también para la sensibilidad táctil de la mucosa oral, es la primera porción (pequeña). La región interpolar está a nivel del óbex, que representa la sensibilidad dolorosa de los territorios del nervio trigémino (por ejemplo, piezas dentarias). Y la región caudal del núcleo espinal recibe las fibras de termoalgesia, pero de la cara, de tal forma que, dependiendo del nivel y de dónde fue afectada, esta columna nuclear puede favorecer diferentes situaciones clínicas. Otro aspecto importante es que los tractos que van alrededor del núcleo se cruzan en varios niveles, pero sobre todo a nivel del puente, enviando conexiones para diversos núcleos craneales. Representan reflejos de la columna del trigémino. Adicionalmente estas vías primero se cruzan y luego ascienden; cuando comienzan a escalar por ambos lados, forman las vías ascendentes trigeminales, como el lemnisco trigeminal y las vías trigeminotalámicas ventral y dorsal. En su trayecto estas vías pueden enviar colaterales a distintos núcleos de nervios craneales, los que se integran y participan en respuestas reflejas que describimos a continuación:

Reflejo lingual, en respuesta a la estimulación lingual, interactúa con el núcleo del hipogloso.

Reflejo del vómito, en respuesta a la estimulación de la pared faríngea, núcleo dorsal del vago.

Reflejo de estornudo, en respuesta a la estimulación de la mucosa nasal, núcleo ambiguo (IX par).

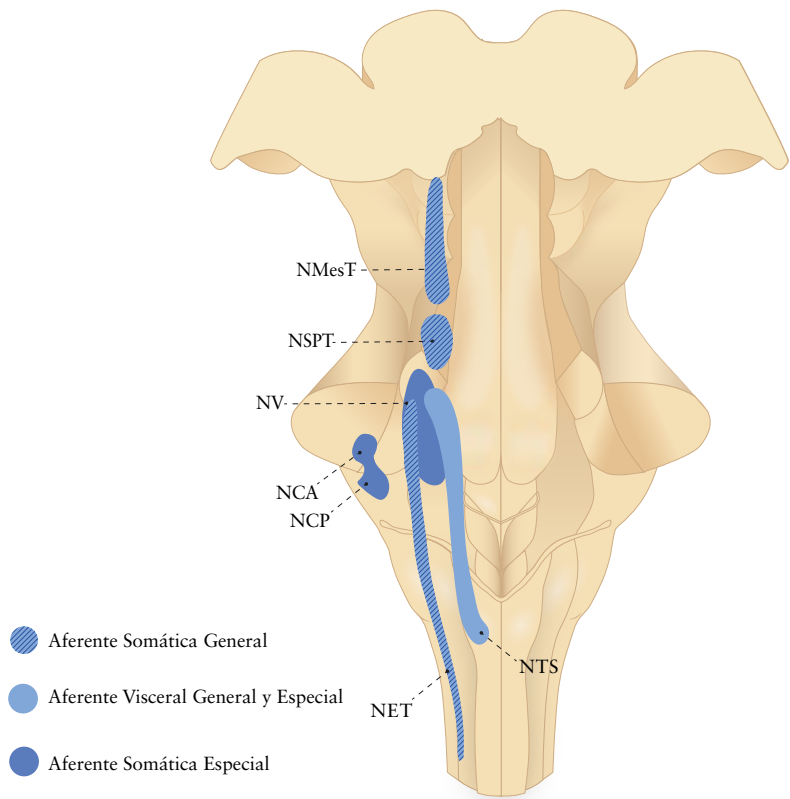
Reflejo de salivación, núcleo salivatorio inferior (IX par).

Reflejo de lagrimación, en respuesta a la estimulación corneal, núcleo salivatorio superior.

Reflejo parpadeo, en respuesta a la estimulación corneal, núcleo motor del facial.

Reflejo mandibular, contracción del músculo masetero y temporal en respuesta al golpeteo a nivel del mentón, núcleo motor del trigémino.

FIGURA 82. Columnas sensitivas o aferentes. NCA. Núcleo coclear anterior, NCP. Núcleo coclear posterior, NET. Núcleo espinal del trigémino, NMesT. Núcleo mesencefálico del trigémino, NSPT. Núcleo sensitivo principal del trigémino, NTS. Núcleo del tracto solitario, NV. Núcleo vestibular.



Columna aferente somática especial

La columna aferente somática especial se relaciona con los sentidos especiales que tienen estaciones de relevo en el tronco encefálico. Sus núcleos forman parte del sistema vestibulococlear.

El nervio vestibulococlear está constituido por núcleos vestibulares (4) y cocleares (2) dispuestos bilateralmente. Estos núcleos formarán la columna somática aferente especial que deriva de la placa alar, equivalente a la región de los núcleos propios y de la lámina V de Rexed en una médula espinal, lo que sugiere que la vía auditiva es un sentido que deriva de la propiocepción.

La columna aferente somática especial solo se encuentra en el bulbo y el puente y está compuesta por los núcleos vestibulares y cocleares.

Núcleos vestibulares: participan en el control postural de manera indirecta, controlando los centros espinales para los músculos erectores de la espina en el dorso del tronco. Lo hacen a través

de la vía vestibulo-espinal, que es descendente.

Núcleos cocleares: se constituyen por un núcleo coclear dorsal y otro núcleo coclear ventral. Los núcleos cocleares dorsales se encuentran posicionados más abultados hacia el piso del cuarto ventrículo y se ubican en relación a los pedúnculos cerebelares inferiores, formando las estrías acústicas.

Los núcleos cocleares ventrales: se sitúan más profundo en el tronco del encéfalo, sus axones forman el cuerpo trapezoide, constituyendo la decusación sensitiva de los núcleos cocleares. Las fibras que ascienden hacia el tálamo formarán el lemnisco lateral. Por lo tanto, habrá dos lemniscos que provienen del tronco del encéfalo de los núcleos de los pares craneales (V y VIII), y otro proveniente de los núcleos grácil y cuneiforme, donde sinapta información procedente de la médula espinal.

Sugerimos desarrollar el estudio de esta columna nuclear en conjunto con oído, audición y vías auditiva y vestibular.

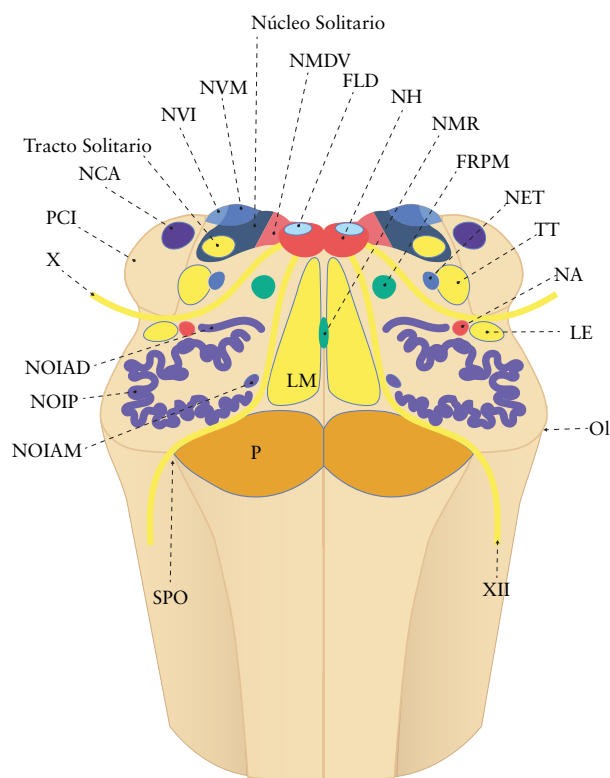
Columna aferente visceral general y especial

Esta columna tiene un componente visceral especial que se relaciona con el gusto y otro visceral general que se ocupa de la sensibilidad visceral, por ejemplo, dolor y distensión. Anatómicamente estos dos componentes forman parte de un mismo núcleo alargado, denominado núcleo del tracto solitario, cuyo segmento rostral es gustativo y su segmento caudal visceral general. La imagen 82 representa el núcleo del tracto solitario, que lo comparten los nervios facial, glossofaríngeo y vago.

NÚCLEO DEL TRACTO SOLITARIO: se encuentra en la región bulbar y puente. Se relaciona con el origen aparente de los nervios mencionados, funcionalmente corresponde a la base del cuerno dorsal de la médula espinal, es decir, información

interoceptiva (visceral), que es información sensitiva que proviene desde el nervio vago, de toda la información visceral que las recibe el núcleo del tracto solitario. A nivel del glossofaríngeo, ocurre lo mismo. Este núcleo es bilateral, de tal forma que se sobreproyectan a medida que descienden los núcleos y a nivel inferior se denomina núcleo inferior del vago o núcleo comisural del vago (conecta los dos núcleos del tracto solitario). Es importante hacer la diferencia entre núcleo y tracto solitario, que corresponde a «vías» que se forman al interior del núcleo solitario, es decir, las fibras de formación para los nervios VII, IX y X que avanzan dentro del núcleo. Es por esta razón que se ven aislados del resto en un corte de tronco encefálico, por lo que se le denomina tracto solitario (figura 83).

FIGURA 83. Representación del núcleo del tracto solitario en un corte horizontal de tronco a nivel del complejo olivar inferior. FLD. Fascículo longitudinal dorsal, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NA. Núcleo ambiguo, NCA. Núcleo cuneiforme accesorio, NH. Núcleo hipogloso, NMDV. Núcleo motor dorsal del vago, NMR. Núcleo magno del rafe, NOIAD. Núcleo olivar inferior accesorio dorsal, NOIAM. Núcleo olivar inferior accesorio medial, NOIAP. Núcleo olivar inferior accesorio principal, NET, Núcleo espinal del trigémino, NVI. Núcleo vestibular inferior, NVM. Núcleo vestibular medial, Ol. Oliva, P. Pirámide, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, SPO. Surco pre olivar, TT. Tracto trigeminal, X. Nervio vago, XII. Nervio hipogloso.



La porción del núcleo del tracto solitario que recibe información sensitiva del nervio vago se denomina núcleo ventral del vago, la cual no debe confundirse con el núcleo dorsal del vago o núcleo cardioneumoentérico, que es parasimpático.

El núcleo del tracto solitario es especial, debido a que participa en el sentido del gusto. Es conocido que la innervación gustativa de los 2/3 anteriores de la lengua es realizada por el nervio cuerda del tímpano ramo del nervio facial. Mientras que en el 1/3 posterior, el dorso de la lengua se ubica en la innervación gustativa proporcionada por el nervio glosofaríngeo y a nivel de la raíz de la lengua el gusto la innervación proviene de ramos del nervio vago, por lo tanto, en la imagen 72 se evidencia que los tres nervios poseen el mismo núcleo sensorial, que se corresponde con el núcleo del tracto solitario. Lo interesante es que esta formación nuclear tendrá un componente general y otro especial (innervación gustativa: dada por el VII, IX y X) y, por ejemplo, el componente general del nervio vago es la innervación sensitiva de todas las vísceras, por esta razón el nombre es columna visceral aferente general y especial.

En términos generales podemos decir que la región caudal medial de este núcleo está en relación con el nervio vago y nos proporciona sensibilidad visceral general y el rostral lateral entrega la información gustativa.

Nervio glosofaríngeo

Posee un componente visceral general. Conduce la sensibilidad al tacto, dolor y temperatura de las membranas mucosas del tercio posterior de la lengua, más las tonsilas y la tuba auditiva, o sea, posterior al istmo de las fauces. También posee un componente visceral especial que será el gusto. Además, posee innervación al seno carotídeo, que es un componente especial con centro quimiorreceptor y barorreceptor.

Nervio vago

Componente visceral general, sensibilidad visceral general de la faringe, laringe, tráquea y esófago, se localiza en la parte caudal y medial del núcleo. Componente visceral especial, conduce sensibilidad del gusto de la región más posterior, a través del núcleo inferior del vago.

Núcleo comisural del vago: es la interacción de los núcleos del tracto solitario de ambos lados.

Consideración:

En general, las vías sensitivas tienen tres neuronas. Una neurona periférica en contacto con los receptores; una neurona central, ubicada en los núcleos sensitivos de los nervios craneales; y una neurona talámica, que se proyecta a la corteza. Los núcleos de los nervios craneales en el tronco encefálico constituyen, por tanto, los sitios donde se localizan los cuerpos de las segundas neuronas de las vías sensitivas o sensoriales. La única excepción la constituye el núcleo mesencefálico del trigémino, que contiene cuerpos de primeras neuronas propioceptivas.

En general, las vías motoras tienen dos neuronas: la primera, denominada neurona motora superior, se ubica en la corteza cerebral, mientras que la segunda, llamada neurona motora inferior, se encuentra en los núcleos motores de los nervios craneales. De esta forma, los núcleos de las columnas eferentes somáticas generales o especiales contienen cuerpos de neuronas motoras inferiores, cuyas prolongaciones se integran a los componentes motores de los nervios, como el hipogloso o el nervio masticador.

Tronco encefálico: sustancia gris intrínseca

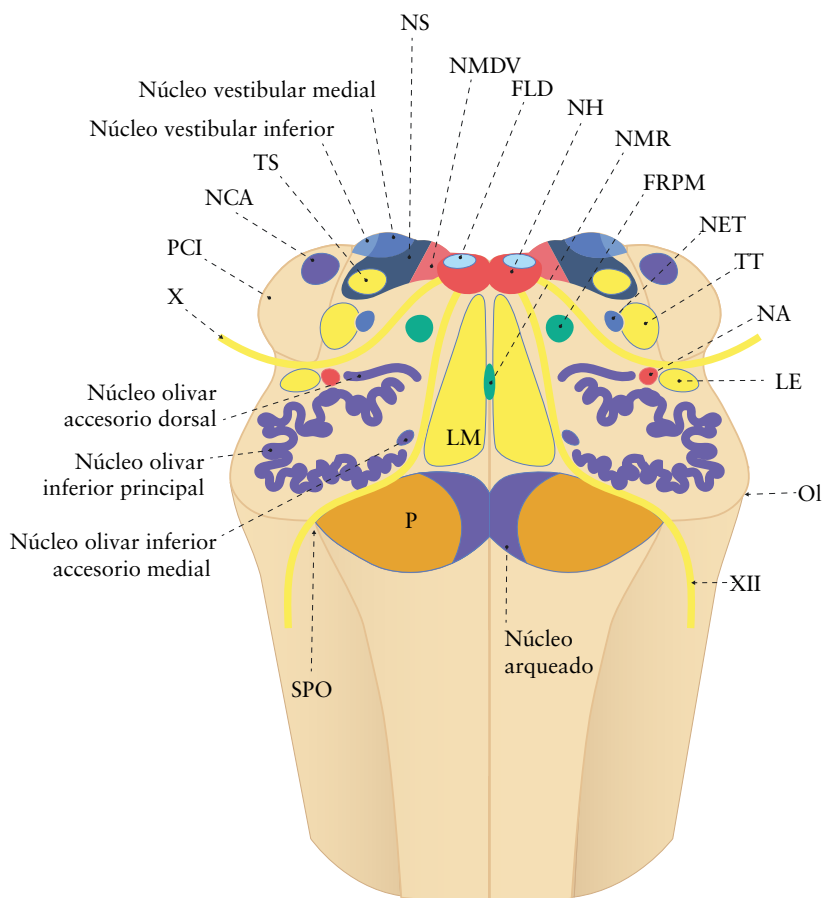
La nomenclatura de la anatomía externa del tronco encefálico adquiere mayor sentido una vez que se conoce su constitución interna. De esta forma, se comprende que el área vestibular se denomina así porque en esa región subyacen los núcleos vestibulares, o que el trigono del hipogloso nos indica el sitio donde se encuentra el núcleo del hipogloso o que el trigono del vago proyecta el núcleo dorsal del vago. El conocimiento de la estructura interna le da sentido a la descripción de la anatomía externa y nos permite relacionarla con la emergencia de los nervios craneales y comprender mejor las consecuencias clínicas de las lesiones en los distintos niveles del tronco encefálico.

En cada nivel del tronco encefálico encontraremos ciertos núcleos que no forman parte de las columnas nucleares que estudiamos precedentemente, a ellos se les denomina núcleos propios del tronco encefálico o sustancia gris intrínseca.

El corte que se observa en la figura 84 es un corte de médula oblonga alta, donde se pueden observar las pirámides. En ese mismo sector se pueden distinguir los núcleos arqueados o arcuatos, los lemniscos mediales y algunos como el núcleo del complejo olivar inferior, el cual no es un núcleo craneal, sino uno propio del tronco del encéfalo que no fue visto anteriormente. En la configuración externa del tronco se mencionó la oliva bulbar y se dijo que esta era una expansión de sustancia blanca y que dentro había una for-

mación gris, esto corresponde al núcleo del complejo olivar inferior y se llama complejo, porque es un conjunto de tres núcleos: dos accesorios y uno principal. Este es un ejemplo de sustancia gris intrínseca y no se debe confundir con las vías del tronco del encéfalo. Un lemnisco medial, por ejemplo, no es un núcleo, es una vía. Se mencionó que los lemniscos eran vías sensitivas, finalmente, estos núcleos propios no constituyen nervios craneales.

FIGURA 84. Corte alto de médula oblongada con diversas formaciones nucleares. 4°V. 4° ventrículo, CT. Cuerpo trapezoide, FNF. Fibras del nervio facial, FRPM. Formación reticular paramediana, FTP. Fibras transversas del puente, HCC. Haz central de la calota amiculum, LM. Lemnisco medial, LE. Lemnisco espinal, LL. Lemnisco lateral, LT. Lemnisco trigeminal, NAb. Núcleo del nervio abducens, NC. Nervio coclear, NCP. Núcleo coclear posterior, NCV. Núcleo coclear ventral, NMR. Núcleo magno del rafe, NOS. Núcleo olivar superior, NP. Núcleos pontinos, NRL. Núcleo reticular lateral, NET. Núcleo espinal del trigémino, NV. Nervio vestibular, NVL. Núcleo vestibular lateral, NVM. Núcleo vestibular medial, NVS. Núcleo vestibular superior, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, TCE. Tracto corticoespinal, TET. Tracto espinal del trigémino, TREP. Tracto reticuloespinal pontino, TRO. Tracto rubroolivar, VII. Nervio facial.



Núcleos intrínsecos o propios del bulbo

Son formaciones visibles macroscópicamente que se encuentran a nivel bulbar y que no forman parte de columnas nucleares. Tienen cierta importancia funcional.

Núcleo grácil y cuneiforme

En los cordones posteriores de la médula espinal se encuentra la primera neurona de una vía que conduce la propiocepción consciente, el tacto discriminativo y la sensibilidad vibratoria. Estas vías forman parte de la vía de la columna dorsal lemnisco medio y a nivel medular tienen un trayecto ipsilateral, ascendiendo por el cordón posterior, con el nombre de fascículo grácil y cuneiforme. La segunda neurona de esa vía se encuentra en estos núcleos: núcleo grácil por medial y núcleo cuneiforme por lateral. Estos son visibles en cortes de bulbo caudal.

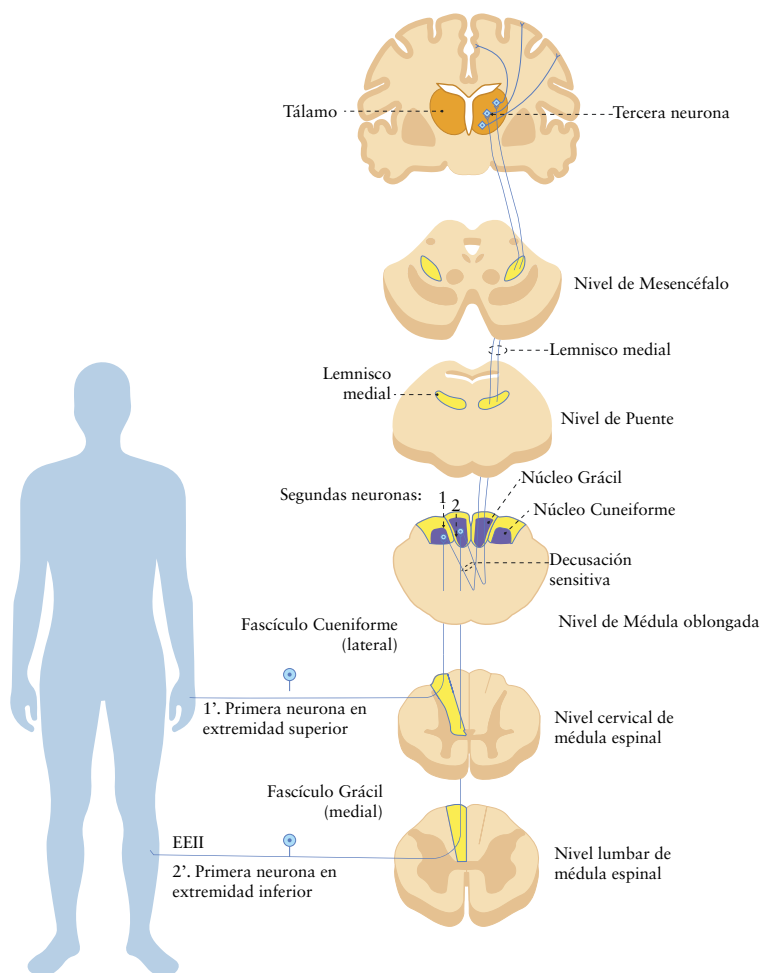
Los núcleos grácil y cuneiforme son estaciones de relevo de sensibilidad propioceptiva consciente, sensibilidad vibratoria y tacto epicrítico. Los axones que emergen de estas segundas neuronas de la vía se cruzan, originando una formación denominada fibras arciformes internas, que constituye la gran decusación sensitiva. Estas vías se pueden observar en un corte con tinción para mielina, en el punto que se cruzan y comienzan a ascender se les denomina lemnisco medial, que es el gran

lemnisco o la gran vía sensitiva que mantenemos en el tronco del encéfalo. En el lemnisco medial las fibras que se ubican por anterior proceden del núcleo grácil, mientras que por posterior irán las provenientes del núcleo cuneiforme (figura 85).

Núcleo cuneiforme accesorio

En la región también se encuentra el núcleo cuneiforme accesorio, que está en el mismo nivel que el núcleo cuneiforme, pero más lateralizado y levemente más superior, o sea que tendríamos que analizar un corte de los núcleos grácil y cuneiforme. Un par de milímetros más superior, nos encontraríamos con el núcleo cuneiforme accesorio. Esta formación gris toma este nombre solamente porque se encuentra al lado del cuneiforme, porque no contiene la misma información. Este núcleo recibe información propioceptiva inconsciente, siendo homólogo al núcleo dorsal o de Clarke, que origina el tracto espinocerebelar dorsal. El núcleo cuneiforme accesorio origina el tracto cuneocerebelar, el cual lleva información propioceptiva al espinocerebelo vía pedúnculo cerebelar inferior. El tracto espinocerebelar dorsal lleva información de toda la región corporal, mientras que el cuneo cerebelar lleva información de cuello y miembro superior, pero no de la cara, ya que esta información la lleva el nervio trigémino.

FIGURA 85. Sección horizontal de bulbo a la altura de los núcleos de la columna dorsal y decusación sensitiva. Vemos en 1' y 2' la primera neurona de la vía, y en 1 y 2 el cuerpo de la segunda neurona de la vía propioceptiva consciente. Estos núcleos son sensitivos.



Núcleos arqueados

Los núcleos arqueados se ubican en las porciones más superiores de las pirámides a nivel del bulbo, y algunas veces levemente hacia medial, y tienen forma de semiluna. Estos núcleos son homólogos a los núcleos pontinos (figura 86).

Es importante recordar que los núcleos pontinos se encuentran distribuidos en el puente para poder realizar una coordinación de los movimientos que proyectan información al cerebelo. Los núcleos arciformes o arqueados tienen la misma significación que los núcleos pontinos, solo que a nivel bulbar; anatómicamente son un poco más amplios, se observan con mayor facilidad. La información procedente de los núcleos arciformes se proyecta al cerebelo vía pedúnculo cerebelar inferior.

Núcleos del complejo olivar inferior

Se ubican en el tercio medio del bulbo, anatómicamente forman parte de la oliva bulbar. El complejo olivar inferior está compuesto por tres núcleos: uno principal, que tiene forma de una hoja replegada, y dos núcleos accesorios, uno denominado dorsal y otro medial, filogenéticamente más antiguos.

El complejo olivar inferior es un gran núcleo de sustancia gris intrínseca. Es motor, pero necesita abastecerse de información espino olivar, información que proviene de la médula espinal (figura 86).

El complejo olivar inferior participa en el aprendizaje motor y puede refinar los movimientos. Por ejemplo, si una persona acostumbra a

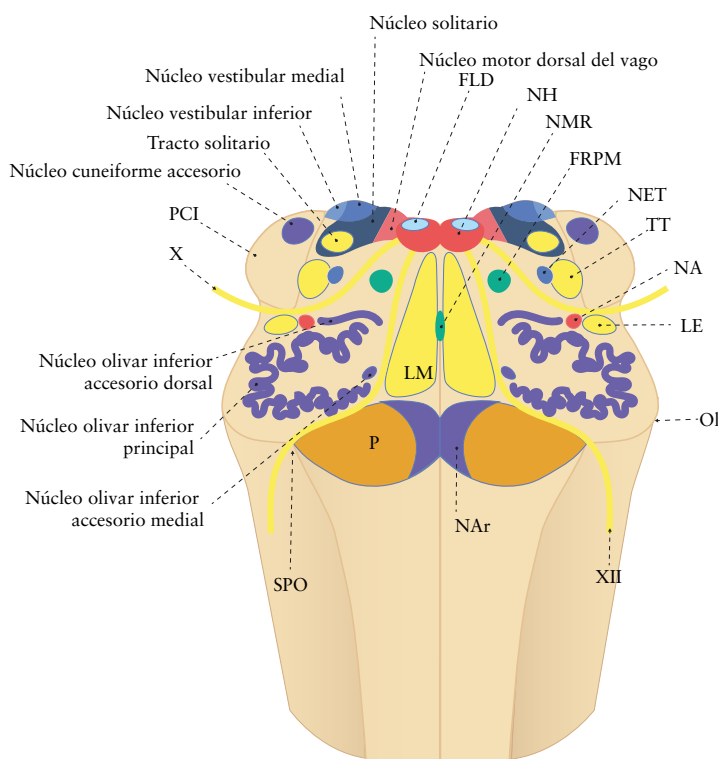
subir 50 escalones para llegar a su casa, con la misma medida, pero un día cambia de lugar con menos escalones, y de diferente tamaño, en las primeras pisadas uno tropieza, dado que la adaptación motora estaba hecha para un cierto tipo de escalón con forma y altura determinada, pero después de ciertos tropezones con los escalones nuevos, uno comienza a aprender y se automatiza el movimiento, y sube sin problemas. Esta automatización está a cargo del complejo olivar inferior. La vía del complejo olivar inferior al cerebelo se denomina fascículo olivocerebelar, recorre el pedúnculo cerebelar inferior, donde tiene una gran representación. Esta vía se encuentra bien

representada en algunas especies, como el gato, por lo que suele utilizarse para su estudio.

El complejo olivar inferior recibe aferencias desde la médula espinal que se denomina tracto espiño olivar para el aprendizaje motor, del núcleo rojo, que permite una adaptación motora contralateral descendente, a través de la vía denominada rubro olivar.

**Las vías mencionadas están organizadas en el tracto tegmental central (descrito más adelante del capítulo), que forma parte del componente extrapiramidal del control motor. El tracto tegmental central no se observa con facilidad, es difuso y está disperso.*

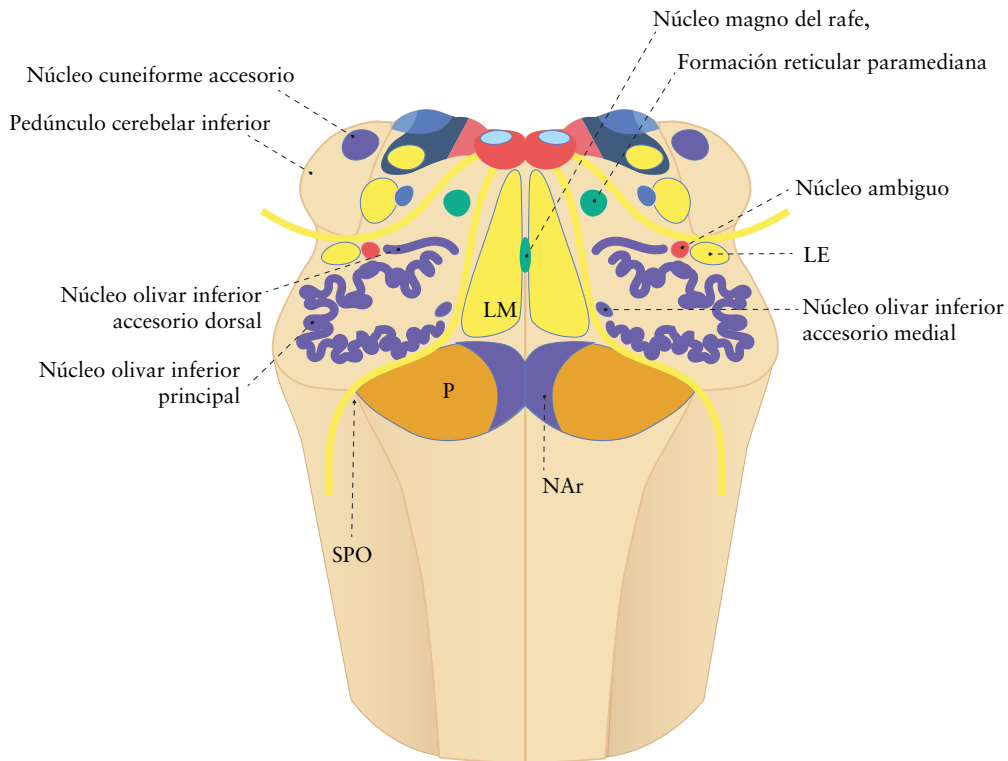
FIGURA 86. Núcleos propios del bulbo. FLD. Fascículo longitudinal dorsal, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NA. Núcleo ambiguo, NCA. Núcleo cuneiforme accesorio, NH. Núcleo hipogloso, NMDV. Núcleo motor dorsal del vago, NMR. Núcleo magno del rafe, NS. Núcleo solitario, NET, Núcleo espinal del trigémino, Ol. Oliva, P. Pirámide, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, SPO. Surco pre olivar, TS. Tracto solitario, TT. Tracto trigeminal, X. Nervio vago, XII. Nervio hipogloso.



Los núcleos del complejo olivar inferior interactúan entre ellos, enviándose fibras de un lado a otro, y además interactúan con la formación reticular, núcleo rojo, pero la mayor parte de sus

fibras pasa hacia el cerebelo. Esas vías olivo cerebelosas son las fibras trepadoras que pasan por el pedúnculo cerebelar inferior (figura 87).

FIGURA 87. Corte horizontal de bulbo a nivel de complejo olivar inferior, donde se observan núcleos craneales y propios del bulbo. FLD. Fascículo longitudinal dorsal, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NAr. Núcleo arquerado, NMR. Núcleo magno del rafe, Ol. Oliva, P. Pirámide, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, SPO. Surco pre olivar, TS. Tracto solitario, TT. Tracto trigeminal, X. Nervio vago, XII. Nervio hipogloso.



La región del complejo olivar inferior está rodeada por sustancia blanca, que se une con su contraparte y se dirige hacia el lado contralateral del cerebelo. Esa sustancia blanca que se encuentra ahí se llama *amiculum olivae*, significa que las vías serán cruzadas y en algún momento se curvarán para ir al pedúnculo cerebelar inferior, y cuando se haga un corte a este nivel se observará una representación que se nombrará haz central de la calota, que proviene del *amiculum olivae*, que era lo que se encontraba alrededor del complejo olivar inferior. Por lo tanto, presenta estas dos estructuras blancas relacionadas (haz central de la calota y *amiculum olivae*).

Núcleos intrínsecos o propios del puente

Se denominan, en su conjunto, núcleos pontinos. Se trata de múltiples núcleos dispersos por

el puente del tronco encefálico. Los axones que se originan de estos núcleos son transversales y dan origen a vías prominentes, las fibras horizontales del puente. Estas corresponden a las fibras pontocerebelosas. Estas fibras núcleos, una vez que se proyectan por el puente, comienzan a desplazar ventralmente a las vías corticoespinales de los corticonucleares, se relacionan con la corrección rápida de los movimientos y se organizan de manera somatotópica. La corteza motora primaria se relaciona con los núcleos mediales, mientras que la corteza sensitiva primaria con los laterales. Son núcleos que reciben información que debe ser integrada en el cerebelo para refinar los movimientos. Estos núcleos forman parte del circuito cortico-ponto-cerebelo-tálamo-cortical, que permite ajustar los movimientos, necesarios, por ejemplo, para tomar un lápiz.

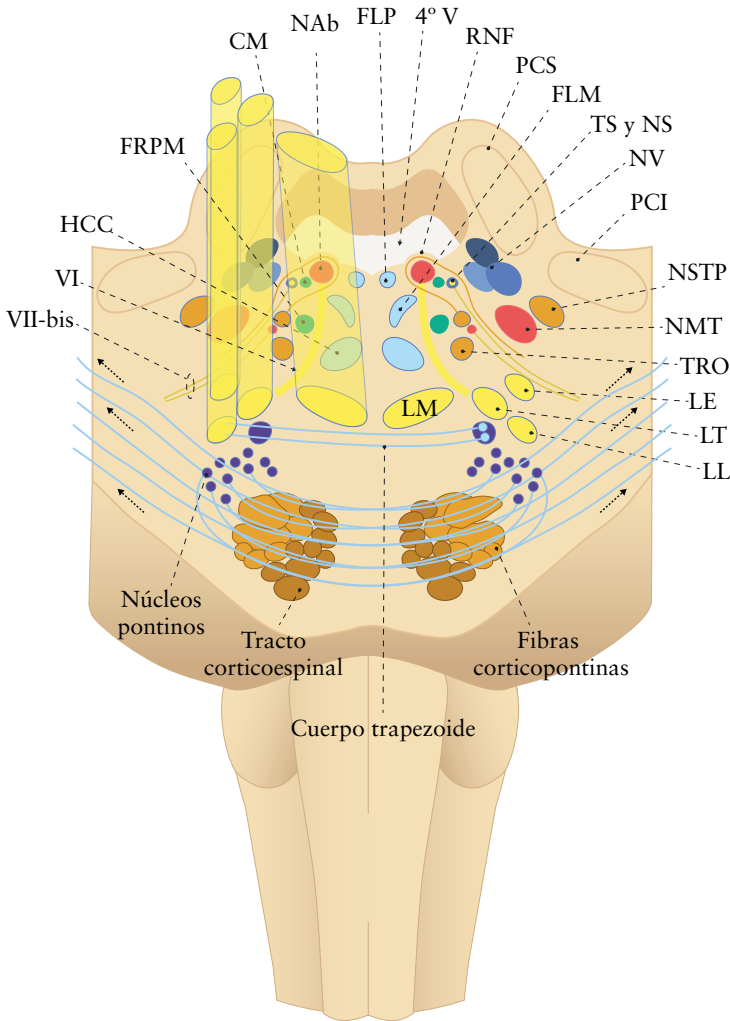
Cuerpo trapezoide o estría acústica ventral

No es un núcleo, el cuerpo trapezoide es una vía que en su interior mantendrá pequeños núcleos, llamados núcleos del cuerpo trapezoide. El cuerpo trapezoide está formado por el entrecruzamiento de las vías que generan los núcleos cocleares ventral y dorsal (que se encuentran alrededor del pedúnculo cerebelar superior). Estas

vías son las segundas neuronas de la vía acústica, una vez que se cruzan forman un ángulo de 90 grados y comienzan a ascender y se denominarán lemnisco lateral.

Los núcleos del cuerpo trapezoide participan en un ajuste motor reflejo, a través de las conexiones que establece con la porción del núcleo motor del V nervio, que controla el músculo tensor de la membrana timpánica.

FIGURA 88. Esquema de corte horizontal de puente inferior. FLP. Fascículo longitudinal posterior, FRPM. Formación reticular paramediana, HCC. Haz central de la calota, VI. Nervio abducens, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NAb. Núcleo del nervio abducens, NTS y TS. Núcleo y tracto solitario, LL. Lemnisco lateral, LT. Lemnisco trigeminal, TRO. Tracto rubroolivario, NMT. Núcleo motor trigémino, NSPT. Núcleo sensitivo principal del trigémino, PCI. Pedúnculo cerebelar inferior, NV. Núcleos vestibulares, FLM. Fascículo longitudinal medial, PCS. Pedúnculo cerebelar superior, CM. Centro de la mirada, VII-bis. Núcleo intermedio, RNF. Rodilla nervio facial.



En la figura 88, las líneas de color celeste son fibras cortico pontinas y al extremo se representan los núcleos del puente; por medial se observan las vías corticoespinales, vías que pasan a la médula espinal y que a nivel del puente se dividen en dos tipos: corticoespinal y corticorreticulonucleares. En cuanto a las primeras existe una vía desde la corteza cerebral que se dirige a los músculos del cuerpo y las coricoreticulonuclear o corticonuclear manejan los núcleos de los nervios craneales motores.

Presenta una región dorsal compacta y una ventral reticular. La parte compacta se caracteriza porque sus células están cargadas de melanina, lo que le otorga el color a la sustancia negra. La zona reticular se confunde con las fibras del pie

del pedúnculo cerebral. La degeneración de las neuronas dopaminérgicas de la zona compacta se encuentra implicada en enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson.

Núcleo rojo

Se ubica en el tegmento mesencefálico anterior y lateral a la sustancia gris periacueductal. Es una formación gris redondeada, bilateral, amplia, fácilmente distinguible en los cortes de mesencéfalo, incluso cuando no presenta tinción, dado que presenta una coloración rojiza producto de su gran vascularización y a un pigmento citoplasmático que contiene hierro. Sus lesiones provocan temblor contralateral. Se divide en dos porciones: un neorubrum y un paleorubrum. La zona neorubral establece conexiones mediante interneuronas, con la formación reticular. La zona paleorubral origina una vía descendente hacia la médula espinal (vía rubroespinal). También se le denomina magnocelular o gigante celular, porque se parece mucho a las neuronas piramidales. La vía rubroespinal es capaz de mejorar los movimientos voluntarios, tiene afinidad con los músculos flexores y extensores, excitando los flexores, e inhibe los extensores, refinando los movimientos. El núcleo rojo es importante en el control motor postural de vías extrapiramidales.

Núcleo del colículo superior

Se ubica en el *tectum* a nivel del colículo superior del mesencéfalo. Es un núcleo laminado, es decir, se trata de grupos de neuronas estratificadas, separadas en capas de sustancia blanca. Se estima que recibe aproximadamente el 10% de la información procedente de la retina a través de una vía denominada retinotectal. La información en el núcleo del colículo superior se organiza ordenadamente según las zonas de la retina desde donde provienen. Se dice entonces que el núcleo del colículo superior tiene una organización retinotópica.

Los núcleos del colículo superior desempeñan una importante función en la coordinación de los movimientos oculocefalogiros, que permiten posicionar los ojos y la cabeza en respuesta a estímulos visuales.

Núcleo pretectal

Es pequeño, se ubica con relación a los núcleos del oculomotor y posee una conexión con el núcleo de Edinger Westphal.

Su función es una estación de relevo para estímulos visuales, es decir, una neurona se conecta con el núcleo accesorio del oculomotor y envía fibras preganglionares parasimpáticas, por lo tanto, corresponde a los núcleos del complejo del oculomotor.

Núcleo del colículo inferior

Es una estación de relevo auditivo, puesto que recibe al lemnisco lateral y se organiza en tres partes.

- Núcleo central: principal masa de neuronas laminadas. Sitio de relevo, los sonidos de alta frecuencia se representan ventralmente, y los de baja, dorsalmente.
- Núcleo pericentral: fina capa celular dorsal, recibe aferencias que sirven para dirigir la atención auditiva.
- Núcleo externo: rodean al núcleo central y se relaciona con los reflejos acústico motores.

El colículo inferior está conectado por una comisura con el colículo inferior contralateral y con el colículo superior homolateral, por lo tanto, tiene conexiones dentro de la lámina tectoria.

Núcleo interpeduncular

Son varios núcleos pequeños que se unifican en el tegmento mesencefálico. Su acción desconocida tiene conexión con el núcleo tegmental dorsal y presenta una conexión de los núcleos habenules. Este núcleo interpeduncular se ubica inmediatamente posterior a la fosa interpeduncular. Los núcleos de la habénula se ubican por dorsal, porque están en la región de la glándula pineal.

Los núcleos habenules e interpedunculares están conectados por una vía que se denomina fascículo *retroflexus*.

Núcleo tegmental dorsal

Es el llamado núcleo del rafe. Recibe fibras del núcleo interpeduncular y envía fibras a los núcleos autónomos del tronco y formación reticular.

Núcleo tegmental ventral

Recibe fibras de los cuerpos mamilares del hipotálamo, está más estudiado, importante como liberador de dopamina.

Ambos núcleos (ventral y dorsal) son parte de un circuito relacionado con las emociones y la conducta.

Locus Coeruleus

Se ubica en el piso del 4º ventrículo orientado hacia superior, por lo tanto, su representación es más bien mesencefálica. Está relacionado con el control descendente del dolor, desaparece su pigmentación en la enfermedad de Parkinson. Este núcleo es el principal productor noradrenérgico y su vía se conecta con cortezas, sistema límbico, amígdala, y es el núcleo que estimula los estados de concentración ante estrés. También se relaciona con el estrés y la depresión.

Sustancia gris periacueductal (SGPA)

se encuentra alrededor del acueducto cerebral. Es un súper núcleo, debido a que sus regiones más ventrales, laterales y caudales, cuando son estimuladas, producen un control descendente del dolor por vías de formación reticular y propias, pero cuando se estimulan los niveles más superiores de la sustancia gris periacueductal se produce una mayor sensibilidad al dolor. Es aquí donde van los analgésicos centrales. Se encuentra conectada con hipotálamo y con las cortezas, por lo que se puede estimular de diferentes formas. La SGPA tiene muchas y distintas funciones, la principal es el control descendente supra segmentario del dolor y tiene esta función de liberación de endorfinas y encefalinas disminuyendo las concentraciones de sustancia P; sin embargo, eso solo lo hace una porción del núcleo, la región caudal, ventral y lateral. De otras regiones de este núcleo no se sabe con claridad su función;

se ha visto que podría tener un papel en el control de la ansiedad y la conducta. Además de paralizarnos de miedo, también es capaz de elevar la tasa cardíaca, la presión sanguínea y poner en marcha la respuesta de lucha o huida. Este grupo de neuronas que rodean al acueducto cerebral es una parte central del circuito cerebral encargado de poner en marcha las respuestas frente al miedo. Está conectado con la amígdala, una estructura fundamental en el procesamiento de las emociones, entre ellas el miedo. Ante un peligro inminente, como el ataque de un animal, la señal desde la amígdala llega a la SGPA y se inicia un comportamiento defensivo de lucha o huida. Sin embargo, ante un peligro no tan inminente, como una amenaza, otra zona del anillo de sustancia gris periacueductal, la ventrolateral, pone en marcha otro comportamiento, en este caso de inmovilidad. Mantiene conexiones con núcleos dentado e interpósito del cerebelo y con distintas áreas de la corteza cerebral.

De los núcleos hablados sabemos que la sustancia negra y el núcleo tegmental ventral son los principales productores de dopamina. Además, la sustancia negra mantiene una conexión con toda la región estriada o vías extrapiramidales, sobre todo con el putamen. En cambio, el núcleo tegmental ventral se relaciona con las neocortejas.

SUSTANCIA BLANCA DEL TRONCO ENCEFÁLICO:

Fascículos ascendentes

DECUSACIÓN LEMNISCAL O SENSITIVA

Se refiere al entrecruzamiento de los axones de los núcleos de cordón posterior (grácil y cuneiforme) del bulbo, para formar el lemnisco medial. Esta decusación proporciona parte de las bases anatómicas para la representación sensitiva de la mitad del cuerpo en el hemisferio contralateral. La otra parte está determinada por el cruzamiento del sistema espinotalámico en la médula espinal.

LEMNISCO MEDIAL

También conocida como la banda de Reil o cinta de Reil, es un gran paquete ascendente de axones mielinizados de gran calibre decusados en la médula oblongada (figura 90). El lemnisco medial está formado por los cruces de las fibras arciformes in-

ternas. Estas están compuestas de fibras aportadas por el núcleo grácil y cuneiforme, por lo que mantienen propiocepción consciente, tacto discriminativo y sensibilidad vibratoria. El lemnisco medial es continuación de la columna dorsal medular, que asciende desde la piel hasta el tálamo.

Fascículo espinotalámico lateral

Es una vía de dolor y temperatura que asciende por la médula espinal a través del sistema anterolateral, que conocimos en médula espinal como vía espinotalámica lateral y anterior, que se unen, y cuando ascienden por el tronco encefálico se denomina lemnisco espinal. Este proviene de la médula espinal y se dirige al tálamo, por lo tanto, representa la sensación de termoalgesia.

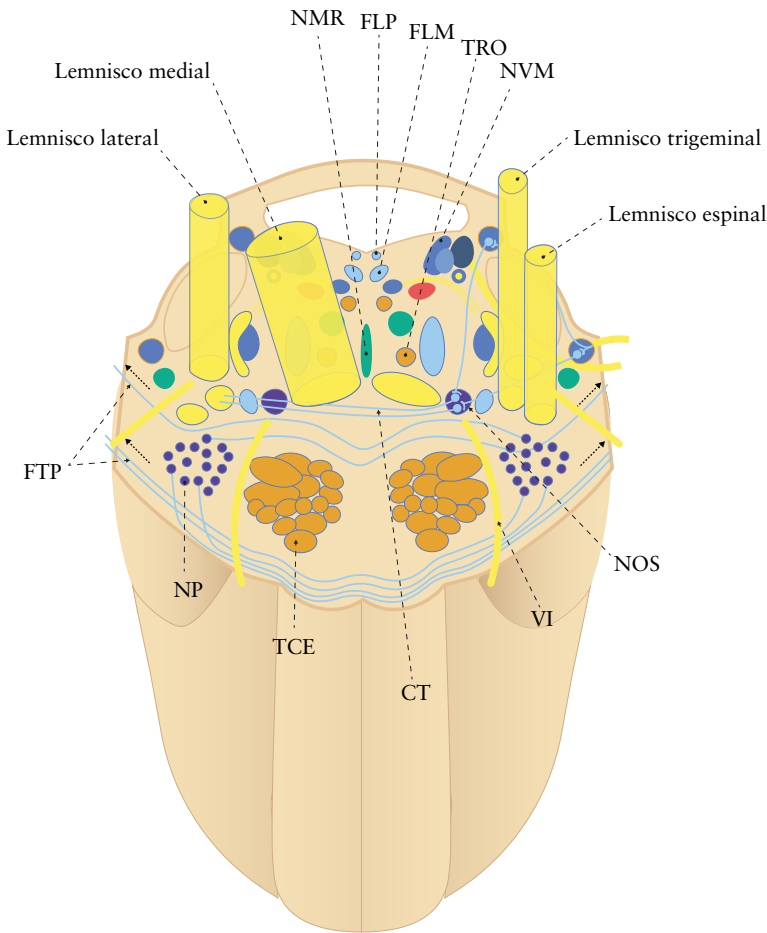
LEMNISCO TRIGEMINAL

Son las vías que produce el cruce de los tractos del núcleo sensitivo del trigémino que ascienden al tálamo para entregar sensibilidad exteroceptiva de la cabeza.

LEMNISCO LATERAL

Está formado por fibras provenientes del cuerpo trapezoide, que se dirigen al colículo inferior. Corresponde a parte de la vía auditiva que va en dirección del córtex cerebral (figura 90).

FIGURA 90. Representación esquemática de los lemniscos. CT. Cuerpo trapezoide, FLM. Fascículo longitudinal medial, FLP. Fascículo longitudinal posterior, NMR. Núcleo magno del rafe, NOS. Núcleo olivar superior, NP. Núcleos pontinos, NVM. Núcleo vestibular medial, TCE. Tracto corticoespinal, TRO. Tracto rubroolivar, VI. Nervio abducens.



Fascículos descendentes

DECUSACIÓN PIRAMIDAL O MOTORA

Se refiere al entrecruzamiento de la mayoría de las fibras piramidales en la porción caudal del bulbo, para formar el tracto corticoespinal lateral. Constituye la base anatómica para el control del movimiento voluntario de una mitad del cuerpo, por el hemisferio opuesto.

FIBRAS O VÍAS PIRAMIDALES

Se denominan fibras piramidales a aquellas fibras que transcurren al interior de las pirámides bulbares. Existen dos tipos de fibras: corticoespinales y corticobulbares (figura 90).

VÍA CORTICOESPINAL

Son vías motoras voluntarias. Están organizadas de manera somatotópica. Las fibras de las extremidades inferiores son más laterales que las de las extremidades superiores.

Cerca del límite caudal del bulbo, alrededor del 75-90% de estas fibras decusan al lado opuesto, formando el tracto corticoespinal lateral. El resto desciende de manera homolateral para formar el tracto corticoespinal anterior. Las fibras corticoespinales que conducen impulsos para la musculatura del cuello y las extremidades superiores se cruzan primero. Estas fibras se separan y son rostrales a aquellas que conducen impulso a las extremidades inferiores; también se localizan

más superficiales (se ubican en gran proximidad al proceso odontoideo de C2). Debido a la localización anatómica señalada, una lesión o fractura en el proceso odontoideo produce parálisis de los músculos de las extremidades superiores, pero puede respetar los músculos de las extremidades inferiores.

Fascículo corticobulbares o corticonucleares

Descienden desde la corteza a los núcleos de los pares craneanos.

FIBRAS O VÍAS EXTRAPIRAMIDALES

Corresponden a un gran número de vías motoras descendentes que no pasan por las pirámides y que controlan los movimientos asociados y automáticos.

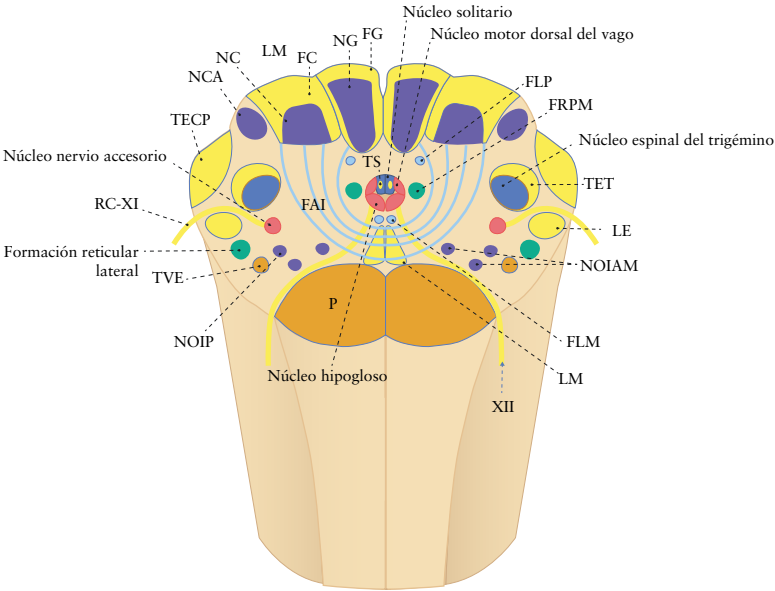
TRACTO VESTÍBULOSPINAL LATERAL

Se proyecta desde el núcleo vestibular lateral a la médula. Facilita a las neuronas motoras extensoras.

TRACTO VESTÍBULOSPINAL MEDIAL

Se proyecta desde el núcleo vestibular medial a la médula. Facilita a las neuronas motoras flexoras. Envía fibras al núcleo dorsal del vago (esto explica las náuseas, la sudoración y el vómito, que ocurren después de la estimulación del órgano vestibular).

FIGURA 91a. Las fibras en azul son sensitivas, las que están en rojo son motoras y las que están en verde son formación reticular. FAI. Fibras arqueadas internas, FC. Fascículo cuneiforme, FG. Fascículo grácil, FLM. Fascículo longitudinal medial, FLP. Fascículo longitudinal posterior, FRPM. Formación reticular paramediana, LE. Lemnisco espinal, LM. Lemnisco medial, NC. Núcleo cuneiforme, NCA, Núcleo cuneiforme accesorio, NG. Núcleo grácil, NOIAM. Núcleo olivar inferior accesorio medial, P. Pirámide, RC-XI. Raíz craneal Nervio accesorio, TECP. Tracto espinocerebelar posterior, TET. Tracto espinal del trigémino, TS. Tracto solitario, TVE. Tracto vestibuloespinal, XII. Nervio hipogloso.



Fascículos de asociación (figura 91a)

FASCÍCULO LONGITUDINAL MEDIAL: integra los núcleos oculo-cefalo-giros (oculomotor, troclear, abducens, vestibulococlear y accesorio).

FASCÍCULO LONGITUDINAL DORSAL: es parasimpático, integra columnas eferentes viscerales generales, por lo que todos los núcleos supraquiasmáticos se integran aquí (núcleo accesorio del oculomotor, salivatorio superior, lacrimomucosal, salivatorio inferior, dorsal del vago, motor del trigémino, facial y tracto solitario). Integra estímulos y reflejos asociados a olfato y gusto.

FASCÍCULO TEGMENTAL CENTRAL: integra las vías extrapiramidales, o sea, todos los núcleos extrapiramidales: sustancia gris periacueductal, sustancia negra, el núcleo rojo, putamen, globo pálido lateral y medial, núcleo subtalámico, incluso el complejo olivar inferior, pero si se realiza un corte en el tronco encefálico, no se visualiza en ningún sitio, porque va difuso, dado que no tiene un lugar determinado.

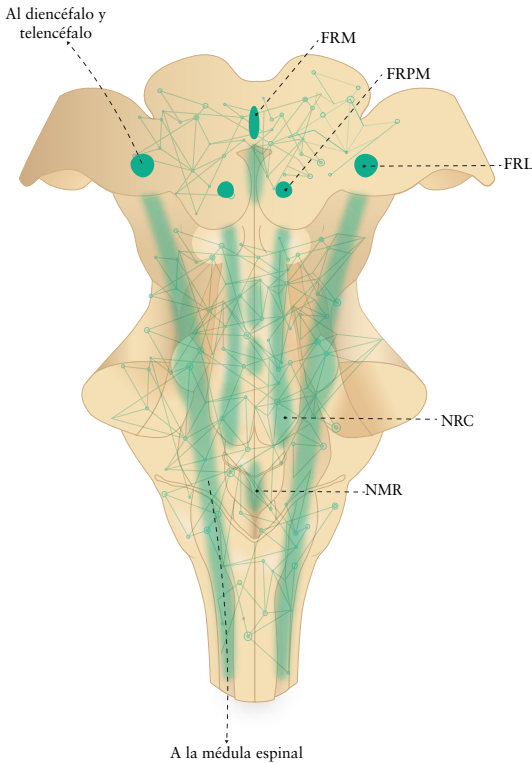
Formación reticular (figura 91b)

La formación reticular es filogenéticamente muy antigua. Recorre todo el tronco encefálico, extendiéndose hacia la médula espinal. Se encuentra por donde pasan las grandes vías aferentes y eferentes, por lo tanto, está constantemente recibiendo estímulos que van por esas vías, de tal manera que la formación reticular mantiene un tono de actividad basal de las vías que van por el tronco encefálico. Tiene la forma de una red de pescador, que está constituida por fibras dispuestas en todos los sentidos del espacio (verticales, horizontales, anteroposterior). En medio de estas fibras se ubican núcleos de sustancia gris, no muy bien definidos, a manera de peces enredados en la malla, lo que representaría los núcleos de la formación reticular. Su organización tan nítida rellena el espacio entre los núcleos de los nervios craneanos, permitiendo cumplir un rol de asociación entre los núcleos del nervio hipogloso, del vago, del fascículo solitario, del tracto espinal del trigémino, del fascículo espinocerebelar, etcéte-

ra. Sirve entonces como coordinador de reflejos donde participan nervios craneanos. Cumple un rol importante en la coordinación del reflejo de vómito, el cual es un reflejo defensivo que consiste en la estimulación de fibras vagales que inervan las paredes del estómago, que luego van hacia el tronco encefálico, donde se elabora una respuesta que significa activar el nervio hipogloso para sacar la lengua, luego se activa el vago y glossofaríngeo para que se eleve el paladar, y luego viene la activación de músculos del abdomen y diafragma. Toda esta actividad es coordinada por la formación reticular. Regula también el reflejo vasomotor (regula la presión arterial y funcionamiento cardíaco), la frecuencia respiratoria y la amplitud de la maniobra respiratoria. La vigilia y el sueño. Cuando aumenta la actividad de la formación reticular la persona se pone más alerta, porque ella comienza a bombardear estímulos inespecíficos sobre la corteza cerebral del sistema activador reticular ascendente (SARA); cuando disminuye, sobreviene la somnolencia. Muchas de las enfermedades psicosomáticas (úlceras, ta-

quicardia paroxística, lumbago, dolor del cuello por contracción permanente de los músculos erectores de la cabeza, etcétera), en alguna parte de su mecanismo de producción, se relacionan con la formación reticular, es decir, estos pacientes tienen una formación reticular muy activada que está descargando sobre los núcleos motores médula espinal y sobre el cerebelo a través de sus conexiones. Entonces los músculos antigravitatorios se ponen muy tensos. La formación reticular, además, está relacionada con el hipotálamo y el sistema límbico (vida instintoemocional, constituida por las estructuras filogenéticas más antiguas del córtex cerebral). Entonces, al aumentar la actividad del sistema límbico hay una mayor descarga sobre la formación reticular y el hipotálamo, lo que hace que existan las manifestaciones típicas de las enfermedades psicosomáticas. El fondo de este cuadro es un síndrome que se conoce con el nombre de Stress. La terapia consiste en bloquear el trabajo excesivo de la formación reticular con psicoterapia o farmacoterapia.

FIGURA 91b. Esquema de formación reticular. FRL. Formación reticular lateral, FRM. Formación reticular media (rafe), FRPM. Formación reticular paramediana, NRC. Núcleo reticular central, NMR. Núcleo magno del rafe (Formación reticular media).



Se puede aumentar la actividad de la formación reticular a través de estímulos externos. Uno de los mecanismos que se usa es el frío, ya que las grandes vías que conducen el calor o el frío hacia el córtex cerebral van a activar la formación reticular, la cual empieza a descargar hacia el córtex y la persona se despierta. La coca cola con café también actúa a nivel del córtex, aumentando las concentraciones de cafeína. El ruido del despertador en la mañana es captado por el oído, la vía auditiva asciende, pasa por tronco encefálico, cuerpo trapezoide y lemnisco lateral. En este recorrido activa la formación reticular, la cual bombardea el córtex cerebral. La luz también es un activador de la formación reticular. Otras funciones de la formación reticular son: inhibir o facilitar algunas funciones corticales (cuando uno está concentrado, aumenta su capacidad de memoria) e inhibir o facilitar los movimientos (es responsable del aumento o disminución del tono muscular). En esta «red de pescador» existen núcleos reticulares, vías reticulares ascendentes, descendentes y conexiones locales de los nervios craneales. Es posible distinguir tres grupos:

GRUPO NUCLEAR RETICULAR MEDIAL: se ubica en la porción superior del bulbo raquídeo. Ocupa

los dos tercios mediales de la formación reticular, constituyéndose a este nivel el núcleo reticular gigantocelular. Recibe aferencias de corteza cerebral, tronco encefálico alto y núcleo reticular parvocelular. Sus eferencias se dirigen a tronco encefálico alto, núcleos intralaminares del tálamo, hipotálamo y médula espinal por medio del tracto reticuloespinal.

GRUPO NUCLEAR RETICULAR LATERAL: está compuesto por el núcleo reticular lateral y el núcleo parvocelular. Este último recibe aferencias de corteza cerebral, fibras espinoreticulares y colaterales, que llevan impulsos provenientes de las vías auditivas, vestibular, trigeminal y visceral.

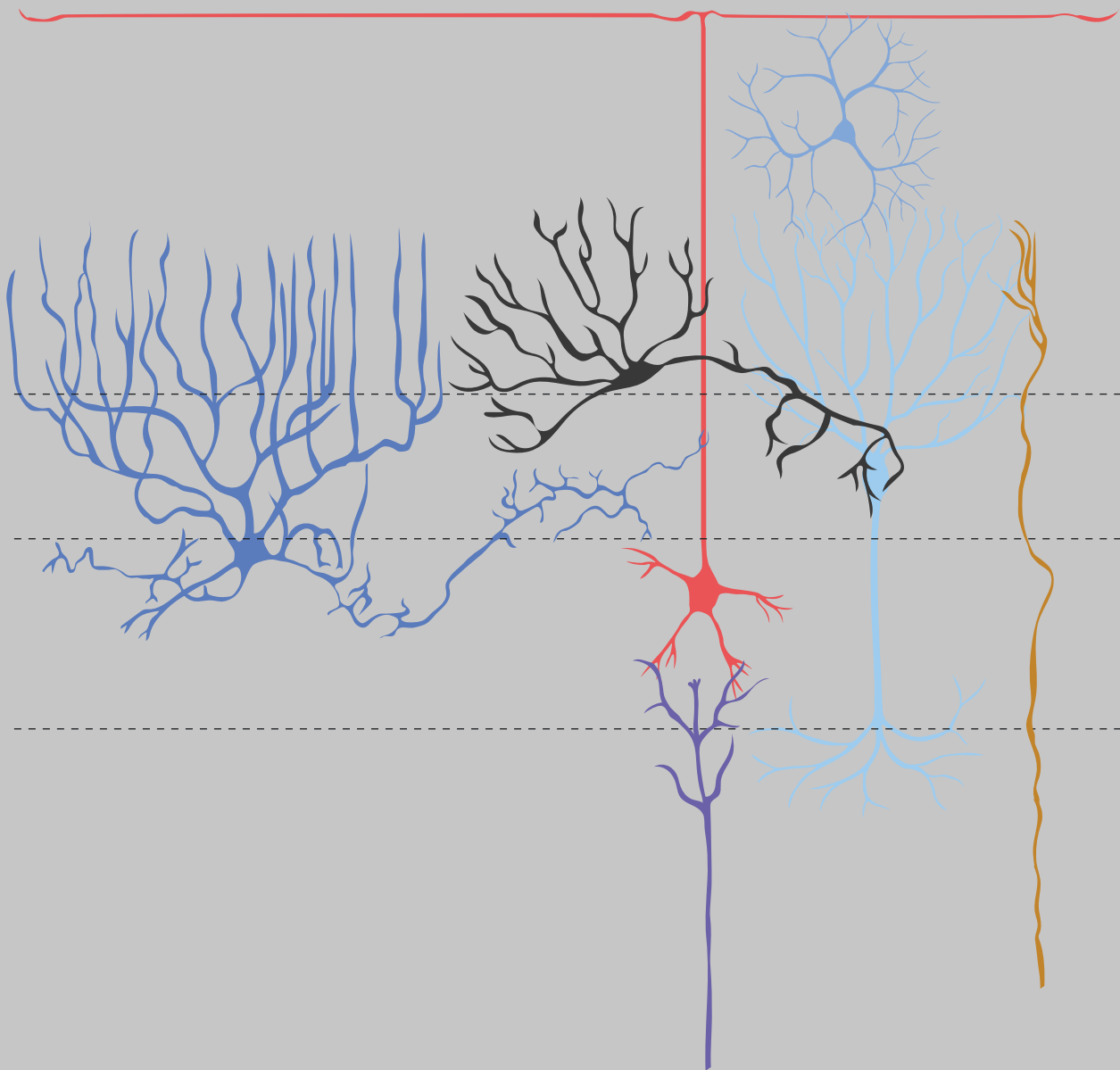
GRUPO NUCLEAR RETICULAR PARAMEDIANO: está formado por un conjunto de núcleos ubicados lateralmente a los lemniscos mediales que envían fibras al cerebelo vía pedúnculos cerebelares inferiores. Desde los núcleos magno del rafe del grupo paramediano existentes en la región bulbar medial se proyectan fibras secretoras de serotonina (serotoninérgicas) hacia las interneuronas de la sustancia gris de la médula espinal. Estas neuronas forman parte de la denominada vía descendente inhibitoria del dolor, elemento esencial en los procesos de analgesia.



CAPÍTULO VII

Cerebelo

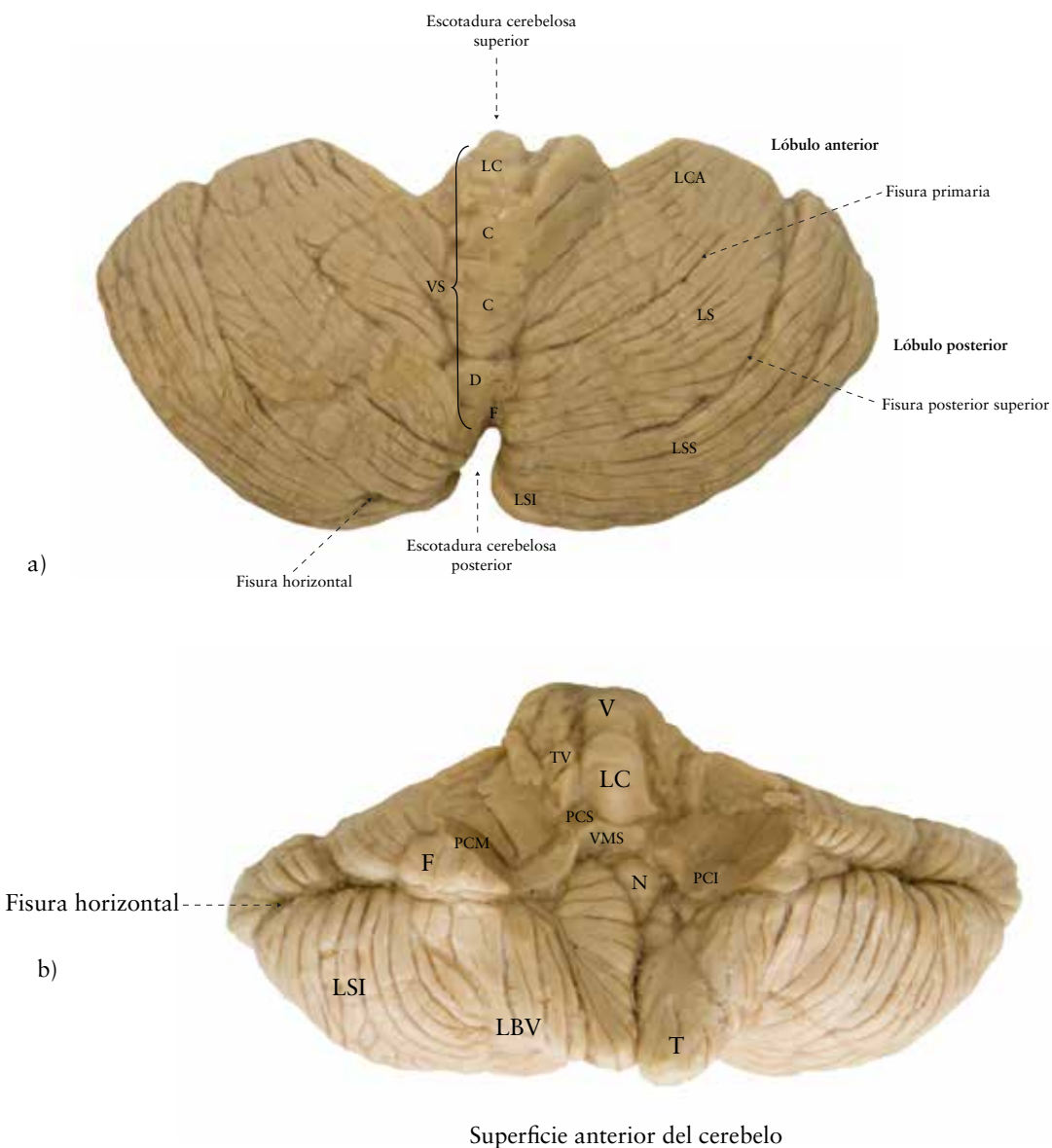




El cerebelo (figura 92) es el órgano del sistema nervioso central encargado de modular las actividades motoras, el tono muscular y el equilibrio. Deriva embriológicamente del dorso del rombencéfalo, específicamente de los labios rómbicos. A partir de ellos se originan estructuras que provienen de la placa alar y de la placa basal, lo que determina una íntima relación entre las estructuras

del bulbo, del puente y del cerebelo propiamente tal, debido a que este se desarrolla como un apéndice dorsal del rombencéfalo. Está constituido por una masa alojada a la fosa craneal posterior. Su porción más caudal se relaciona principalmente con el hueso occipital. Se encuentra separada del cerebro por un tabique horizontal, el tentorio cerebelar.

FIGURA 92. Cerebelo. C. Culmen (IV y V), D. Declive (VI), F. Flóculo, LBV. Lóbulo biventral, LC. Lobulillo central del vermis (II y III), LCA. Lobulillo cuadrangular (H IV- V), LS. Lobulillo simple (H VI), LSI. Lobulillo semilunar inferior, PCM. Pedúnculo cerebeloso medio, PCS. Pedúnculo cerebeloso superior, T. Tonsila, TV. Túber del vermis, VMS, Velo medular superior, V. Vermis, VS. Vermis superior.



Macroscópicamente se distinguen dos porciones. Una porción mediana llamada vermis cerebelar, que se dispone tanto por rostral como por

caudal, conformando una convexidad posterior. En el vermis encontramos una serie de lobulillos visibles en un corte sagital de cerebelo (figura 93):

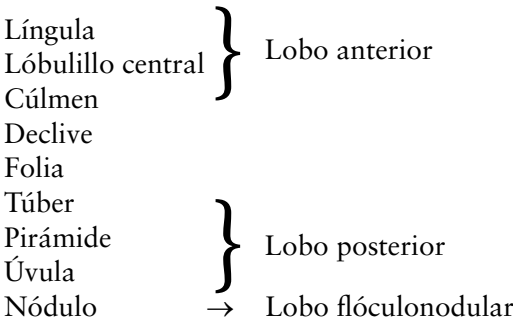
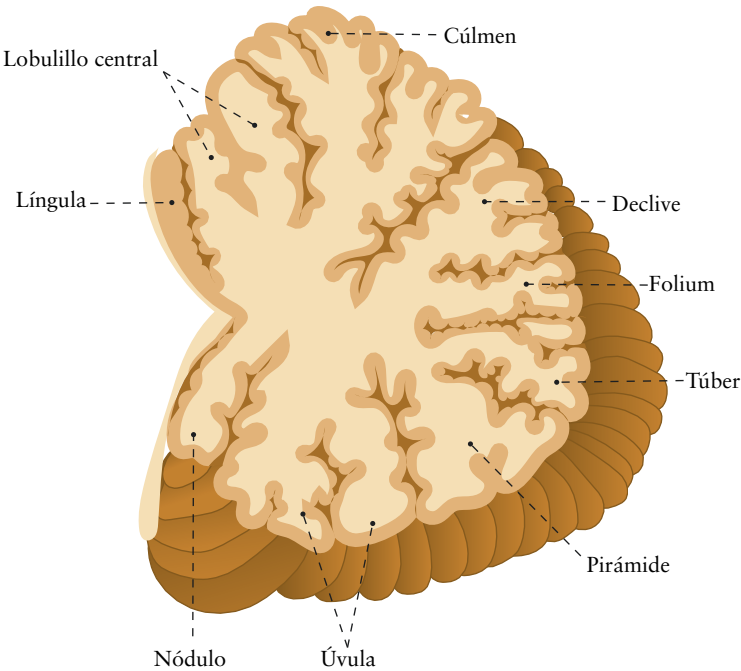


FIGURA 93. Esquema de corte sagital de cerebelo que muestra los lobulillos.



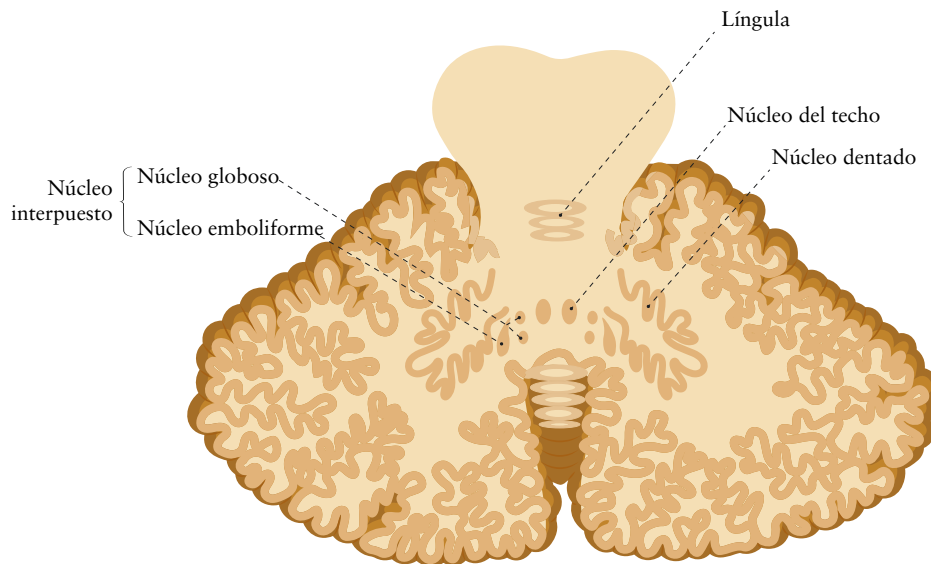
La otra porción corresponde a los hemisferios cerebelares que se disponen a cada lado del vermis, organizado en diez lobulillos, separados por un tabique sagital, la falce cerebelar. Esta estructura forma dos escotaduras, la cerebelar anterior y la posterior.

En el cerebelo la sustancia gris ocupa una posición periférica y forma la corteza cerebelar, estructura notablemente plegada que constituye giros de la corteza conocidos con el nombre de folias (hojas). La cantidad de células que tiene es equivalente a la que posee la corteza cerebral. Este hecho nos habla de una gran complejidad en cuanto al control de la función motora.

La sustancia blanca ocupa una posición central y en su espesor, a nivel de los hemisferios cerebelares, encontramos formaciones de sustancia gris denominados núcleos cerebelares profundos. A cada lado de la línea mediana encontramos:

1. El *núcleo dentado*, el más voluminoso.
2. El *núcleo del techo*, en relación con el techo del cuarto ventrículo.
3. Los *núcleos interpuestos*: globoso y emboliforme (figura 94).

FIGURA 94. Esquema de corte horizontal que muestra la constitución interna del cerebelo.



Desde el punto de vista filogenético el cerebelo se divide en tres partes (figura 95):

- *Paleocerebelo*: lóbulo anterior
- *Neocerebelo*: lóbulo posterior
- *Arquicerebelo*: lóbulo flóculonodular

El cerebelo se encuentra dividido morfológicamente por fisuras en su superficie, las que se correlacionan con la división filogenética:

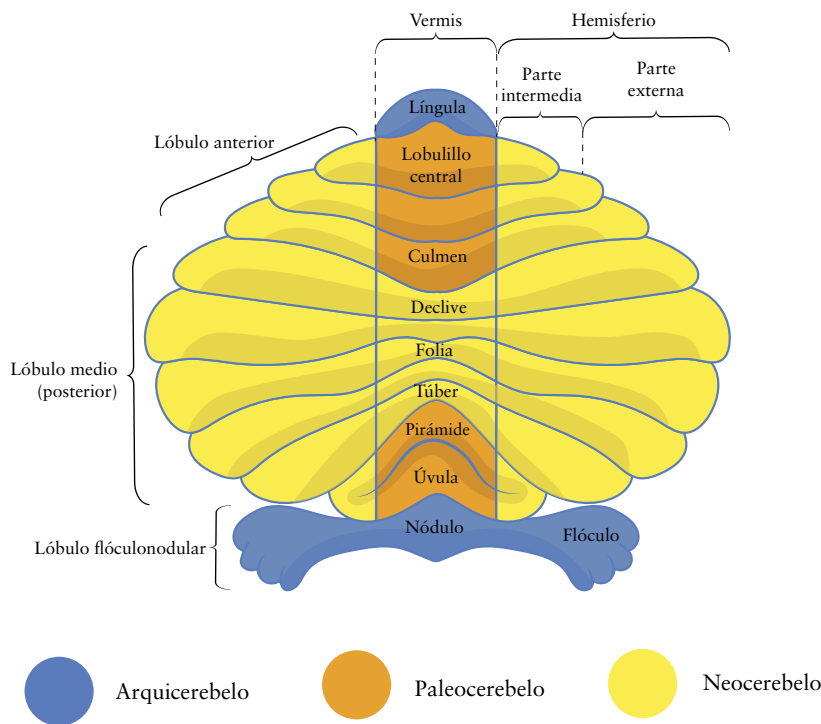
- El surco primario. En la porción más ventral de la cara superior. Separa el lóbulo anterior del posterior.
- El surco posterolateral. Ubicado en la cara in-

ferior. Separa el lóbulo posterior (que constituye la mayor parte del cerebelo) del lóbulo flóculonodular o arquicerebelo.

Además, existen otros tres surcos macroscópicos que segmentan el cerebelo (figura 92):

- entre la cara superior e inferior, el surco horizontal o circunferencial
- entre el surco primario y el circunferencial, el surco posterosuperior
- entre el surco circunferencial y el posterolateral, el surco prepiramidal

FIGURA 95. Esquema de cerebelo en base a su origen filogenético.



Funcionalmente el cerebelo se divide en tres porciones:

- a) *Espino-cerebelo*
- b) *Cerebro-cerebelo*
- c) *Vestíbulo-cerebelo*

Las respuestas que el cerebelo emite no son directas hacia el territorio eferente, es decir, la neurona que emerge de la corteza cerebelar no sinapta con la neurona motora inferior, que ejerce la acción, sino que lo hace de manera indirecta a través de sistemas interpuestos. Estos sistemas interpuestos comienzan en los núcleos cerebelares profundos a partir de los cuales se proyectan a núcleos en el tronco encefálico.

El cerebelo se relaciona con los pisos superiores e inferiores del SNC a través de los pedúnculos cerebelares superiores, medios e inferiores. El más grande es el pedúnculo cerebelar medio, luego el superior y después el inferior.

Haremos una descripción más detallada de las divisiones funcionales del cerebelo.

- a) **Espino-cerebelo:** encargado de la regulación del tono muscular en movimientos más o

menos automáticos, por ejemplo, la marcha, movimientos que no requieren gran planificación. Está constituido por el vermis y los hemisferios intermedios, que son parte de la corteza cerebelar adyacente al vermis, denominados hemisferios paravermianos.

Sus aferencias provienen de husos neuromusculares, cápsulas articulares y receptores órgano-tendinosos. Estos constituyen fibras mielinizadas gruesas, que ingresan a la médula espinal o al tronco del encéfalo y se proyectan a:

- lámina VII o columna dorsal de Clarke, ubicada en la región intermedio dorsal
- láminas III, IV, V, VI, VII y VIII de manera inespecífica
- núcleo cuneiforme accesorio, ubicado en el bulbo medio. Aquí se proyecta la información de la musculatura cervical y cráneomandibular

El núcleo dorsal de Clarke genera la vía espino-cerebelar dorsal (ECD), mientras que el núcleo cuneiforme accesorio origina la vía cuneo-cerebelar (CC). Esta información corresponde a propiocepción inconsciente.

La información de las láminas III, IV, V, VI, VII y VIII se proyecta de manera inespecífica y cons-

tituye el tracto espino-cerebelar ventral (ECV) y el tracto espino-cerebelar rostral (ECR) en el segmento cervical. Esta información también es de propiocepción inconsciente.

Las vías espino-cerebelar dorsal (ECD) y cu-neo-cerebelar (CC) ingresan al cerebelo vía pe-dúnculo cerebelar inferior (PCI), mientras que las vías espino-cerebelar ventral (ECV) y espino-ce-rebelar rostral (ECR) lo hacen a través del pedún-culo cerebelar superior (PCS).

Estas vías se dirigen a la corteza cerebelar, específicamente a la corteza del espino-cerebelo, es decir, vermis y hemisferios intermedios. La vía que ingresa por el PCI se dirige a la corteza del ver-mis y la que ingresa por el PCS se dirige a la corteza de los hemisferios intermedios (figura 97).

Las vías espino-cerebelar ventral (ECV) y es-pino-cerebelar rostral (ECR) son contralaterales. Las vías espino-cerebelar dorsal (ECD) y cu-neo-cerebelar (CC) son ipsilaterales.

A partir de la corteza del vermis se originará una vía que se dirige a los núcleos del techo, y a partir de los hemisferios intermedios se originará una vía hacia los núcleos interpuestos.

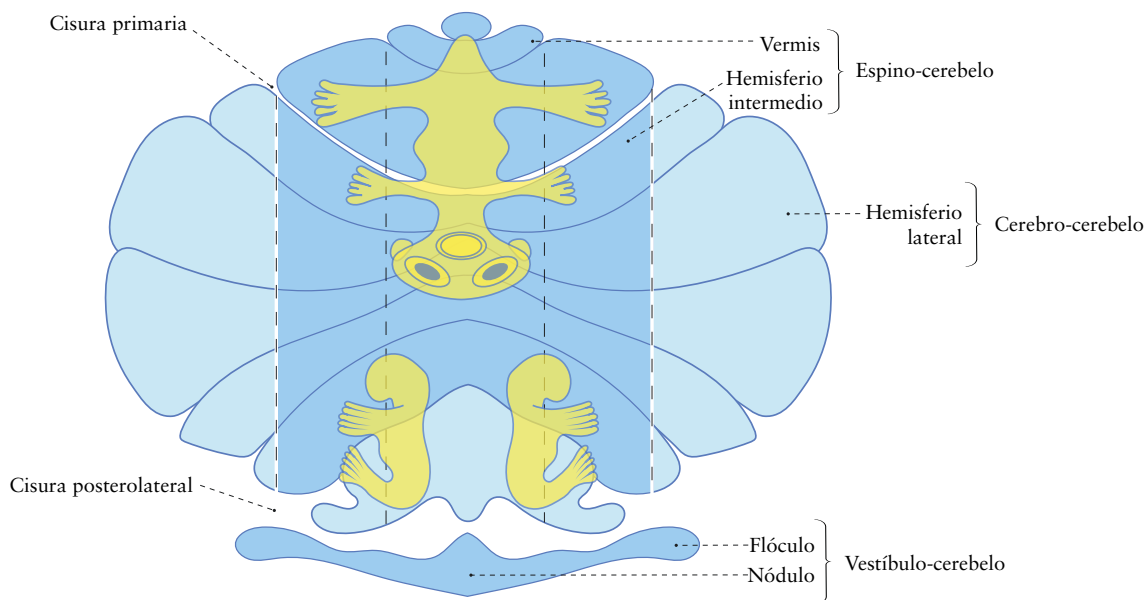
Desde los núcleos interpuestos salen proyec-ciones hacia los núcleos vestibulares ubicados en el bulbo rostral, mientras que desde los núcleos

del techo la información se va a dirigir hacia los núcleos reticulares del bulbo. Esta información de ambos núcleos puede ascender y dirigirse al tálamo, específicamente al núcleo ventro-lateral del tálamo y al núcleo rojo porción magnocelular. A partir de los núcleos vestibulares (del bulbo ros-tral) se originan la vía vestibulo-espinal, y desde los núcleos reticulares la vía retículo-espinal.

Desde el núcleo rojo se originará una vía ru-bro-espinal, y del núcleo ventro-lateral del tálamo se origina la vía ventral-lateral del tálamo, que no desciende, sino que se dirige a la corteza prefrontal del cerebro.

La información que llega a la corteza cerebelar no lo hace de manera desordenada, sino que tiene una organización que se denomina somatotópica. Esta somatotopía no es la misma que se observa en la corteza cerebral, donde existe el homúnculo sen-sitivo y el homúnculo motor, sino que aquí tenemos una somatotopía que se denomina somatotopía fracturada. En una parte del vermis superior se en-cuentra la imagen corporal invertida, de los miem-bros inferiores en la língula y una parte del lobo central, y del tronco y cabeza en el culmen. En el vermis inferior existe una doble representación de uno u otro lado del cuerpo, una imagen especular (figura 96).

FIGURA 96. Esquema de somatotopía fracturada.



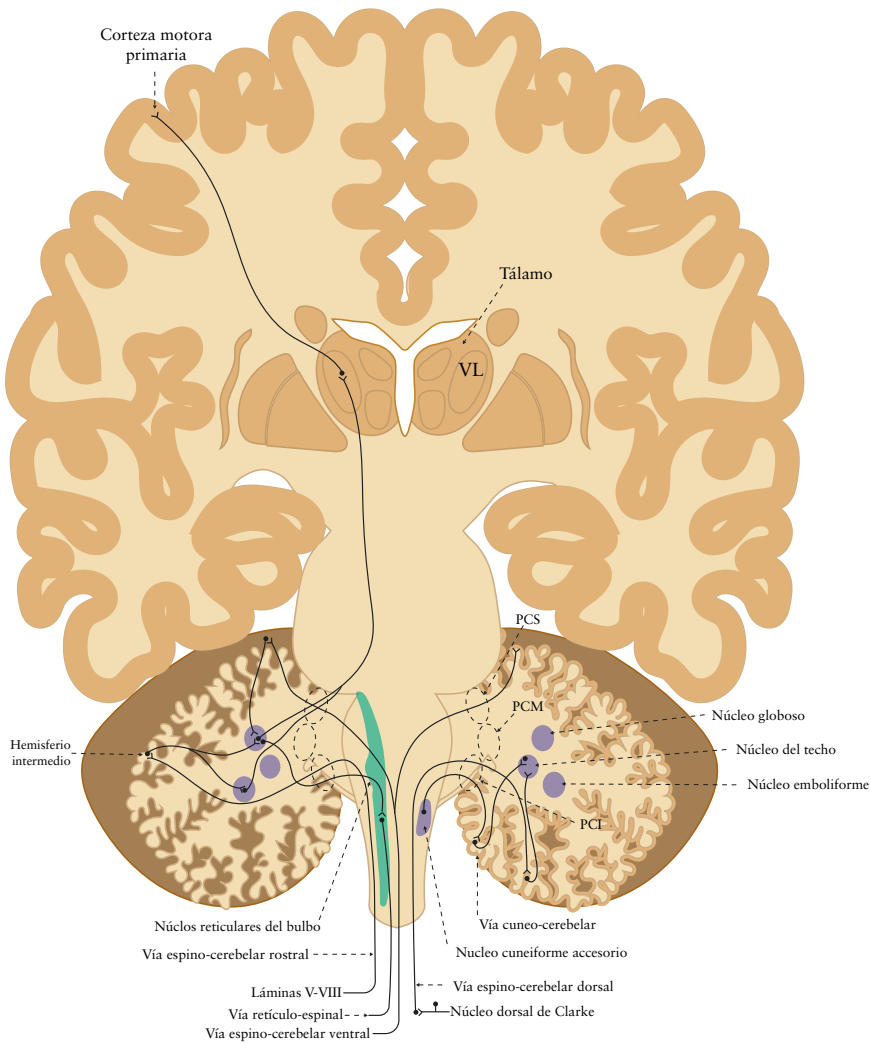
Esto quiere decir que en la corteza del espino-cerebelo se reproduce de manera triple la estructura corporal, pero de manera distinta. Una es la disposición completa, en el vermis superior, y la otra es doble o en imagen especular en el vermis inferior. Esto nos permite realizar movimientos simétricos de manera coordinada.

Las personas con una alteración (por ejemplo, un tumor) en un sector del vermis o de los hemisferios intermedios poseen una descoordinación bilateral en los movimientos, pudiendo solo realizar movimientos unilaterales de manera coordinada. No pueden aproximar los dos miembros haciendo una contracción bilateral simultánea,

como al aplaudir rítmica e intencionadamente.

Desde los núcleos del techo e interpuestos salen proyecciones a la sustancia reticular bulbar, a los núcleos vestibulares, al núcleo rojo magnocelular y al tálamo en el núcleo ventral-lateral, y de ahí se constituirán vías rubroespinales, reticuloespinales, vestibulo espinales, todas descendentes que llegan a la lámina VIII de Rexed en el asta anterior de la médula, y una vía ascendente del tálamo a la corteza prefrontal para retroalimentar a la corteza acerca del grado de contracción de la musculatura.

FIGURA 97. PCI. Pedúnculo cerebeloso inferior, PCM. Pedúnculo cerebeloso medio, PCS. Pedúnculo cerebeloso superior.



b) **Cerebro-cerebelo:** constituido por los hemisferios laterales (porción de los hemisferios cerebelares lateral a los hemisferios intermedios). Esta división recibe influencias desde el cerebro para coordinar, planificar y ejecutar movimientos de mayor complejidad motora, específicamente de la corteza premotora y cortezas de asociación frontal, parietal y temporal.

Desde el córtex cerebral, en gran medida de los giros frontales horizontales, se origina una vía al cerebelo que desciende por la porción lateral de la cápsula interna, la que está más próxima al núcleo lentiforme. Al salir del cerebro, las fibras de la cápsula interna constituyen la vía corticoespinal, la que es principalmente motora y va a constituir los pedúnculos cerebrales, y luego al seguir descendiendo constituye las fibras longitudinales del puente en donde terminan.

De modo que la vía que se originó en el córtex frontal desciende por la cápsula interna, ocupa el pedúnculo cerebral hasta el puente donde se separa de las fibras corticoespinales y sinapta con los núcleos pontinos ipsilaterales, y luego la neurona que está en los núcleos pontinos se cruza y constituye hacia lateral los pedúnculos cerebelares medios, cuyas fibras llegan a la corteza cerebelar.

Así la información que se originó en el córtex cerebral ingresa al cerebelo a través del pedúnculo cerebelar medio, pero no es la misma neurona, sino que esta neurona tuvo un relevo a nivel de los núcleos pontinos (una segunda neurona). El hecho de que estos núcleos estén a medio camino entre la corteza cerebral y el cerebelo les vale también el nombre de núcleos precerebelosos.

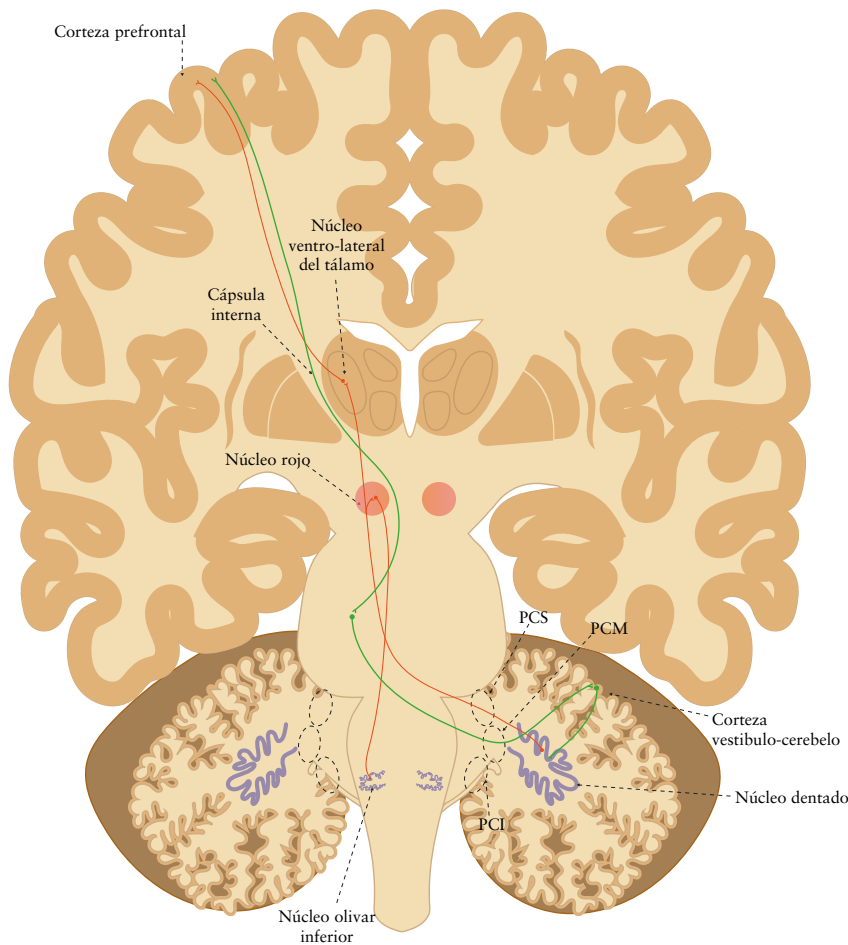
La corteza del cerebro-cerebelo son los hemisferios laterales (tercera neurona). La información sinapta en la corteza de los hemisferios laterales y la respuesta no es directa, sino que es a través de los núcleos profundos, y el núcleo profundo del cerebro-cerebelo es el núcleo dentado (cuarta neurona).

Desde el núcleo dentado la información puede seguir las siguientes vías:

1. Ascender al tálamo vía pedúnculo cerebelar superior, específicamente a los núcleos ventral-lateral, y desde allí nuevamente a la corteza prefrontal. Esto se conoce como sistema de retroalimentación.
2. La información también se puede proyectar al núcleo rojo, porción parvocelular, a partir del cual sus neuronas envían axones a través del haz central de la calota al núcleo olivar inferior ipsilateral.

Desde el núcleo olivar inferior la información se puede proyectar a la corteza del vestibulocerebelo, integrándose de esta manera el cerebro-cerebelo con el vestibulo-cerebelo. Esta influencia del cerebro-cerebelo es principalmente excitadora para modular al vestibulo-cerebelo y determinar cambios en la conducta ante cambios posturales, por ejemplo, cuando vamos en la parte trasera del auto nos mareamos, esto es porque cuando una persona va al volante va pendiente del camino y recibe todas las informaciones, como que va a girar, de modo que sabe lo que va a ocurrir y los movimientos que va a realizar, por tanto el sistema vestibular se prepara para no generar cambios en la posición de los otolitos. La respuesta vestibular es refleja (figura 98).

FIGURA 98. PCI. Pedúnculo cerebeloso inferior, PCM. Pedúnculo cerebeloso medio, PCS. Pedúnculo cerebeloso superior.



c) **Vestíbulo-cerebelo:** constituido por el nódulo y ambos flóculos, unidos por el velo medular inferior. Su función está relacionada con la mantención del equilibrio (figura 99).

Sus aferencias provienen de tres niveles:

- **Núcleo olivar inferior.** Aproximadamente 2/3 del pedúnculo cerebelar inferior corresponden a fibras olivocerebelares.
- **Laberinto.** Aferencias directas desde una primera neurona vestibular que participa en la innervación del utrículo, del sáculo y de los conductos semicirculares donde se encuentra un neuroepitelio que constituye el receptor del equilibrio, neurona ganglionar cuyo cuerpo se encuentra dentro del oído y cuya prolongación central sale del oído y constituye la porción vestibular del nervio vestibulococlear. Este ner-

vio ingresa al surco bulbopontino, específicamente en su porción más lateral, y una vez que ingresa al tronco atraviesa parte del puente y se introduce al pedúnculo cerebelar inferior para ingresar y terminar en la corteza del vestibulo-cerebelo, es decir, en la corteza del nódulo y del flóculo. Esta vía está constituida solo por una primera neurona periférica, hecho único en la neuroanatomía.

- **Bulbo rostral.** La mayoría de las neuronas no van directamente al cerebelo, sino que hacen un relevo en el bulbo, donde encontramos tres núcleos vestibulares: superior, medial e inferior. La información sinapta en estos núcleos, desde donde sale una segunda neurona que se dirige a la corteza del vestibulo-cerebelo.

El vestíbulo-cerebelo no tiene núcleos profundos, desde el nódulo y el flóculo la respuesta se dirige a los núcleos vestibulares superior, medial e inferior. Toda la información que llegó al vestíbulo-cerebelo, las eferencias de esta corteza se van a proyectar a los núcleos vestibulares. En otras palabras, los núcleos vestibulares son los núcleos profundos del vestíbulo-cerebelo, pero que no están en el cerebelo, sino que están en el bulbo rostral.

Desde los núcleos vestibulares se originan dos vías:

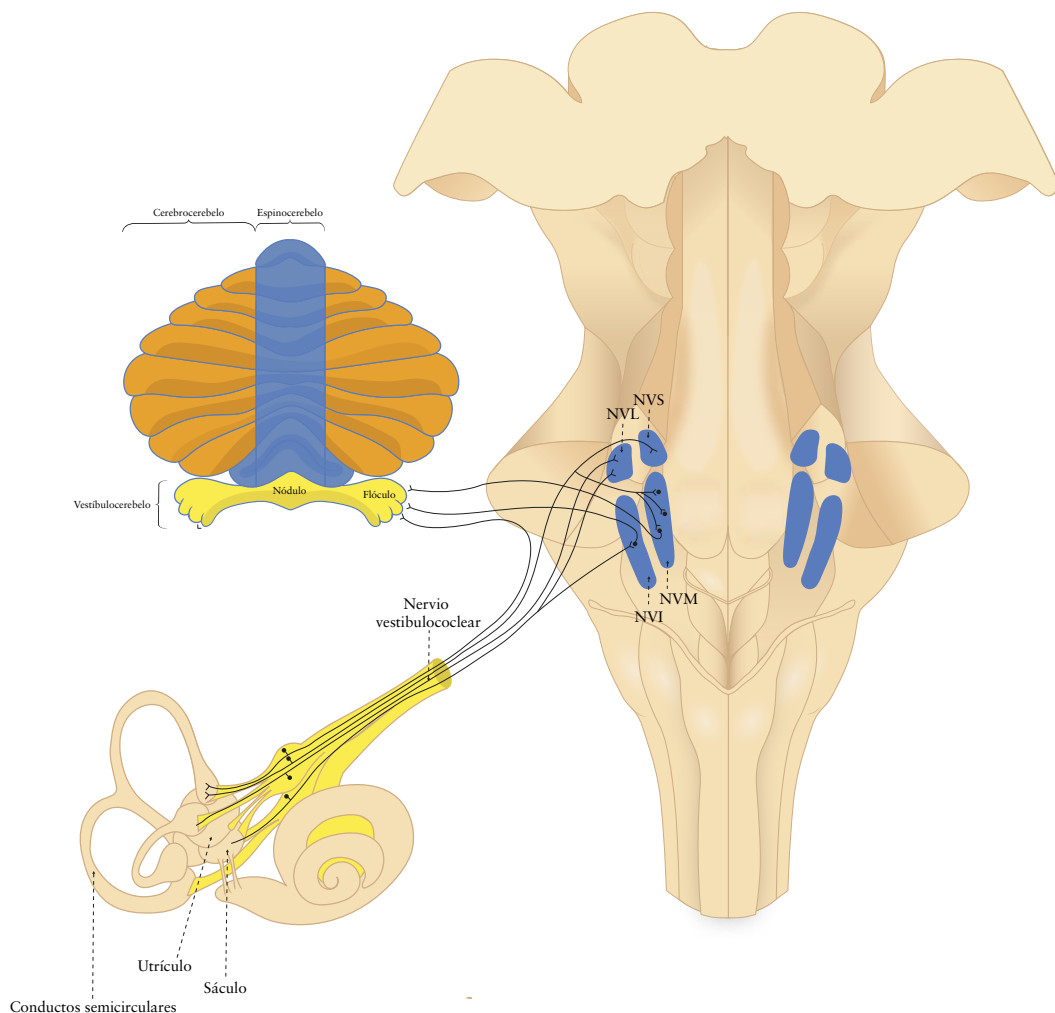
- Vestíbulo-espinal medial, descendente
- Fascículo longitudinal medial, ascendente

El fascículo longitudinal medial es parte del

lemnisco medial. Este fascículo controla los movimientos oculares, por lo tanto, se dirige al mesencéfalo y al puente, donde encontramos los núcleos de los nervios para los músculos extrínsecos del bulbo ocular.

La vía vestíbulo espinal se dirige a la médula espinal, a la lámina VIII, para modular la acción motora. Eso nos permite controlar cuando los otolitos nos avisen que hemos perdido el equilibrio, si estamos cayendo, nuestra musculatura responda, siempre y cuando estemos con una actividad cerebelar normal.

FIGURA 99. Esquema de las relaciones entre el vestíbulo y la corteza floculonodular. Se observan los orígenes en el vestíbulo (utrículo-sáculo y conductos semicirculares), el ganglio vestibular y luego su proyección a núcleos vestibulares y corteza del flóculo y nódulo.



CÉLULAS DE LA CORTEZA CEREBELAR

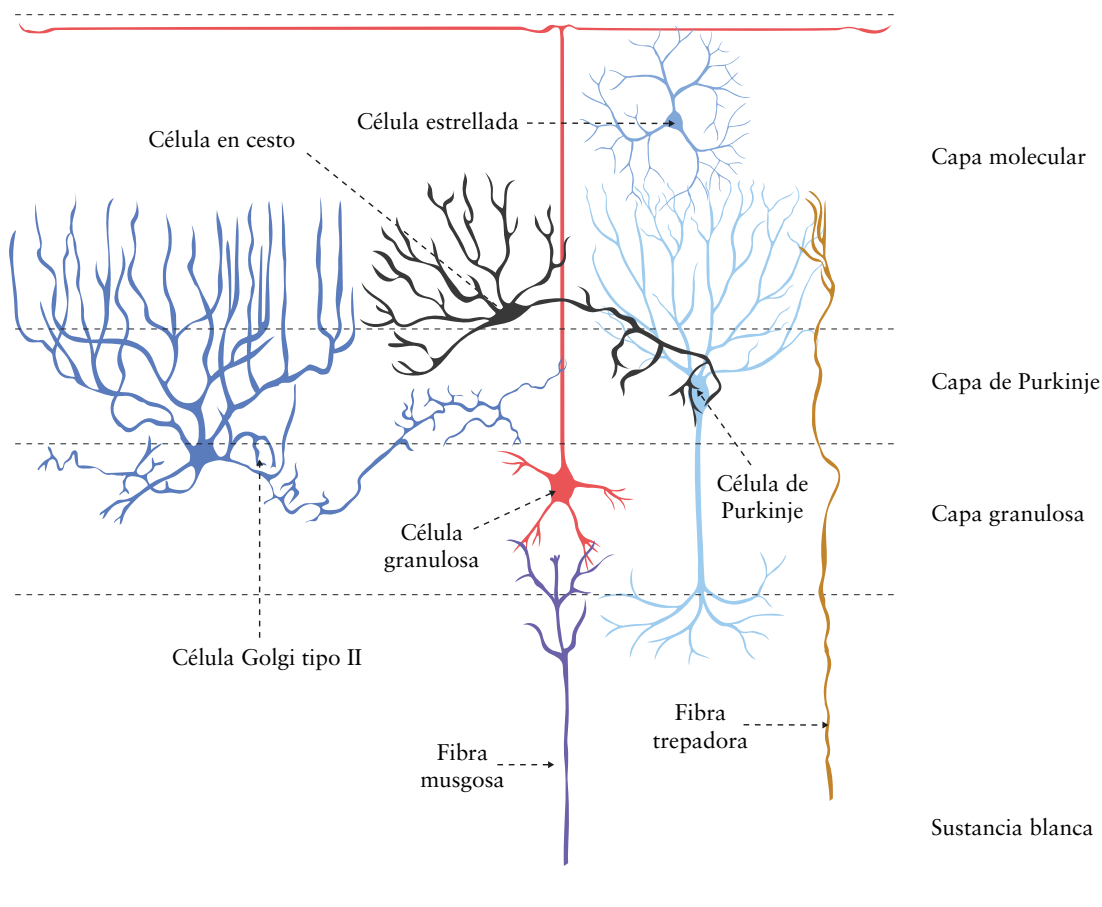
La corteza del cerebelo está constituida por tres capas, en las cuales existen cinco tipos de células (figura 100):

1. Célula estrellada externa: células pequeñas y alargadas
2. Célula en Cesto: célula redondeada
3. Célula de Purkinje: es la más importante

de la corteza cerebelar. Son células muy grandes, con forma de cebolla, con un axón muy largo, que es el que constituye las eferencias cerebelares

4. Células granulares: aracniformes, son las más pequeñas
5. Célula Golgi tipo II

FIGURA 100. Esquema de las células presentes en el cerebelo.



Estas células conforman las siguientes capas (figura 101):

LÁMINA MOLECULAR: formada por las células estrelladas y las células en cesto. Las células estrelladas son las más superficiales de la corteza y se disponen en paralelo a la superficie, haciendo prolongaciones horizontales. Las células en cesto se disponen interpuestas casi en la base de la lámina molecular, en la parte más profunda de la lámina

molecular, y emiten prolongaciones ascendentes que sinaptan con las fibras paralelas de las células estrelladas y algunas que descienden para sinaptar con las células de Purkinje.

LÁMINA DE CÉLULAS DE PURKINJE: se disponen emitiendo sus dendritas hacia la lámina molecular y su axón atravesando la lámina granular. Las células de Purkinje se ubican en sentido radiado, perpendiculares a la superficie de la corteza cerebelar.

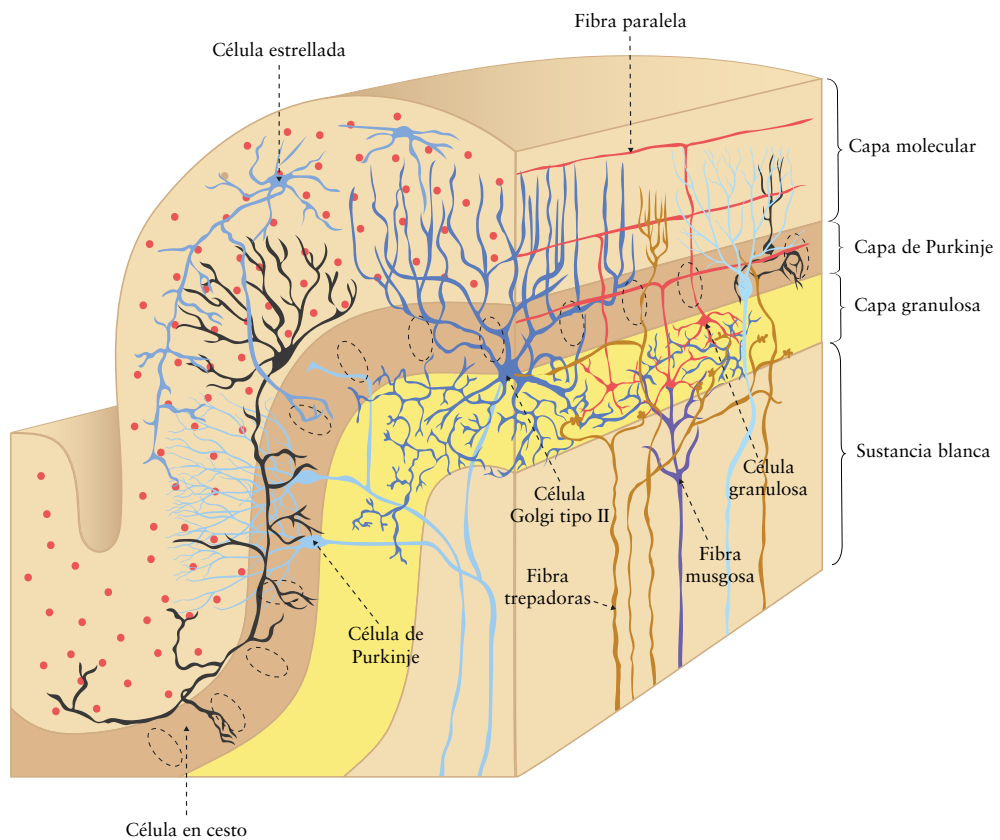
LÁMINA DE LA GRANULOSA O GRANULAR: encontramos en esta capa células granulares y de Golgi II en poca cantidad. Las células Golgi II son interneuronas que unen las tres láminas de la corteza cerebelar. Las células granulosas se disponen alrededor de una fibra musgosa, constituyendo un glomérulo cerebelar, que es la estructura sináptica fundamental de la corteza cerebelar. El glomérulo cerebelar está constituido por la terminación de una fibra musgosa (roseta) que pierde su vaina de mielina cuando constituye el glomérulo, por las dendritas de las células granulosas, que son muchas, y que se disponen alrededor de ella, y por el axón y algunas dendritas de la célula de Golgi.

Al cerebelo van a llegar fibras aferentes de dos tipos:

FIBRAS TREPADORAS: son fibras mielinizadas que ascienden en relación a las células de Purkinje. Todas estas fibras se originan del núcleo olivar inferior, la comunicación del núcleo olivar inferior al vestíbulo-cerebelo es a través de estas fibras trepadoras.

FIBRAS MUSGOSAS: provienen del resto de las aferencias, del espino-cerebelar dorsal y rostral, cuneocerebelar, desde los núcleos pontinos, de todas las otras aferencias que no vienen del núcleo olivar inferior van a originarse fibras musgosas y estas van a tener un contacto con las células de Purkinje. Las células de Purkinje reciben sinapsis de una fibra musgosa, la proporción es de 1 fibra por cada 10 células, es decir, estas células tienen información muy específica, de un territorio muy identificable.

FIGURA 101. Esquema de la citoarquitectura de la corteza de cerebelo.



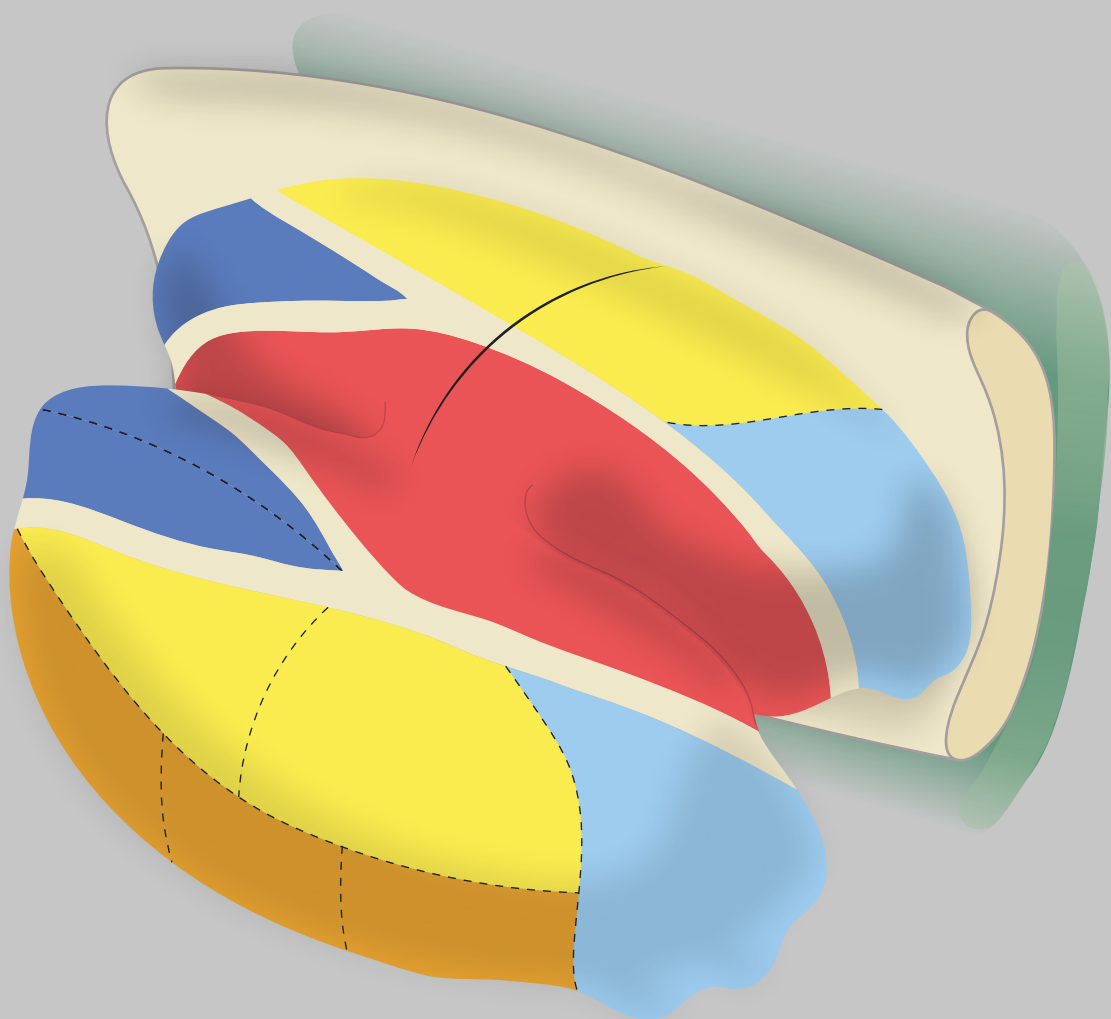


► CAPÍTULO VIII





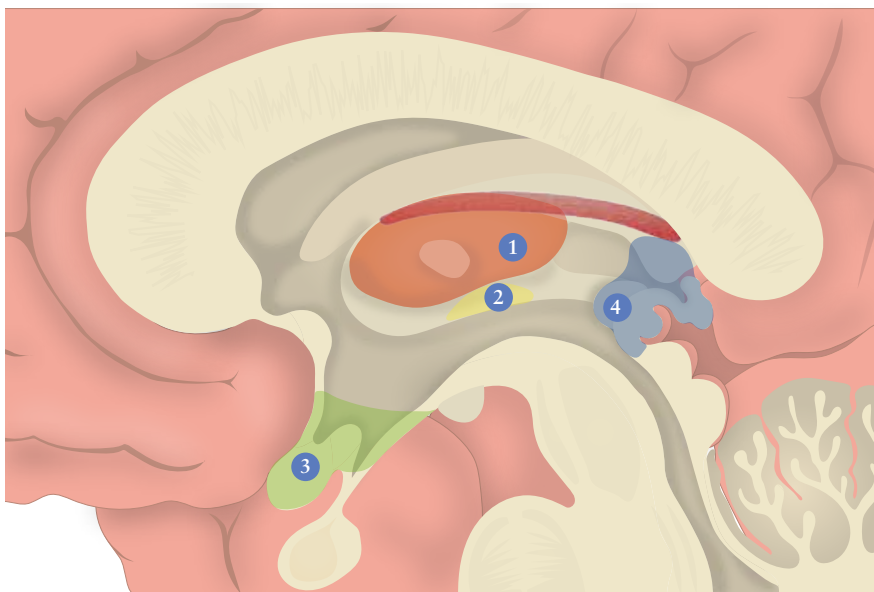
Diencéfalo



El diencefalo es la región anatómica del cerebro que se encuentra entre el tronco encefálico y los hemisferios cerebrales. Está limitado lateralmente por la cápsula interna. El III ventrículo se ubica en el centro de la región, el cual lo separa en dos áreas simétricas. El diencefalo se divide

en cinco zonas bien definidas: tálamo, subtálamo, hipotálamo, metatálamo y epitálamo (figura 102). Para conocer en detalle las estructuras anatómicas que conforman parte del diencefalo es importante comentar algunos aspectos relevantes de su cavidad ventricular asociada.

FIGURA 102. Divisiones del diencefalo. 1. Tálamo, 2. Subtálamo, 3. Hipotálamo, 4. Epitálamo.



III VENTRÍCULO (ventrículo mediano)

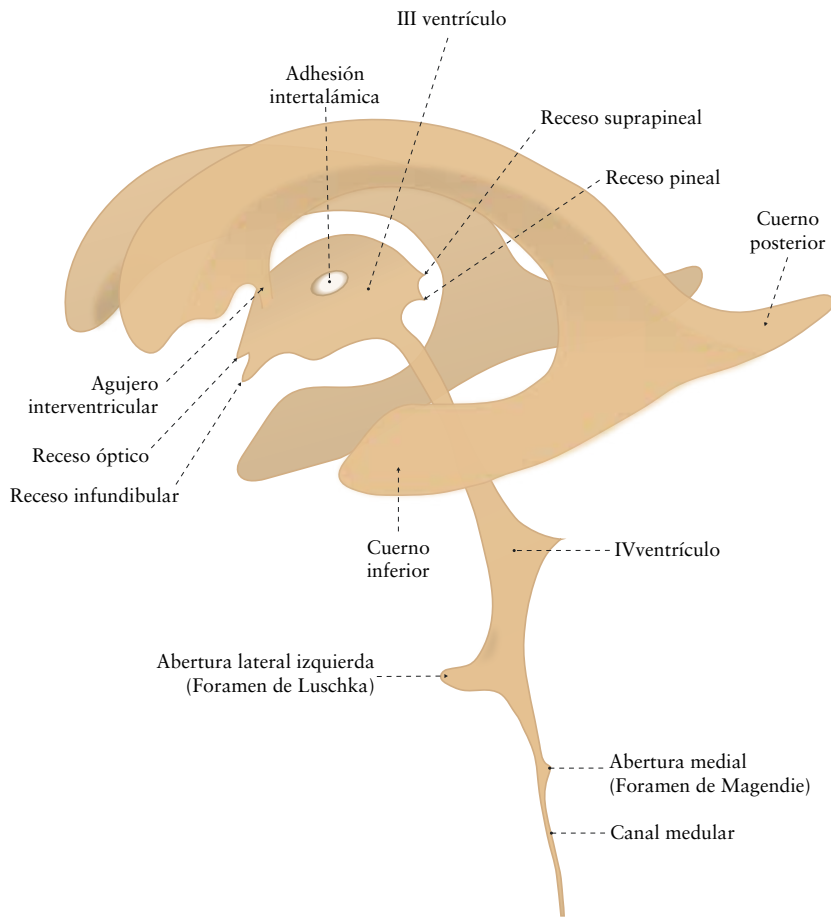
Es una estructura impar, atravesada por la adherencia intertalámica, que es una formación de sustancia gris (núcleo) que conecta aparentemente ambos tálamos. Es una cavidad única y más pequeña que los ventrículos laterales, con una forma similar a la cabeza de un pájaro. De ubicación central, se comunica con los ventrículos laterales a través de los forámenes interventriculares. En su interior encontramos plexos coroideos (en el techo del tercer ventrículo). Las paredes de esta cavidad están formadas por estructuras del diencefalo, núcleos del tálamo y del hipotálamo. En su extremo posterior encontramos la glándula pineal, principal responsable de la producción de melatonina, hormona que regula los ciclos de

sueño y vigilia. Está conectado con el cuarto ventrículo a través de un pequeño conducto llamado acueducto cerebral.

El tercer ventrículo posee las siguientes relaciones:

- Pared medial: tálamo
- Techo: cuerpo caloso
- Margen anteroinferior: delimitado por las columnas del fórnix, comisura anterior, lámina terminal, quiasma óptico y *túber cinereum*
- Margen posteroinferior: delimitado por la comisura posterior y el cuerpo pineal
- Se observan cuatro recesos:
 - Por posterior: suprapineal y pineal
 - Por anterior: óptico e infundibular (figura 103)

FIGURA 103. Cavidades ventriculares. Nótese los recesos del tercer ventrículo.



Tálamo

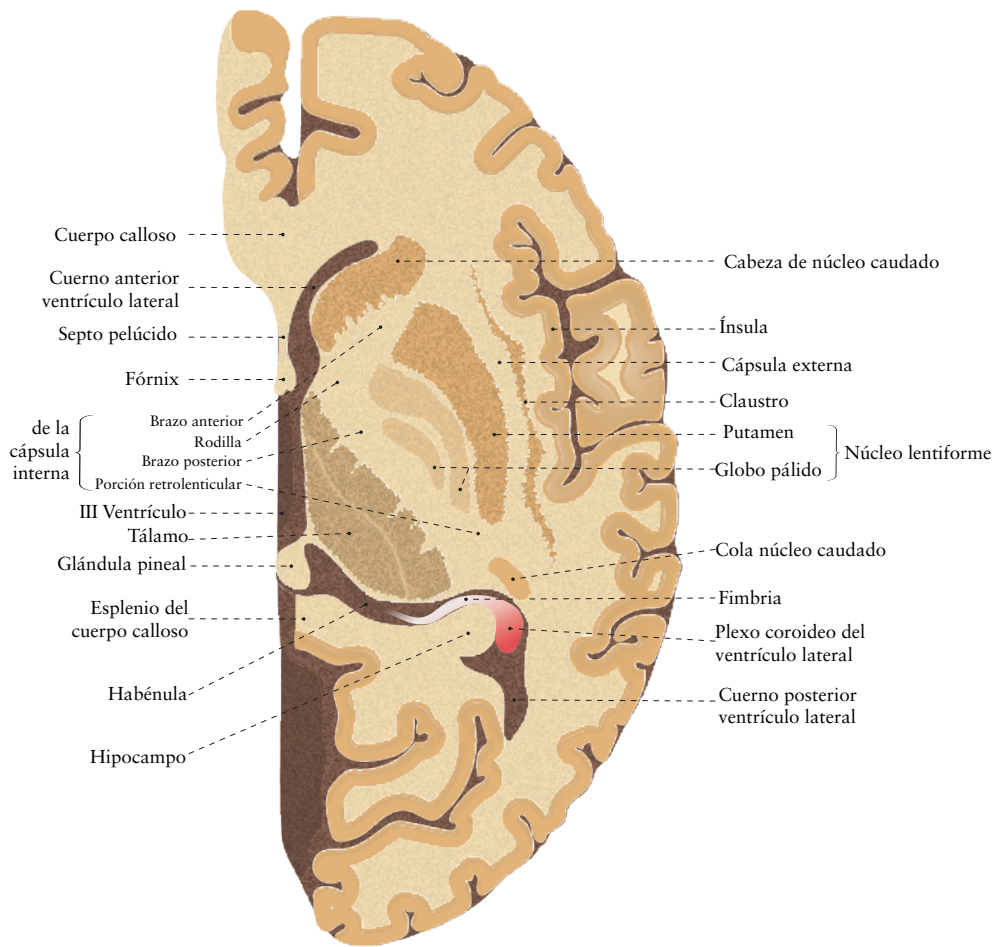
Es la región más grande y el centro del diencefalo. Comprende una zona ovoide de sustancia gris ubicada a ambos lados del tercer ventrículo, del cual forma las paredes laterales, en la región más dorsal y posterior. Las dos zonas ovoides que constituyen el tálamo no son paralelas entre sí, sino que sus extremos anteriores están más cercanos que sus extremos posteriores. Por lo tanto, el eje mayor de los tálamos es oblicuo (figura 104).

Su tamaño se asemeja al de un huevo de una perdiz. Su extremo anterior forma parte del foramen interventricular, mientras que el extremo posterior forma una región llamada pulvinar. El tálamo tiene cuatro caras principalmente:

Cara lateral: está totalmente cubierta por fibras, porque por allí está pasando el brazo posterior de la cápsula interna.

Cara medial: conforma la pared lateral del III ventrículo, por lo tanto, esta cara es libre.

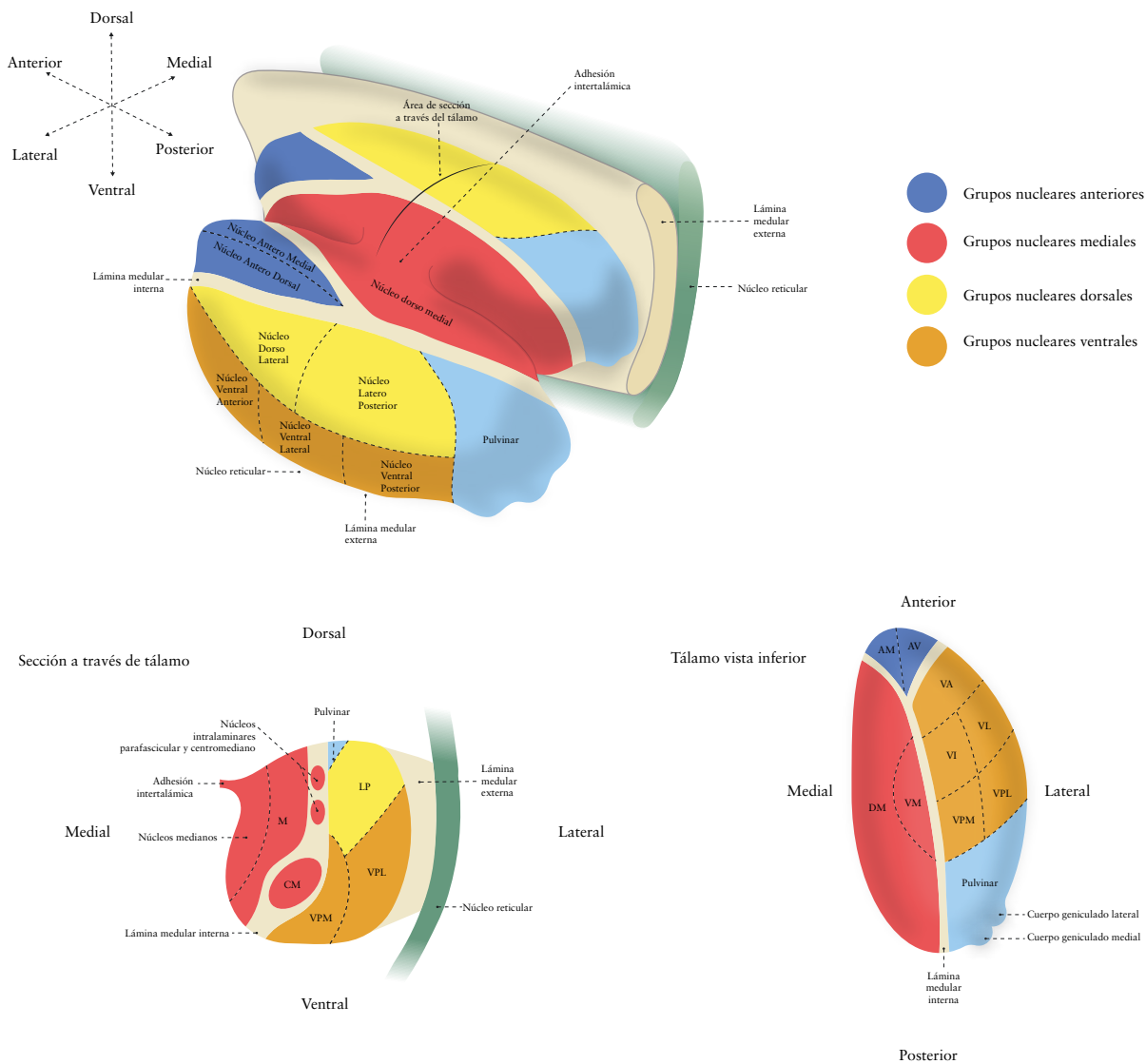
FIGURA 104. Representación esquemática de un corte horizontal (Flesching) que muestra el tálamo y sus relaciones.



En su interior se encuentra la lámina medular interna, en forma de Y, que separa las tres regiones que se describen del tálamo, con sus respecti-

vos núcleos. Estas son las regiones anterior, medial y lateral.

FIGURA 105. El tálamo y sus divisiones nucleares. AM. Núcleo anteromedial, AV. Núcleo anteroventral, DM. Núcleo dorsomedial, LP. Núcleo lateroposterior, M. Núcleo medial, VA. Núcleo ventral anterior, VI. Núcleo ventral intermedio, VPM. Núcleo ventral posteromedial, VPL. Núcleo ventral posterolateral.



Si observásemos los tálamos desde superior, nos daríamos cuenta de que están adheridos por una zona denominada adherencia intertalámica, aunque no es una formación constante, es sustancia gris y contiene núcleos en su interior. La lámina medular interna divide el tálamo en una región anterior, medial y lateral. En el polo anterior se ubicarán los núcleos anteriores, en la región lateral encontraremos la masa nuclear lateral y por la región medial la masa nuclear medial. Sumado a los núcleos que se encuentran dentro de

la lámina medular interna (intralaminares) tendríamos cuatro grupos de núcleos. Aunque por la región periférica del tálamo se organiza otro núcleo, denominado reticular lateral, que se encuentra separado del tálamo por la lámina medular externa (figura 105). Como el tálamo mantiene una forma ovoide existirá un polo anterior y otro posterior y, por tanto, las caras superior e inferior del tálamo se denominarán dorsal y ventral, respectivamente. De ahí derivan los nombres combinados que veremos a continuación. La pa-

labra tálamo se deriva del griego introducido al latín *Thalamus*, que significa «cámara nupcial o cama». Entonces, podríamos relacionar que la región dorsal sería la cubierta de la cama; la región ventral, la base de esta; y la región posterior o núcleo pulvinar, por su tamaño y volumen, sería la almohada.

Núcleos del tálamo

La zona anterior del tálamo contiene los siguientes núcleos:

Núcleos anteriores (dorsal, medial y ventral): forman parte del sistema límbico. Participan en el procesamiento de las emociones y en mecanismos de memoria reciente. Reciben aferencias del hipotálamo a través del tracto mamilotálamico y, a su vez, proyectan sus eferencias a la corteza del cíngulo.

La zona medial del tálamo contiene los siguientes núcleos:

Núcleo dorsomediano (figura 105).

Este núcleo tiene amplias conexiones con la corteza prefrontal e hipotálamo.

Participa en la integración de aferencias viscerales, olfativas y somáticas, así como en mecanismos que permiten percepciones subjetivas y emotivas.

La zona mediana del tálamo contiene los si-

guientes núcleos: núcleo paraventricular anterior y posterior, núcleo romboidal y núcleo de unión.

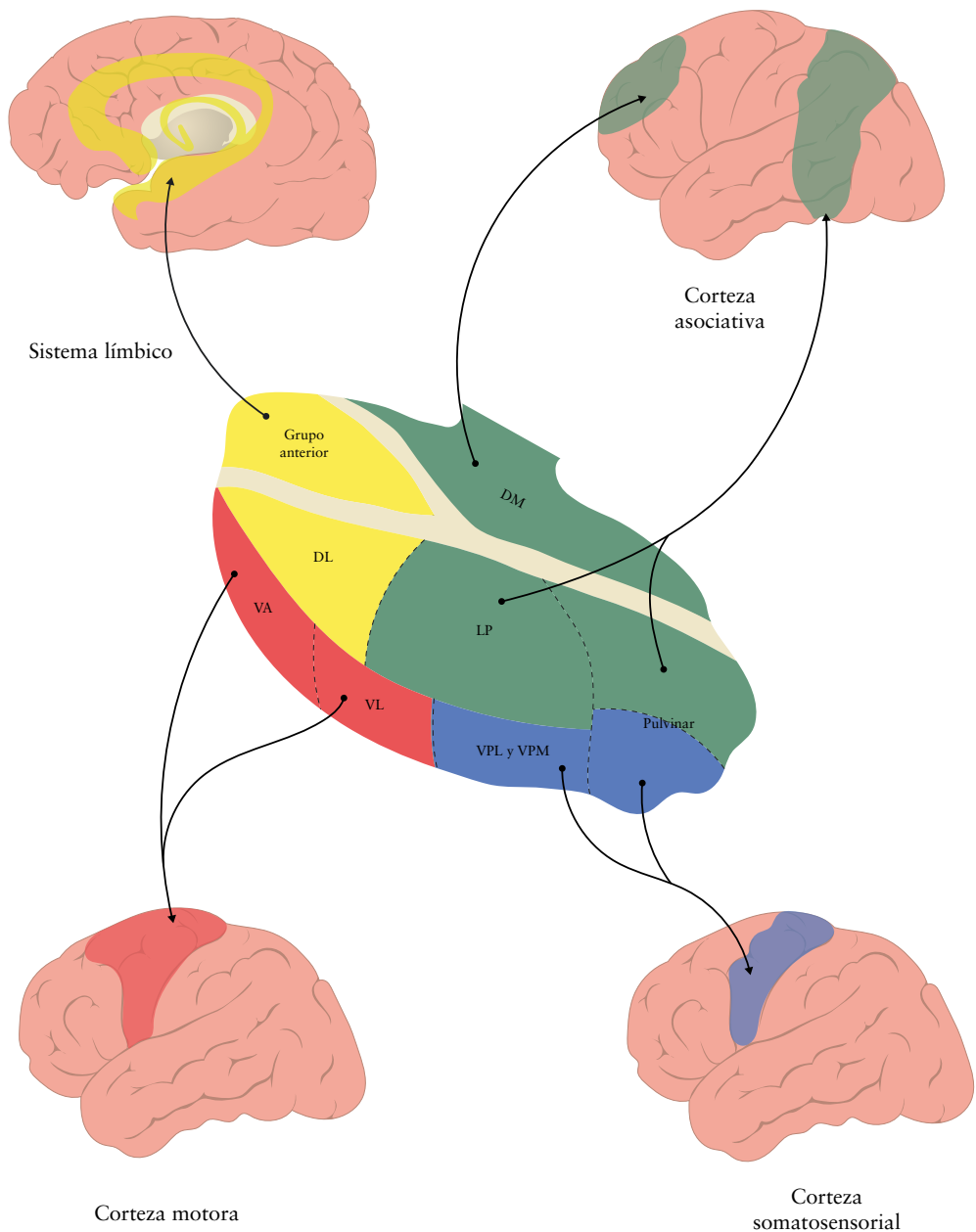
La zona lateral del tálamo es la más extensa y está conformada por el núcleo lateral posterior y dorsal, núcleo ventral lateral, núcleo ventral anterior, núcleo ventral intermedio medial y lateral, núcleo ventroposterolateral y ventroposteromedial. Los núcleos ventral anterior y ventral lateral juegan un rol importante en el procesamiento de la información motora, dado que reciben aferencias del cuerpo estriado (VA) y del cerebelo (VL), y proyectan respectivamente a la corteza premotora y a la corteza motora primaria. Los núcleos ventroposterolateral y ventroposteromedial participan en el procesamiento de información exteroceptiva y propioceptiva proveniente del territorio medular (lemnisco medial y haces espinotalámicos) y del territorio cefálico (lemnisco trigeminal).

La zona posterior del tálamo contiene los siguientes núcleos: núcleo pulvinar, núcleo geniculado lateral y núcleo geniculado medial. Estos constituyen el metatálamo.

La zona laminar del tálamo está conformada por los núcleos intralaminares. Estos son: núcleo centromediano, núcleo paracentral, núcleo parafascicular, núcleo central medial y lateral.

La zona externa del tálamo contiene el núcleo reticular.

FIGURA 106. El tálamo y sus diversas asociaciones funcionales.



Criterios funcionales

Si se utilizan criterios funcionales, los núcleos talámicos se pueden clasificar en:

NÚCLEOS ESPECÍFICOS

Dentro de los núcleos específicos se agrupan todos aquellos que reciben aferencias sensitivas u otras que establecen circuitos bien definidos, tanto para procesar información sensitiva como

motora, que luego se proyecta a la corteza cerebral. Entre estos están los núcleos geniculados laterales y mediales, ventrales posterolaterales, ventrales posteromediales, ventral anterior, ventral lateral y núcleo anterior del tálamo.

NÚCLEOS DE ASOCIACIÓN

Los núcleos de asociación tienen conexiones recíprocas con áreas de asociación cortical. Ellos son el pulvinar, el núcleo lateral posterior y lateral dorsal y el núcleo dorsomediano.

NÚCLEOS INESPECÍFICOS

Los núcleos inespecíficos son aquellos que establecen amplias conexiones con otros núcleos del tálamo y otras regiones del sistema nervioso. Ellos son los núcleos intralaminares, los núcleos reticulares y los núcleos de la línea media del tálamo (figura 105).

Un aspecto funcional del tálamo es que es un núcleo esencialmente sensitivo. Las conexiones que el tálamo establece con la corteza son siempre ipsilaterales, no existiendo conexiones directas con la corteza del lado opuesto. Se acepta que el tálamo participa en dos grandes grupos de sensaciones:

Sensaciones discriminativas: participan los sentidos especiales, como visión, audición, tacto, propiocepción, dolor.

Sensaciones afectivas: participan los núcleos dorso mediano, anterior y reticulares.

Clasificación filogenética del tálamo

Arquitálamo: núcleo intralaminares

Paleotálamo: núcleo anterior

Neotálamo: núcleos dorsales, proyectan sus fibras al córtex

Clasificación funcional de los núcleos talámicos

Motor: ventral anterior (VA) y ventral lateral (VL)

Sensitivos: ventral posterior (VP), núcleo geniculado lateral (NGL) y núcleo geniculado medial (NGM)

Límbicos: núcleo anterior (A) y lateral dorsal (LD)

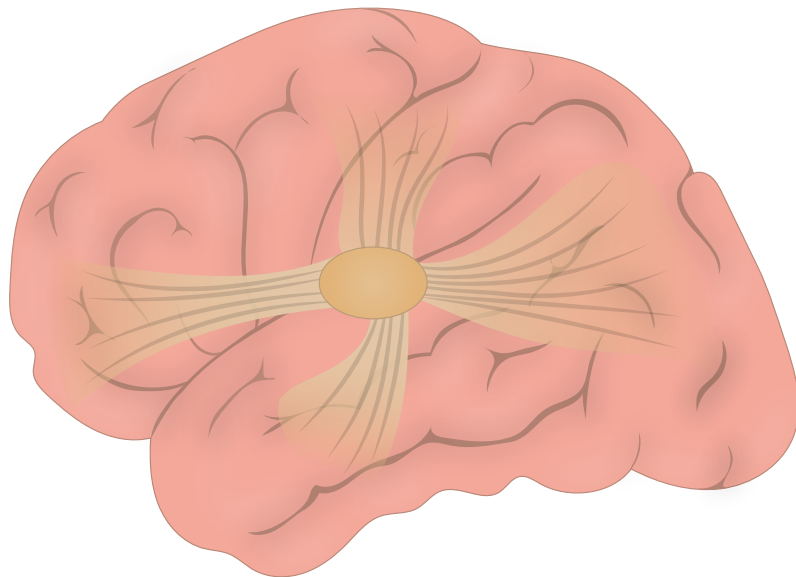
Asociativos: dorsomediano (DM) y pulvinar

Reticular: intralaminares

Radiaciones del tálamo

Como se muestra en la (figura 107), las conexiones recíprocas entre la corteza y el tálamo viajan en cuatro radiaciones talámicas. La radiación anterior del tálamo pasa a través del brazo anterior de la cápsula interna para llegar a la corteza prefrontal y al giro del cíngulo. La radiación superior del tálamo pasa a través del brazo posterior de la cápsula interna para alcanzar la corteza premotora, motora y somatosensitiva. La radiación posterior del tálamo pasa por la porción retrolenticular de la cápsula interna para llegar a la corteza occipital, parietal y temporal. La radiación inferior pasa bajo el núcleo lentiforme para llegar a la región anterior del lóbulo temporal y corteza orbitaria. Cada radiación mencionada se incorpora a la corona radiada.

FIGURA 107. Radiaciones talámicas.



Subtálamo

El núcleo subtalámico tiene la forma de un lente biconvexo, que se ubica en un área muy pequeña que queda por debajo del tálamo, entre la cápsula interna y el hipotálamo. Los sistemas de fibras que en esta región se describen están dados por: el asa lenticular, el fascículo lenticular y el fascículo subtalámico, que tienen que ver con funciones motoras asociadas al sistema extrapiramidal. Tiene tanto un núcleo propio como unos prestados, es decir, que pertenecen a otras zonas,

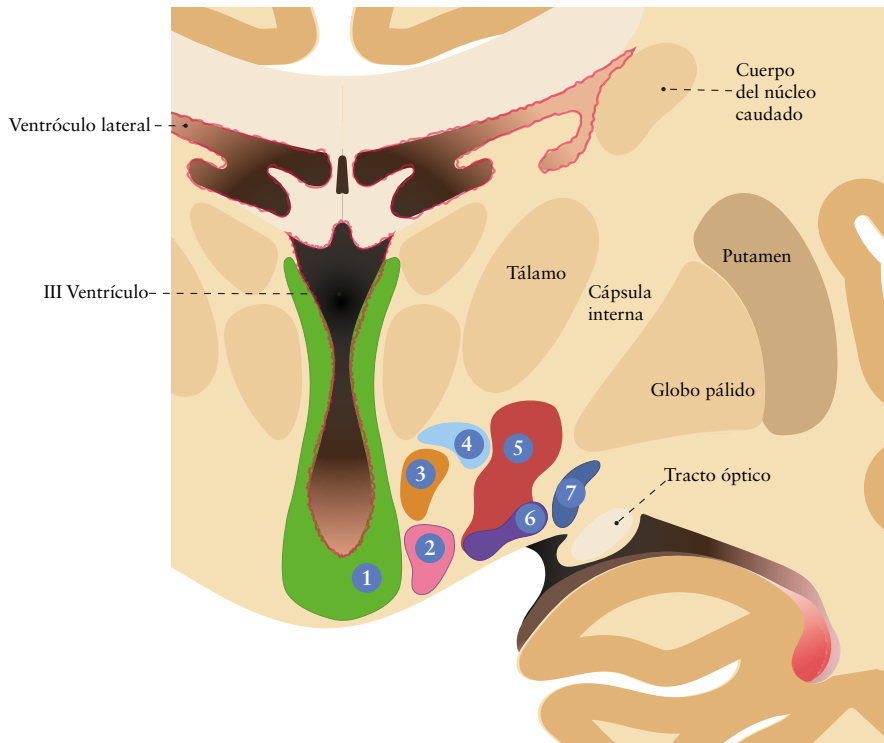
pero que parcialmente ocupan el subtálamo.

Núcleo propio: núcleo subtalámico.

Núcleos prestados: núcleo rojo y sustancia negra (locus niger), que son núcleos que pertenecen al pedúnculo cerebral.

También tenemos la zona incierta, que es el núcleo reticular, que se ubica lateral al tálamo. La zona incierta es una banda de sustancia gris ubicada entre el tálamo y el fascículo lenticular. Esta estructura recibe conexiones de la corteza cerebral motora primaria, sin embargo, sus eferencias no son bien conocidas (figura 108).

FIGURA 108. Corte frontal de cerebro (Charcot), donde se observan núcleos subtalámicos e hipotalámicos. 1. Núcleo arqueado periventricular, 2. Núcleo ventromedial, 3. Núcleo dorsomedial, 4. Área hipotalámica dorsal, 5. Núcleo lateral, 6. Núcleos del Tuber, 7. Núcleo supraóptico.



Sus principales aferencias provienen del segmento lateral del globo pálido (fibras Gabaérgicas), vía fascículo subtalámico. Sus principales eferencias son numerosas fibras excitadoras, que liberan glutamato al segmento medial del globo pálido. Lesiones en el núcleo subtalámico producen alteraciones motoras, consistentes en movimientos involuntarios violentos y mantenidos de extremidades, y a veces de cuello y cara. La en-

fermedad llamada Hemibalismo se relaciona con afecciones a este núcleo.

Hipotálamo

Esta estructura se encuentra en la zona más anterior e inferior del diencefalo y está formada por más de 90 núcleos. Pesa alrededor de 4 gramos.

El extremo anterior limita con la lámina terminalis. Hacia dorsal y de anterior hacia posterior, se relaciona con la comisura anterior y con el surco hipotálamo. Caudalmente delimita con el mesencéfalo. Medialmente, forma las paredes laterales del III ventrículo y, por último, lateralmente, está en contacto con el subtálamo. El límite inferior está dado, de adelante atrás, por el quiasma óptico, infundíbulo y cuerpos mamilares (figura 109).

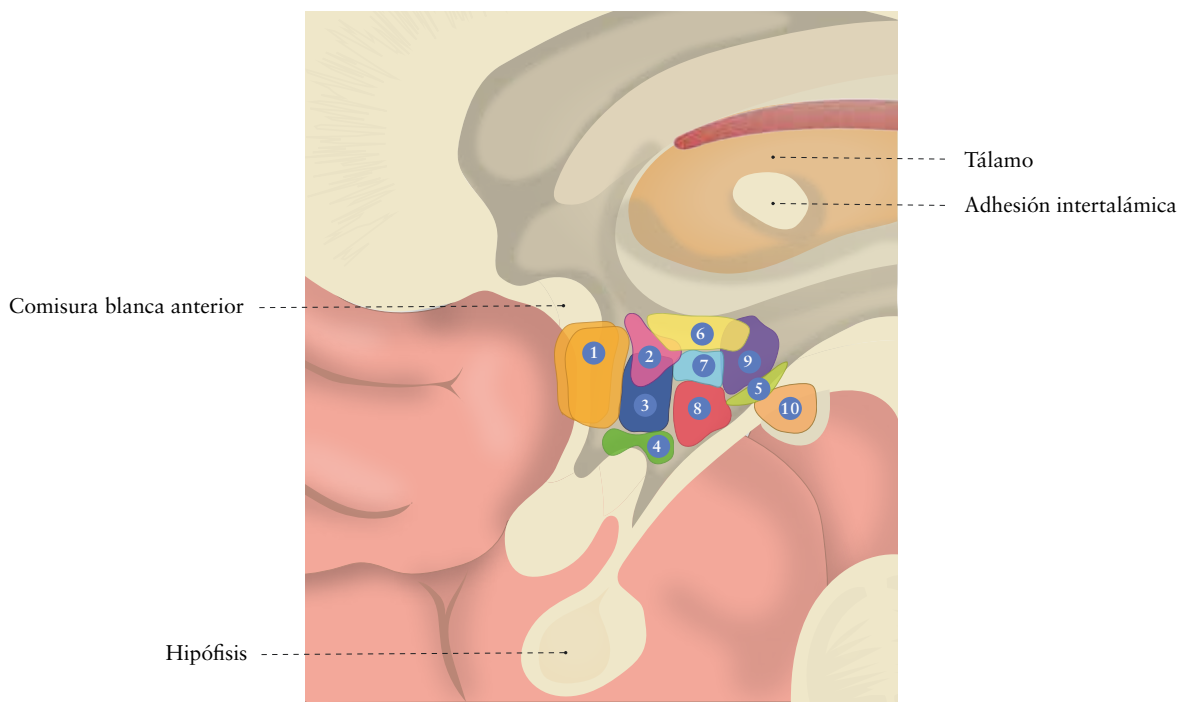
Se divide en dos partes:

Hipotálamo medial: concentra la mayor cantidad de núcleos. Esta zona es la que tiene mayor cantidad de somas y menor de fibras.

Hipotálamo lateral: es pobre en somas neuronales y rico en fibras.

Los elementos que separan al hipotálamo medial del lateral son las columnas del fórnix y un fascículo que nace desde el cuerpo mamilar y que asciende de nuevo hacia el tálamo: el fascículo mamilotalámico.

FIGURA 109. Esquema de núcleos del hipotálamo y regiones relacionadas. 1. Núcleos preópticos, 2. Núcleos paraventriculares, 3. Área hipotalámica anterior, 4. Núcleo supraóptico, 5. Área hipotalámica lateral, 6. Área hipotalámica dorsal, 7. Núcleo dorsomedial, 8. Núcleo ventromedial, 9. Área hipotalámica posterior, 10. Cuerpo mamilar.



Conexiones aferentes del hipotálamo

El hipotálamo recibe múltiples conexiones aferentes relacionadas con funciones viscerales, olfativas y del sistema límbico. Entre estas tenemos las aferencias viscerales y somáticas que llegan al hipotálamo como colaterales de los sistemas lemniscales, vía formación reticular. Las aferencias corticales que llegan al hipotálamo directamente desde la corteza frontal. Las aferencias provenientes del

hipocampo, vía fórnix-núcleos mamilares. Aferencias del núcleo amigdalóide vía estría terminal. Aferencias del tálamo, provenientes de los núcleos dorsomediano y de la línea media y las aferencias provenientes del tegmento mesencefálico.

Conexiones eferentes del hipotálamo

Estas son también muy numerosas y complejas. Entre ellas tenemos:

- eferencias mamilotalámicas hacia el núcleo anterior del tálamo, para luego proyectarse a la corteza cingulada;
- eferencias mamilo-tegmentales, que permiten conexiones con la formación reticular del tegmento mesencefálico;
- eferencias descendentes al tronco encefálico y médula espinal, que permiten que el hipotálamo pueda influir en los centros segmentarios simpáticos y parasimpáticos, tales como núcleo accesorio del oculomotor, núcleos salivatorios superior e inferior, núcleo dorsal del vago, núcleos simpáticos del asta lateral, núcleos parasimpáticos de la región intermedio lateral de la médula sacra. El hipotálamo también establece conexiones con la hipófisis de dos maneras diferentes. Una de ellas es a través del tracto hipotálamo-hipofisiario y la otra es a través de un sistema porta de capilares sanguíneos.

TRACTO HIPOTÁLAMO-HIPOFISIARIO

Permite que las hormonas vasopresina y oxitocina, que son sintetizadas por neuronas de los núcleos supraóptico y paraventricular, respectivamente, sean liberadas en los terminales axónicos que contactan con la neurohipófisis. Estas hormonas actúan produciendo vasoconstricción y antidiuresis (vasopresina) o contracción de la musculatura uterina y de las células mioepiteliales que rodean los alvéolos de la glándula mamaria (oxitocina) en la mujer.

SISTEMA PORTA HIPOFISIARIO

Está formado por capilares que forman una red que desciende al lóbulo anterior de la hipófisis. Este sistema porta lleva factores de liberación hormonal que son sintetizados en el hipotálamo y cuya acción en el lóbulo posterior de la hipófisis inducirá la producción y liberación de hormonas, tales como: adenocorticotrofina (ACTH), hormona folículo estimulante (FSH), hormona luteinizante (LH), hormona tirotrófica (TSH), hormona del crecimiento (GH), etcétera.

Funciones del hipotálamo

Una de las funciones vitales que tiene el hipotálamo es el manejo de nuestro sistema interno, de la homeostasis o equilibrio interno. Este con-

trol lo hace a través de dos vías: vía endocrina y vía de sistema nervioso autónomo (SNA).

VÍA NERVIOSA

El hipotálamo controla el SNA. Distintos centros del hipotálamo ajustan y coordinan actividades de centros visceromotores del tronco encefálico y de la médula espinal, para regular el funcionamiento del corazón (frecuencia), presión arterial, respiración, actividad digestiva, etcétera. Por ejemplo, si estimulamos el hipotálamo anterior es como si estimuláramos el sistema parasimpático, y si estimulamos el hipotálamo posterior es como estimular el sistema simpático. Por lo tanto, el hipotálamo se relaciona con la coordinación entre funciones voluntarias y autonómicas. Cuando un individuo enfrenta situaciones estresantes, el corazón late a un ritmo más acelerado, la frecuencia respiratoria se altera, se puede producir sudoración, redistribución de flujo sanguíneo, etcétera. También tiene función reguladora de temperatura, sueño y vigilia, es decir, ritmo circadiano. Una lesión del hipotálamo posterior produce sueño. El núcleo ventromedial se encarga de producir la sensación de saciedad.

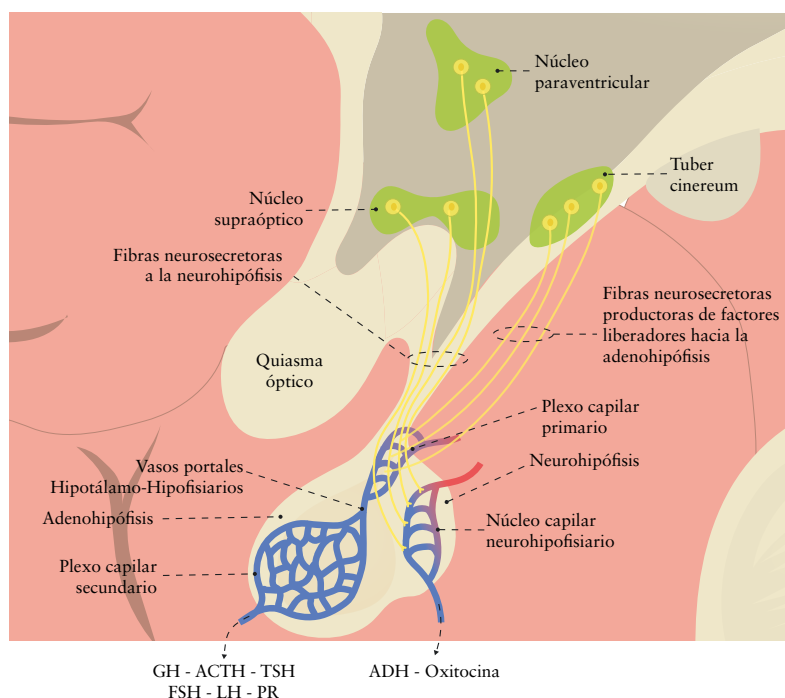
VÍA ENDOCRINA

Por esta vía, el hipotálamo genera sus propias hormonas a través del núcleo paraventricular y supraóptico, las cuales van a ir a almacenarse en la hipófisis. Así también va a generar neurosecreción (factores liberadores), que van a estimular la neurohipófisis. Van a existir factores liberadores para cada una de las hormonas trofinas que hay en la adenohipófisis. Estos factores liberadores drenan a través del sistema porta hipofisiario y van a estimular a las células que forman hormonas, como tirotropinas, gonadotropinas, prolactina y todas aquellas hormonas que son estimulantes de otras glándulas. En cambio, la neurohipófisis tiene sus propias hormonas, que son la ADH (hormona antidiurética) y la oxitocina (participa en la contracción de la musculatura lisa uterina) (figura 110).

OTRAS FUNCIONES DEL HIPOTÁLAMO

Participación en comportamientos emotivos. Específicas regiones del hipotálamo se activan para llevar a cabo comportamientos específicos. Por ejemplo, cuando se activan los centros del hambre (hipotálamo lateral), se producen deseos de comer, o cuando se activan los centros de la sed, dan deseos de ingerir líquidos.

FIGURA 110. Representación esquemática del hipotálamo y su relación con la hipófisis.



Control de actividades somatomotoras involuntarias. El hipotálamo es capaz de dirigir patrones somatomotores asociados a emociones de rabia, placer, dolor, actividad sexual, etcétera.

Participa en la regulación de la temperatura corporal. En estos mecanismos, permite la coordinación con otras regiones del sistema nervioso para inducir mecanismos de producción o disipación del calor.

Controla los ritmos circadianos. El núcleo supraquiasmático es uno de los centros que coordina los ciclos que tienen que ver con la luz y la oscuridad. Este núcleo recibe conexiones directas de la retina y permite, a través de conexiones con otras áreas del hipotálamo, actuar en conjunto con la glándula pineal y formación reticular, en la regulación de estos ciclos que se repiten a lo largo del tiempo.

Resumen funciones del hipotálamo

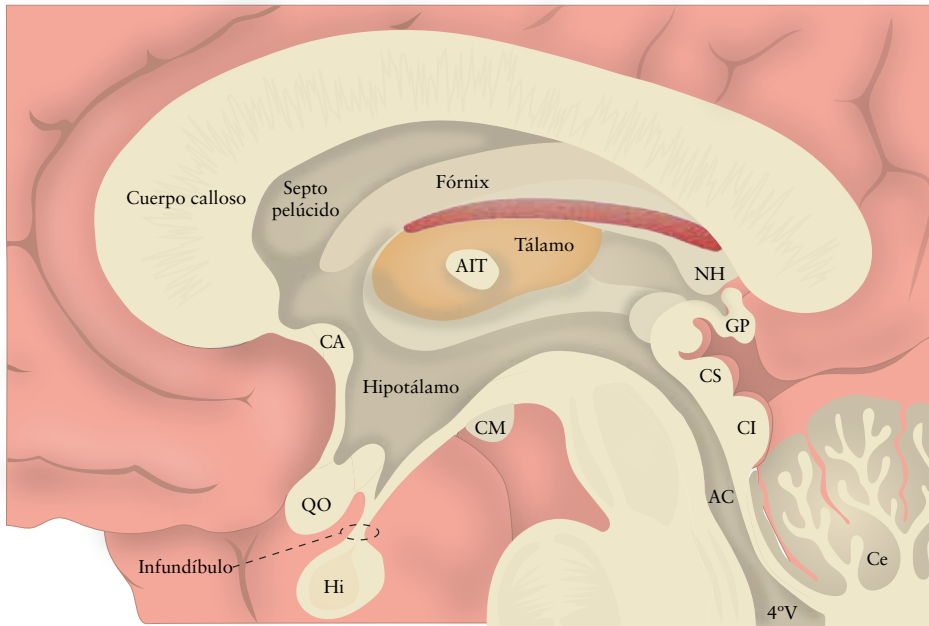
- Control del SNA
- Regulación del sistema endocrino

- Regulación T° corporal
- Regulación del comportamiento emocional
- Regulación del sueño y la vigilia
- Regulación de la ingesta de alimentos
- Regulación de la ingesta de agua
- Regulación de la siuresis
- Generación y regulación del ciclo circadiano

Epitálamo

Es una zona que pertenece al sistema límbico, es decir, tiene que ver con la vida instinto afectiva del individuo. Se ubica sobre y detrás del tálamo. Está constituido por la glándula pineal, trigono de la habénula y las estrías medulares. Por lo tanto, se podrían clasificar en estructuras endocrinas (glándula pineal) y no endocrinas (núcleos habenulares y estrías medulares) (figura 111).

FIGURA 111. Epitálamo y su relación con el resto de las estructuras cerebrales. 4°V. Cuarto ventrículo, AC. Acueducto cerebral, AIT. Adherencia internaláminica, CA. Comisura anterior, Ce. Cerebelo, CI. Colículo inferior, CM. Cuerpo mamilar, CS. Colículo superior, GP. Glándula pineal, Hi. Hipófisis, NH. Núcleo habenular, QO. Quiasma óptico.



Se encuentra entre los colículos superiores, colgando de la parte posterior. Envuelta por pia-madre. Con los años puede calcificarse, pudiendo distinguirse claramente en una radiografía.

En los animales inferiores, esta glándula está muy superficial en el cráneo, incluso se encuentra inmediatamente por debajo de la piel, con funciones como captar luz (de forma parecida a los conos y bastones). De ahí que se denomine el tercer ojo. En el ser humano, es una glándula con células capaces de secretar una sustancia denominada melatonina.

La glándula pineal es una estructura que contiene neuronas, células de glía y células secretoras especializadas, llamadas pinealocitos. Estos últimos sintetizan la hormona melatonina a partir de la serotonina, especialmente durante la noche.

FUNCIONES MELATONINA

Participa en los ritmos circadianos, que son modificaciones que ocurren en diversos procesos fisiológicos en distintos momentos del día. Debido a que son modulados por la mayor o menor actividad lumínica, son llamados también fotoperiodos o ciclos de luz y oscuridad.

La producción de melatonina aumenta en la noche y disminuye en el día, debido a que esta

glándula sigue estimulada por la luz, pero no en forma directa, sino por vía simpática desde los globos oculares, provocando que la luz inhiba la producción de la hormona. Lo que hace que regule el ritmo de los ciclos circadiano.

La no producción de melatonina confiere el vigor y la posibilidad de mantenerse de 12 a 14 horas con cierta energía. Sin embargo, su no inhibición a la hora que llega la tarde, cuando disminuye la luz solar, hace que comience a dar sueño. Se dice que las horas más importantes de sueño para el organismo son entre las 2 y las 4 de la mañana, porque serían horas de máxima producción de la hormona. También se ha descrito que la melatonina es un potente antioxidante que ayuda a proteger el SNC. Además, se relaciona con la maduración sexual del individuo, ya que inhibe la maduración sexual. Se ha visto que la madurez sexual de una rata es inhibida por la melatonina secretada por la glándula pineal.

TRÍGONO DE LA HABÉNULA

Es una estructura que tiene en su interior los núcleos habenulares: uno medial y uno lateral. Estos núcleos reciben aferencias de los núcleos septales, vía estría terminal, y proyectan sus efe-

rencias, vía fascículo retroflexus, al núcleo interpeduncular. Por lo tanto, están relacionados con el sistema límbico.

Desde el núcleo de la habénula, ubicado en el centro del triángulo habenular, salen fibras que son las que se definieron como las estrías medulares del tálamo, que corresponden a fibras que se dirigen a la pared medial del tálamo, hasta las

áreas septales en la parte anterior. Estas fibras, además, se conectan con las del lado opuesto, es decir, se forma una comisura que corresponde a la comisura de la habénula, que no corresponde a la comisura posterior o epitalámica, sino que es una comisura propia que está sobre la glándula pineal.



► CAPÍTULO IX



Subcórtex





Antes de adentrarnos en la configuración de la corteza cerebral, debemos entender cómo se conforman las estructuras que se encuentran debajo. Básicamente, bajo la corteza cerebral encontramos sustancia blanca, constituyendo el subcórtex o centro oval.

Centro oval:

Está formado por distintos tipos de axones, que pueden provenir de:

- la corteza
- el tálamo (centro diencefálico)

Es así cómo van a existir dos tipos de vías:

- de la corteza al tálamo: vías eferentes o motoras
- del tálamo a la corteza: vías aferentes o sensitivas

Estas formaciones que van de la corteza al tálamo, o viceversa, se denominan corona radiante.

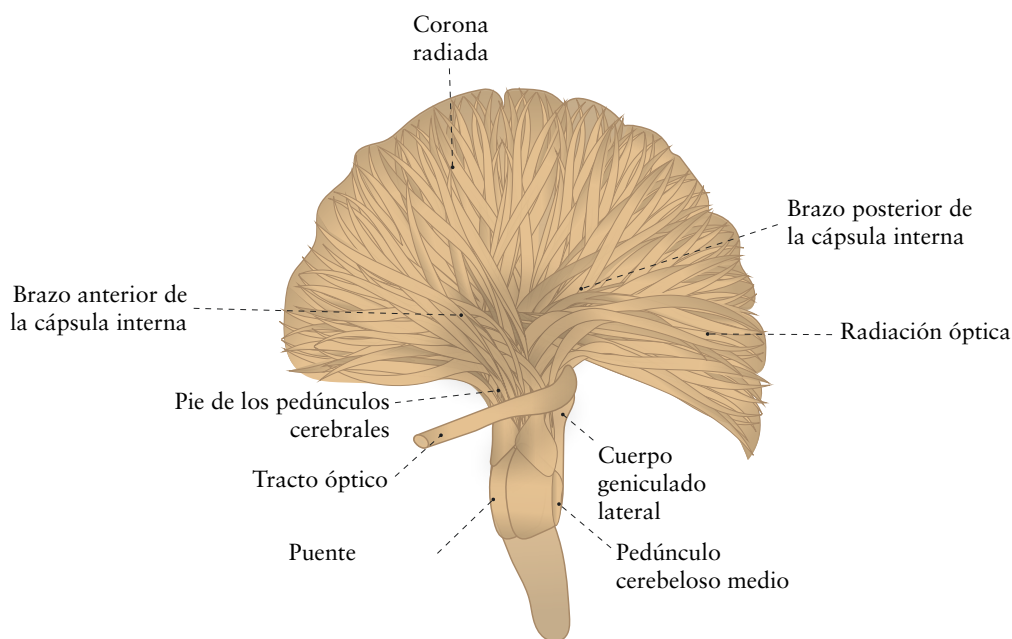
Corona radiante:

Compuesta por fibras que emite el tálamo, las cuales pueden ir a las distintas porciones de la corteza, como las fibras que se dirigen al tálamo desde la corteza cerebral (figura 112).

Fibras de asociación intrahemisféricas:

Los cuerpos neuronales que van a estar formando la corteza poseen axones a lo largo de la superficie cortical, los cuales son capaces de formar fascículos hemisféricos cortos, largos, interhemisféricos y vías descendentes.

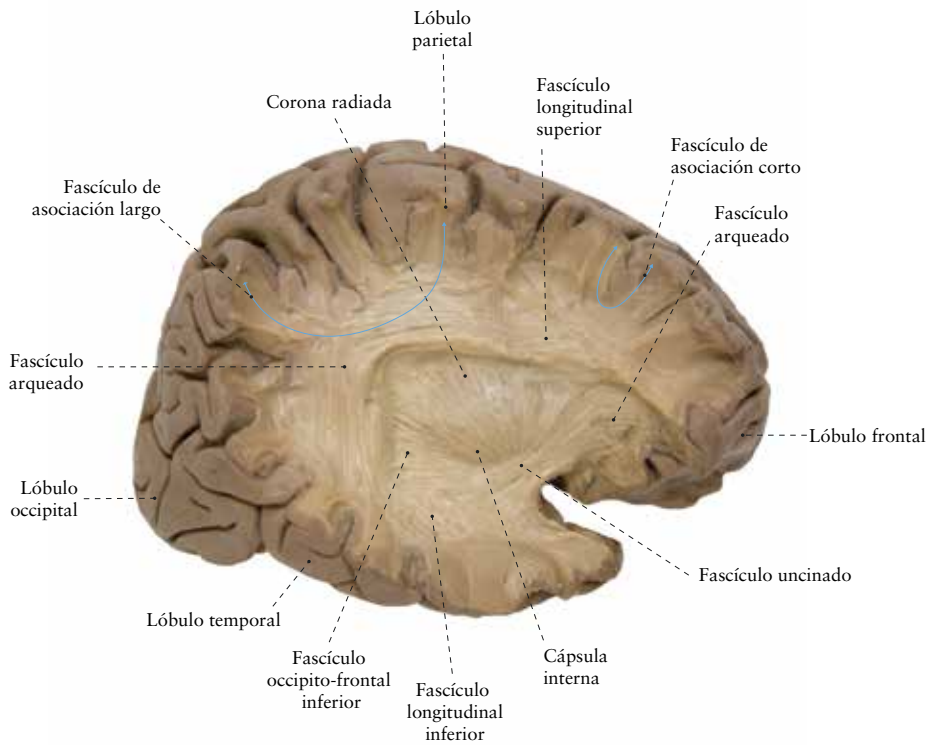
FIGURA 112. Corona radiada, configurando la cápsula interna.



- **Fascículos cortos:** estas vías de asociación relacionan áreas corticales vecinas y se proyectan de una neurona piramidal de la lámina III y llegan a una lámina granular de la lámina II, pero de una región muy próxima (por ejemplo: del área parietal posterosuperior al área parietal posteroinferior) (figura 113).
- **Fascículos largos:** forman parte de la región subcortical, del centro oval. Comunican regiones lejanas de la corteza, pero del mismo hemis-

ferio. Estas neuronas van a salir de la lámina V, es decir, donde están las células piramidales medianas (que forman fibras hemisféricas largas) y grandes (que forman las comisuras). Así se forman las fibras de asociación hemisféricas largas, cuando se une una piramidal mediana con una granular mediana de la lámina IV; mientras que los fascículos interhemisféricos comisurales se forman por la comunicación de una piramidal grande con una granular grande (figura 113).

FIGURA 113. Fascículos hemisféricos largos; Fascículo longitudinal superior.



Ejemplos de fascículos largos:

- Fascículo longitudinal superior: emerge de la porción occipital y se dirige a Broca o Wernicke, según si la persona comprendió lo dicho o solo usó el lenguaje sin llegar a comprender la palabra que utilizó.
- Fascículo arqueado: transita de área de Wernicke a Broca.

Los fascículos interhemisféricos comisurales comunican un hemisferio con el otro. Van a estar formados por axones de neuronas piramidales grandes y van a llegar a comunicarse con las neuronas granulares grandes. Por lo tanto, estos fascículos interhemisféricos comisurales largos van a transitar desde la lámina V hasta la lámina IV, en cambio, los fascículos hemisféricos cortos salen de la lámina III y llegan a la lámina II de la corteza cerebral.

Fibras descendentes: estas son las que formarán parte de la vía corticoespinal, corticonuclear y son vías motoras que emergen de la lámina V en el área motora primaria. En esta área encontramos las neuronas piramidales gigantes que

formarán las fibras de la vía corticoespinal (desde la corteza a la médula espinal) y la vía corticonuclear (desde la corteza a todos los núcleos del tronco encefálico).

El fascículo longitudinal tiene dos porciones: una que va desde el área de Broca al área visual primaria, que se denomina fascículo longitudinal superior, y otra que va del área de Broca al área de Wernicke, llamada fascículo arqueado, y desde este tengo otro fascículo de asociación interhemisférico que va al área auditiva primaria, que es el fascículo uncinado.

Resumen:

Radiaciones talámicas: fibras que van desde el tálamo a la corteza o desde la corteza al tálamo y van a constituir las fibras de la corona radiante.

Fibras de proyección: Son vías que se dirigen desde la corteza hacia la médula espinal, que formarán las vías piramidales (corticoespinal). Se llaman así por estar formadas por los axones de las neuronas piramidales gigantes de la lámina V de la vía motora primaria.

Fibras de asociación interhemisféricas comisurales

Corresponden a las comisuras telencefálicas. Son tres comisuras:

- Cuerpo calloso
- Fórnix
- Comisura anterior

Transitan de un hemisferio a otro, comunicando regiones homólogas como el área de Broca de un lado con la del otro. Estas cruzan la línea media y están formadas por células piramidales grandes, llegando hasta las neuronas granulares grandes.

Fibras de asociación intrahemisféricas cortas y largas

- Las fibras intrahemisféricas cortas comunican áreas corticales vecinas, como la somatosensorial con la somatosensorial secundaria o el área parietal posterosuperior con el área parietal posteroinferior, como se había mencionado anteriormente. Están formadas por neuronas piramidales pequeñas y llegan hasta las neuronas granulares pequeñas de la lámina II de la corteza cerebral (figura 114).
- Fibras de asociación intrahemisféricas largas, por ejemplo, fascículo longitudinal superior, fascículo unciforme, fascículo arqueado, constituidas desde las neuronas piramidales medianas hasta las neuronas granulares medianas de la lámina IV.

A parte de las comisuras telencefálicas tenemos las comisuras diencefálicas, como la comisura posterior.

Para asociar las diversas comisuras con niveles del SNC, necesitamos recordar su derivación embrionaria desde diencefalo o telencéfalo.

Derivados telencéfalo:

- Cerebro
- Hemisferios cerebrales
- Núcleos de la base

Derivados diencefalo:

- Tálamo
- Todo lo que rodea al tálamo: epitálamo, metatálamo, subtálamo e hipotálamo

Comisuras telencefálicas comunican estructuras que derivan del telencéfalo:

- Corteza cerebral
- Fórnix (comunica corteza cerebral del giro del cíngulo y del hipocampo, o sea, del lóbulo límbico)
- Comisura anterior, que va a comunicar específicamente las regiones olfatorias. Esta va a ser la comisura que comunica el rinencéfalo, o sea, la corteza olfatoria

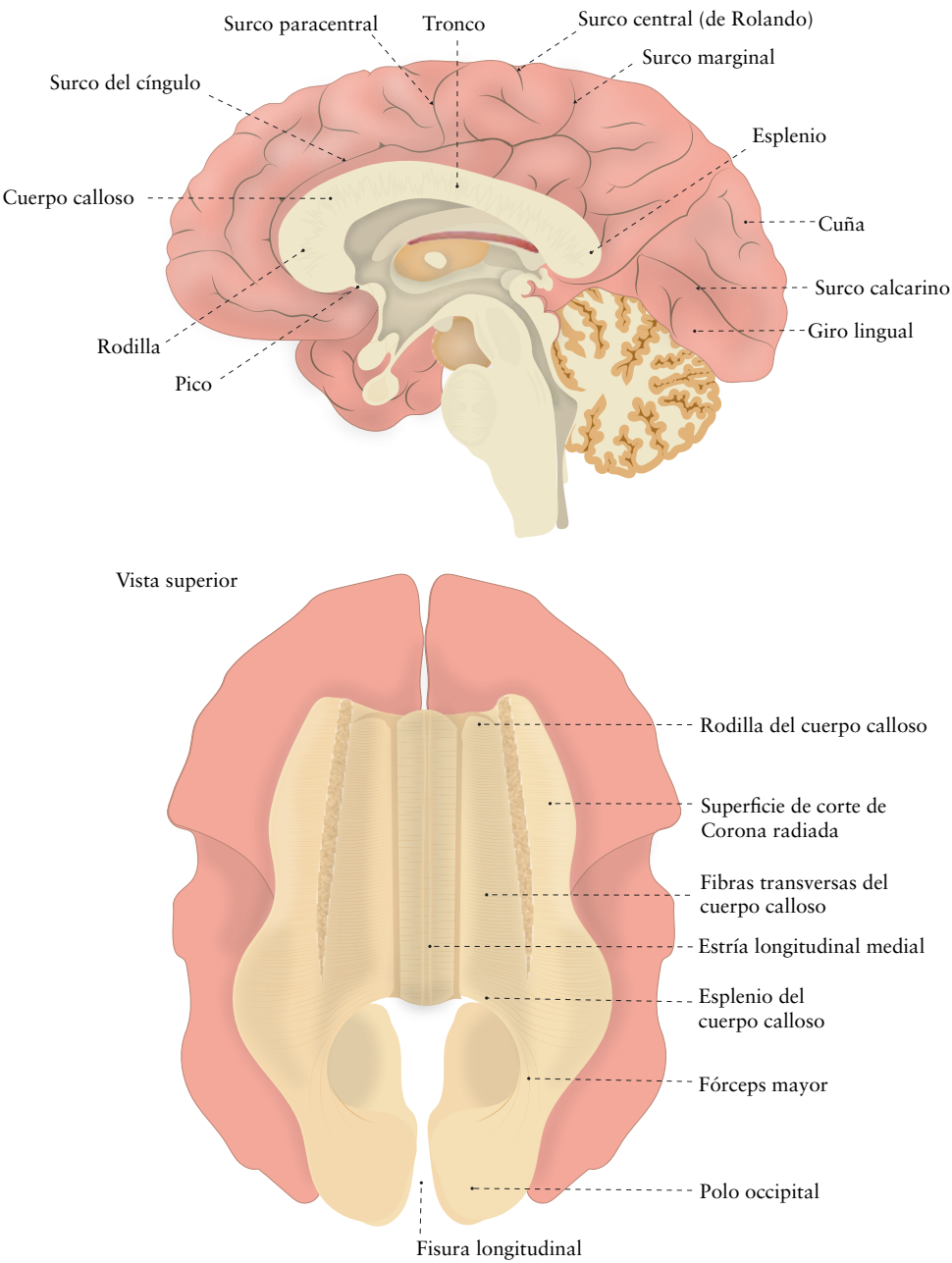
Por lo tanto, en estados evolutivos la primera comisura que se formó fue la comisura anterior, cuando los primeros esbozos de evolución de lo que hoy llamamos hombre eran guiados por el olfato. En los perros, esta comisura anterior mantiene una representación muy evidente.

El fórnix integra nuestra función instinto-afectiva, por lo tanto, lo que comunica son ambas regiones de la corteza cerebral, pero a nivel del lóbulo límbico. La comisura más evolucionada es el cuerpo calloso que comunica la corteza cerebral, o sea, la región frontal, la región parietal, la occipital y la temporal. La función que tiene al comunicar ambos hemisferios es la integración, la lateralización, para lograr una respuesta armónica ante cualquier estímulo.

Cuerpo calloso

Comisura telencefálica más importante que comunica regiones de la corteza cerebral.

FIGURA 114. Esquema cerebral que muestra dos visiones del cuerpo calloso con sus porciones.

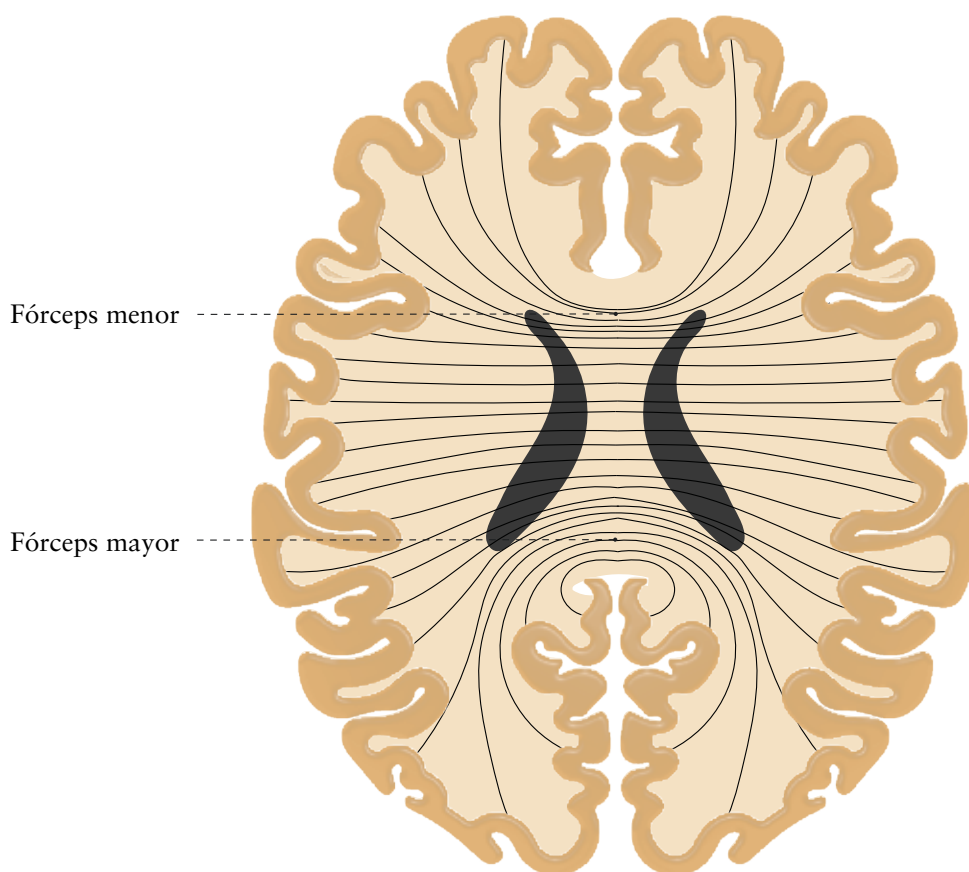


Organización de las fibras en el cuerpo calloso

Cuando el cuerpo calloso comunica la región anterior del cerebro, va a comunicar, por lo tan-

to, los lóbulos frontales, entonces se forma una estructura de fibras con forma de U, llamada fórceps menor. Cuando comunican regiones posteriores (lóbulos occipitales), o sea, cortezas visuales, se formará una estructura invertida en forma de $\cap$, llamada fórceps mayor.

FIGURA 115. Esquema de cuerpo calloso; Tapetum.



Pero además van a haber fibras comunicando el lobo temporal, que serán horizontales y formarán una especie de techo, que se denominarán *tapetum* (figura 115).

Tapetum

Si se mira un cuerpo calloso en un corte sagital a nivel del seno sagital inferior, separando ambos hemisferios, se observará que el cuerpo calloso será cóncavo en su cara inferior en sentido lateral y convexo en sentido antero-posterior.

Se distinguirán regiones:

- en la región anterior, se distinguirá la rodilla del cuerpo calloso
- en la región posterior, será el rodete del cuerpo calloso (sinónimo de esplenio)
- el centro del cuerpo calloso va a formar una estructura que se llama cuerpo

Por lo tanto, por la rodilla estará pasando el fórcex menor, es decir, las fibras que comunican los lóbulos frontales. Por el cuerpo pasarán las que comunican los lóbulos temporales y parietales, o sea, las que están formando el *tapetum*, y por el rodete pasará el fórcex mayor, las fibras que comunican los lóbulos occipitales.

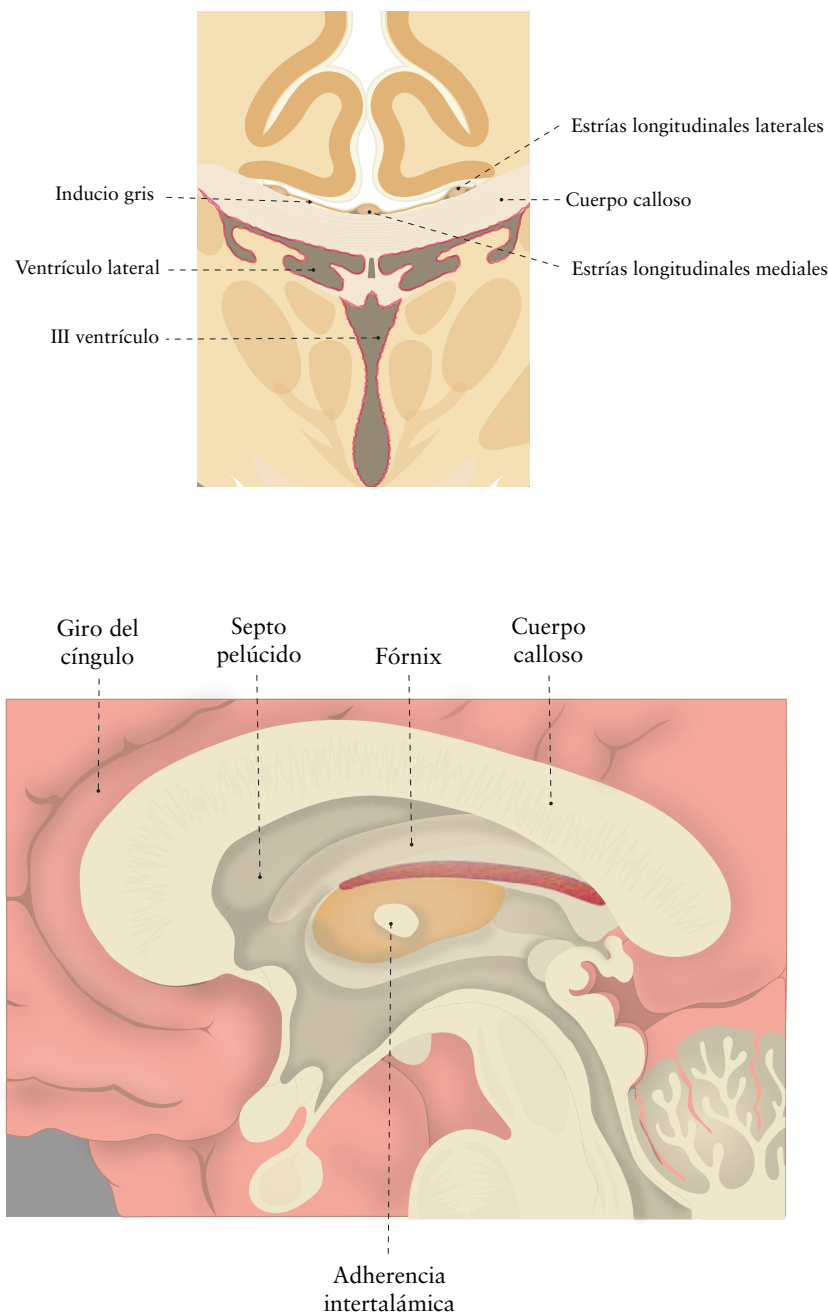
Este cuerpo calloso tiene una pequeña prolongación hacia dorsal en la región anterior, que se llama *rostrum*. Si se hiciera un corte mediano del cerebro, lo que se lograría ver, en el cuerpo calloso, si se separan los hemisferios, serían las fibras del fórcex mayor, menor y *tapetum*. Hacia posterior, el cuerpo calloso va a formar unas prolongaciones (que en un corte mediano no se pueden ver, porque son paramedianas), que se denominan pico del cuerpo calloso.

Relaciones del cuerpo calloso

Por inferoanterior el cuerpo calloso se relaciona con el septo pelúcido, y hacia postero-infe-

rior se relaciona con el fórnix. Hacia superior se relaciona con el surco del cuerpo calloso, donde pasa la arteria pericallosa, la cual irriga todo el giro del cíngulo y parte del lóbulo límbico (figura 116).

FIGURA 116. Relaciones del cuerpo calloso.



También se relaciona con la falce cerebral y seno sagital inferior.

Sobre el cuerpo calloso van a pasar unas fibras, en sentido longitudinal; las del cuerpo calloso son en sentido transversal. Estas fibras se

denominan estrías longitudinales, de las cuales hay dos mediales y dos laterales. Se encuentran cubiertas por una pequeña y delgada capa de sustancia gris, o sea, de cuerpos neuronales. Esta capa se denomina inducio gris. El inducio gris,

más las estrías longitudinales (sustancia blanca), más una porción del cuerpo calloso, se denomina giro fasciolar o fasciola cinerea, que tiene continuidad con el giro dentado asociado al hipocampo (figuras 117 y 118).

FIGURA 117. Corte coronal y sagital de cuerpo calloso. Se observan las estrías longitudinales laterales y mediales, el inducio gris y el giro fasciolar.

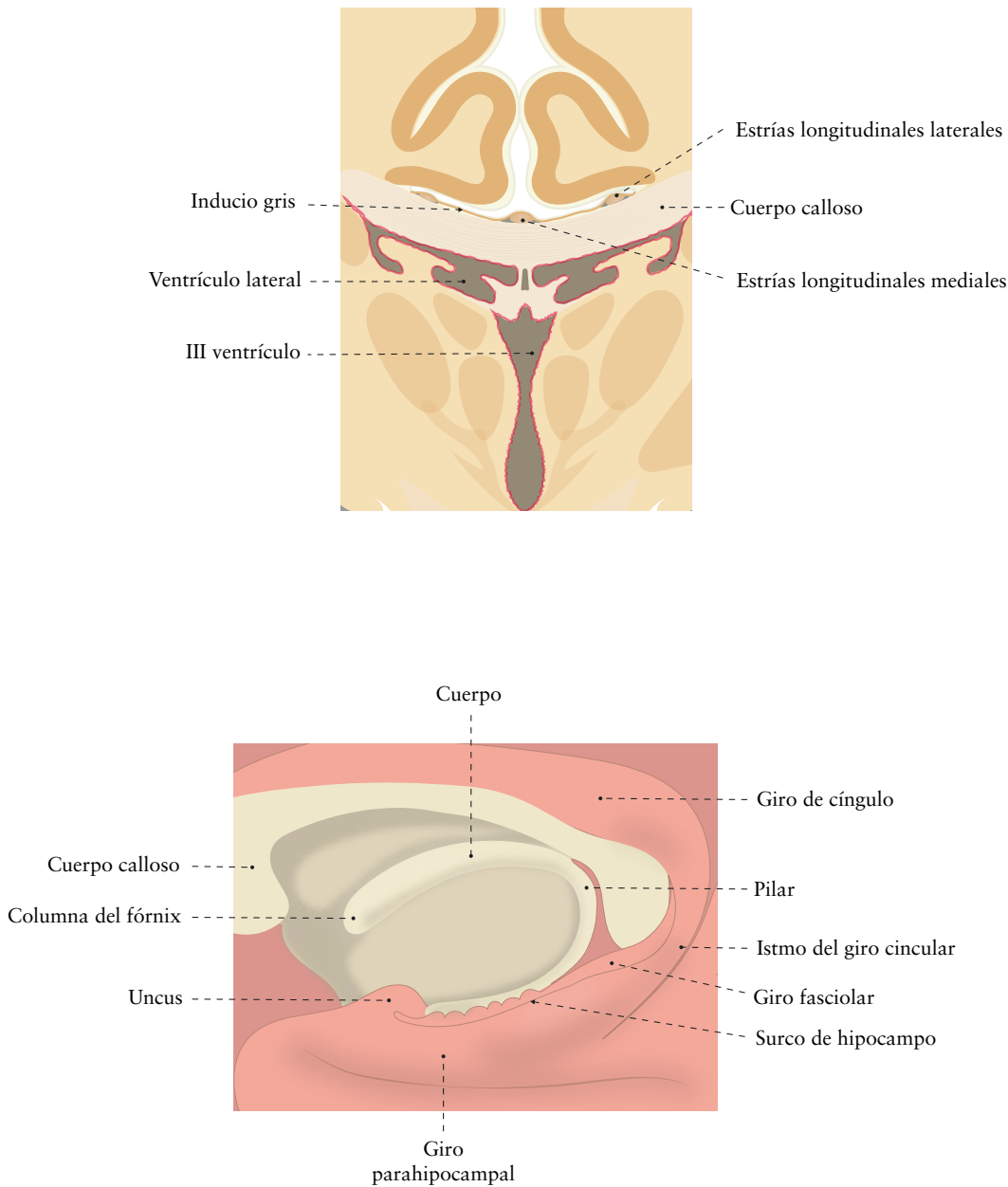
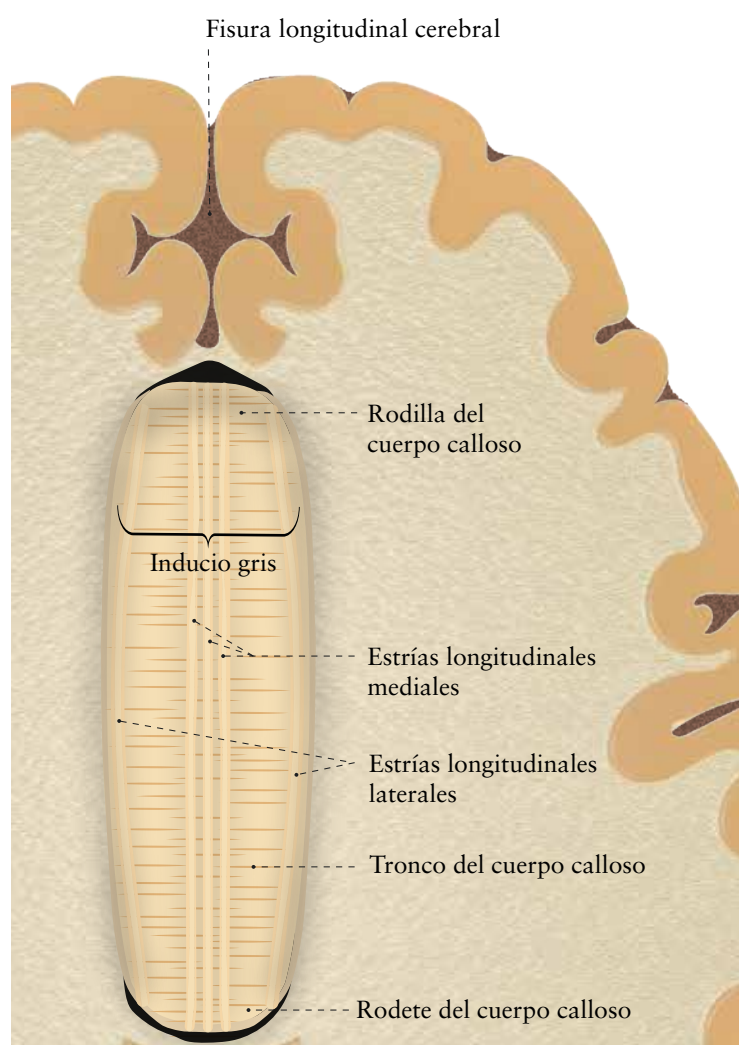


FIGURA 118. Esquema de cuerpo calloso que muestra el inducio gris y estriaciones longitudinales.



El cuerpo calloso se relaciona hacia posterior con el fórnix, y ocurre que este comienza a descender. Por tanto, se va a interponer entre el fórnix y el cuerpo calloso el septo pelúcido.

Dado que la corteza cerebral del humano es de aparición filogenética reciente (neocorteza), el cuerpo calloso (comisura del neocórtex) no existía. En el cerebro primitivo, las comisuras anteriores (arquicortical) y el fórnix (paleocortical) unían ambos hemisferios. Con el desarrollo de la

neocorteza y del cuerpo calloso, la región de corteza primitiva, que formaba la fisura interhemisférica, queda atrapada entre el fórnix y el cuerpo calloso, constituyendo el septo pelúcido.

Relaciones del septo pelúcido

- Posterior:** fórnix
- Anterior:** cuerpo calloso
- Superior:** cuerpo calloso

Fórnix

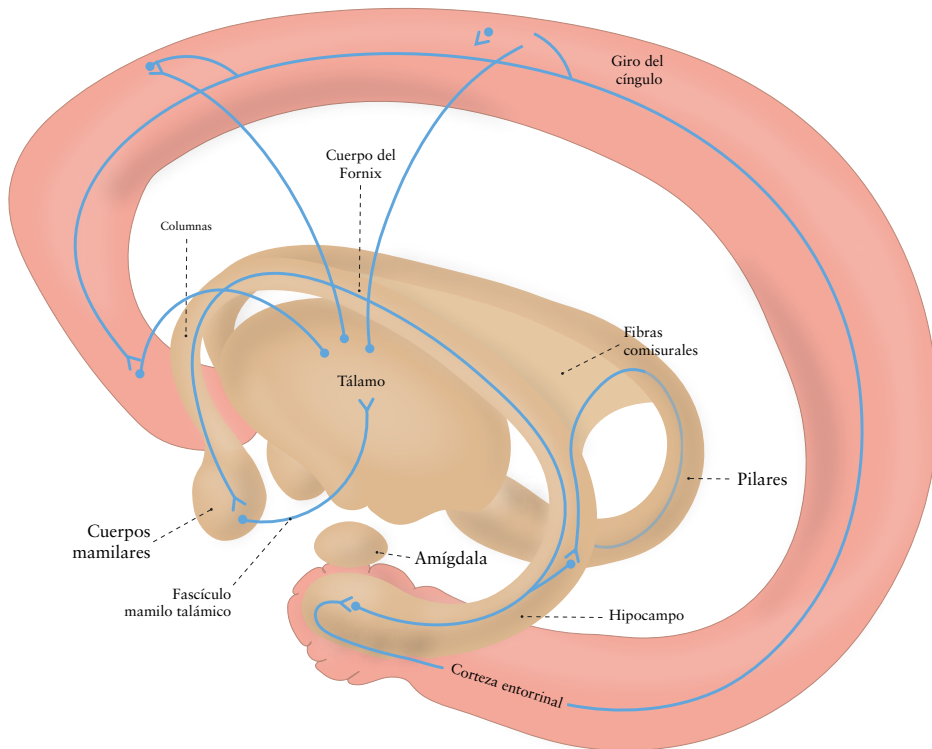
Antes denominada bóveda de los cuatro pilares, es una comisura telencefálica que comunica el lóbulo límbico, por lo tanto, las emociones pasan por el fórnix (figura 119).

Tiene dos funciones:

- Ipsilateral
- Contralateral

Por lo tanto, va a tener una porción ipsilateral y una comisural. Debido a esto existen dos vías en el fórnix.

FIGURA 119. Esquema de fórnix y sus porciones.



Constitución

Está constituido por una región anterior en la que se forman dos prolongaciones que reciben el nombre de columnas que terminan en los cuerpos mamilares (se observan por la cara inferior). Hacia la región central las columnas se unen a las fibras de la lira o fibras comisurales del fórnix, antiguamente llamadas fibras de David. Por lo tanto, estas fibras más la continuación de las columnas forman el cuerpo, de aquí hacia posterior se encuentran los pilares que terminan en un ensanchamiento que tiene relación con el uncus del hipocampo que se sienta sobre la dilatación del pilar, que recibe el nombre de cuerpo amigdalino. Además existen fibras nerviosas que se van a comunicar con el hipocampo y que ingresan

al fórnix (estas fibras también forman parte del cuerpo y comunican el giro parahipocampal con el fórnix).

El fórnix se pone en relación con todo el giro parahipocampal y va a participar de dos formas:

La primera, comunicando e integrando las emociones del lado izquierdo con las del derecho. Si una emoción ingresa por la fimbria del hipocampo, asciende por el pilar, pasa por las fibras comisurales y desciende por el otro pilar, hacia la misma región del giro parahipocampal contralateral. Este es el camino más sencillo que se conoce del fórnix.

La segunda opción es ocupar el circuito de la memoria. Nosotros tenemos una memoria a largo plazo, que se ubica en la corteza parietal postero-inferior, y otra a corto plazo, que está dada

por un circuito que se genera en el fórnix. La información ingresa por el giro del cíngulo, el cual se va a comunicar mediante interneuronas, pasando por el istmo para luego llegar a la corteza parahipocámpal y comunicarse con las fimbrias y llegar al fórnix. Como necesitamos activar la memoria a corto plazo se produce un circuito llamado circuito de papez. La primera neurona de este circuito sale desde el fórnix, pero no pasa por las fibras comisurales, sino que pasa de largo hacia el cuerpo mamilar, donde se produce sinapsis y sale una segunda neurona, que en realidad es un fascículo, que se dirige hacia un núcleo del tálamo llamado núcleo talámico anterior. El fascículo que se dirige hacia ese núcleo se llama fascículo mamilotálamico y de ahí pasa la segunda neurona de la vía de la memoria de corto plazo.

Entonces, la primera neurona recorre desde el pilar hasta la columna, sinaptando en el cuerpo mamilar, de donde nace el fascículo mamilotálamico hasta el núcleo anterior del tálamo, y emerge una tercera neurona que va hacia el giro del cíngulo. Desde ese giro sinapta y aparece una cuarta neurona, que se dirige hacia el giro del hipocampo, de donde sale nuevamente la primera neurona, produciendo una repetición. Cuando se generan varias repeticiones se activa una vía que transita desde el giro del cíngulo hasta la corteza parietal posteroinferior, por lo tanto, la repetición de un acontecimiento relata importancia y entonces es activada la memoria de largo plazo. Esto quiere decir que neuroanatómicamente los seres humanos aprendemos por repetición (figura 119).

Rescapitulando aspectos relevantes del desarrollo encefálico para comprender como el subcórtez se ubica sobre el diencéfalo, digamos que la cutícula diencefálica comienza a crecer hacia anterior, en el feto llega a un tope y comienza a crecer hacia lateral, por lo que la vesícula diencefálica logró crecer hasta la lámina supraóptica o terminal, por eso se llama lámina terminal. El crecimiento se desbordó hacia lateral, conformando los hemisferios laterales, y quedó el diencéfalo

cubierto por el telencéfalo. Con el comentario anterior, contextualizamos la siguiente comisura telencefálica.

Comisura anterior

Se forma sobre la lámina supraóptica (terminal). Comunica ambas cortezas, rinoencefálicas u olfatorias, así como los giros temporales inferiores y medios. Se ubica anterior a las columnas del fórnix. Por esta comisura pasa un número de fibras menores a las del cuerpo calloso. Es la única comisura mixta, es decir, tiene dos tipos de fibras, tanto fibras derivadas del paleocórtez como del neocórtez cerebral.

Núcleos de la base

Grupo de núcleos que se van a agrupar de diferente manera y, dependiendo de esta, recibirán distintos nombres. Existen dos núcleos principales: lentiforme y estriado, que, por lo demás, son los más grandes.

NÚCLEO LENTIFORME:

Formado por (figura 120):

- Núcleo pálido: pálido medial, pálido lateral
- Núcleo putamen: Núcleo caudado rodea al lentiforme. Por lo tanto, presenta una cabeza, cuerpo y cola (figura 121).

NÚCLEO ESTRIADO:

Formado por:

- Núcleo caudado: cabeza, cuerpo y cola
- Núcleo putamen
- Núcleo claustró

FIGURA 120. Esquema de corte frontal que muestra los núcleos de la base.

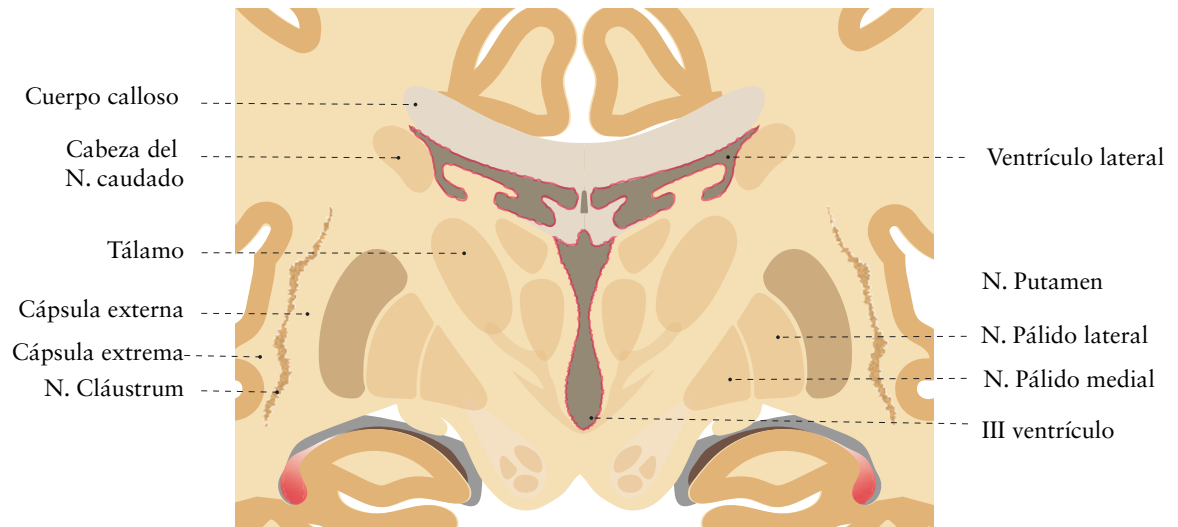
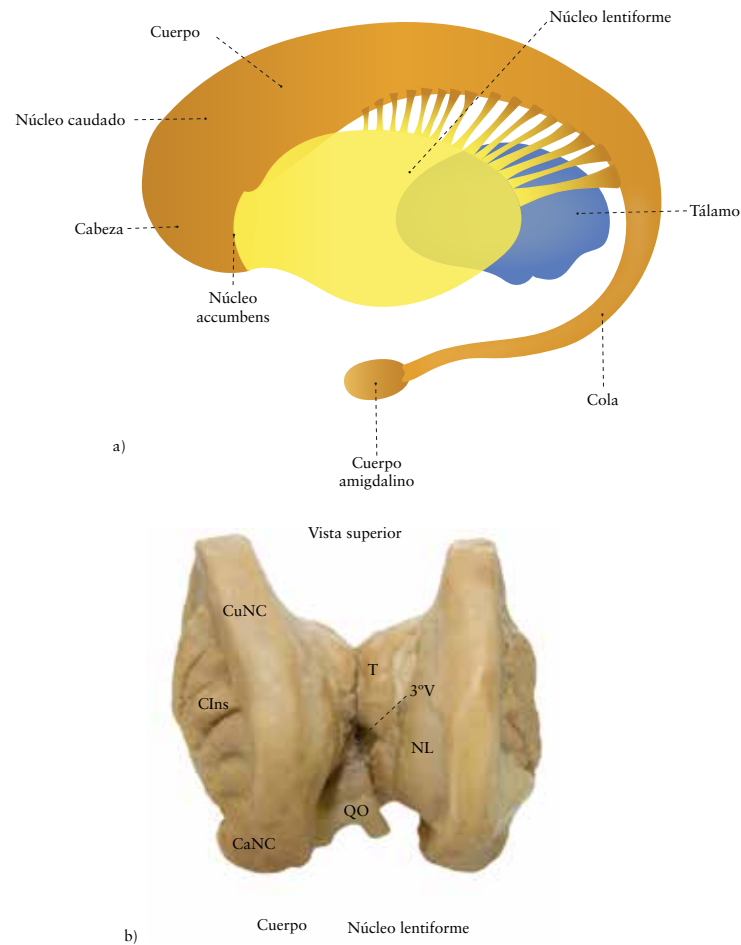


FIGURA 121. Esquema de los núcleos de la base. A. Muestra el núcleo caudado rodeando al núcleo lentiforme y las estriaciones de sustancia gris que se proyectan entre ambos núcleos. B. Vista superior de los núcleos de la base CuNC. Cuerpo núcleo caudado, CaNC. Cabeza núcleo caudado, QO. Quiasma óptico, NL. Núcleo lentiforme, 3°V. Tercer ventrículo, T. Tálamo.



Son grupos nucleares implicados en el control del movimiento. Comprenden el estriado (con el núcleo accumbens), globos pálidos, núcleo subtalámico, sustancia negra y núcleos motores del tálamo. El globo pálido posee un segmento lateral y otro medial; este último entra en el mesencéfalo como porción reticular de la sustancia negra. Desde el corte cerebral emergen cuatro circuitos que pasan a través de los núcleos de la base y retornan a la corteza. La porción compacta de la sustancia negra se encuentra aparte de los circuitos, pero influye en ellos por efectos de la vía nigroestriatal. Estos núcleos son una importante estación de relevo motor.

Las aferencias corticales al estriado y al núcleo subtalámico son excitadoras. Las eferencias del estriado son inhibitorias para el globo pálido, al igual que las eferencias del globo pálido para el núcleo subtalámico y el tálamo. Así mismo, el núcleo subtalámico es excitador para el globo pálido medial.

El núcleo accumbens se ubica entre el núcleo lentiforme y el núcleo caudado, y está relacionado con el circuito de la recompensa.

El estriado y el globo pálido están organizados somatotópicamente, permitiendo la activación independiente de partes del cuerpo. El núcleo subtalámico es especialmente importante en inhibir los movimientos no deseados. Claramente los núcleos de la base deben ser considerados en un apartado independiente, dada su complejidad e importancia en los movimientos automáticos.

Cápsula interna

Es una zona de sustancia blanca situada en el espesor de los hemisferios, entre los núcleos del tálamo y caudado por dentro y lenticular por fuera (figura 122).

Esta sustancia blanca que compone esta estructura está constituida por las proyecciones que de la corteza cerebral se dirigen a estructuras subcorticales, y haces que de estructuras subcorticales se dirigen hacia la corteza. En otras palabras, cuando las proyecciones descendentes y ascendentes pasan entre el núcleo lenticular y el tálamo-caudado, se compactan, dando forma a la cápsula interna.

Su forma varía según la observemos en un corte frontal o en un corte horizontal:

En un corte frontal, adopta la forma de ángulo abierto externamente con un lado inferior, horizontal, por debajo del núcleo lenticular. El otro lado está entre el núcleo lenticular, tálamo y caudado; es la porción lenticulo-tálamo-caudada.

En un corte horizontal por debajo del cuerpo calloso presenta la forma de un ángulo obtuso abierto hacia fuera, en donde podemos considerar tres partes fundamentales:

- Una porción anterior, situada entre el núcleo caudado y el núcleo lenticular, denominada porción lenticulo caudada o brazo anterior de la cápsula interna.
- Una parte posterior, situada entre el tálamo y el núcleo lenticular, denominada porción lenticulo talámica o brazo posterior de la cápsula interna.
- La parte que corresponde a la arista del ángulo se denomina rodilla de la cápsula interna.

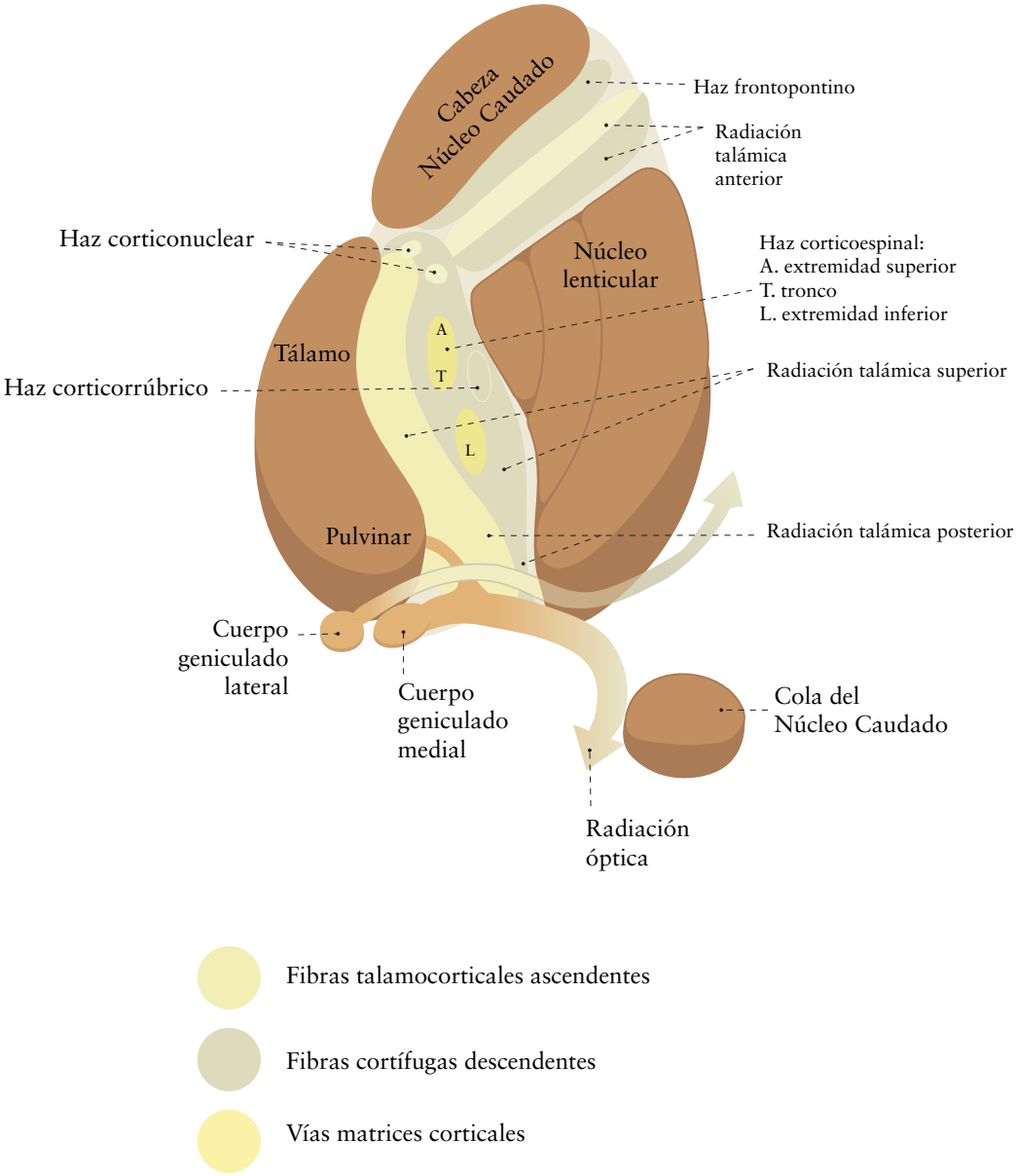
Por tanto, presenta dos brazos, uno anterior y otro posterior, y una rodilla. Todas estas porciones mantienen diversas vías sensitivas y motoras, que guardan relación con arterias específicas que llegan a esta región, por lo que conocer la vascularización de esta zona, como las vías que discurren por las porciones de la cápsula interna, es útil para la clínica de infartos cerebrales (figura 122).

La cápsula interna separará el tálamo del núcleo lentiforme. Así mismo la cápsula externa separa el núcleo lentiforme del claustró, y este es separado de la corteza cerebral por la cápsula extrema (figura 120).

Es importante mencionar que entre el tálamo y el núcleo caudado se forma un pequeño surco, denominado surco tálamo estriado, por el que van a pasar tres elementos:

- Vena terminal o tálamo estriada
- Lámina afixa: pequeña lámina de sustancia blanca que va a recubrir y separar estos elementos del ventrículo lateral
- Estría terminal: fibra nerviosa

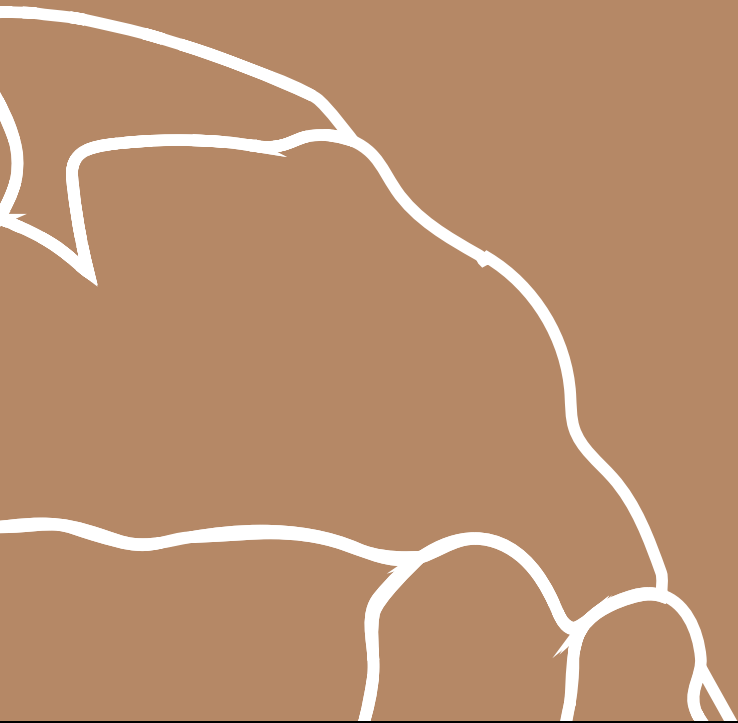
FIGURA 122. Esquematación de la cápsula interna y las vías que transcurren por ella.



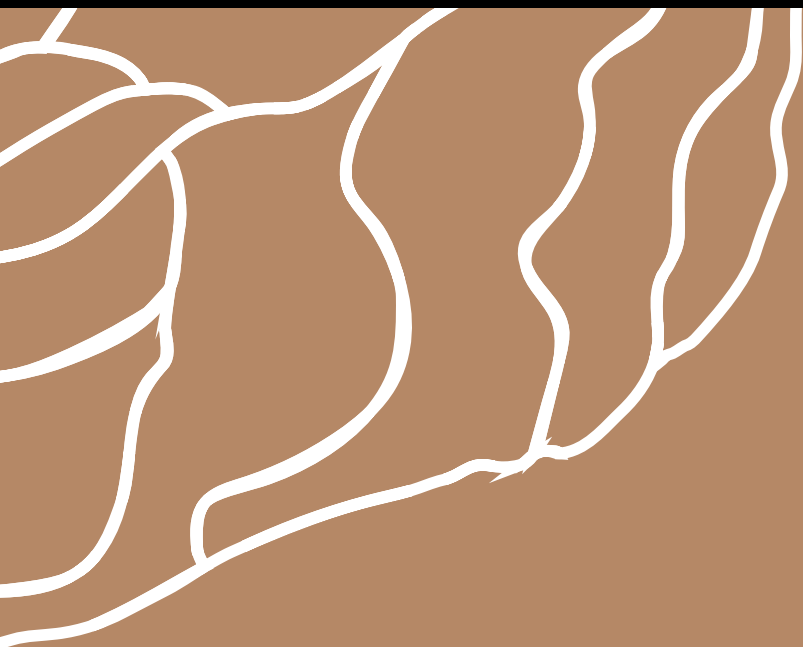


► CAPÍTULO X





Corteza cerebral e hipocampo





El cerebro es la estructura principal del sistema nervioso central. En su constitución concurren elementos derivados de las vesículas telencefálicas y diencefálicas. Se encuentra totalmente contenido en la cavidad craneal que lo protege y está envuelto por meninges.

El cerebro humano pesa alrededor de 1.500 gramos. Por su cara superior se adapta a la forma interna del cráneo óseo, mientras que su cara inferior adopta la forma de la base del cráneo en las fosas craneales anterior y media; hacia posterior se relaciona con el cerebelo, del cual lo separa el tentorio.

Está organizado en dos hemisferios, derecho e izquierdo, los cuales se encuentran separados por un surco anteroposterior, denominado fisura longitudinal. En el fondo de este surco se encuentra el cuerpo calloso, compuesto de fibras que conectan ambos hemisferios.

El cerebro presenta una capa de sustancia gris en la superficie, la corteza cerebral, la cual se encuentra fuertemente plegada, lo que permite disminuir la superficie que ocupa. Extendida la corteza del cerebro humano ocuparía 2.200 cm².

El cerebro presenta una serie de surcos más o menos profundos que se clasifican por razones esquemáticas. La fisura interhemisférica, que separa el cerebro en dos hemisferios, y la fisura cerebral

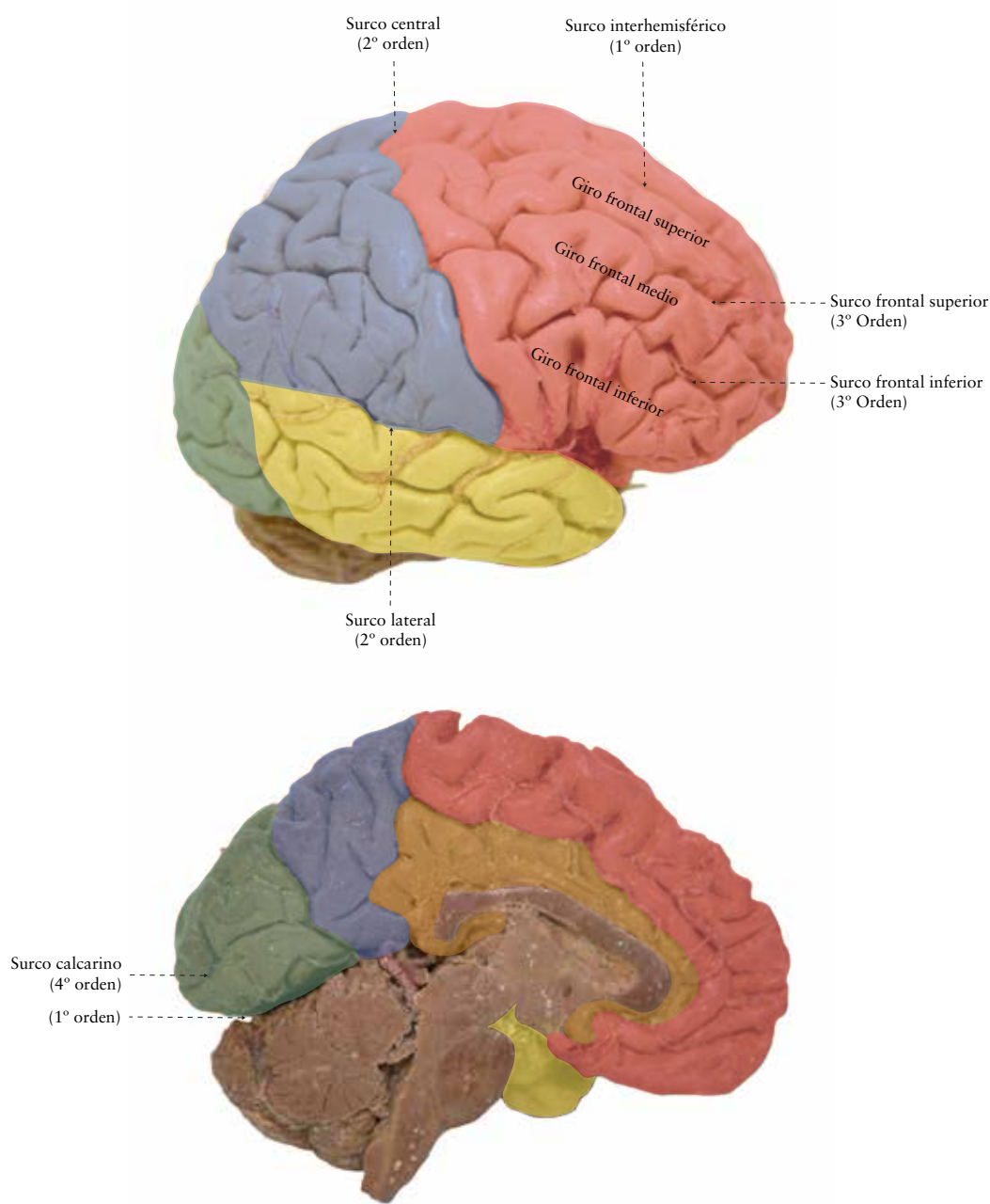
transversa, que separa el cerebro del tronco encefálico, son consideradas de primer orden. Los surcos de segundo orden permiten la subdivisión de los hemisferios en lóbulos. Ejemplo de ellas son el surco central que establece un límite entre el lóbulo frontal del lóbulo parietal, el surco lateral que separa el lóbulo temporal del lóbulo parietal y frontal. Dentro de los lóbulos, los giros se separan entre sí por surcos de tercer orden. Finalmente existe un tipo de surcos denominados de cuarto orden o surcos funcionales; en ellos la corteza tiene funciones específicas, ejemplo de este tipo de formaciones es el surco calcarino donde se sitúa la corteza visual primaria (figura 123).

El cerebro se encuentra dividido en dos hemisferios: derecho e izquierdo. Cada hemisferio presenta un polo anterior o frontal, un polo posterior u occipital y un polo lateral o temporal, y presenta tres caras: una cara superolateral, una cara inferior y una cara medial.

Cara superolateral

En esta cara son visibles cuatro lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital, los cuales se encuentran separados por los surcos central, lateral y la proyección en la superficie del surco parietoccipital (figuras 123 y 124).

FIGURA 123. Esquema de la cara superolateral del hemisferio con las divisiones entre los lóbulos y principales formaciones y ejemplos de surcos de primer, segundo, tercer y cuarto orden.



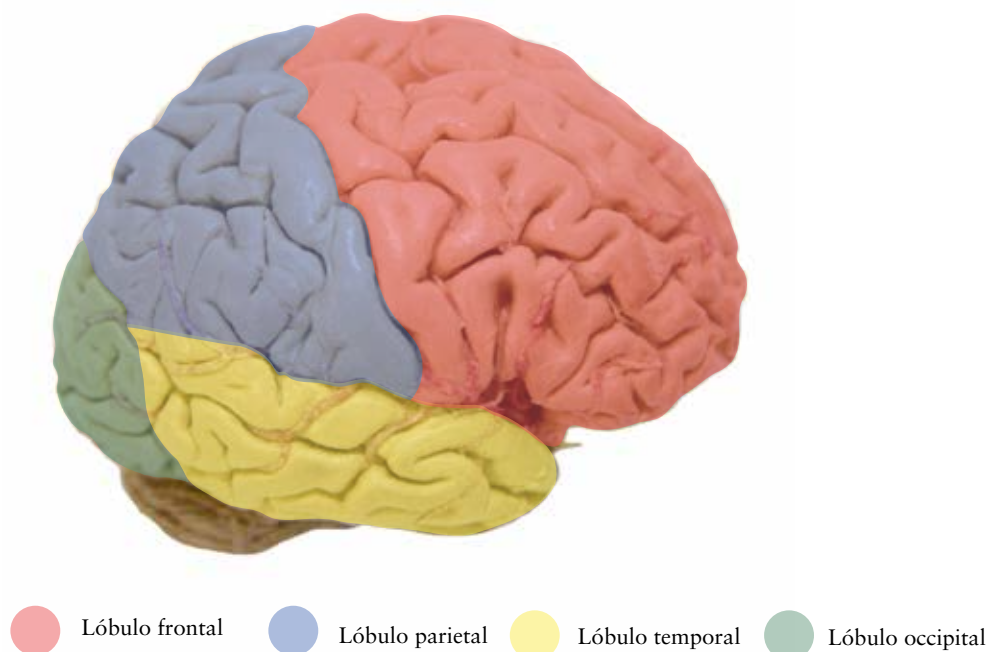
Lóbulo frontal

El lóbulo frontal tiene dos surcos horizontales que se bifurcan al terminar, por lo que delimitan cuatro regiones: el giro frontal superior, el giro frontal medio, el giro frontal inferior y el giro frontal ascendente, llamado también giro precen-tral, el cual constituye un área especial encargada del control motor.

Los surcos frontales primero y segundo, dis-puestos en forma horizontal y paralelos, dividen la corteza del lóbulo frontal en cuatro giros.

El giro frontal inferior, además, va a ser sub-dividido por prolongaciones del surco lateral. En una región más posterior se va a llamar orbita-ria, la región media se llamará región triangular, donde se sitúa el área de Broca, y la región más posterior, opercular.

FIGURA 124. Esquema de la cara lateral del hemisferio destacando el lóbulo frontal, parietal, temporal y occipital con sus divisiones.



Lóbulo parietal

En la región parietal hay un surco horizontal, denominado parietal transversal, que se bifurca por anterior y que divide al lóbulo parietal en tres regiones: una región parietal postero superior, la región parietal postero inferior y el giro postcentral.

Lóbulo temporal

En la región temporal hay dos surcos, llamados surcos T1 y T2, que dividen la región temporal por la cara lateral (porque el lóbulo temporal continúa por su cara inferior) de la corteza en tres giros: temporal superior, temporal medio y temporal inferior. El giro temporal inferior continúa hacia el lóbulo occipital sin que exista división macroscópica, por lo que suele llamarse giro tem-

poral occipital tercero (TO3), y pertenece tanto a la región temporal como a la región occipital.

Otros aspectos relevantes de la anatomía de esta cara los constituyen los pliegues de paso, en los cuales los giros pertenecen a más de un lóbulo. Ejemplo de ello son el giro supramarginal y el giro angular. El supramarginal rodea el extremo posterior del surco lateral y tiene una significación funcional, ya que en este lugar se sitúa el área de Wernicke, que es el área de la comprensión del lenguaje.

En el caso del lóbulo temporal, nos encontramos con una región que corresponde a los giros temporales transversos, que van a ser parte de la corteza auditiva primaria.

En la profundidad del surco lateral se encuentra el lóbulo de la ínsula, de forma triangular, dividida en dos porciones: insular anterior y posterior (figura 125).

FIGURA 125. Esquema del lóbulo de la ínsula. a. Giros insulares en la profundidad del surco lateral. b. Tronco encefálico con núcleos de la base, vista lateral inclinada. CaNC. Cabeza del núcleo caudado, CIns. Corteza insular, CoNC. Cola del núcleo caudado, CuNC. Cuerpo del núcleo caudado, Gc. Giro corto, GL. Giro largo.

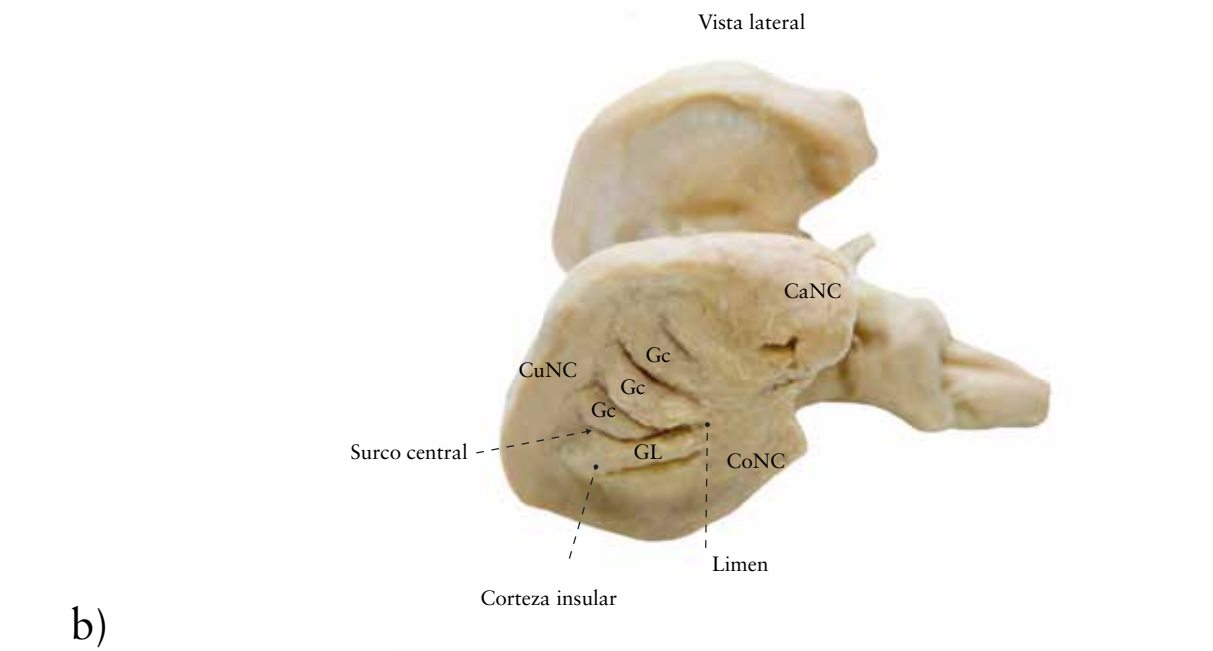
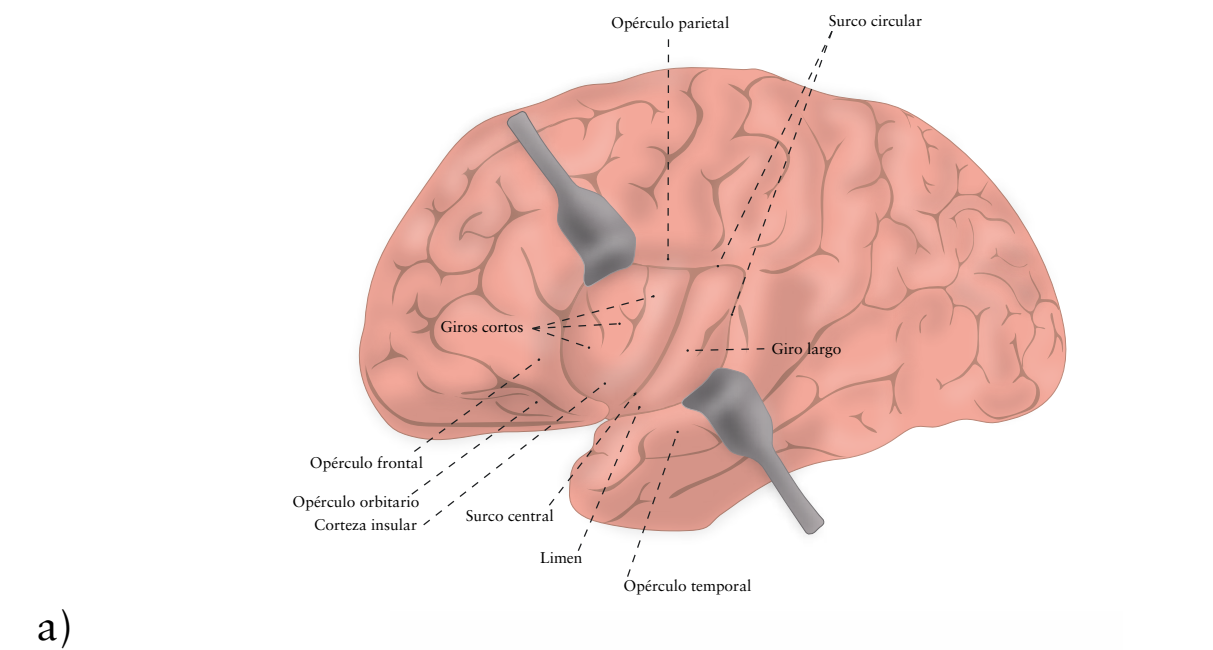
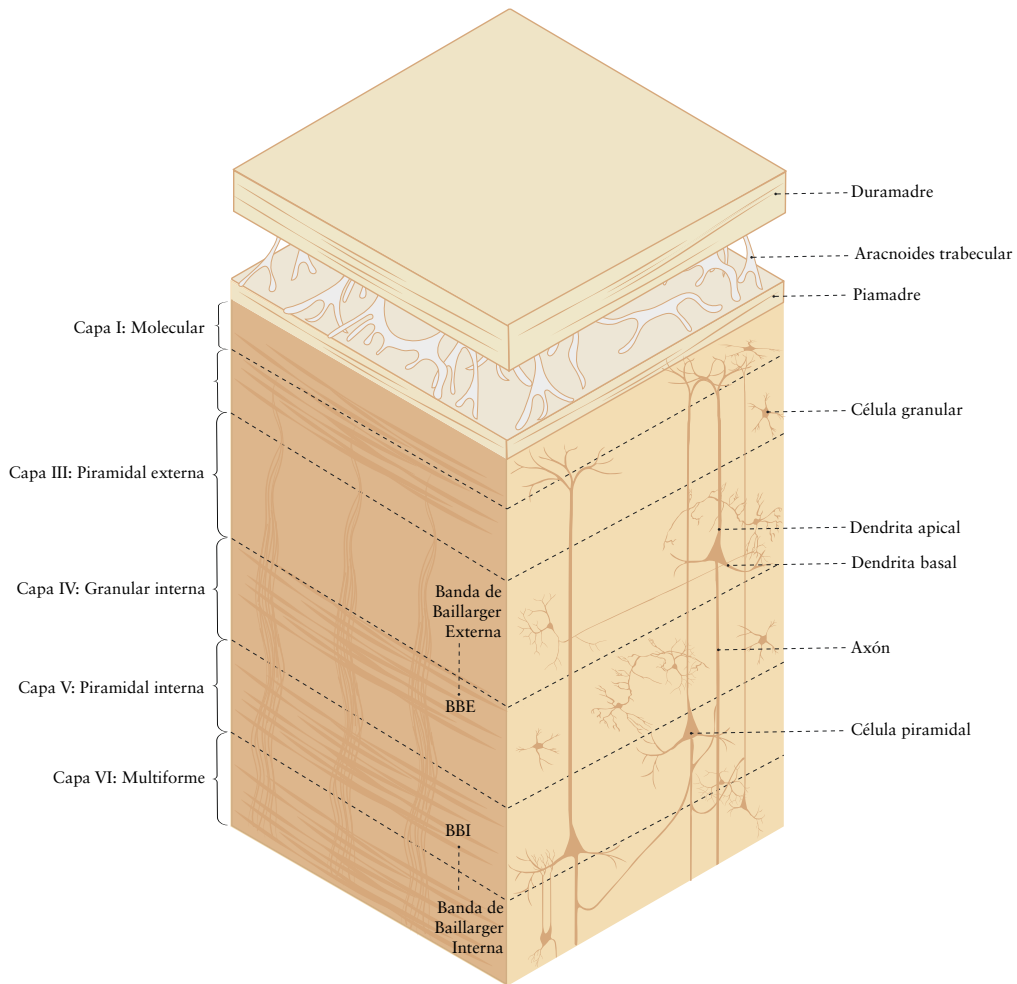


FIGURA 126. Esquema de citoarquitectura de la corteza cerebral.



Aspectos generales de la corteza cerebral

La corteza cerebral, llamada Córtex o Pallium, deriva de la vesícula telencefálica. En el cerebro humano existen tres tipos de corteza que corresponden a distintos niveles de desarrollo filogenético: la neocorteza, la paleocorteza y la arquicorteza. La neocorteza es evolutivamente la más reciente y constituye el 90% de la corteza en el humano moderno. La paleocorteza se relaciona con la función olfatoria y se encuentra en la cara inferior de los hemisferios. La arquicorteza es la filogenéticamente más antigua y se encuentra en la formación del hipocampo. La paleocorteza y la arquicorteza forman parte del denominado sistema límbico.

La corteza cerebral contribuye aproximadamente a la mitad del peso del encéfalo, y su superficie llega a 2.200 cm². Sin embargo, debido al notable plegamiento de la corteza, solo un tercio se encuentra en la superficie del cerebro, constituyendo los giros (*gyrus*) o circunvoluciones; el resto se encuentra oculto en los surcos y fisuras. El grosor de la corteza varía según la región, alcanzando su máximo en la corteza motora primaria, donde llega a casi 5 mm.

La mayor parte de la corteza presenta una estructura hexalaminar (seis capas) y se denomina isocorteza. Una pequeña porción relacionada con el córtex más primitivo tiene tres capas y se denomina allocorteza. Dada la naturaleza continua de

la corteza, existen zonas de transición entre isocorteza y allocorteza que presentan menos de seis capas. Estas regiones constituyen la mesocorteza.

Si bien la corteza cerebral presenta miles de millones de neuronas, su variedad no es mucha. Las células principales de la corteza son las células piramidales, las granulosas y las fusiformes.

Las células piramidales se caracterizan por su forma, por la presencia de una dendrita apical que se orienta hacia la superficie del córtex, por dendritas basales que se disponen horizontalmente y por un axón prominente que emerge desde la base de la célula y regularmente sale del córtex para integrarse a la sustancia blanca subyacente. Las células piramidales son neuronas de proyección y alcanzan su máxima expresión en la corteza motora primaria M1 (área 4 de Brodmann), donde son de gran tamaño, llamadas células piramidales gigantes o células de Betz, que llegan a los 100 μm de altura, cuyos axones basales darán origen a la vía corticoespinal o piramidal.

Las células granulosas o estrelladas son de menor tamaño, pero mucho más numerosas que las piramidales. Son interneuronas de aspecto irregularmente estrellado con múltiples dendritas cortas en todas direcciones y un axón corto que se ramifica rápidamente formando una arborización. Las células granulares son células de recepción y se encuentran en todas las regiones de la corteza, pero son especialmente abundantes en las cortezas sensitivas, como la corteza somatosensorial primaria S1 (áreas 1, 2 y 3 de Brodmann) y en las cortezas de asociación.

Las células fusiformes se encuentran principalmente en la capa más profunda de la corteza. Su soma tiene forma de huso alargado dispuesto de manera perpendicular a la superficie del córtex, cuyos extremos se continúan en dendritas, de las cuales una se distribuirá en la misma capa, mientras que la otra ascenderá hasta la capa superficial de la corteza.

Además de las células piramidales y granulares, en la corteza se pueden encontrar otros tipos celulares, entre ellas encontramos las neuronas horizontales de Cajal o células H, las neuronas tipo M de Martinotti y neuronas Golgi tipo II (axón corto).

Estas especies celulares se van a ubicar en la corteza cerebral formando seis capas en la isocorteza, que se numeran desde la superficie a la

profundidad con números romanos (figura 126):

CAPA MOLECULAR: posee una escasa cantidad de células, principalmente células H, que se van a disponer en sentido horizontal y establecen comunicación con otras regiones de la corteza.

CAPA GRANULAR EXTERNA: contiene células estrelladas o granulares de pequeño tamaño, densamente agrupadas.

CAPA PIRAMIDAL EXTERNA: contiene neuronas piramidales de pequeño y diverso tamaño, también puede contener células M y granulares. En esta capa un grupo de fibras mielínicas forman la estría de Kaes-Bechterew.

CAPA GRANULAR INTERNA: compuesta por células estrelladas de mediano y gran tamaño que se encuentran densamente agrupadas. En toda la capa encontramos un plexo de fibras mielínicas que forma la estría externa de Baillaguer.

CAPA PIRAMIDAL INTERNA: contiene células piramidales de mediano y gran tamaño, entremezcladas con células granulares y células M. En esta capa se constituye un paquete de fibras mielínicas denominado estría interna de Baillaguer.

CAPA FUSIFORME: contiene principalmente células fusiformes de diversos tamaños dispuestas perpendiculares a la superficie, cuyas prolongaciones ascendentes comunican las diferentes capas de la corteza.

En virtud de esta organización laminar, la isocorteza podrá denominarse homotípica, cuando ninguna de estas láminas predomina sobre otra, o heterotípica, cuando predomine alguna de ellas. Un ejemplo de corteza homotípica lo constituyen las áreas de asociación, mientras que una corteza heterotípica granular característica se encuentra en la corteza somatosensorial primaria y una heterotípica agranular (predominio piramidal) la encontramos en la corteza motora primaria.

Columnas corticales

Si bien la corteza tiene una estructura laminar con seis capas dispuestas de manera paralela, la corteza forma unidades morfofuncionales que forman bloques perpendiculares a la superficie y se denominan columnas corticales. Dentro de cada columna, la capa IV, granular interna, es la región donde se proyectan las aferencias a ese

área cortical. La capa V, piramidal interna, proyecta hacia el estriado, tronco encefálico y médula espinal. La capa VI, fusiforme, proyecta al tálamo. Las capas V y VI son denominadas infragranulosas, Las capas I, molecular, II, granular externa y III piramidal externa, son denominadas en conjunto supragranulares y conectan con otras partes de la corteza cerebral.

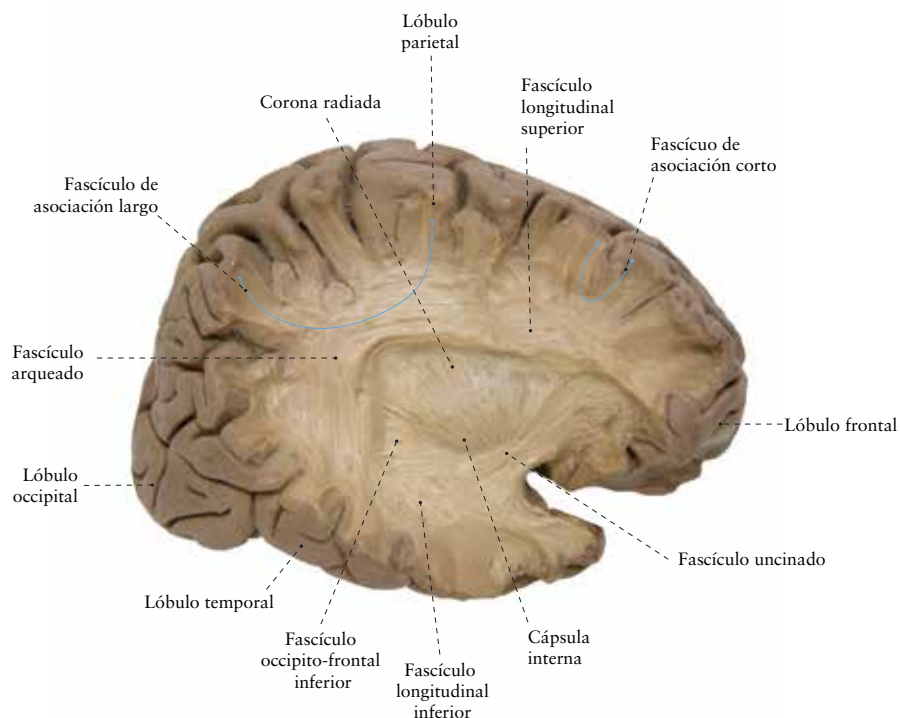
Fibras de conexión cortical

Cada columna cortical establece conexiones con otras regiones por medio de cuatro tipos de fibras: intracorticales, de asociación, comisurales y subcorticales.

FIBRAS INTRACORTICALES: establecen conexiones con columnas muy próximas. Participan las células horizontales de la capa I y las ramificaciones horizontales de los axones de las células piramidales.

FIBRAS DE ASOCIACIÓN: son fibras que comunican regiones distintas de un mismo hemisferio. Existen fibras de asociación cortas que conectan giros adyacentes y se denominan asas o fibras arqueadas. También existen fibras de asociación largas que conectan territorios más distantes, algunas de las cuales tienen gran importancia funcional, como el fascículo longitudinal superior, el fascículo arqueado, el uncinado y el occipitofrontal inferior, entre otros (figura 127).

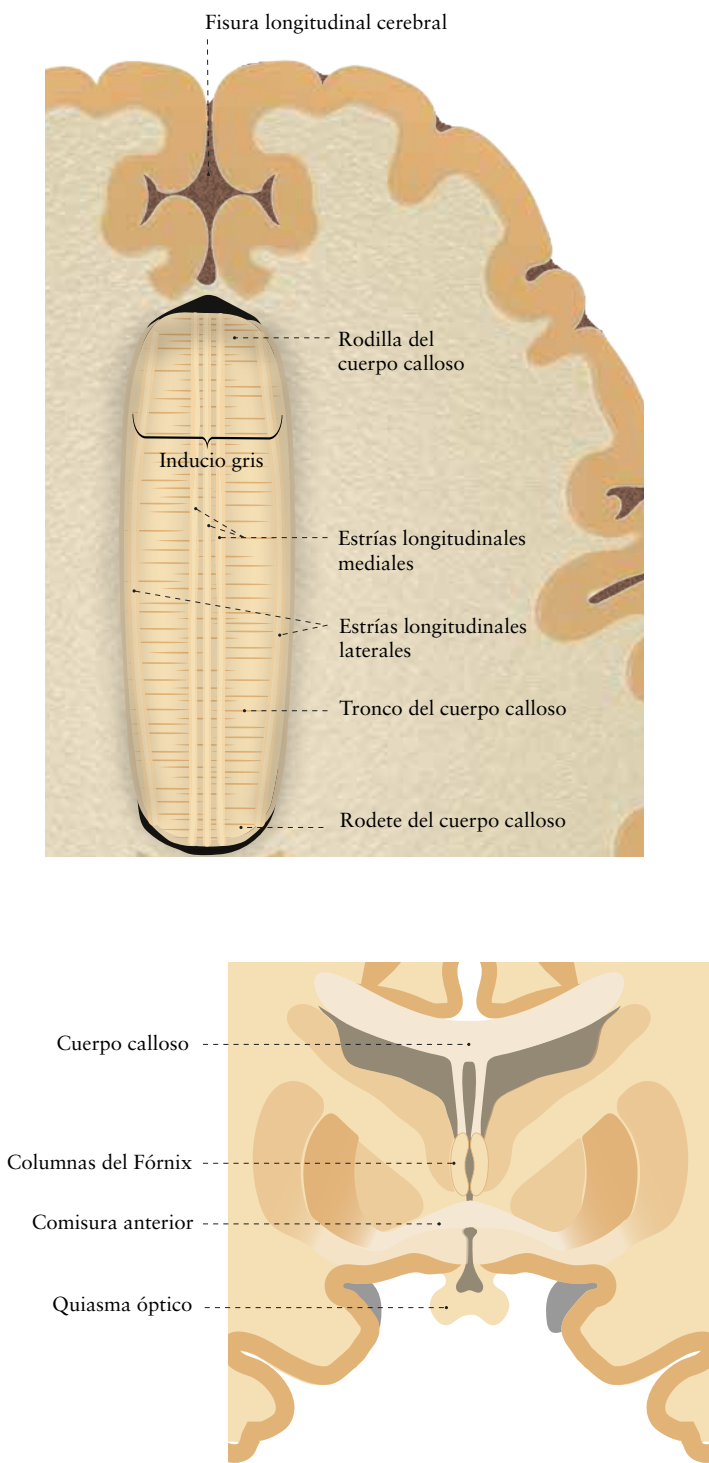
FIGURA 127. Esquema de hemisferio cerebral con la sustancia blanca expuesta y fibras intracorticales y de asociación expuestas.



FIBRAS COMISURALES: son formaciones de sustancia blanca que comunican territorios homólogos de ambos hemisferios. La más importante de las comisuras es el cuerpo calloso, compuesto por alrededor de 200 millones de fibras.

Las fibras que lo constituyen se originan principalmente de las células piramidales de la capa III. Otras formaciones comisurales son el fórnix y la comisura anterior (figura 128).

FIGURA 128. Esquema de corte coronal y horizontal mostrando fibras del cuerpo calloso y de la comisura anterior.



FIBRAS DE PROYECCIÓN: estas formaciones conectan la corteza cerebral con núcleos subcorticales como el tálamo, cuerpo estriado, núcleos del tronco encefálico y médula espinal. En

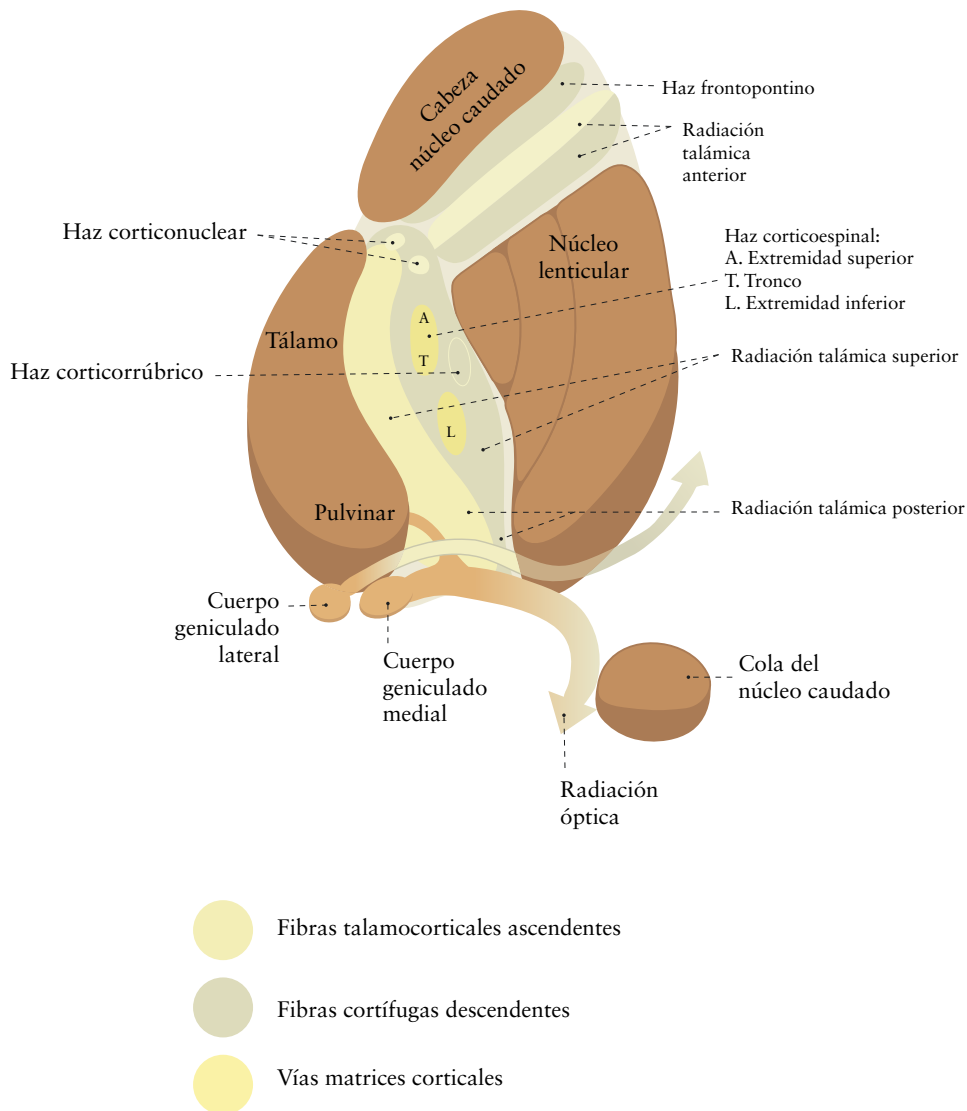
su conjunto se denominan fibras corticófugas y forman las principales vías descendentes desde la corteza. Suelen incluirse dentro de las fibras de proyección aquellas que desde el tálamo se diri-

gen a la corteza, formando las radiaciones talámicas. Estas son fibras corticópetas.

En su trayecto descendente las fibras de proyección corticófugas pasan entre el tálamo y el estriado, formando la cápsula interna. En cortes

horizontales la cápsula interna presenta forma de V con un brazo anterior que se encuentra entre la cabeza del caudado y lentiforme, un brazo posterior entre el tálamo y el lentiforme y una rodilla que es donde se reúnen ambos brazos (figura 129).

FIGURA 129. Esquema de corte horizontal de cerebro mostrando cápsula interna, sus porciones y relaciones.



Corteza funcional

En 1909, Brodmann realizó un mapa basado en la citoarquitectura de la corteza cerebral, la que luego del advenimiento de los estudios funcionales demostró tener cierta correlación funcional. De esta forma, las áreas de Brodmann

pasaron a ser sinónimo de áreas corticales funcionales.

La tabla V describe las principales áreas corticales funcionales con su correlato anatómico y su denominación según Brodmann. Para una adecuada localización espacial revise las figuras 130 y 131.

TABLA V. Áreas corticales con sus respectivos nombres, su equivalencia en áreas de Brodmann y función.

ÁREA CORTICAL	ANATOMÍA	BRODMANN	FUNCIÓN
Motora primaria	Giro precentral del lóbulo frontal	4	Control de los movimientos
Oculomotora	Tercio medio de F1 y parte de F2	8	Movimientos oculares coordinados
Broca: área del lenguaje	Región opercular de F3	44 y 45	Producción del lenguaje, expresión de la comunicación
Prefrontal de asociación	Porción anterior de los giros frontales F1, F2, F3, lóbulo frontal medial	9, 10, 11 y 12	Pensamiento, cognición, planificación de movimientos
Motora suplementaria	Giro precentral y corteza adyacente hacia anterior	6	Percepción de los movimientos voluntarios
Somatosensorial primaria	Giro postcentral	3, 1 y 2	Percepción de sensibilidad general
Somatosensorial de asociación	Corteza parietal posterior y superior	5	Reconocimiento del cuerpo y del entorno, estereognosia
Área gustativa	Corteza insular y opérculo frontoparietal	43	Percepción del gusto
Área auditiva primaria	Giro temporal superior y giro de Heschl	41	Audición
Área auditiva secundaria	Giro temporal superior y giro de Heschl	42	Audición
Áreas de Wernicke	Porción temporal del giro supramarginal	22	Comprensión y emisión del lenguaje y otros aspectos de la comunicación
Corteza límbica	Giro del cíngulo, área subcallosa, retroesplénica y giro parahipocampal	23, 24, 25, 26 y 27	Emociones
Área olfatoria primaria	Giro parahipocampal	28	Olfato
Área visual primaria	Corteza en el surco calcarino	17	Visión
Área visual secundaria y terciaria	Corteza paraestriada y periestriada	18 y 19	Visión de profundidad, color y movimiento

FIGURA 130. Esquema de hemisferio izquierdo vista lateral con la presentación anatómica (giros), las áreas corticales indicadas en la tabla V precedente y la delimitación de las áreas de Brodmann.

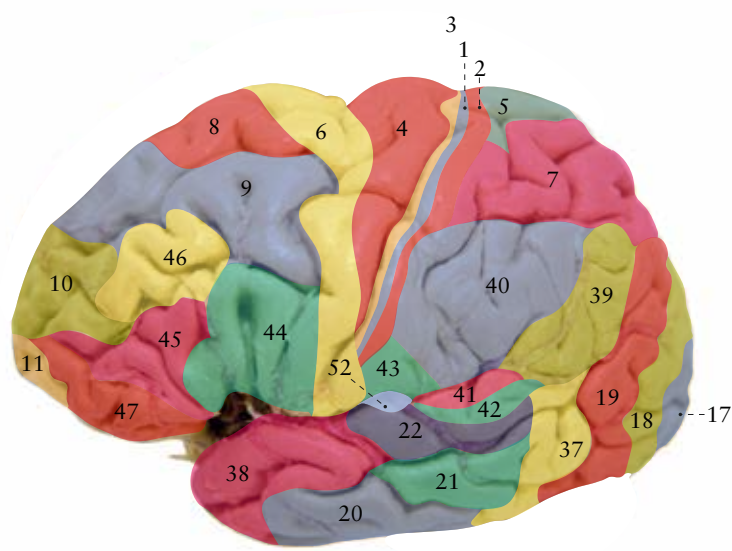
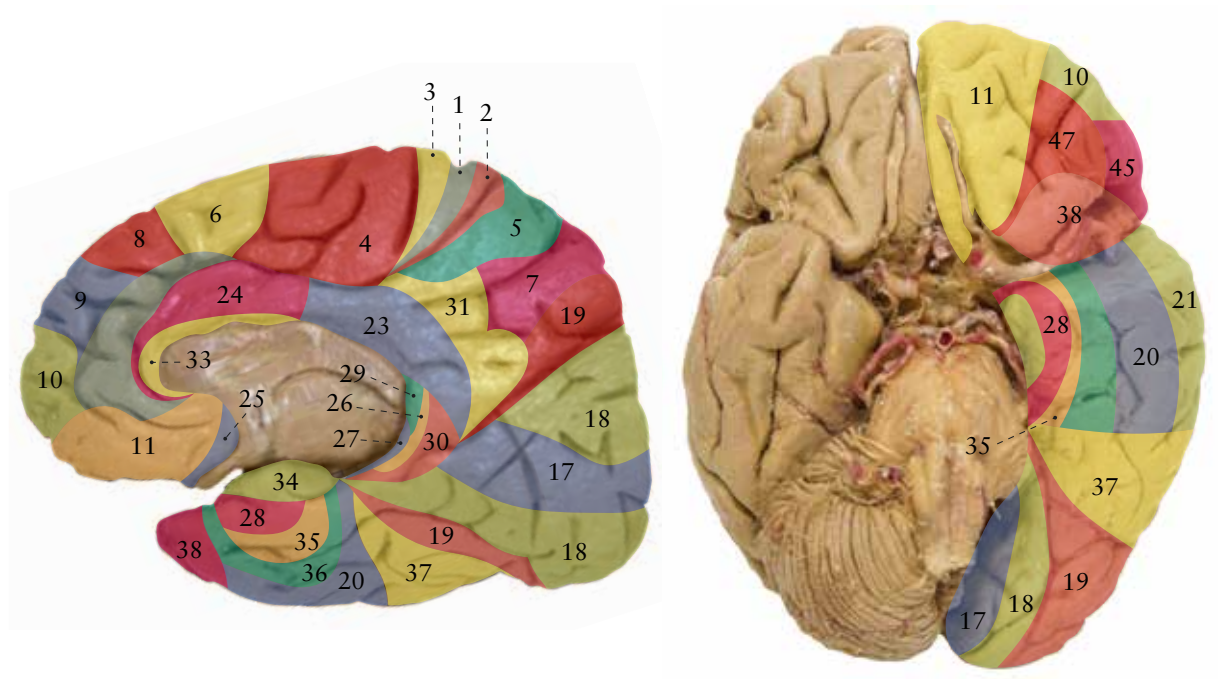


FIGURA 131. Esquema de hemisferio visto por la cara medial e inferior, con la representación anatómica (giros), las áreas corticales indicadas en la tabla V precedente y la delimitación de las áreas de Brodmann.



Somatotopía de la corteza cerebral

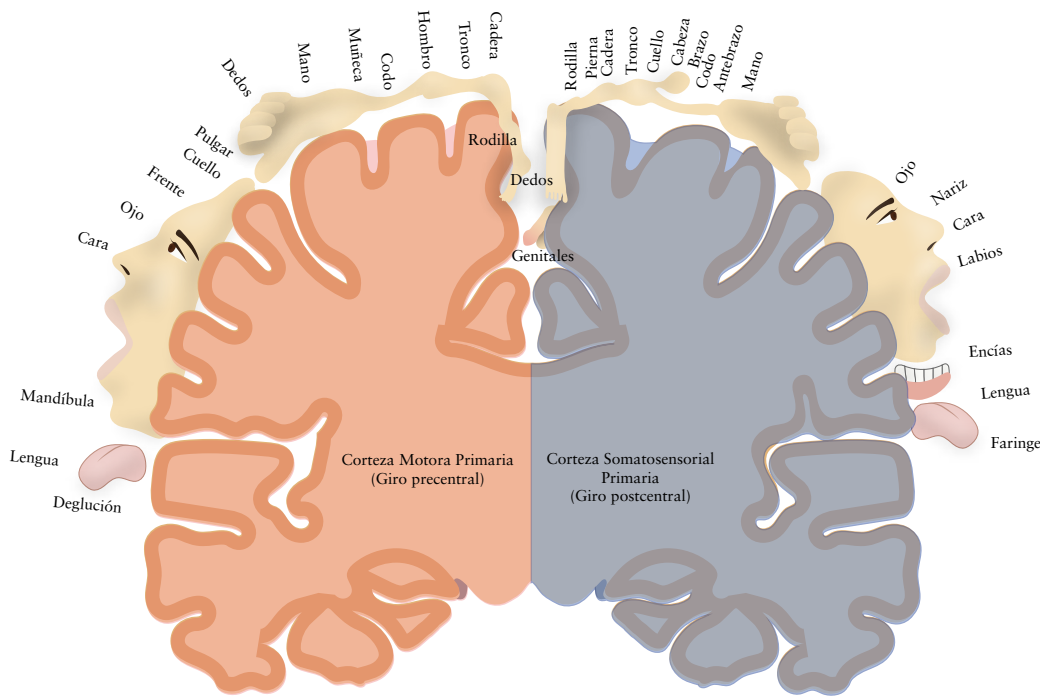
Tanto la corteza motora primaria como la somatosensorial primaria presentan una organización que representa las distintas regiones del cuerpo, de las cuales se encarga. Se representa gráficamente como un hombre pequeño (homúnculo) con sus proporciones corporales distorsionadas.

En la corteza motora primaria, la organización depende de la importancia funcional que tengan los grupos musculares que serán controlados por esas áreas corticales. De esta forma se constituye una imagen corporal en el giro precentral y región

opercular, denominada homúnculo motor, en la que existe una gran representación de la faringe, la cavidad oral y la cara, que ocupa el tercio inferior del giro, la mano, que ocupa el tercio medio, mientras que miembros superior e inferior y tronco ocupan el tercio superior (figura 132).

El homúnculo sensitivo se localiza en la corteza del giro postcentral, en el que la mitad inferior la constituyen zonas de proyección de la sensibilidad procedente de la faringe, cavidad oral y cara, mientras que en la mitad superior del giro se ubican la mano, el tronco y los miembros (figura 132).

FIGURA 132. Esquema de corte coronal de giro precentral con homúnculo motor y giro postcentral con homúnculo sensitivo.



Lateralización de las funciones cerebrales

La mayor parte de la actividad motora y de la percepción sensorial tiene una representación cortical que es contralateral. De esta forma, en términos generales, la corteza motora controla los movimientos del lado opuesto del cuerpo, mientras que la sensibilidad se proyecta a las áreas somestésicas contralaterales. Una excepción la constituye el olfato, tal vez por tener representación en arquicorteza.

Las funciones superiores, tales como el pensamiento lógico, las emociones, la intuición y las aptitudes artísticas o musicales, tienen una localización unilateral, en un solo hemisferio. De esta forma, el hemisferio encargado de manera única de esa función se denomina dominante. El hemisferio dominante para una función no es siempre el mismo en todos los sujetos de una misma especie. En el lenguaje, por ejemplo, el hemisferio dominante es el izquierdo en el 95% de los diestros. Existen métodos para evaluar experimentalmen-

te la dominancia cerebral, aunque frecuentemente este es un hallazgo clínico luego de una lesión.

Lenguaje

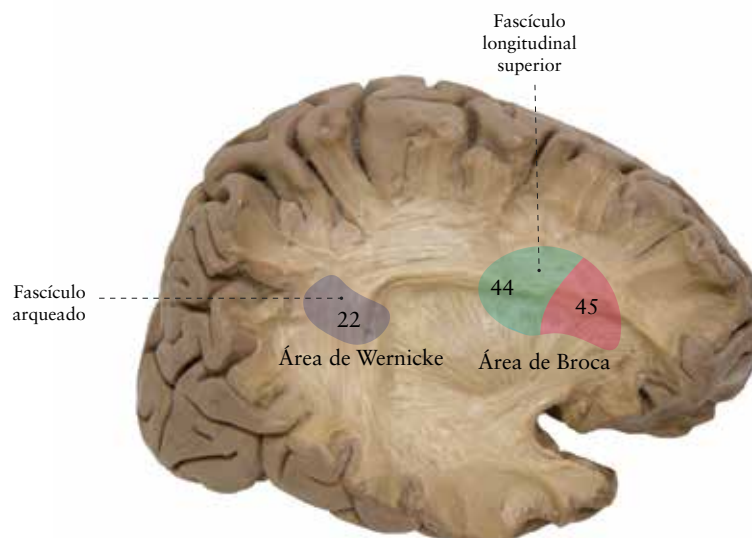
Las áreas que participan en la comprensión y producción del lenguaje y de la comunicación son fundamentalmente dos: el área de Broca y el área de Wernicke. A estas se les agregan las cortezas auditivas y visuales, que aportan inputs a la comunicación.

El área de Broca, como vimos previamente, se encuentra en la región opercular y triangular del giro F3 y corresponde a las áreas 44 y 45 de Brodmann. En esta región se encuentra el centro motor del habla, es decir, desde aquí se originan las vías de proyección que descenderán a los núcleos específicos en el tronco encefálico y médula espinal para el control de los músculos involucrados en la fonoarticulación. Una lesión en esta región provoca una afasia de expresión.

El área de Wernicke se ubica en la región del giro supramarginal y corresponde al área 22 de Brodmann. Se trata de una región sensorial, donde se localizan los procesos de comprensión y formulación del lenguaje. Este área recibe información procedente de las cortezas visuales, auditivas y otras cortezas sensitivas y de asociación, que permiten dotar de contenido a la comunicación. La lesión del área de Wernicke origina una afasia de comprensión, en la que el paciente no comprende el lenguaje y, aunque puede expresar palabras, su utilización es deficiente (figura 133).

Las áreas de Wernicke y Broca están comunicadas por medios de fibras de asociación intra-hemisféricas largas que constituyen los fascículos arqueado y longitudinal superior. Cuando ocurre una lesión que afecta estas fibras se produce una afasia de conducción, en la que el paciente comprende y trata de expresar las palabras correctas, pero no puede.

FIGURA 133. Esquema de un hemisferio cerebral, mostrando el área de Broca y Wernicke con la proyección del fascículo arqueado y longitudinal superior.



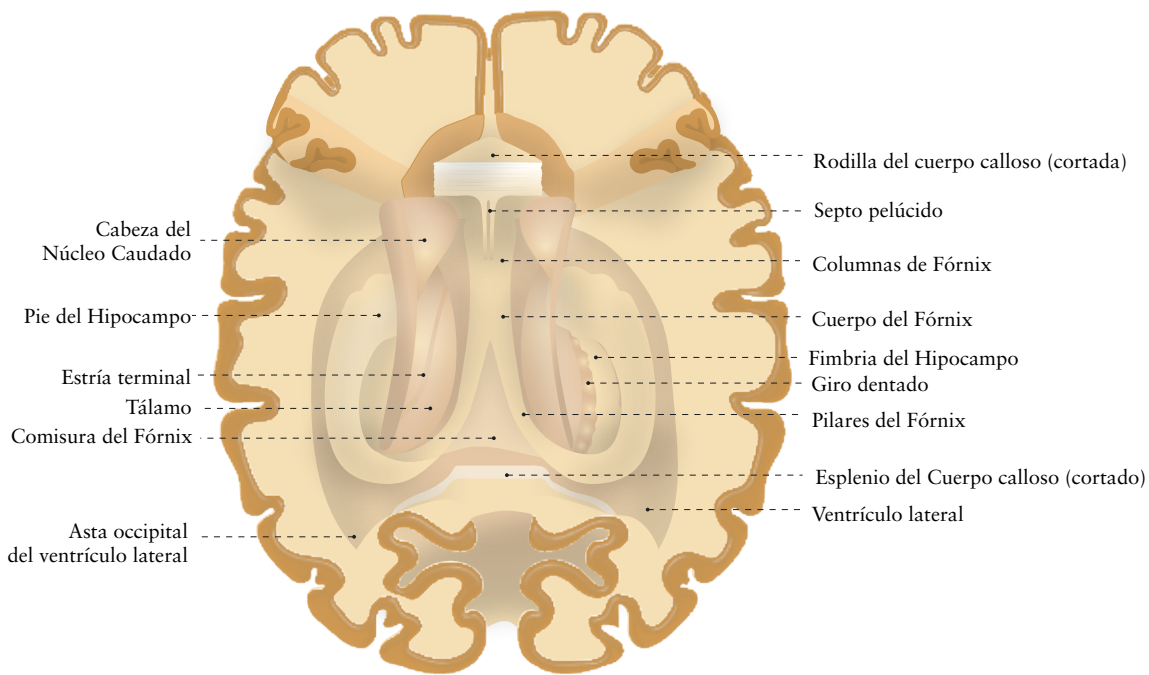
Corteza límbica

La corteza límbica corresponde a un conjunto de regiones que rodean el cuerpo calloso y el tronco encefálico rostral. También recibe el nombre de lóbulo límbico. Está compuesta por la corteza del giro del cíngulo y su continuación

con el área septal (ventrobasal al pico del cuerpo calloso) por anterior y con el giro parahipocampal por posterior.

El lóbulo límbico se relaciona anatómica y funcionalmente con la formación del hipocampo y el núcleo amigdalino y en su conjunto constituyen el sistema límbico.

FIGURA 134. Esquema de las formaciones del lóbulo límbico.



Formación del hipocampo

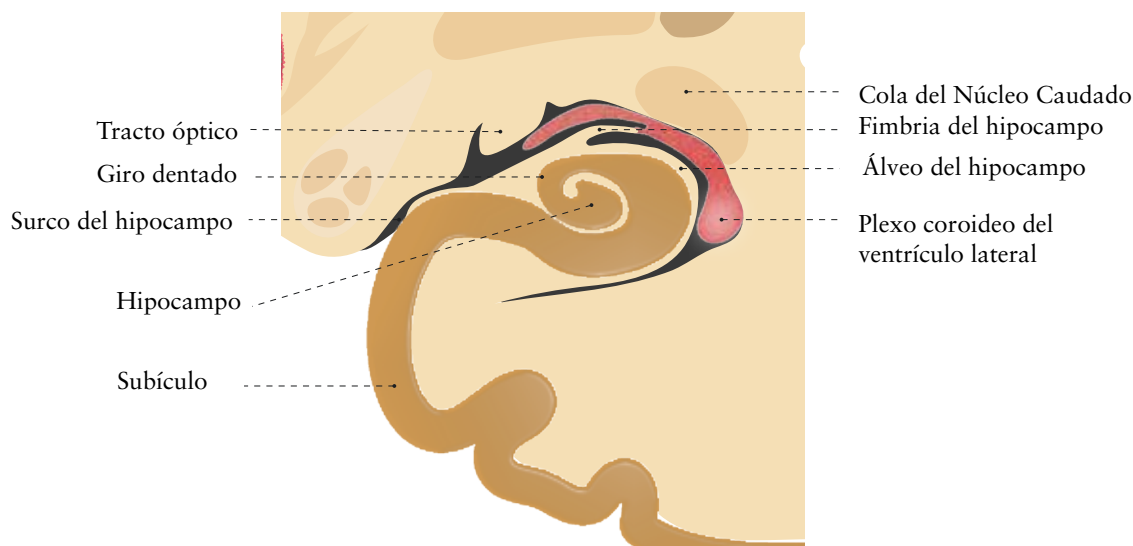
La formación del hipocampo se ubica profundamente en la cara inferior del lóbulo temporal. Es mayoritariamente arquicorteza y tiene un rol clave en los procesos de aprendizaje y memoria. La formación del hipocampo se encuentra constituida por tres formaciones: el giro dentado, el hipocampo propiamente tal y el subículo, considerado una corteza de transición hacia la neocorteza del giro parahipocampal adyacente.

El hipocampo se considera una invaginación de arquicorteza, producida por la formación de la fisura del hipocampo, la que empuja medialmente y determina una elevación en el piso del cuerno temporal del ventrículo lateral. Mide aproximadamente de 3,5 a 4 cm, en sentido anteroposterior (figura 134).

Al observarlo en un corte coronal, se puede ver que se parece al caballito de mar, de ahí el nombre de hipocampo, pero en otro contexto histórico se le comparó con un cuerno de carnero, por los cuernos de la antigua deidad egipcia Amón Ra, por lo que en la anatomía clásica se le denominaba asta de Amón (figura 135).

Es de color amarillo claro, debido a que está cubierto por una capa de sustancia blanca denominada álveo, que corresponde a fibras mielinizadas constituidas por los axones de las células piramidales del hipocampo. Estas fibras constituyen la fimbria, que continúan con los pilares del fórnix; a través de esta formación el hipocampo se comunica con el del lado opuesto, estableciendo la condición de comisura del fórnix.

FIGURA 135. Esquema de corte coronal que pasa por el hipocampo con las estructuras adyacentes.



Circuito de Papez

La formación del hipocampo es el elemento central de un circuito recurrente o circular, denominado circuito de Papez. A partir de las neuronas piramidales de la corteza del hipocampo propiamente tal y del subículo se originan axones que rodean la corteza, formando primero el álveo y posteriormente la fimbria, la cual se incorpora al fórnix con el nombre de pilares. Estas fibras recorren longitudinalmente el fórnix hasta su extremo anterior, donde se incorporan a las columnas del fórnix que contornean la rodilla del cuerpo calloso hasta encontrarse con la comisura anterior, donde se divide en fibras precomisurales y postcomisurales. Las fibras precomisurales se originaron del hipotálamo propiamente tal y terminarán en los núcleos septales y el prosencéfalo basal. Las fibras postcomisurales se originaron en el subículo y terminarán en los núcleos mamilares. A partir de los núcleos mamilares se originará una vía mamilotálámica que se dirigirá al núcleo talámico anterior y que proyectará axones

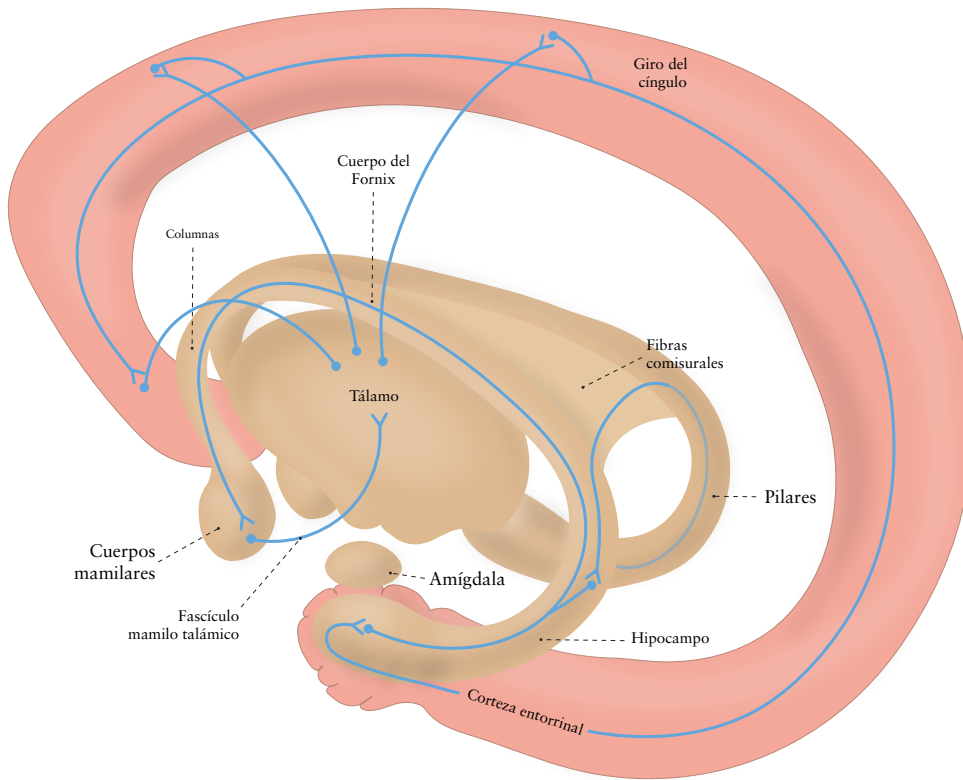
talamocingulares a la corteza del giro del cíngulo que emitirá comunicaciones con la corteza prefrontal, corteza de asociación parietal posterior y temporal, corteza entorrinal y giro parahipocampal, llegando finalmente a la formación del hipocampo y cerrando el circuito (figura 136).

De esta forma el circuito en su forma más simple tiene cuatro neuronas, ubicadas en:

- Neurona piramidal de la corteza del subículo
- Núcleo mamilar
- Núcleo talámico anterior
- Corteza del cíngulo
- Neurona granular en la corteza de la formación del hipocampo

Las vías alternativas, por ejemplo las originadas en el hipotálamo propiamente tal, así como las colaterales, que desde la corteza del cíngulo se proyectan a diversas regiones corticales, contribuyen a complementar la información de áreas sensoriales o bien favorecen la consolidación de la memoria de largo plazo.

FIGURA 136. Esquema de circuito de Papez con su vía principal y sus vías colaterales.



Histológicamente la corteza de la mayor parte de la formación del hipocampo presenta tres capas, que de la superficie a la profundidad se denominan: estrato polimorfo, piramidal y molecular.

ESTRATO POLIMORFO: está constituido por neuronas intrínsecas, pues sus axones no salen del hipocampo. Se caracteriza por tener neuronas de diferentes formas y tamaños, cuyos axones se arborizan alrededor de las células piramidales del segundo estrato, en forma de canasto (células en canasto). Liberan GABA, que inhibe a las neuronas piramidales. Cada una de ellas se relaciona con 200 a 500 neuronas piramidales.

ESTRATO PIRAMIDAL: está constituido por células piramidales grandes y pequeñas. De acuerdo al tamaño de las neuronas piramidales existe un estrato denso, que es el más superficial, de neuronas piramidales de pequeño tamaño, y un estrato menos denso, que está ubicado en un nivel más profundo, de neuronas piramidales de mayor tamaño. Todas las vías eferentes del hipocampo se originan en este estrato a partir de neuronas piramidales.

ESTRATO MOLECULAR: constituido principalmente por células de tipo granular.

Existen cuatro diferentes regiones de la formación del hipocampo que se denominan con la nomenclatura CA (cuerno de Amón) y un número. CA1 es la región de mayor tamaño y se localiza entre el subículo y el hipocampo propiamente tal. Es un área particularmente sensible a la hipoxia. En cambio, el área más resistente a la hipoxia es CA4, ubicada junto al giro dentado, y es considerada área de transición entre el hipocampo y el giro dentado. Las áreas CA2 y CA3 son medianamente resistentes a la hipoxia. CA2 presenta dos capas celulares (pero una menos marcada). CA3 se caracteriza por presentar células piramidales con un claro árbol dendrítico, que se dirige hacia el giro dentado. En estas dendritas se encuentran numerosas espinas dendríticas que reciben inervación de terminales excitadoras.

Alzheimer

La formación del hipocampo tiene gran importancia en los procesos de memoria y aprendi-

zaje, el hipocampo es el que está relacionado con la memoria de corto plazo.

En la enfermedad del Alzheimer existe una pérdida de neuronas de la formación del hipocampo y de la corteza parahipocampal y una disminución de la inervación colinérgica de la corteza cerebral. La menor actividad de la formación del hipocampo, tanto por sus aferencias como por sus proyecciones hacia la corteza de asociación y estructuras diencefálicas, explica las alteraciones en la memoria de eventos recientes que caracteriza a los pacientes con Alzheimer.

Síndrome de Korsakoff

Al igual que el Alzheimer se caracteriza por la pérdida de la memoria sobre eventos recientes, en este caso por una degeneración de las neuronas del tálamo anterior, originada por el alcoholismo crónico.

Tanto en el Alzheimer como en el Síndrome de Korsakoff se encuentran alterados componentes hipocámpicos y el circuito de Papez, lo que pone en relieve su importancia para la memoria

de corto plazo, fundamental para los procesos de aprendizaje.

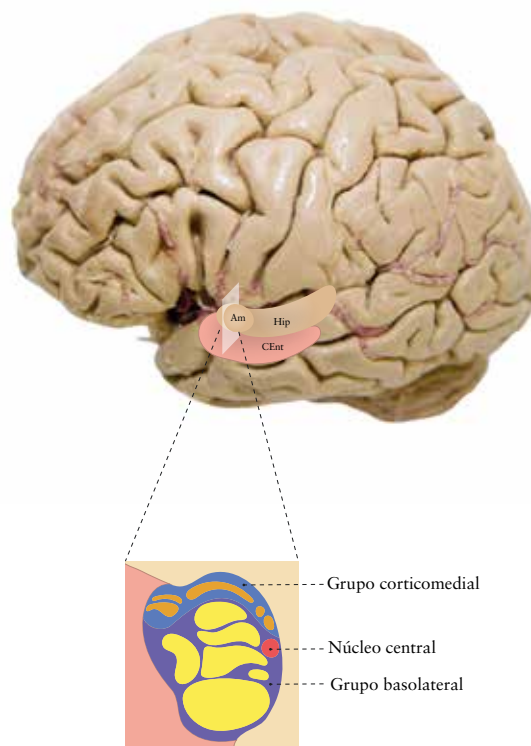
Núcleo amigdalino

El núcleo amigdalino forma parte del sistema límbico. Es una formación del tamaño de una almendra que se ubica en la profundidad del Uncus del giro TO5 (figura 137).

Morfológicamente está dividido en subnúcleos que constituyen los grupos basolaterales, corticomediales y centrales. Los núcleos basolaterales son los más desarrollados y reciben aferencias desde el tálamo y las cortezas sensoriales, mientras que los núcleos corticomediales las reciben desde el bulbo olfatorio.

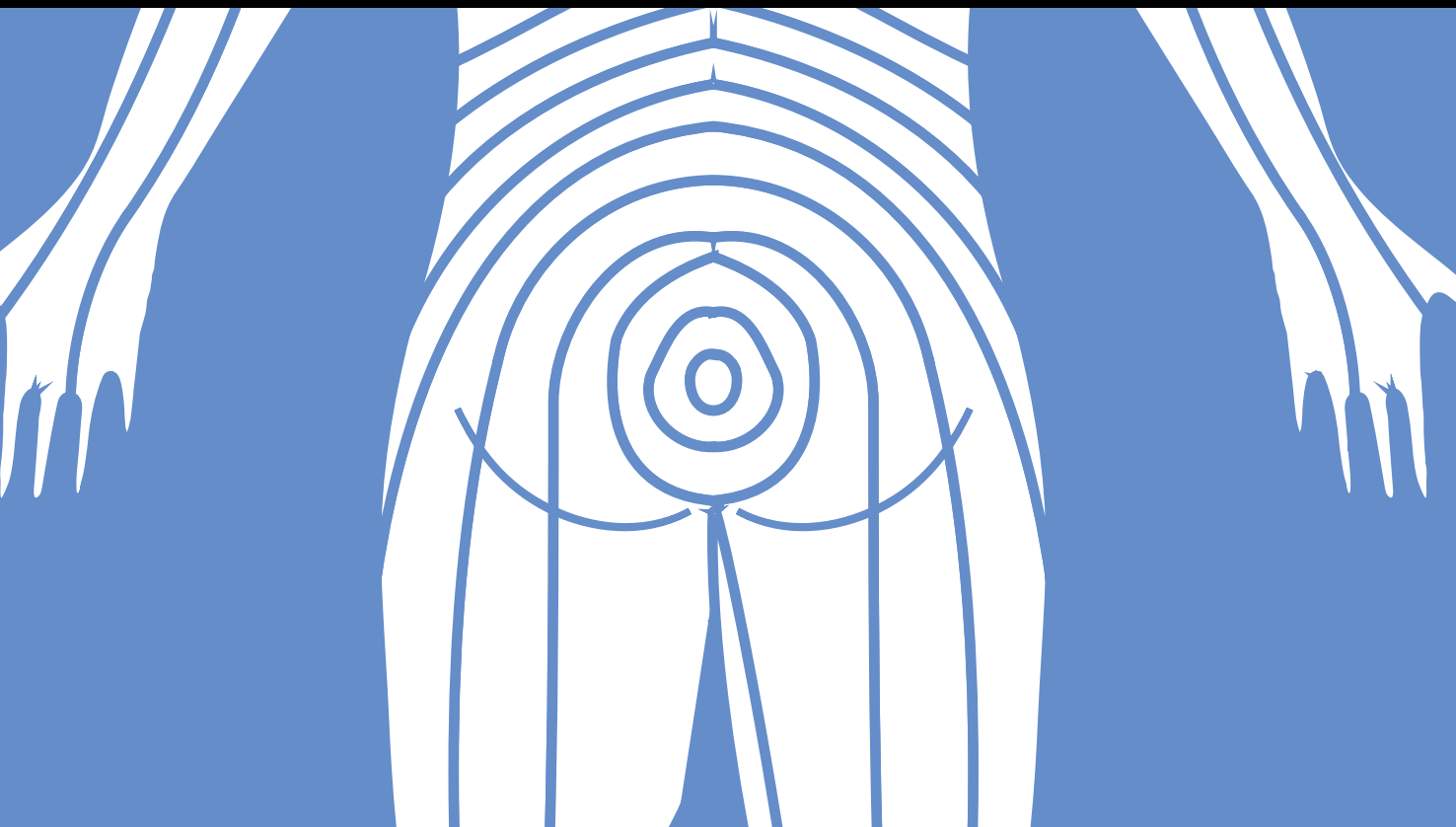
El núcleo amigdalino desempeña una importante función en las respuestas conductuales, que son modificadas por las emociones y por los estímulos olfatorios, como la búsqueda de alimentos, de pareja sexual, la sensación de peligro, entre otras. Las alteraciones en la actividad del núcleo amigdalino pueden originar conductas agresivas, ausencia de miedo y falta de empatía.

FIGURA 137. Esquema del núcleo amigdalino con sus subnúcleos y relaciones topográficas. Am. Amígdala, CEnt. Corteza entorrinal, Hip. Hipocampo



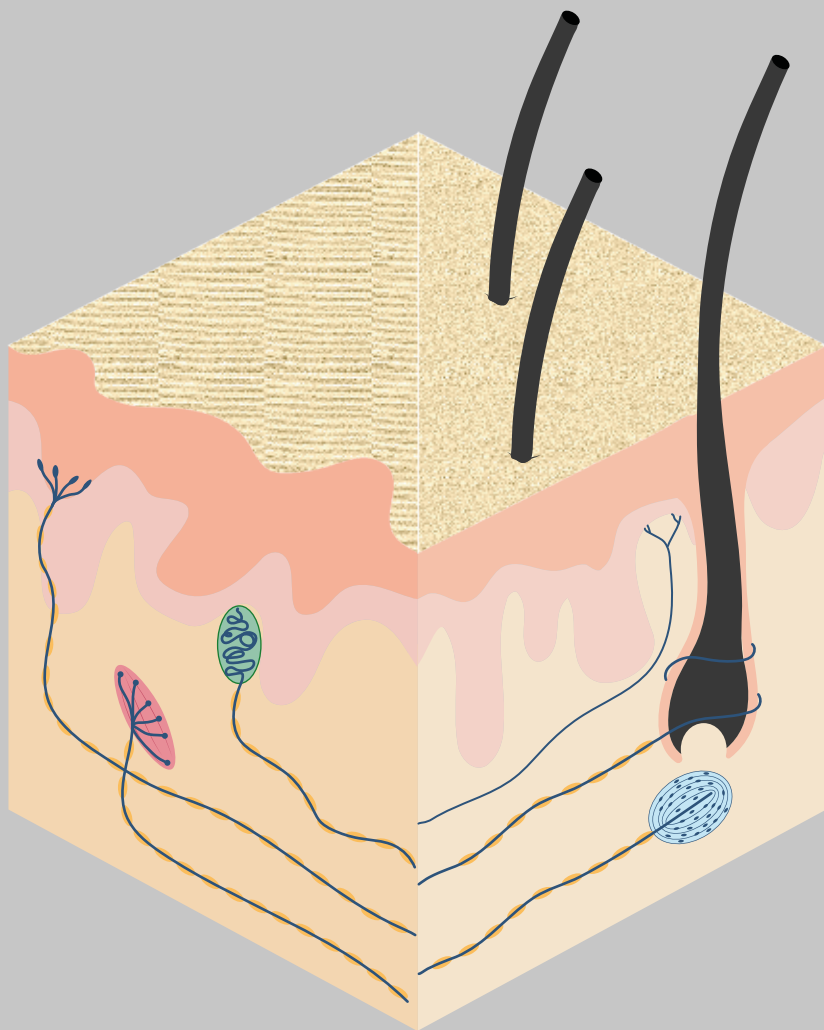


► CAPÍTULO XI





Sistema sensitivo somático



Una de las principales características del sistema nervioso es la capacidad que tienen sus células de percibir los cambios del medio ambiente y ejecutar respuestas apropiadas para ese tipo de cambio que está sufriendo. Esa capacidad se llama excitabilidad. Existen tres tipos de tejidos excitables: el tejido muscular, las neuronas y el tejido glandular.

El sistema nervioso es el que se especializa en reconocer los cambios del medio ambiente, y lo hace a partir de órganos especializados, que pueden ser terminaciones neuronales modificadas o pueden ser órganos superficiales que ejecutan contactos de tipo sinápticos con las neuronas que van a originar las vías. Este conjunto de órganos, llamados receptores, informan acerca de las distintas modalidades de cambios que sufre el medio ambiente. Los cambios que son percibidos por estos receptores son cambios bioquímicos, físicos y energéticos, es decir, un cambio en las características del medio es percibido por estos receptores que se han especializado en algunas de las modalidades que son capaces de percibir.

La mayoría de estos receptores se encuentran en la piel, y los llamamos receptores tegumentarios o receptores superficiales. También existen receptores profundos, que son aquellos ubicados en el interior de los músculos, en las articulaciones, en los ligamentos y en el interior de órganos y vísceras. Son llamados interoceptores en general.

Transducción (figura 137)

Corresponde al proceso mediante el cual estímulos ambientales, las diversas formas de energía, son transformadas en un potencial de acción, que es el lenguaje común de los elementos del sistema nervioso. Para que ocurra transducción tiene que haber un cambio en el medio, un cambio energético suficientemente alto para originar una modificación en el receptor y que este valore como suficiente para generar potencial de acción. A esto se le llama potencial generador, que está relacionado con el concepto de umbral. Por tanto, el cambio energético debe alcanzar un umbral o ser supraumbral para que exista transducción del

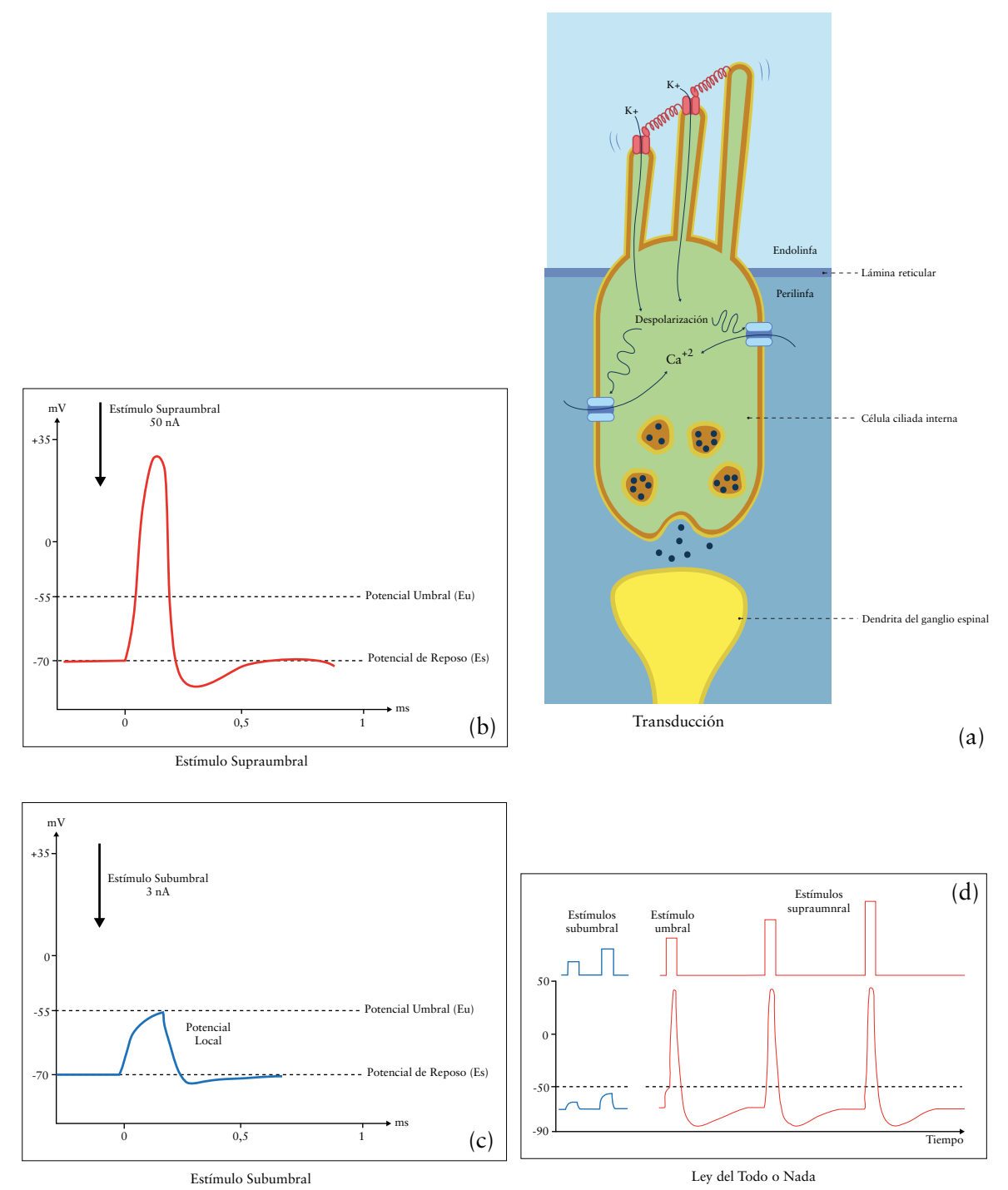
impulso; el cambio energético debe ser suficientemente alto para generar un potencial de acción.

No todos los estímulos o no todos los cambios que ocurren en el medio alcanzan el umbral, es decir, no todos constituyen potenciales generadores. También hay cambios en el medio que generan modificaciones físicas en los receptores, pero que no son suficientes para originar un potencial de acción. A esos cambios los llamamos potenciales locales, y su característica es que son subumbrales. Se dice que la generación de un impulso nervioso obedece a la ley del todo o nada, esto significa que es una posibilidad dicotómica, sí o no, se activa o se mantiene inactivo.

Cuando un estímulo no supera el umbral, el potencial de acción propagado no se origina. Sin embargo, esto no significa silencio eléctrico en el receptor; estímulos subumbrales son capaces de originar cambios en los receptores, pequeños potenciales locales, que en algunos casos pueden originar, por sumación, un potencial de acción que se propague a través de la membrana de la neurona. De esta forma, la cinética de los receptores influye en la forma en que los receptores responden a los cambios del medio y nos permitirán percibir estímulos del medio, ya sea por su intensidad o por su frecuencia. Un estímulo potente es percibido por su potencia y un estímulo prolongado en el tiempo es percibido, aunque sea tenue, por la frecuencia de estimulación que tiene sobre los receptores.

Una vez que el receptor ha transducido este cambio energético, origina un potencial de acción. Ese potencial de acción debe propagarse a través de una neurona, que constituye una neurona aferente primaria, que es la primera neurona de la vía sensitiva del receptor correspondiente. Esta comunicación puede ser por continuidad con la neurona, es decir, que el receptor es parte de la neurona, y puede ser también por unión tipo sináptica, donde no existen neurotransmisores involucrados, pero sí existe apertura de canales entre un receptor y una neurona aferente primaria que es independiente de este receptor.

FIGURA 137. Esquema del concepto de transducción, umbral, subumbral, potencial local, potencial generador, sumación, ley del todo o nada.



A) Esquema de célula ciliada interna del epitelio auditivo: la deformación mecánica de los cilios permite la apertura de canales iónicos de K^+ , lo que permite la despolarización de la célula y la entrada de Ca^{+2} , el cual determina la liberación

de neurotransmisores iniciando una sinapsis química. En este caso un estímulo mecánico se transformó en un potencial de acción, por un proceso de transducción.

B) Esquema de un potencial de acción como respuesta de una célula nerviosa a un estímulo supraumbral.

C) Esquema de la respuesta de una célula nerviosa a un estímulo subumbral. Nótese la presencia de un potencial «local» que no alcanza a constituir un potencial de acción propagado.

D) La imagen muestra la respuesta de una célula nerviosa a estímulos de diferentes intensidades. A la izquierda, dos estímulos de diferente

intensidad, pero que no alcanzan a generar un potencial de acción (subumbrales). Nótese que ambos generan potenciales locales de diferente tamaño. A la derecha se observa la respuesta de la misma célula a un estímulo que alcanza el umbral y otros dos que superan el umbral. Además, la respuesta es un potencial de acción equivalente en los tres casos, independiente de la intensidad del estímulo supraumbral.

TABLA VI. Clasificación de receptores.

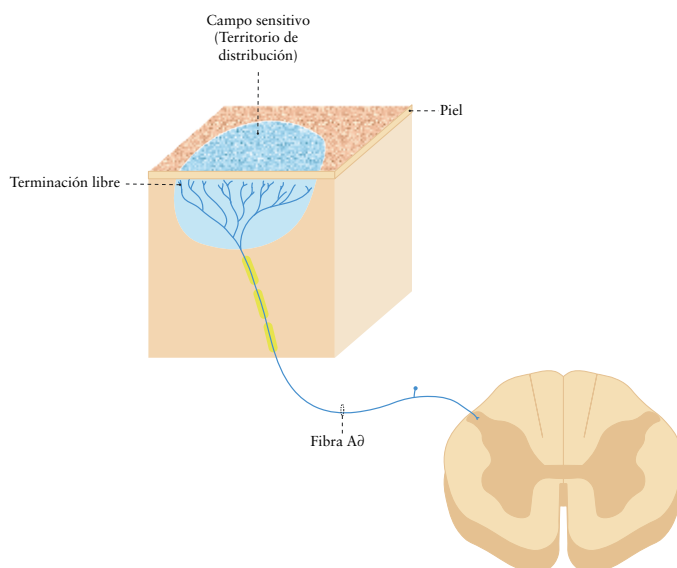
EXISTEN DIVERSAS CLASIFICACIONES PARA LOS RECEPTORES:		
Según si la sensación es consciente o inconsciente, es decir, si se proyecta a la corteza cerebral o no		
Según la ubicación del receptor hablamos de interoceptores o extraceptores		
Según el cambio energético que los active:	- Tipo térmico:	Termorreceptores
	- Tipo mecánico:	Mecanorreceptores
	- Tipo químico:	Quimiorreceptores
Según características morfológicas:	- Encapsulados	
	- No encapsulados	

UNIDAD SENSITIVA

Una unidad sensitiva corresponde al conjunto de territorios, tanto superficiales como profundos, que son invadidos por una sola fibra nerviosa, es decir, una neurona que origina muchas terminaciones, y estas pueden ir exclusivamente a territorios superficiales, profundos o a territorios superficiales y profundos simultáneamente (figura 138).

La unidad sensitiva descarga solidariamente y la vía que se constituye tiene una especificidad espacial, es decir, el sistema nervioso central es capaz de reconocer la unidad sensitiva que está siendo activada. Esta propiedad es clave para la organización somatotópica que encontraremos en distintos niveles del sistema nervioso central.

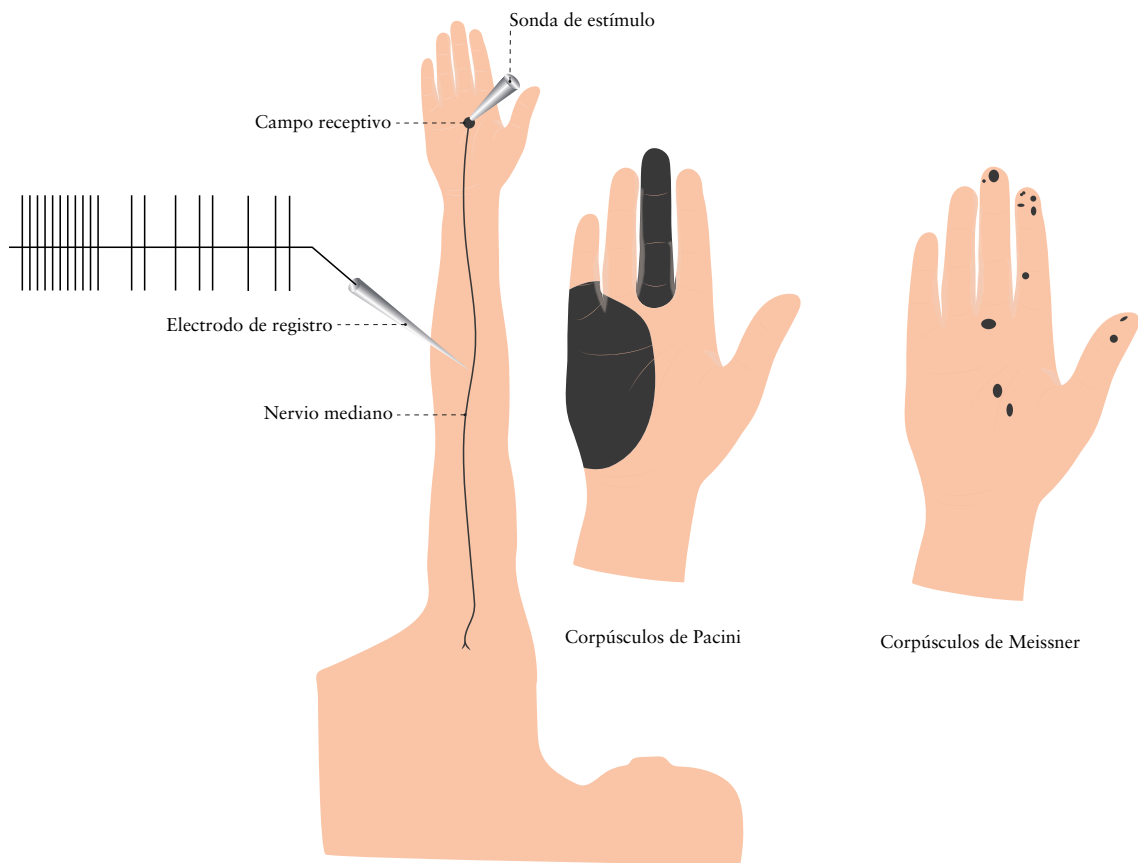
FIGURA 138. Esquema del concepto de unidad sensitiva. Una fibra Ad con su territorio de distribución en la piel constituye una unidad sensitiva.



Si nosotros agrupamos un conjunto de fibras y constituimos un nervio, vamos a tener un grupo de unidades sensitivas que se van superponien-

do, campos tanto superficiales como profundos. Estos campos se denominan campos receptivos (figura 139).

FIGURA 139. Esquema del concepto de campos receptivos.



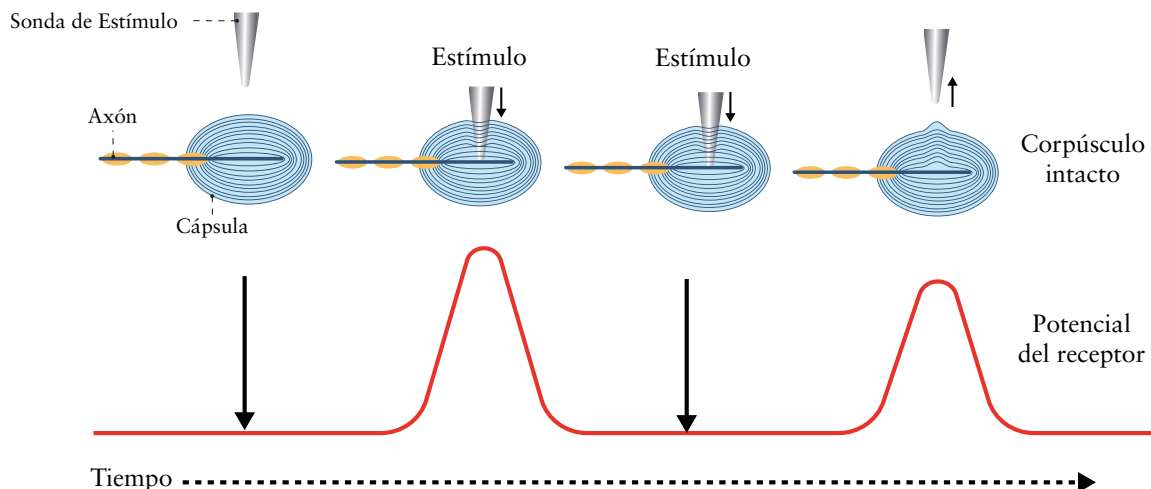
Adaptación

La adaptación es una cualidad que presentan los receptores que les permite dejar de descargar en presencia del estímulo, cuando este se hace prolongado o continuo en el tiempo. Nos permite, por ejemplo, no estar sintiendo todo el día la textura de nuestra ropa, reloj, aros, lentes, etcétera. El receptor deja de descargar a ese nivel de estimulación; en el fondo ocurre un aumento del umbral y se requiere un estímulo mayor para generar un potencial generador.

Los receptores encapsulados se adaptan o tienen capacidad de adaptación más lenta que los receptores no encapsulados. Los receptores no encapsulados se adaptan rápidamente, se saturan rápidamente y suben su umbral. En cambio, los receptores encapsulados tienen una tendencia a resistir por mayor tiempo la compresión, gracias a las propiedades mecánicas que tiene la cápsula.

Los receptores encapsulados tienen la cualidad de ser estimulados, tanto al aplicar el estímulo como al retirar el estímulo. Esto depende de las capacidades elásticas o de resistencia que presenta su cápsula (figura 140).

FIGURA 140. Esquema del concepto de adaptación. Se utiliza como ejemplo la adaptación del corpúsculo de Pacini. En la primera imagen a la izquierda, el corpúsculo está en reposo; en la segunda, el estímulo deforma la cápsula y origina un potencial de acción; en la tercera imagen, el estímulo se mantiene y el corpúsculo deja de descargar (adaptación); y en la cuarta, se retira el estímulo y se produce una descarga de rebote, al recuperar la forma el corpúsculo.



Mecanorreceptores de la piel (figura 141)

Discos de Merkel: son mecanorreceptores no encapsulados, encargados de la sensación de tacto. Tienen una ubicación muy superficial, en la epidermis, cerca de la basal del epitelio. Estos receptores constituyen modificaciones de la terminación distal de una fibra neuronal de tipo A- β , por lo tanto, origina una neurona aferente primaria. Se caracterizan por ser receptores de adaptación rápida.

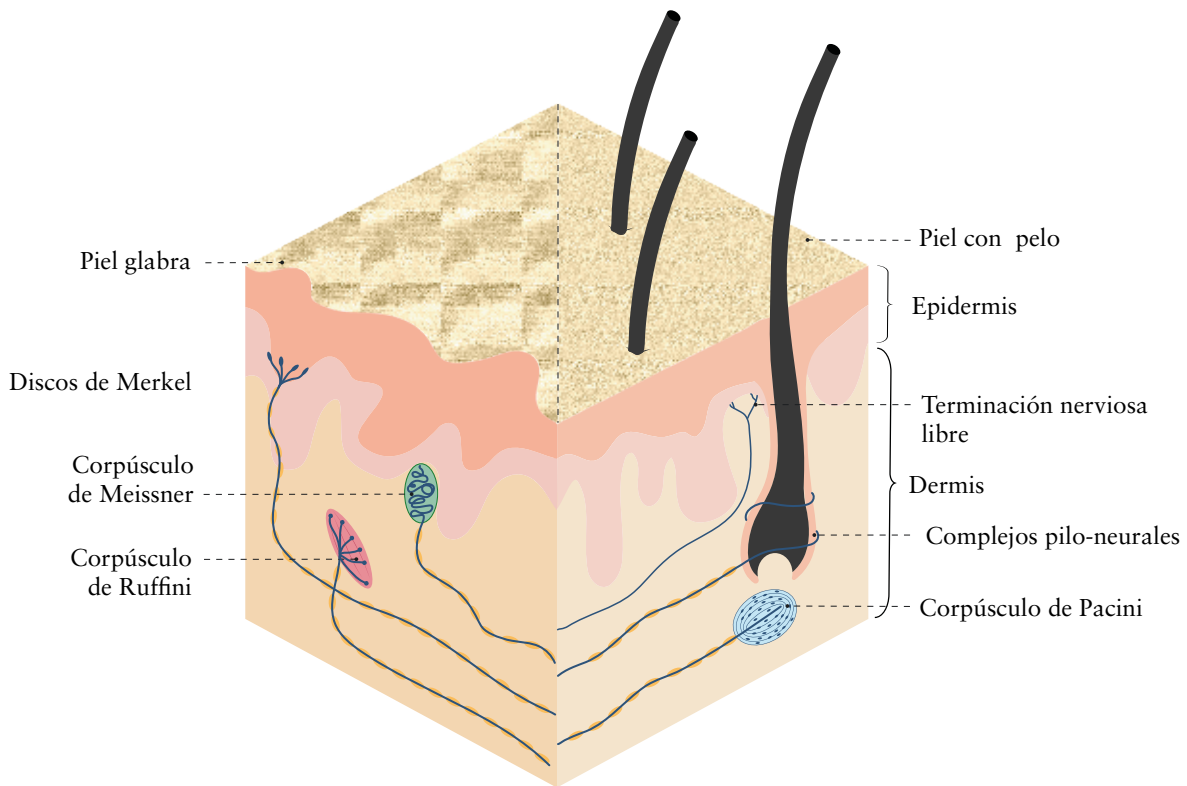
Corpúsculo táctil (de Meissner): también corresponden a mecanorreceptores, pero del tipo encapsulados que responden a estímulos tácti-

les. Se encuentran más profundos en la piel, y su adaptación, si bien es rápida, es mucho más lenta que los meniscos táctiles. Originan fibras A- β .

Corpúsculo laminar (de Pacini): mecanorreceptor encapsulado sensible a la vibración. Se ubica profundamente en la piel, en los espacios interpapilares. Al igual que los precedentes tienen adaptación rápida. Originan fibras gruesas A- β .

Receptor del folículo piloso: corresponde a una fibra amielínica que se enrolla alrededor de la base del folículo piloso y que luego origina una fibra mielinizada gruesa de tipo A- β . Es un mecanorreceptor no encapsulado que responde al tacto fino. Presenta una rápida adaptación.

FIGURA 141. Esquematizar tipos de receptores mecánicos y su ubicación en la piel.

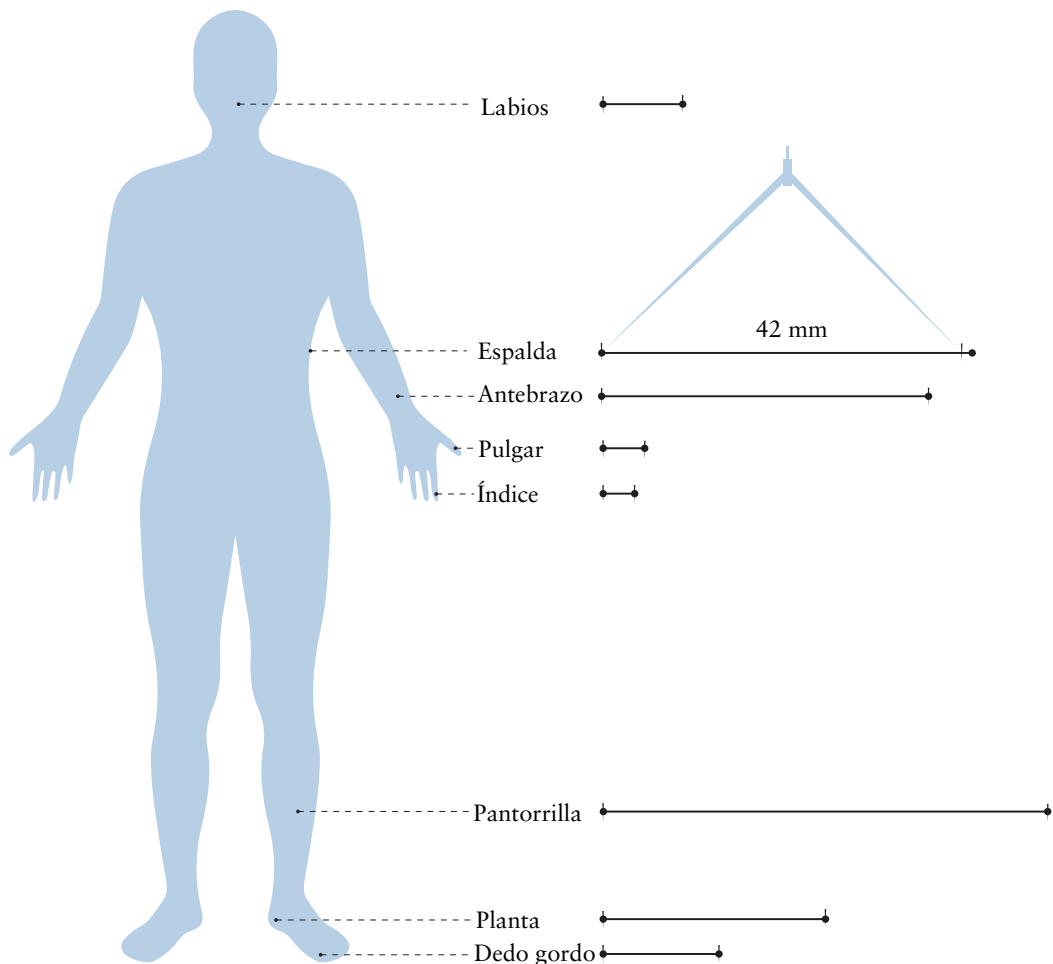


Discriminación entre dos puntos

La mínima distancia posible entre dos estímulos, que permite discriminar que se trata de dos estímulos distintos, es lo que se denomina discriminación entre dos puntos y depende del tamaño y del nivel de superposición de estas unidades sensitivas en el territorio estimulado. Como las unidades sensitivas están compuestas por fibras nerviosas, la representación tanto medular como cerebral en las áreas corticales respectivas de esos territorios también va a tener un paralelo, así el territorio donde la discriminación es menor tie-

ne una representación también menor, ya que se proyectan menos vías hacia los territorios que le corresponden a las áreas corticales y medulares correspondiente. Por ejemplo, el área que inerva sensitivamente el dorso en la médula va a significar una pequeña extensión, si la comparamos con el área que recibe la información procedente de los dedos de la mano, por ejemplo. Cuando la cantidad de neuronas en la médula a cargo de recibir información de un territorio es muy extensa, la cantidad de vías que se van a originar a partir de estos territorios será también muy numerosa, y por tanto la representación talámica y cortical va a ser mayor (figura 142).

FIGURA 142. Esquema del concepto de discriminación entre dos puntos. Las zonas de mayor discriminación táctil se encuentran en los labios y en la mano.



Propioceptores

Huso neuromuscular: corresponden a mecanorreceptores encapsulados dispuestos en paralelo a las fibras musculares. Posee en sus dos extremos una porción contráctil inervada por neuronas tipo gamma, que le entrega al huso neuromuscular la posibilidad de acortarse, y una porción central llamada en ramillete o en rosetón que va a estar originando fibras A-alfa y A-beta. Son de adaptación rápida.

Husos neurotendinosos o receptores órgano-tendinosos: son mecanorreceptores encapsulados capaces de discriminar compresión y estiramiento. Se ubican en la unión músculo-tendínea y los

puntos de inserción del músculo. También poseen una adaptación rápida, y originan fibras A-alfa.

Nervios aferentes primarios

Los receptores originan un potencial de acción que se propaga a través de una fibra nerviosa que constituye un nervio o que es parte de un nervio y que se denominan nervios aferentes primarios.

Los nervios aferentes primarios son aquel conjunto de estructuras que reciben estimulación por parte de receptores y que se proyectan hacia centros, ya sea en la médula espinal o en el tronco del encéfalo. Por lo tanto, vamos a tener nervios espinales constituyendo nervios aferentes prima-

rios y vamos a tener también nervios craneales que constituyen nervios aferentes primarios.

Estas neuronas que, por una parte, originan un campo sensitivo, deben proyectarse hacia los centros, hacia el SNC, originando primero un cuerpo celular, que se ubica en un ganglio, en la periferia, y que luego origina una prolongación central que constituye una raíz, ya sea de un nervio espinal o de un nervio craneal. La porción retroganglionar de un nervio aferente primario se denomina raíz, mientras que la prolongación que origina la terminación y que es la que está en relación con el receptor se denomina nervio. Morfológicamente la mayor parte de las neuronas aferentes primarias corresponden a neuronas de tipo pseudounipolar, con un axón que se dirige a la periferia y otro axón central.

En este tipo de vías tenemos distintos tipos de fibras nerviosas, que se clasifican en relación al grosor del axón y en relación al grosor de la vaina de mielina que reviste al axón. El axón más grueso y más mielinizado se llama $A\alpha$ y es aquel que tiene mayor velocidad de conducción; es característico de propioceptores, que son receptores encargados de percibir movimientos y posturas corporales, y se encuentra en los husos neuromusculares, en los receptores órganotendinosos y en los receptores capsulares y ligamentarios de las articulaciones. Serán estos los que originen los axones más gruesos y mielinizados, o sea, de mayor velocidad de conducción.

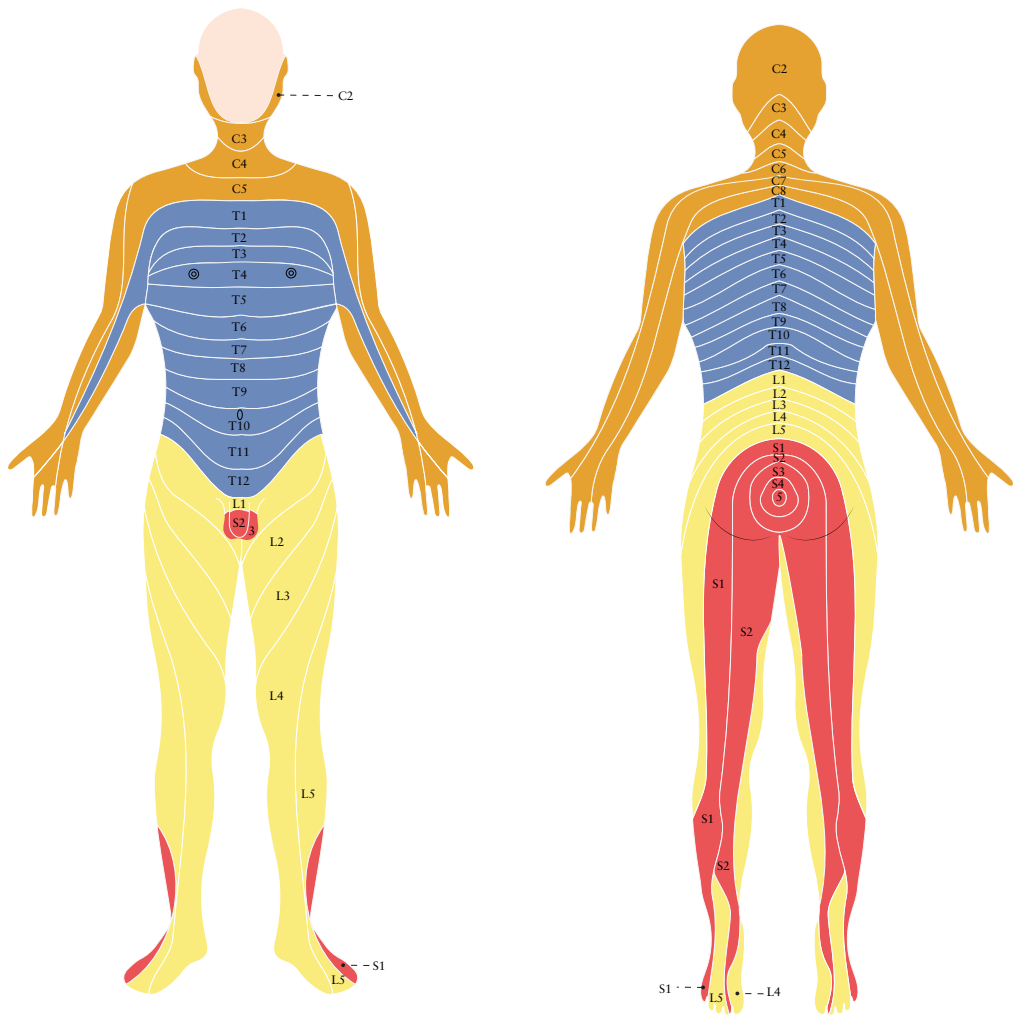
Luego en la clasificación siguen los axones de tipo $A\beta$, que son axones gruesos, pero con una menor vaina de mielina que los de tipo $A\alpha$, y este tipo de fibras es característica de mecanorreceptores cutáneos, como lo son los meniscos táctiles y corpúsculos encapsulados de Meissner. Luego le siguen los axones de tipo $A\delta$, que son axones gruesos, pero con escasa vaina de mielina, por tanto, de menor velocidad de conducción. Se originan a partir de receptores libres para el dolor y de receptores para temperatura, como son los cuerpos de Ruffini y cuerpos de Krausse, que son receptores térmicos.

Otro tipo de fibra corresponde a la fibra de tipo C, que son fibras de axones delgados y sin vaina de mielina y consideradas fibras fundamentalmente para la conducción del dolor. Transmiten muy bien el prurito, o picazón, y las cosquillas, que corresponden a reflejos nociceptivos de dolor, ya que se transmiten por esta vía para el dolor.

Dermatoma

Corresponde al territorio sensitivo en el tegumento, que se origina en un segmento medular característico. Por ejemplo, en la médula cervical tendremos ocho segmentos medulares, por tanto, tendremos ocho dermatomas cervicales bilaterales. Su conocimiento es fundamental para realizar un correcto diagnóstico neurológico (figura 143).

FIGURA 143. Esquema de la organización de los dermatomas en el humano.



Proyecciones ascendentes

La información proveniente de los receptores en la periferia se propaga a través de los nervios aferentes primarios y luego asciende por la médula espinal, constituyendo vías ascendentes.

Estas vías pueden tomar dos caminos, dependiendo de la modalidad sensitiva que origine el estímulo. Tenemos dos sistemas ascendentes relacionados con la exterocepción, uno llamado sistema espinotalámico y el otro llamado sistema de la columna dorsal lemnisco medio, que son sistemas con ciertas semejanzas y también diferencias entre sí.

En primer lugar, el sistema espinotalámico origina su información a partir de receptores para el

dolor, temperatura y tacto grueso o tacto no discriminativo, mientras que el sistema de la columna dorsal lemnisco medio origina su información a partir de receptores para el tacto discriminativo y propiocepción consciente.

El sistema espinotalámico se origina a partir de fibras de tipo C y Aδ y una cantidad pequeña de fibras Aβ que llevan información para el tacto grueso o tacto no discriminativo, mientras que el sistema de la columna dorsal lemnisco medio lo hace por las fibras de tipo Aα y Aβ.

Sistema espinotalámico

Las fibras del tipo C y Aδ que llevan información para dolor y temperatura van a proyectarse a la médula espinal y es en ese punto donde se

encontrarán con una segunda neurona. Recordemos que el cuerpo de la primera neurona se encuentra en el ganglio de la raíz dorsal, y esta primera neurona sinapta con una segunda neurona ubicada en la lámina I de la médula espinal, o sea, es una neurona de tipo fusiforme, cuyo axón se cruza a ese nivel de la médula espinal en la comisura anterior de la médula espinal, donde sinapta y luego asciende por el cordón lateral de la médula espinal, constituyendo el fascículo espinotalámico lateral que va a llegar al tálamo, específicamente al núcleo ventroposterolateral del tálamo, donde sinapta con una tercera neurona que se encuentra en este núcleo, la cual origina una radiación talámica que se proyecta a la corteza somatosensorial primaria de forma somatotópica para representar en ella un homúnculo somatosensitivo (figura 145a).

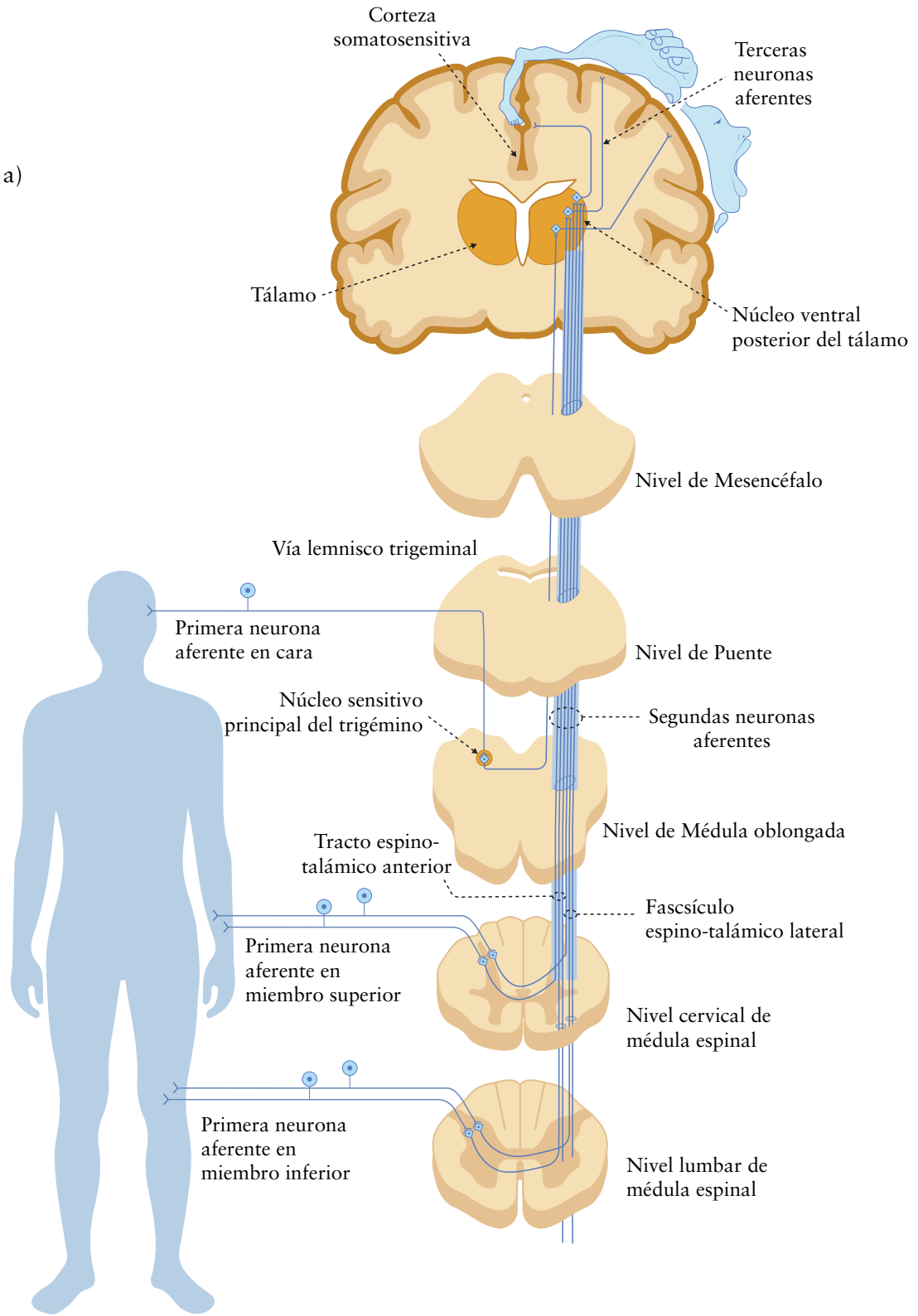
La información del tacto grueso sigue el mismo comportamiento o recorrido, pero la diferencia radica en que las segundas neuronas con las que sinapta en la médula se encuentran en las láminas III y IV, se cruzan a nivel de la comisura anterior de la médula espinal y ascienden por un sitio que está entre el cordón anterior y lateral

de la médula espinal, denominado fascículo espinotalámico anterior. Este llega al núcleo ventroposterolateral del tálamo y luego se proyecta a la corteza somatosensorial primaria.

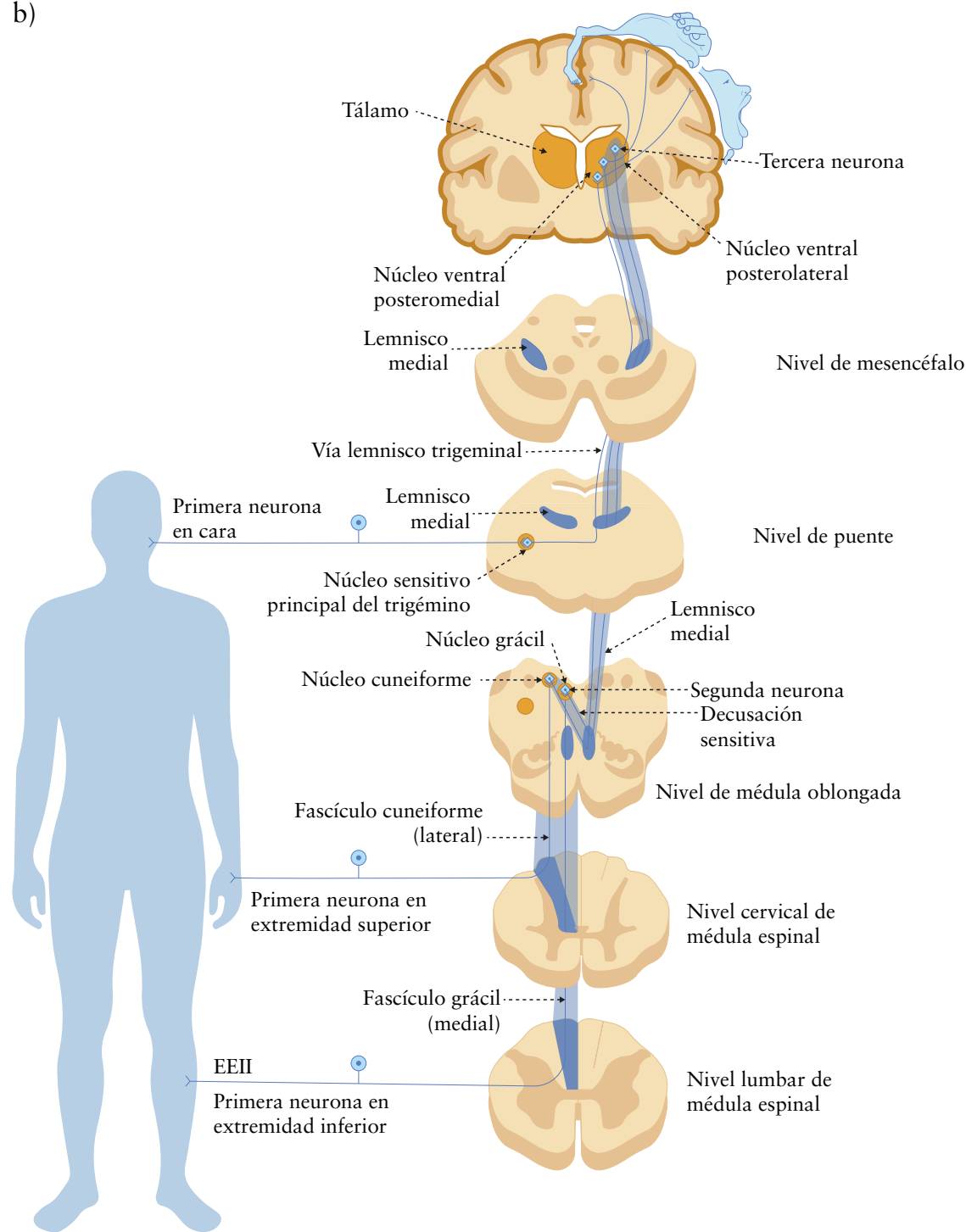
Por tanto, estas vías tienen dos sinapsis y ocupan tres neuronas. La primera sinapsis ocurre en la médula, la segunda sinapsis se produce en el tálamo y se proyecta a la corteza somatosensorial primaria, específicamente a las neuronas estrelladas de la lámina IV de la corteza cerebral, en las áreas 3, 1 y 2 de Brodmann.

Esta vía (del tálamo a la corteza) se denomina neoespinotalámica. En su camino deja colaterales que se dirigen a la sustancia reticular y desde ahí se van a proyectar a los núcleos del tálamo, llamados intralaminares, y a los núcleos mediales del tálamo. Desde aquí se van a proyectar a sectores de la corteza difusos que se ubican a nivel de la corteza del lóbulo de la ínsula y difusamente también a la corteza de asociación de todos los lóbulos, conformando el sistema espinorreticulotalámico, que tiene como componente fundamental la sustancia reticular, dándole colaterales a lo largo de todo su camino.

FIGURA 145. En a), esquema de la vía espinotalámica, que muestra las neuronas y sinapsis involucradas; en b), vía de la columna dorsal lemnisco medio.



b)



Sistema de la columna dorsal-lemnisco medio

Su información se origina a partir de receptores para el tacto discriminativo y propiocepción consciente. Lleva axones aferentes primarios $A\alpha$ y $A\beta$, los cuales van a ingresar al sistema nervioso central por la raíz dorsal. Cuando la primera neurona (cuyo cuerpo está en el ganglio espinal) ingresa a la médula, no sinapta en ella, sino que este axón asciende formando los fascículos grácil y cuneiforme, para llegar luego a los núcleos grácil y cuneiforme que se encuentran a nivel del bulbo caudal. El núcleo grácil recibe información del tronco inferior y miembros inferiores, en tanto que al núcleo cuneiforme llega información del tronco superior y miembros superiores (figura 145b).

Hasta su llegada al bulbo, esta primera neurona es ipsilateral, o sea, no se ha cruzado aún, solo a nivel del bulbo es donde se produce la primera sinapsis, y luego la segunda neurona es la que se cruza, rodeando la sustancia gris central, constituyendo las llamadas fibras arciformes internas que, al reunirse, forman columnas aplanadas que constituyen el lemnisco medio. Por tanto, el lemnisco medio lleva axones de la segunda neurona de la vía táctil discriminativa y de propiocepción consciente, que tienen su cuerpo en el núcleo grácil y cuneiforme contralateral, y luego se proyectan al tálamo, específicamente al núcleo ventro-posterolateral, para ascender luego a la corteza somatosensorial primaria, en las áreas 3, 1 y 2 de Brodmann.

En resumen la vía espinotalámica lleva como fibras aferentes de tipo C o fibras de tipo A δ , cuyo cuerpo de la primera neurona está en el ganglio espinal, luego su axón central sinapta con una segunda neurona en la médula espinal. Si es fibra para el dolor sinapta con una segunda neurona ubicada en la lámina I, en cambio, si una fibra que lleva información táctil no discriminativa sinapta con una segunda neurona ubicada en la lámina III o IV de la médula espinal, a ese nivel se cruza en la comisura blanca anterior de la médula espinal para luego ascender por el cordón lateral de la médula espinal, si es función dolorosa, o por el cordón anterior, si es para función táctil no discriminativa o tacto grueso. Constituye así un sistema ascendente que ocupa la región anterolateral de los cordones medulares, a la que denominamos sistema anterolateral. Por tanto, el sistema anterolateral está compuesto por la vía espinotalámica anterior, que lleva informaron para el tacto grueso o no discriminativo, y por la vía espinotalámica lateral, que lleva información de tipo dolorosa.

La vía columna dorsal-lemnisco medio lleva fibras aferentes del tipo A α y A β , las que ingresan a la raíz dorsal de la médula espinal por el surco dorsolateral, y no sinaptan, sino que emite colateral para la inhibición segmentaria del dolor, o sea, para cerrar la compuerta del dolor, de modo que no se considera que la vía sinapte, sino que solo envía unas colaterales. Luego ascienden las fibras por el cordón posterior de la médula espinal, constituyendo los fascículos grácil y cuneiforme que terminan luego en los núcleos grácil y cuneiforme, ubicados a nivel de bulbo caudal, y en ese punto sinapta con una segunda neurona, la que luego rodea la sustancia gris central, constituyendo las fibras falciformes internas. En este punto ya cruzado asciende formando el lemnisco medio, que se mantiene medial hasta llegar al puente, en donde se hace más lateral. Luego pasa al núcleo rojo en el mesencéfalo, para llegar finalmente al núcleo ventroposterolateral del tálamo

y desde ahí proyectarse a la corteza cerebral. O sea, la primera neurona de esta vía se encuentra en el ganglio, la segunda en los núcleos grácil y cuneiforme, y la tercera en el núcleo ventroposterolateral del tálamo.

En una lesión del sistema anterolateral, la información dañada será de tipo contralateral, en cambio, un daño en el cordón posterior será de tipo ipsilateral.

Otro detalle importante es que la información que lleva, tanto el sistema espinotalámico como el sistema columna dorsal-lemnisco medio, presenta una somatotopía u orden determinado. En el sistema espinotalámico los elementos que son más superficiales son los más distales. Esto quiere decir que lo más anterior va a venir del miembro inferior, luego estará el tronco, luego el miembro superior y finalmente el cuello, en ese orden de superficial a profundo. En cambio, en el sistema columna dorsal-lemnisco medio los miembros inferiores serán mediales, al igual que la mitad inferior del tronco, es decir, fascículo grácil. En cambio, los miembros superiores junto con el tronco superior serán laterales, o sea, fascículo cuneiforme.

Semejanzas entre los sistemas ascendentes:

- Se originan desde receptores (exteroceptores en su mayoría)
- Ambos tienen tres neuronas desde el receptor hasta la corteza
- Realizan dos sinapsis
- Estación talámica (núcleo ventroposterolateral)
- Se proyectan a la corteza somatosensorial primaria (áreas 3, 1, 2 de Brodmann)
- En los niveles que atraviesa, adoptan una organización somatotópica
- Se proyectan a la corteza cerebral contralateral
- Cuerpo de la primera neurona está en el ganglio de la raíz dorsal

TABLA VII. Diferencias entre el sistema de la columna dorsal lemnisco medio y el sistema espinotalámico.

	Sistema de la columna dorsal lemnisco medio	Sistema espinotalámico
Primera sinapsis	No segmentaria	Segmentaria**
Lugar de la primera sinapsis	Bulbo medio (en los núcleos de la columna dorsal)	Médula
Cruce de fibras	Asciende por el cordón posterior ipsilateralmente y se cruza en el bulbo	Cruza en la comisura anterior de la médula y asciende por el cordón lateral
Forma en que llega al tálamo	Comunicación en el núcleo de la columna dorsal y el tálamo; se llama lemnisco medio	Vía espinotalámica

** sinapsis en el punto donde ingresa la inervación, ni asciende ni desciende.

Nocicepción y dolor

El dolor como experiencia se origina de receptores que se activan en presencia de daño tisular, es decir, son nociceptores. El daño sobre el tejido va a determinar que los receptores se despolaricen y que se inicie la vía del dolor. La vía del dolor se origina en un daño real que activa a los nociceptores y se proyectan a través de la vía del dolor. Cuando existen patologías de las vías, es posible que este dolor se produzca, aunque no exista un daño tisular real, sino ante una comunicación con una vía que se encuentra alterada.

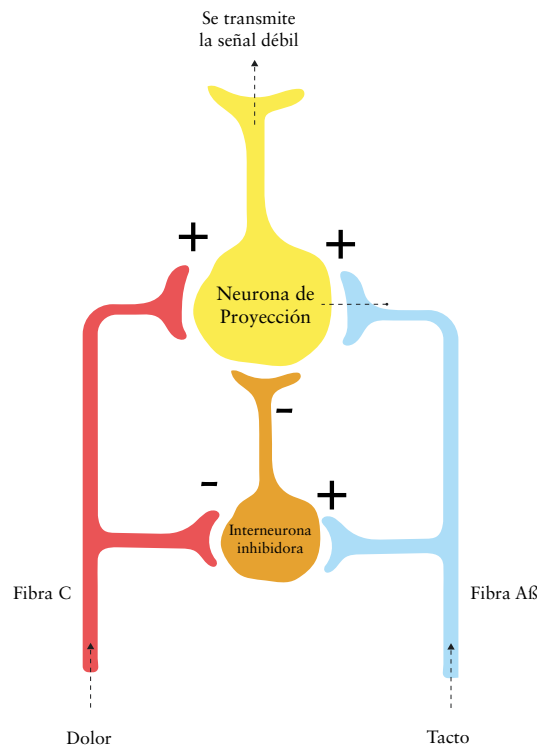
Teoría de la compuerta (figura 146)

Cuando una neurona Aδ o C entra a la médula, lo hace ocupando una posición ventrolateral y luego sinapta directamente con las neuronas fusiformes de la lámina I. Si las neuronas de la lámina I no están inhibidas, estas neuronas son

despolarizadas por las sinapsis y se cruzan y forman la vía espinotalámica y el dolor es percibido. Aquí se dice que la puerta está abierta.

Si junto con este daño tisular se aplica estimulación táctil desde mecanorreceptores, las fibras mielinizadas gruesas que se originan de estos receptores (Aα y Aβ) ingresan por la porción dorsomedial de la raíz del nervio y constituyen los cordones posteriores. Antes de constituir los cordones posteriores envían colaterales que ingresan por la base del asta dorsal, cruzan las láminas III y IV y llegan a lámina II (sustancia gelatinosa que son interneuronas). Las neuronas de la lámina II inhiben, lo que significa que hiperpolarizan a la neurona fusiforme de la lámina I. Aquí la puerta está cerrada, a pesar de que hay daño tisular y a pesar de que los receptores nociceptivos están descargando. Estas neuronas nociceptivas no son capaces de activar la vía del dolor, porque las neuronas fusiformes están hiperpolarizadas. Esto es conocido como control segmentario del dolor.

FIGURA 146. Esquema de la teoría de la compuerta de Melzack y Wall. La imagen ilustra los eventos segmentarios que ocurren para modular la conducción del dolor.



Inhibición suprasegmentaria del dolor

Existen distintas formaciones que participan en el control suprasegmentario del dolor. Desde el punto de vista neurofisiológico, estas vías actúan sobre las neuronas de proyección de la vía del dolor, por ejemplo, las neuronas fusiformes de la lámina I en la médula espinal. En general el control suprasegmentario del dolor utiliza vías inespecíficas o utiliza mecanismos pobremente descritos. Se acostumbra a decir que las vías de control suprasegmentario del dolor utilizan vías inespecíficas. Conocemos poco acerca de estas vías y la forma de utilizarlas clínicamente.

Algunos estudios sugieren que una relación médico-paciente adecuada, o una conducta empática hacia nuestros pacientes, colabora en una mayor sensación de bienestar y una disminución objetiva del dolor post operatorio. Probablemente los mecanismos involucrados activen las vías de control suprasegmentario del dolor.

Dolor referido

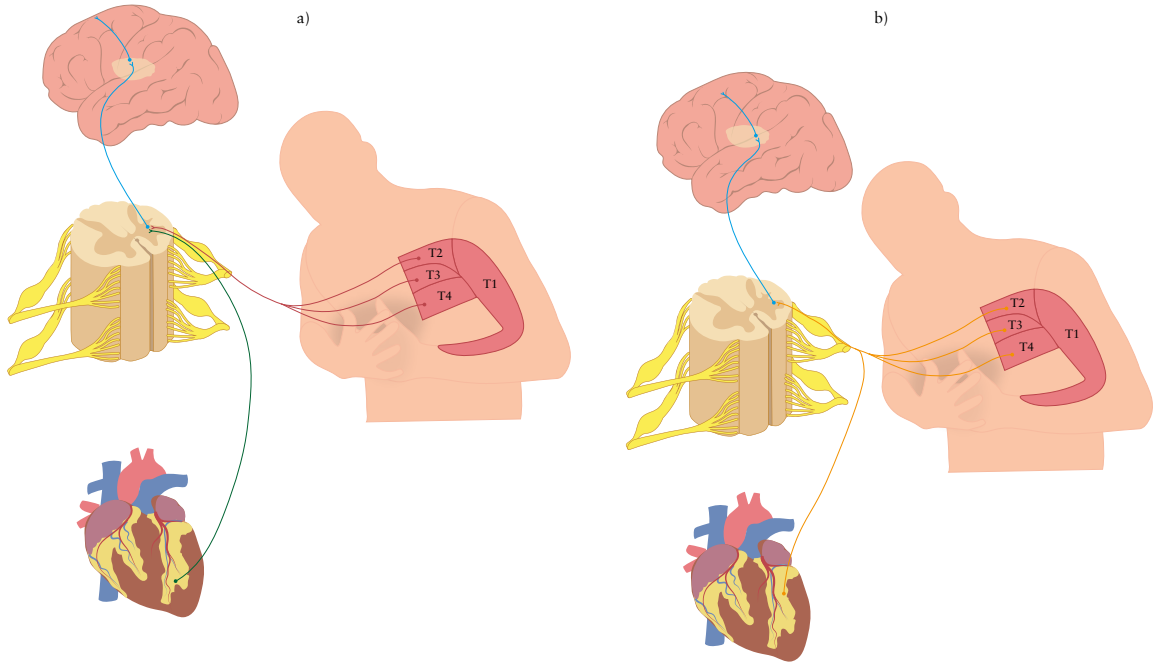
Llamamos así al dolor que se proyecta a un territorio distinto del punto donde se está originando el daño tisular. Este fenómeno se ha explicado mediante dos teorías. La primera dice que existe una convergencia neuronal, es decir, una neurona puede proyectarse a otra percibiendo el dolor en otro territorio. Por ejemplo, un dolor en el músculo masetero lo podemos percibir en la región de los molares superiores, o si estamos ante una inflamación del músculo temporal anterior referimos el dolor hacia la región de los incisivos centrales y al labio superior. Aquí no está claro si ambas neuronas participan en el dolor referido.

La segunda teoría es la de la neurona bifurcada. Una neurona se bifurca y termina inervando un territorio superficial en el tegumento y un territorio profundo, como por ejemplo un músculo, cuando duele el músculo lo referimos al tegumento. Esto ocurre por ejemplo cuando el corazón proyecta el dolor hacia el margen medial del brazo izquierdo. Aquí existe solamente una neurona (figura 147).

FIGURA 147. Esquema de las dos teorías del dolor referido.

A) Dos neuronas independientes, una aporta inervación viscerosensitiva al corazón y la otra sensitiva somática a la región del brazo y hombro izquierdo. Ambas confluyen a una misma neurona en la médula, la cual se proyecta originando una vía del dolor única.

B) Una sola neurona aporta inervación al corazón y a la región del brazo y hombro, mediante una bifurcación anatómica. Esta neurona se proyecta a la médula donde se origina la vía del dolor.

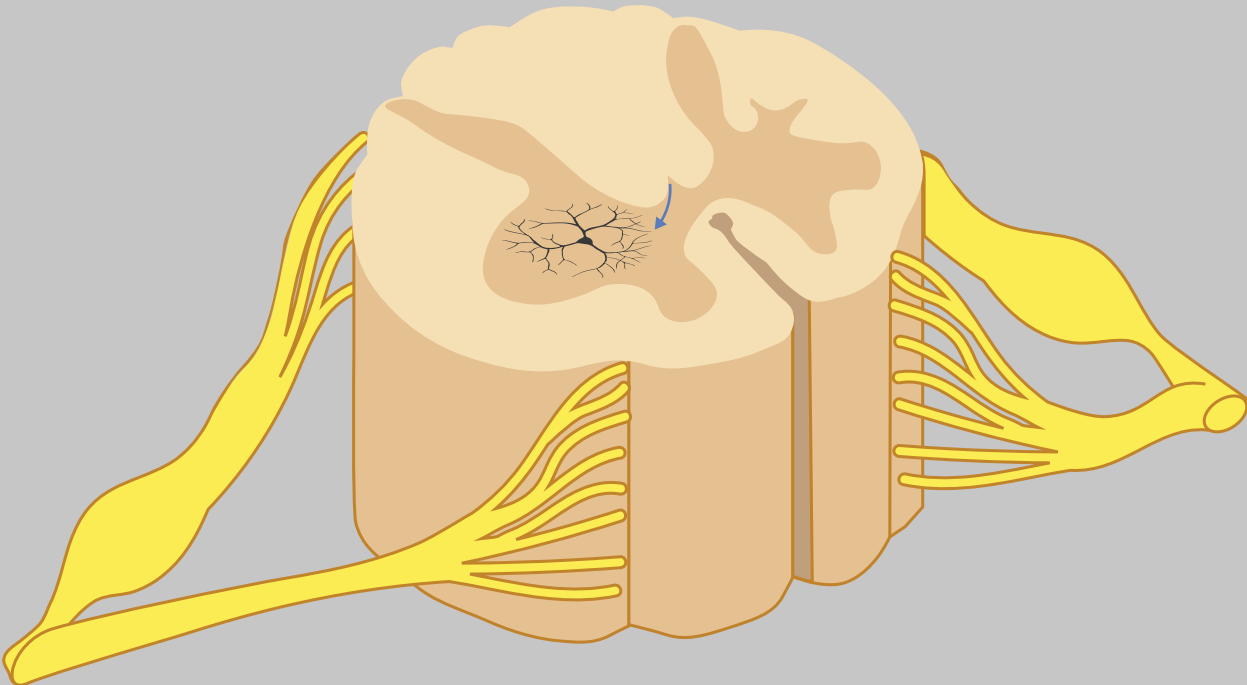




► CAPÍTULO XII



Sistema somático motor



Este sistema está relacionado con la modulación de la función motora, que puede ocurrir en dos niveles:

CONTROL ESPINAL DEL MOVIMIENTO: aquella regulación que realiza la médula espinal sobre la musculatura estriada.

CONTROL ENCEFÁLICO DEL MOVIMIENTO: modulación que se realiza sobre las neuronas espinales que van a desarrollar el movimiento.

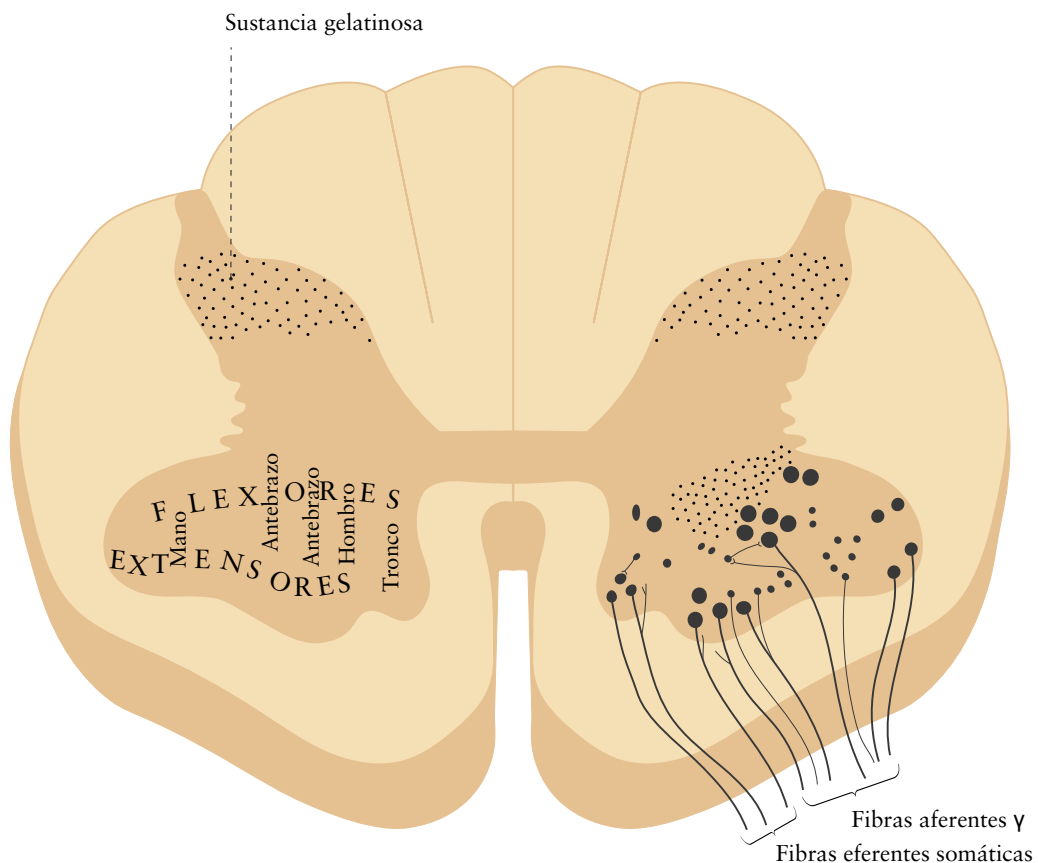
Neurona motora inferior

Se conoce como neurona motora inferior a aquella neurona, generalmente A α (mielinizadas de axón grueso), destinada a innervar un grupo de fibras musculares y constituir placas motoras. En general, tienen sus cuerpos en la médula espinal, específicamente en la lámina IX y VIII de Rexed en el asta anterior o ventral, en donde se agrupan formando dos núcleos muy distinguibles

a lo largo de toda la médula, un grupo medial y un grupo lateral, pero en los segmentos en donde la columna se ensancha para constituir los plexos forman varios subgrupos (7 en el cervical y 6 en el lumbosacro). Por tanto, el asta ventral en donde se originan estas motoneuronas no es homogénea, ya que tiene relación con la cantidad de cuerpos de neuronas motoras que se encuentran en ese segmento y, por tanto, la cantidad de territorios musculares que van a innervar (figura 148).

Las motoneuronas de la lámina VIII se organizan de tal manera que las que se ubican más cerca de la base del asta ventral (es decir, posterior) tienen una función flexora, mientras que las que se ubican más ventral tienen una función extensora. Del mismo modo, en sentido mediolateral, las neuronas que se ubican más medial innervan músculos del esqueleto axial, y entre más lateral innervan músculos más distales.

FIGURA 148. Esquema del asta anterior de la médula con motoneuronas en la lámina VIII y su organización en grupos y su relación con la innervación para la musculatura flexora y extensora/axial y distal.

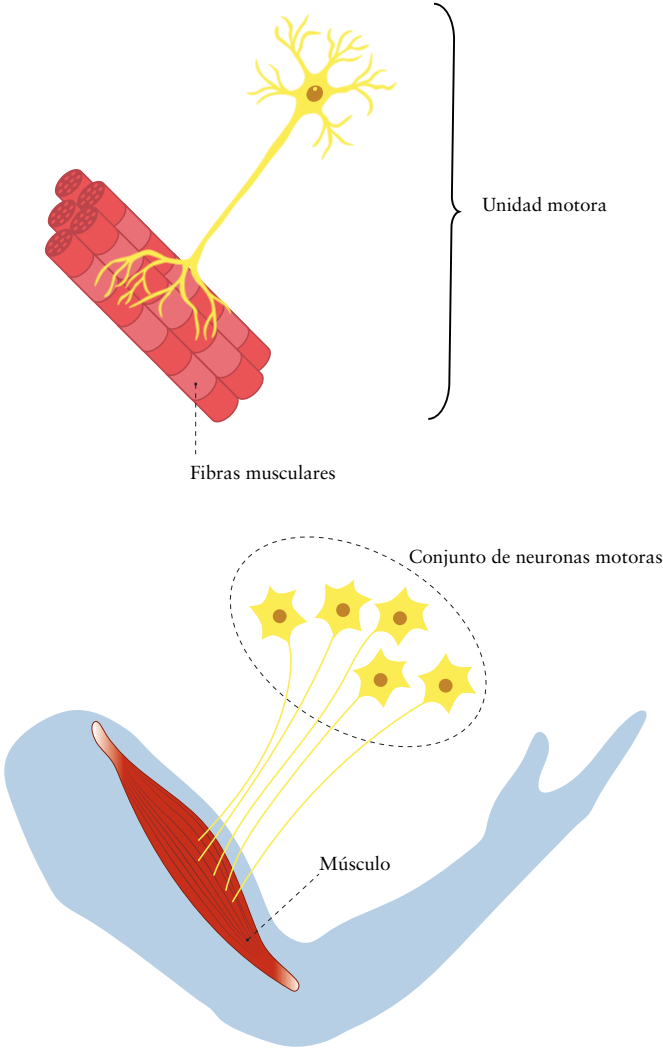


Unidad motora

Una unidad motora se define como el conjunto de fibras musculares inervadas por una motoneurona, por tanto, una motoneurona inerva una cantidad de fibras y estas fibras se contraerán todas a la vez. Existen unidades motoras grandes y unidades motoras pequeñas. Las grandes corresponden a una motoneurona que inerva una gran cantidad de fibras musculares, en cambio,

una pequeña corresponde a una motoneurona que inerva solo algunas fibras musculares. Para realizar un movimiento fino y de gran precisión se necesitan unidades motoras pequeñas, por tanto, la superficie del asta ventral de la médula espinal será grande, ya que se necesitan muchas motoneuronas de unidades motoras pequeñas, con lo que habrá una gran cantidad de cuerpos neuronales en el asta ventral (figura 149).

FIGURA 149. La figura superior muestra el esquema de una unidad motora. En la figura inferior se observan varias motoneuronas que se dirigen a inervar un músculo.



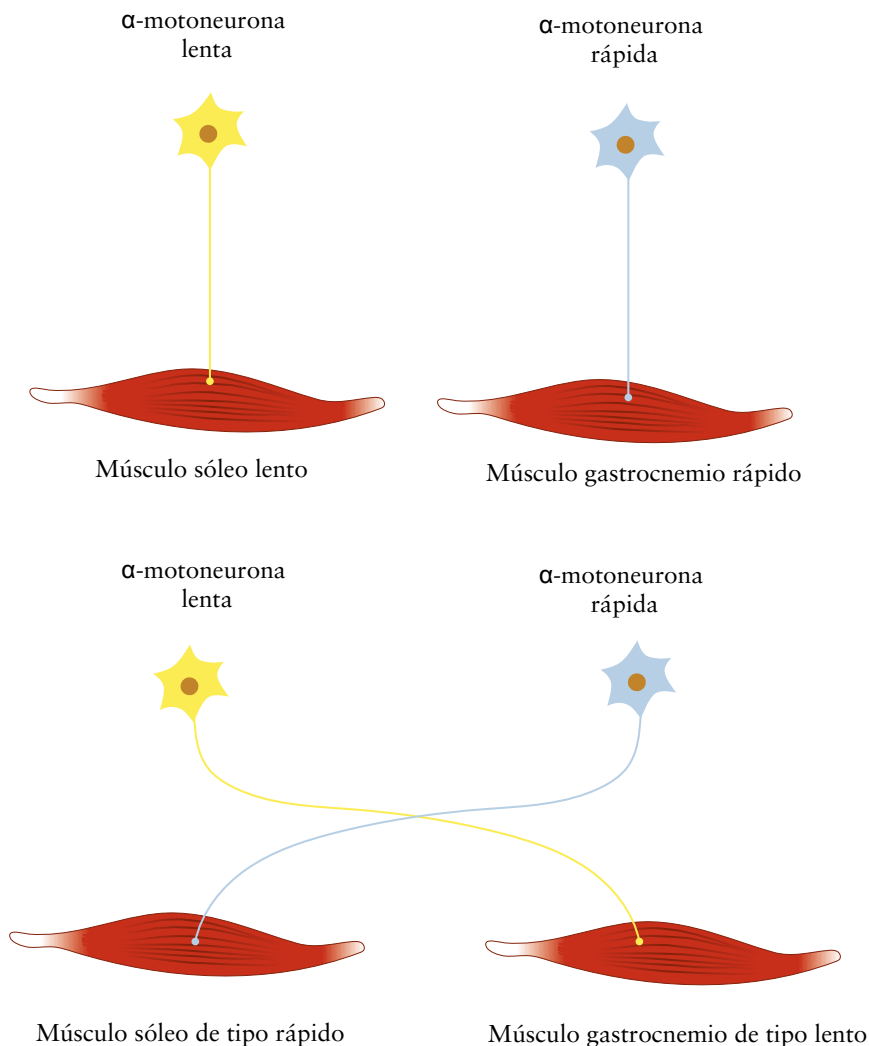
Tipos de fibras musculares

También existe una clasificación para las fibras musculares; las podemos clasificar en fibras musculares rojas y fibras musculares blancas. La diferencia radica en su metabolismo, ya que en algunas unidades motoras predomina el consumo de oxígeno, por tanto, son más resistentes a la fatiga, de gran desarrollo de potencia, pero de contracción más lenta. En cambio, las fibras musculares blancas son fibras de baja resistencia

a la fatiga, de menor desarrollo de potencia, pero de contracción más rápida. Nuestros músculos se componen de una mezcla de ambas fibras, el predominio de unas u otras está determinado por la necesidad de desarrollar mayor o menor potencia en alguna estructura del cuerpo.

Las unidades motoras lentas estarán compuestas por una motoneurona que inerva fibras musculares rojas, mientras que una unidad motora rápida, por una motoneurona que inerva fibras musculares blancas.

FIGURA 150. La imagen superior ejemplifica unidades motoras lentas y rápidas, innervando los músculos sóleo y gastrocnemio respectivamente. En la imagen inferior se ilustra que, al intercambiar experimentalmente las motoneuronas, originan un cambio en el tipo de respuesta del músculo.



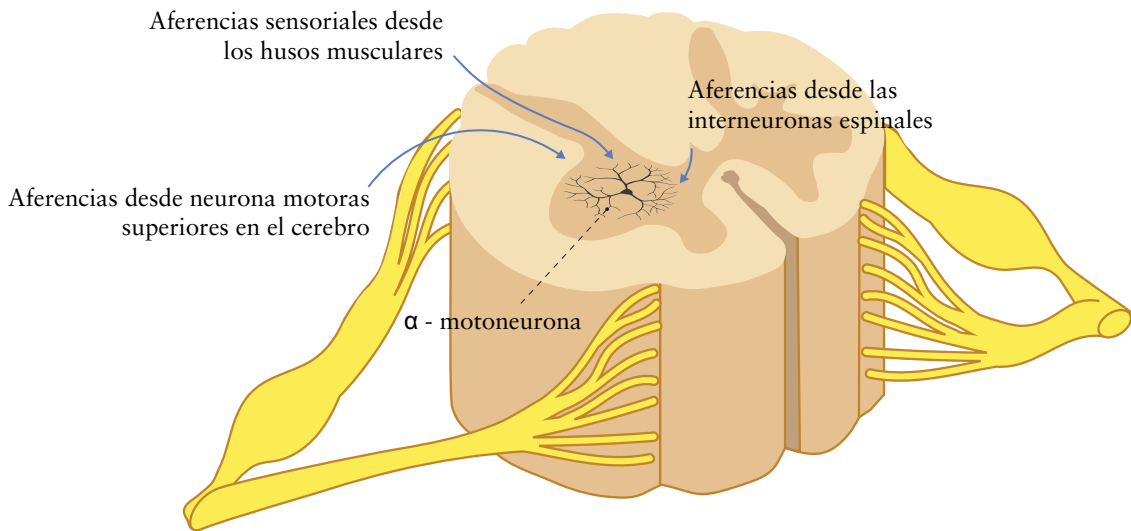
El metabolismo que determina si una fibra es roja o blanca está dado por la innervación que recibe, ya que si cambiamos la motoneurona que innerva una fibra roja a una fibra blanca, la fibra blanca se volverá una fibra roja (figura 150). Por lo que concluimos que la fisiología, el metabolismo y la función de una unidad motora están determinadas por la innervación aportada por la motoneurona.

Las α -motoneuronas constituyen aproximadamente 2/3 de las motoneuronas existentes en el asta ventral y son consideradas las motoneuronas inferiores. El otro tercio corresponde a las δ -motoneuronas que innervan musculatura intrafusal.

Las aferencias de las α -motoneuronas provienen de tres sectores distintos (figura 151):

1. Nivel segmentario, a nivel de las neuronas aferentes provenientes de los husos neuromusculares.
2. Interneuronas espinales, por ejemplo, las interneuronas de la lámina VIII, por donde llega la influencia para la motoneurona.
3. Neuronas motoras superiores, es decir, del sistema piramidal y extrapiramidal, que van a controlar la función motora (neurona motor superior).

FIGURA 151. Esquema de un alfa motoneurona en el asta anterior de la médula recibiendo inputs de las tres regiones indicadas en el texto.



Receptores que intervienen en la regulación de la actividad muscular

I) *Receptores musculotendinosos*

1. Huso neuromuscular
 - Ánuloespinal (origina fibras IA)
 - Ramillete (origina fibras IIA que son sensitivas y se comunican con las motoneuronas)
1. Receptores órganotendinosos
2. Receptores musculares, ubicados directamente entre las fibras musculares

II) *Receptores articulares*

1. Corpúsculos capsulares (de Ruffini)
2. Terminaciones articulares (de Golgi)
3. Órganos modificados (Vater Pacini): ligamentos de refuerzo de la cápsula

III) *Receptores laberínticos*

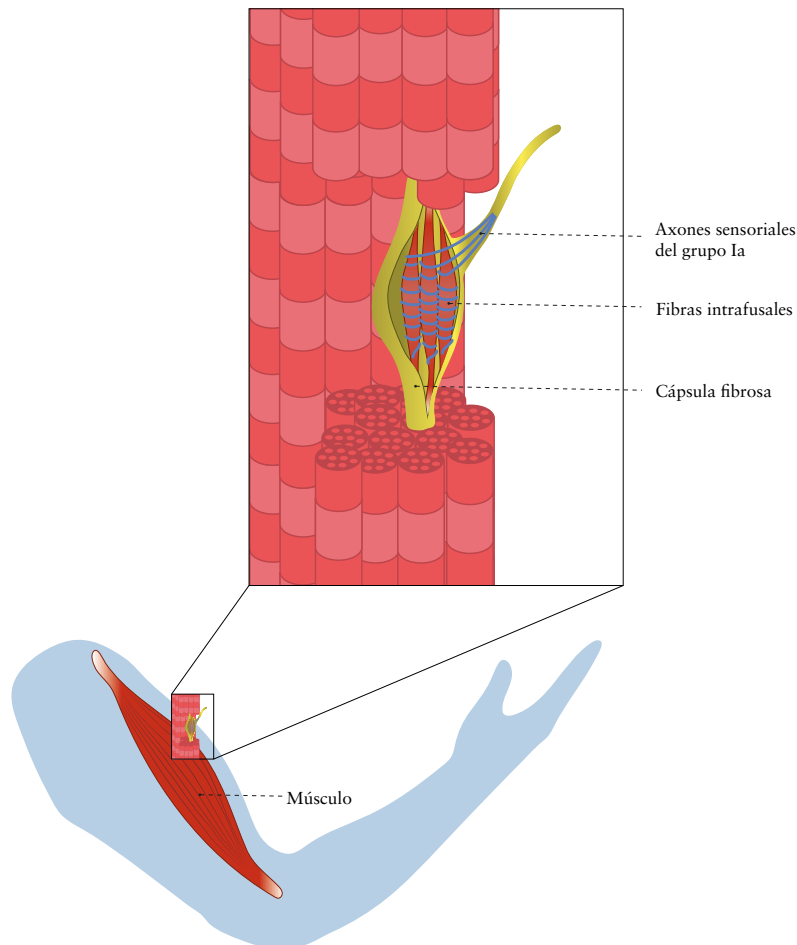
1. Células ciliadas de las máculas utrículo y sáculo
2. Células ciliadas de las crestas de los conductos semicirculares

Receptores musculotendinosos

HUSO NEUROMUSCULAR (figura 152): se ubica de forma paralela a las fibras musculares. En el interior del huso vamos a tener:

- a) Fibras intrafusales: extremos contráctiles del huso, inervadas por gama motoneuronas.
- b) Una porción central que está constituida por fibras ánuloespirales y en ramillete, las que originan fibras sensitivas que comunican directamente con neuronas motoras.

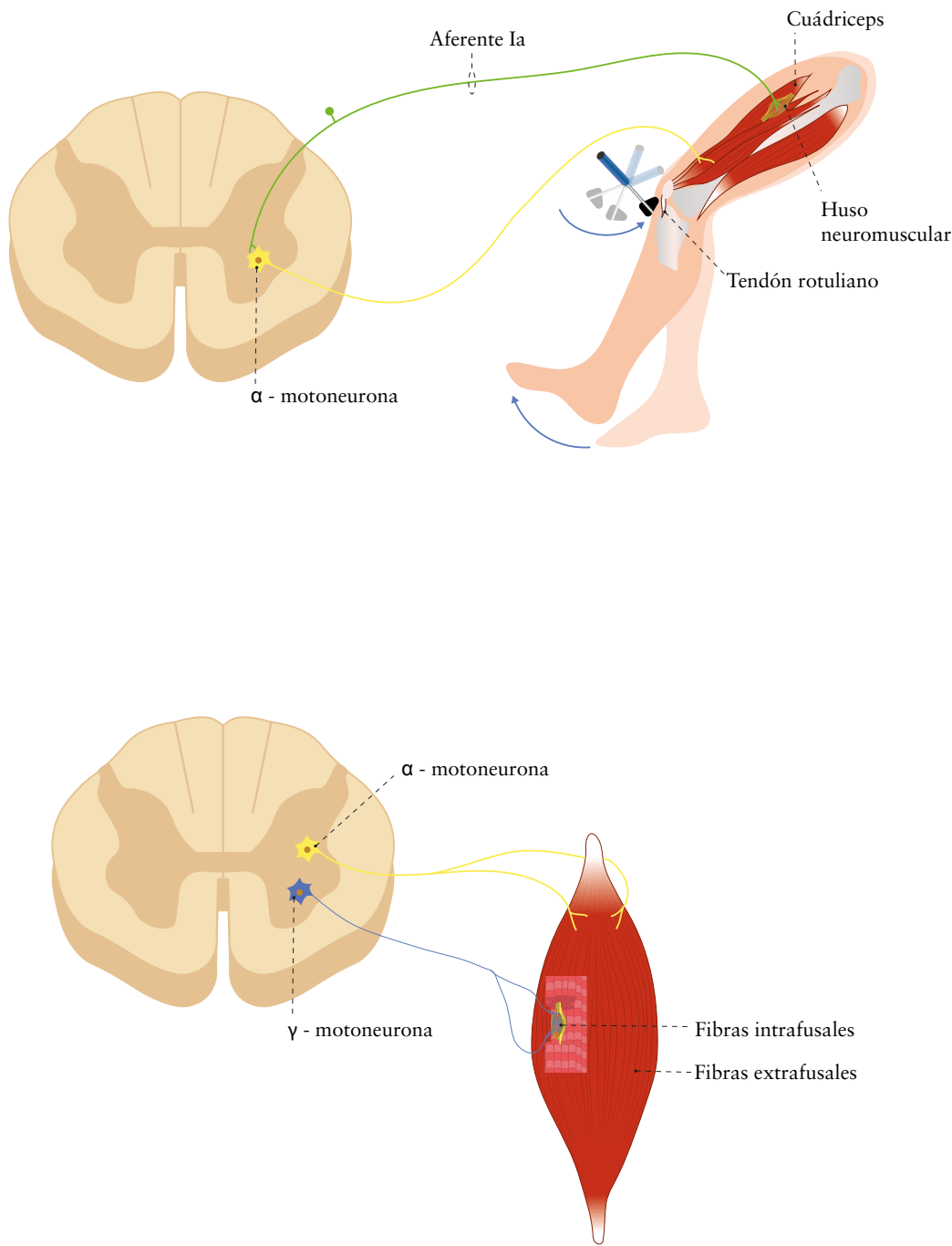
FIGURA 152. Esquema de un huso neuromuscular en el interior de un músculo; nótese que el huso neuromuscular se ubica en paralelo a las fibras musculares. La imagen superior muestra un acercamiento del huso; nótese la inervación de fibras musculares intrafusales.



Cuando el músculo se acorta (contracción isotónica), el huso hace lo mismo, por lo tanto, no descarga. Al estirarse el músculo, el huso también se estira y en ese momento las fibras que se encuentran en el centro descargan y originan una

vía sensitiva, que informa a la motoneurona acerca de la distensión muscular, desencadenando la contracción refleja. Esto ocurre, por ejemplo, en el reflejo patelar (figura 153).

FIGURA 153. En la imagen superior se esquematiza el reflejo patelar. En la imagen inferior se ilustra la innervación que recibe la musculatura intrafusal a través de gama motoneuronas y las fibras extrafusales mediante alfa motoneuronas.

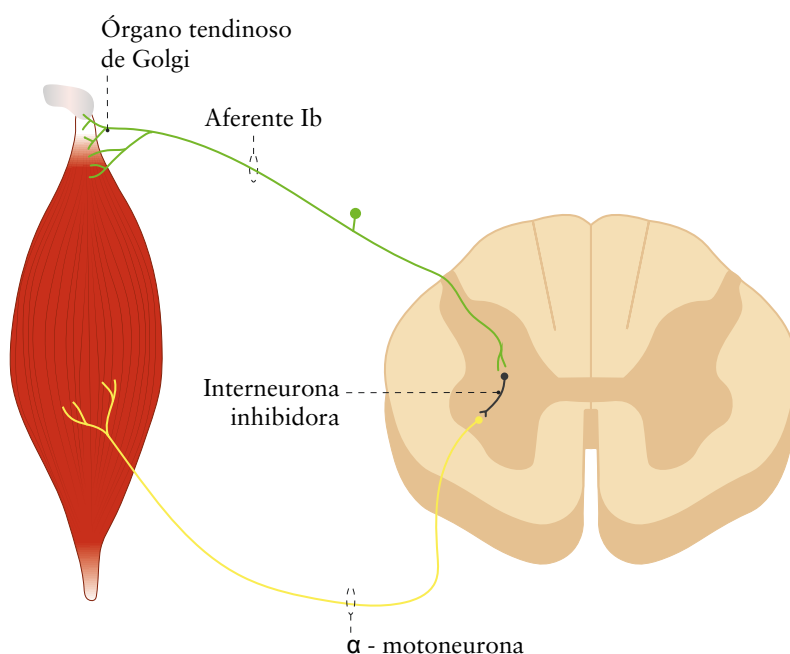


Cuando el músculo y el huso están semicontraídos, existe un mecanismo para mantener la tensión del huso necesaria para la sensibilidad al estiramiento. Si el huso se encuentra colapsado, no va a descargar, es más, puede descargar de manera inhibitoria, tendiendo a inhibir la contracción muscular. Si el huso se encuentra contraído, tiene que haber una forma para distender el huso aun cuando el resto del músculo se encuentre contraído, y esto es lo que hacen las fibras musculares que se encuentran en los extremos, las fibras musculares intrafusales, las cuales son inervadas por las gama motoneuronas. En

una raíz anterior, o porción motora de un nervio espinal, 2/3 son alfa motoneuronas y 1/3 son gama motoneuronas. Por lo tanto, un tercio de la inervación del asta ventral de la médula se dirige a estas fibras intrafusales, de lo que se desprende que existe una fina regulación.

RECEPTORES ÓRGANOTENDINOSOS: informan acerca del grado de tensión que tienen los tendones, que se tensan cuando el músculo se contrae. Cuando el músculo se contrae mucho, se activa el receptor órganotendinoso, entonces el músculo se relaja (figura 154).

FIGURA 154. Esquema de un órgano tendinoso de Golgi en la unión músculo tendínea. Nótese que el receptor se ubica en serie respecto a las fibras musculares y la interacción de la neurona aferente con la interneurona inhibitoria que actúa sobre la motoneurona.



RECEPTORES MUSCULARES UBICADOS DIRECTAMENTE ENTRE LAS FIBRAS: se trata de nociceptores musculares, los cuales, mediante terminaciones nerviosas libres, van a descargar cuando existe daño tisular o acumulación de sustancias derivadas de la actividad muscular excesiva. Su actividad genera una inhibición de la contracción muscular, lo que en clínica se conoce como posiciones antiálgicas. El paciente adopta actitudes motoras que evitan realizar aquellas acciones que ocasionan dolor.

Receptores articulares

CORPÚSCULOS CAPSULARES: son receptores encapsulados que se encuentran en las cápsulas articulares. Los receptores capsulares se ubican tanto en la cara anterior de la articulación como en las caras laterales. Una articulación gínglimo, por ejemplo, que realiza flexión y extensión, tiene receptores capsulares en las regiones laterales de la articulación predominantemente, con el propósito de evitar que se salga de su eje, inhibiendo

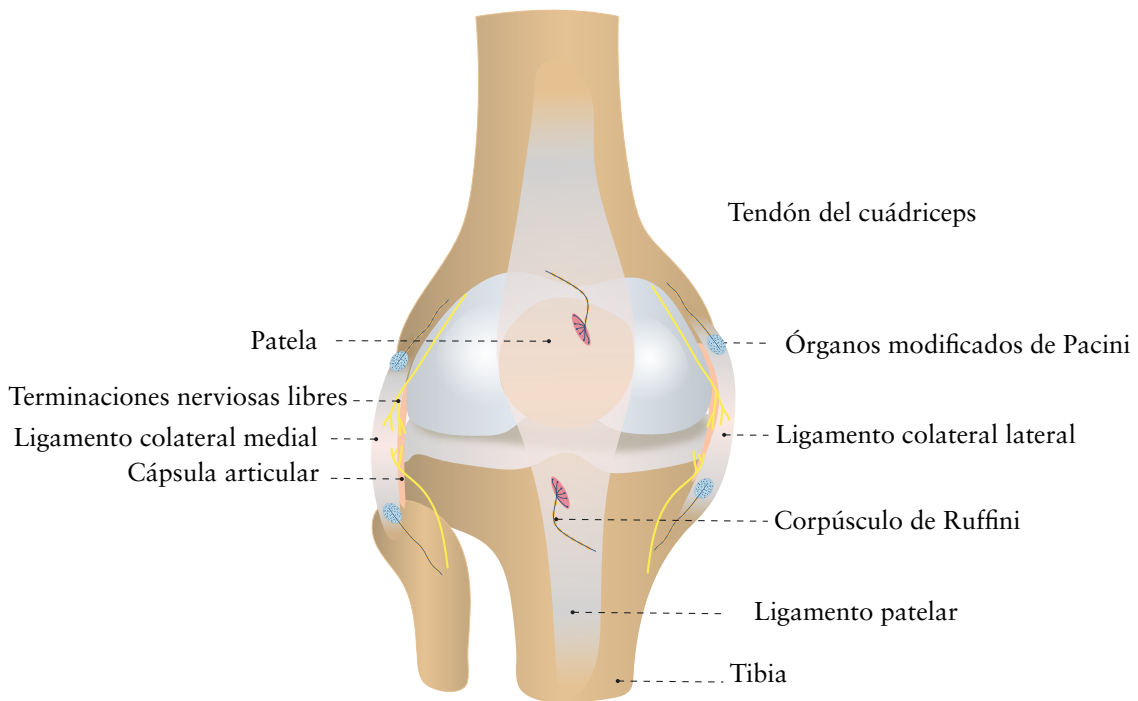
la contracción muscular que la está sacando de su eje. La mayor cantidad de receptores capsulares en la ATM se encuentra en la superficie medial y lateral de la cápsula articular, tratando de impedir que la articulación se desvíe de un eje que le es mecánicamente favorable.

TERMINACIONES ARTICULARES: son terminaciones nerviosas libres de dolor, que permiten sentir dolor en las articulaciones cuando han sido dañadas por trauma, cuando han sido distendidas las cápsulas. Determina la búsqueda de posiciones antiálgicas, para evitar aquella postura muscular que determina dolor articular. Si bien

el dolor se siente, a través de estos receptores se trata de evitar que el sujeto adopte esas posturas, para evitar el dolor.

ÓRGANOS MODIFICADOS DE VATER-PACINI: se ubican fundamentalmente en los ligamentos de refuerzo de las cápsulas. Reaccionan a alta tensión, inhibiendo bruscamente la contracción muscular cuando la articulación está siendo luxada. Cuando una persona se luxa un tobillo, pisa mal o se dobla un pie, la persona cae porque se inhibe la contracción muscular, se relaja bruscamente la musculatura y esto es para evitar que se siga dañando la articulación (figura 155).

FIGURA 155. Esquema de la articulación de la rodilla con los distintos tipos de receptores e innervación que recibe.



Receptores laberínticos

Ubicados en el laberinto del oído interno, específicamente en las células ciliadas de las máculas del utrículo y del sáculo. Estas células ciliadas responden al movimiento de un fluido, que es gelatinoso y posee otolitos (carbonato de calcio) en su espesor, que al agitarse movilizan los cilios, los cuales se despolarizan generando un potencial de acción. Este es un tipo de energía directa, mecánica, una deformación en una membrana, que

origina una apertura de un canal y la regulación de la contracción muscular, en unas partes de manera inhibitoria y en otras de manera excitatoria, dependiendo de la información. Por ejemplo, si estuviéramos cayendo para un lado, se va a contraer más la musculatura del otro lado respecto al que nos está sosteniendo.

Respuestas motoras y actividad nerviosa originada en los propioceptores

A partir de estos tres tipos de receptores ya mencionados, se originan dos tipos de respuestas:

- *Segmentaria*: es una respuesta refleja. Por ejemplo, si golpeamos un tendón del músculo cuádriceps se origina un reflejo patelar y el músculo cuádriceps se contrae, por lo tanto, el receptor que está siendo estimulado es el huso neuromuscular. El receptor órganotendinoso en este caso no se activa, lo hace solo cuando la contracción muscular es tan intensa que existe una potencial lesión de su origen que provoca una inhibición de la contracción muscular.
- *Suprasegmentaria*: generando vías ascendentes, siguiendo las vías correspondientes, ya sean nociceptivas o propioceptivas.

Actividad originada en los husos neuromusculares

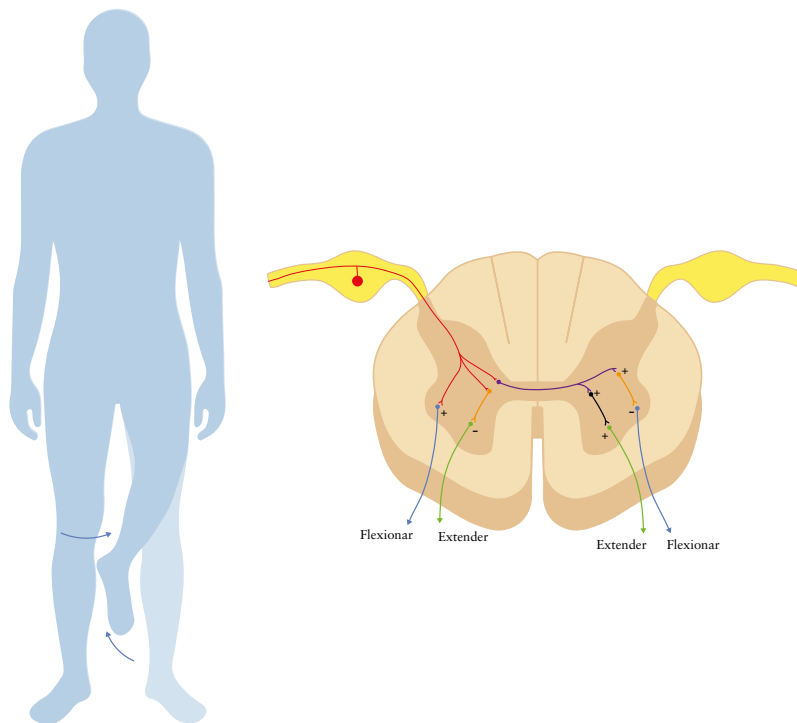
Los receptores originados en los husos neuromusculares van a generar una actividad refleja de dos tipos:

- Reflejo miotático
- Reflejo flexor

Además, originan vías propioceptivas inconscientes.

REFLEJO MIOTÁTICO: corresponde al proceso que desencadena finalmente la contracción muscular al ser estirado un huso neuromuscular. Cuando un músculo se estira también lo hace el huso, provocando la descarga del receptor primario del huso, el que hace sinapsis directamente en la lámina IX de la médula con la motoneurona de ese mismo músculo, lo que determina su contracción. Este proceso ocurre en todo momento en un músculo. Por ejemplo, cuando estamos de pie, hay músculos que impiden que el cuerpo se incline hacia atrás o a otros lados, y eso lo hacen cuando nos estamos inclinando. Un gastrocnemio se estira cuando nos inclinamos hacia delante, entonces el huso se estira y permite que el músculo se contraiga un poco para volver a la posición original (figura 156). El reflejo miotático es un componente importante en la regulación del tono muscular (figura 157).

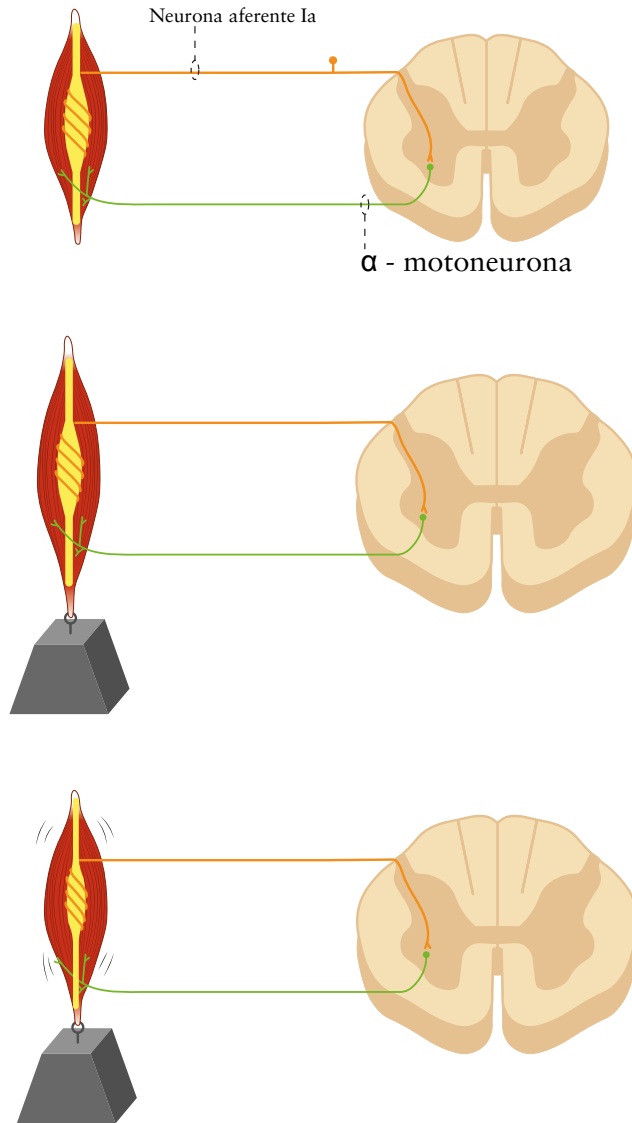
FIGURA 156. Esquema de los eventos medulares necesarios para mantener la postura.



En el reflejo patelar se golpea el tendón del cuádriceps con el objetivo de distender el músculo, y con ello distender también los husos neuromusculares. Descargan las fibras aferentes que

corresponden al receptor primario del huso y estas serán las que sinaptan directamente con las motoneuronas respectivas.

FIGURA 157. Esquema del reflejo miotático, con foco en los eventos medulares



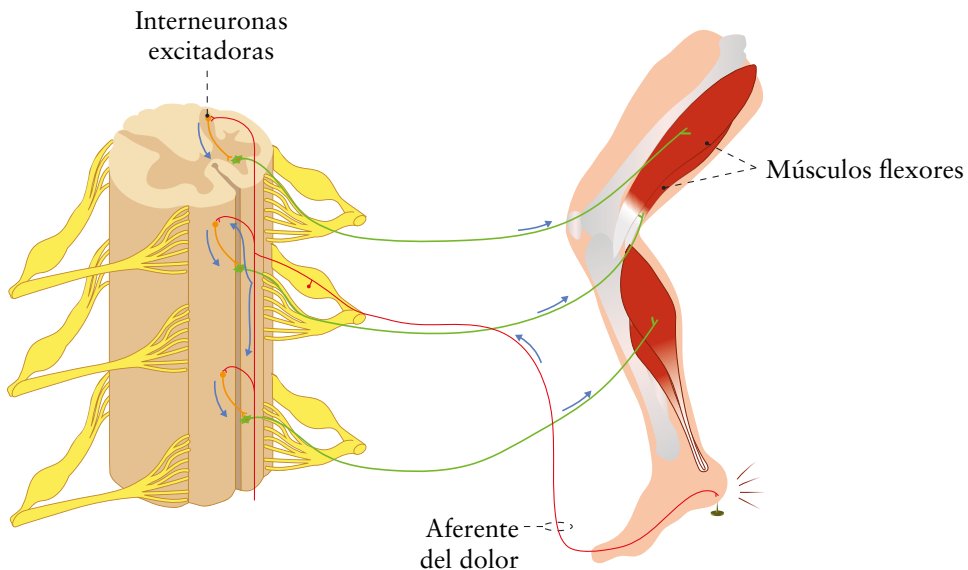
La diferencia entre el reflejo patelar y el reflejo miotático es que en el reflejo miotático hablamos de que un huso muscular determina la contracción de un grupo de fibras musculares –pero un grupo pequeño no suficiente para provocar movimiento–. En cambio, en el reflejo patelar lo que se activa son muchos husos neuromusculares, lo que determina la contracción de muchas fibras musculares intrafusales, por lo que el músculo

cambiará de tamaño y se genera el movimiento. Por tanto, el reflejo patelar no es más que la sumatoria de miles de reflejos miotáticos, que al sumarse determinan que el músculo completo se contraiga y se ejecute el movimiento, por eso es que nosotros desplazamos un segmento y el músculo logra contraerse completamente, lo que no ocurrirá si solamente estimulamos un huso neuromuscular.

REFLEJO FLEXOR (figura 158): es un reflejo de protección, el cual ocupa una fibra aferente de tipo IA, pero que se origina de receptores secundarios en el huso neuromuscular y que además incluye la participación de interneuronas, ya que

en este reflejo existe contracción de algunos músculos y relajación de otros, por tanto, debe haber activación e inhibición de motoneuronas y eso se logra mediante interneuronas. Se excitan los agonistas y se inhiben los antagonistas.

FIGURA 158. Esquema del reflejo flexor con eventos medulares y efectos sobre la musculatura agonista y antagonista.



Actividad originada en los receptores órganotendinosos

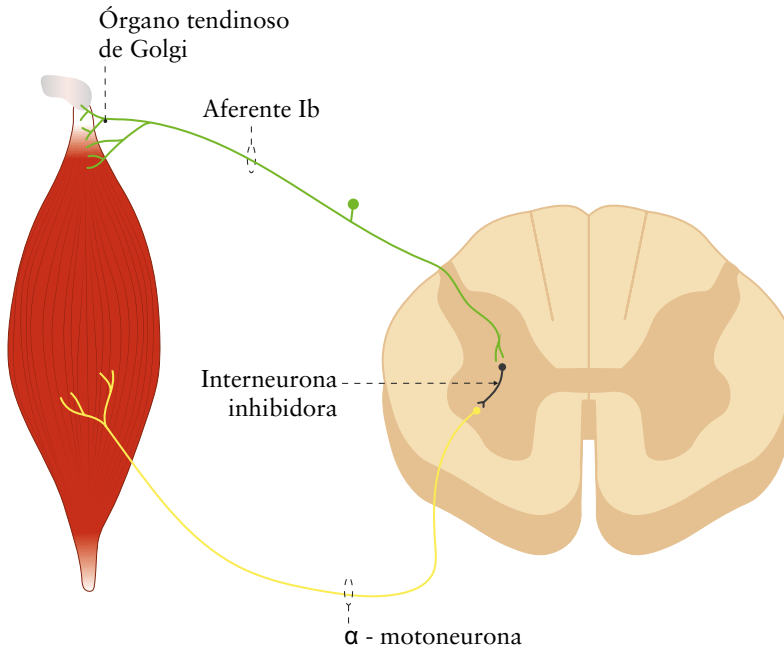
Los receptores órganotendinosos ubicados en las uniones músculotendinosas originan el reflejo miotático inverso y las vías espinocerebelares.

REFLEJO MIOTÁTICO INVERSO (figura 159): se determina cuando el músculo se contrae mucho. Se puede lesionar la inserción o el origen del músculo, por lo que se puede dañar estructuralmente y producir desgarro. En ese momento los receptores órganotendinosos activan fibras aferentes IB, las que se proyectan a una interneurona con la que sinaptan, y será esta la que inhiba a una motoneurona alfa para que cese la contracción.

Por tanto, si realizamos una fuerza muy intensa, en algún momento cierta resistencia es mayor a la que nosotros podemos soportar antes que el músculo se lesione, entonces el músculo claudica. Un ejemplo de esto lo vemos en los levantadores de pesas, que al tomar un peso que es superior al que pueden soportar, llega un punto en que los músculos se relajan; es por eso que en ese instante solo sueltan las pesas, dejándolas caer al piso en vez de dejarlas suavemente. Por ello decimos que esto es producto de la inhibición refleja, que se logra por la activación de los receptores órganotendinosos, o sea, es un reflejo de protección.

Estos receptores órganotendinosos también originan vías espinocerebelares de propiocepción inconsciente.

FIGURA 159. Esquema del reflejo miotático inverso.



Actividad originada en los receptores musculares propiamente dichos

En el espesor de las fibras musculares existen fibras de neuronas mielinizadas y amielínicas de pequeño tamaño que corresponden a fibras A δ y de tipo C, y estas neuronas originan una vía a través del sistema espinotalámico lateral, o sea, originan la vía para el dolor. También originan vías reflejas, que son inhibitorias para la contracción muscular cuando se necesita obtener posturas antiálgicas.

La información proveniente de los receptores articulares genera vías propioceptivas conscientes que van a seguir la vía de la columna dorsal lemnisco medio. Las articulaciones son el principal método de nuestro organismo para darse cuenta de la sinestesia. Cuando llega a la corteza somatosensorial primaria y se integra luego en la corteza parietal posterior, en este punto, se experimenta la sinestesia, es decir, la construcción de la imagen corporal de manera dinámica. La sinestesia nos permite saber dónde están las partes de nuestro cuerpo sin necesidad de verlas.

Control encefálico del movimiento

Diversas regiones encefálicas van a regular la función motora. Para hacerlo, deberán proyectar, de manera directa o indirecta, vías hacia la neurona motora inferior.

Para realizar un movimiento complejo, voluntario, altamente planificado, se requiere la activación de porciones de nuestra corteza cerebral que están encargadas justamente de la planificación. Se activa la corteza prefrontal, y a través de la corteza prefrontal la corteza premotora, que planifican, coordinan y luego ejecutan el movimiento a través de un sistema que se origina en la corteza motora primaria y que es la vía córticoespinal. El grado e intensidad de contracción de los músculos, la coordinación de los que están adyacentes a los que va a realizar la acción y que están colaborando con el movimiento, es decir, la precisión de los movimientos escapa del dominio cortical y cae en el ámbito de algunas formaciones que son subcorticales y que tienen una influencia sobre la regulación (control fino de los movimientos). Estas formaciones subcorticales forman parte de

núcleos de la base y están muy relacionadas con la función del cerebelo.

En general los núcleos de la base y otra serie de estructuras que van a relacionarse con ellos van a originar vías indirectas que van a descender y van a modular la respuesta de la neurona motora inferior, mientras que la vía corticoespinal lo hace de manera directa (principal diferencia entre los dos sistemas).

TRACTOS ESPINALES DESCENDENTES: información que descende en busca de la neurona motora inferior por medio de dos sistemas (figura 160):

1) *Sistema lateral:* incluye los tractos córticoespinales y tractos rubroespinales

2) *Sistema ventromedial:* descende por los cordones anteriores y está constituido por el tracto retículo espinal (bulbar y pontino), el vestíbulo espinal y el tectoespinal

SISTEMA LATERAL: los tractos córticoespinales se originan en la lámina V del área 4 de Brodmann en la corteza motora primaria. O sea, es una neurona piramidal cuyo axón basal sale de la corteza y recorre el centro oval, luego la cápsula interna, el pedúnculo cerebral, el pie del pedúnculo, el pie del mesencéfalo, ordenada o somatotópicamente, recorren las pirámides bulbares y llegan al bulbo caudal, donde se cruzan para descender por el cordón lateral de la médula contralateral y llegar finalmente al asta ventral de la médula. Allí sinaptan de manera directa sobre las motoneuronas de la lámina IX o de manera indirecta a través de interneuronas de la lámina VIII.

El resto de las vías que modulan la función motora las llamaremos vías extrapiramidales, porque no se originan en neuronas piramidales de la corteza motora primaria. Las vías extrapi-

ramidales incluyen una vía del sistema lateral y todo el sistema ventromedial.

El otro componente del sistema lateral se origina en el núcleo rojo, el cual tiene dos componentes: un componente magnocelular y un componente parvocelular. Este sistema se origina del componente magnocelular, desde donde parten estas neuronas, que cruzan a nivel de bulbo y descienden cruzadas como tracto rubroespinal, que luego se incorporan al cordón lateral de la médula. También llegan directa o indirectamente a las motoneuronas.

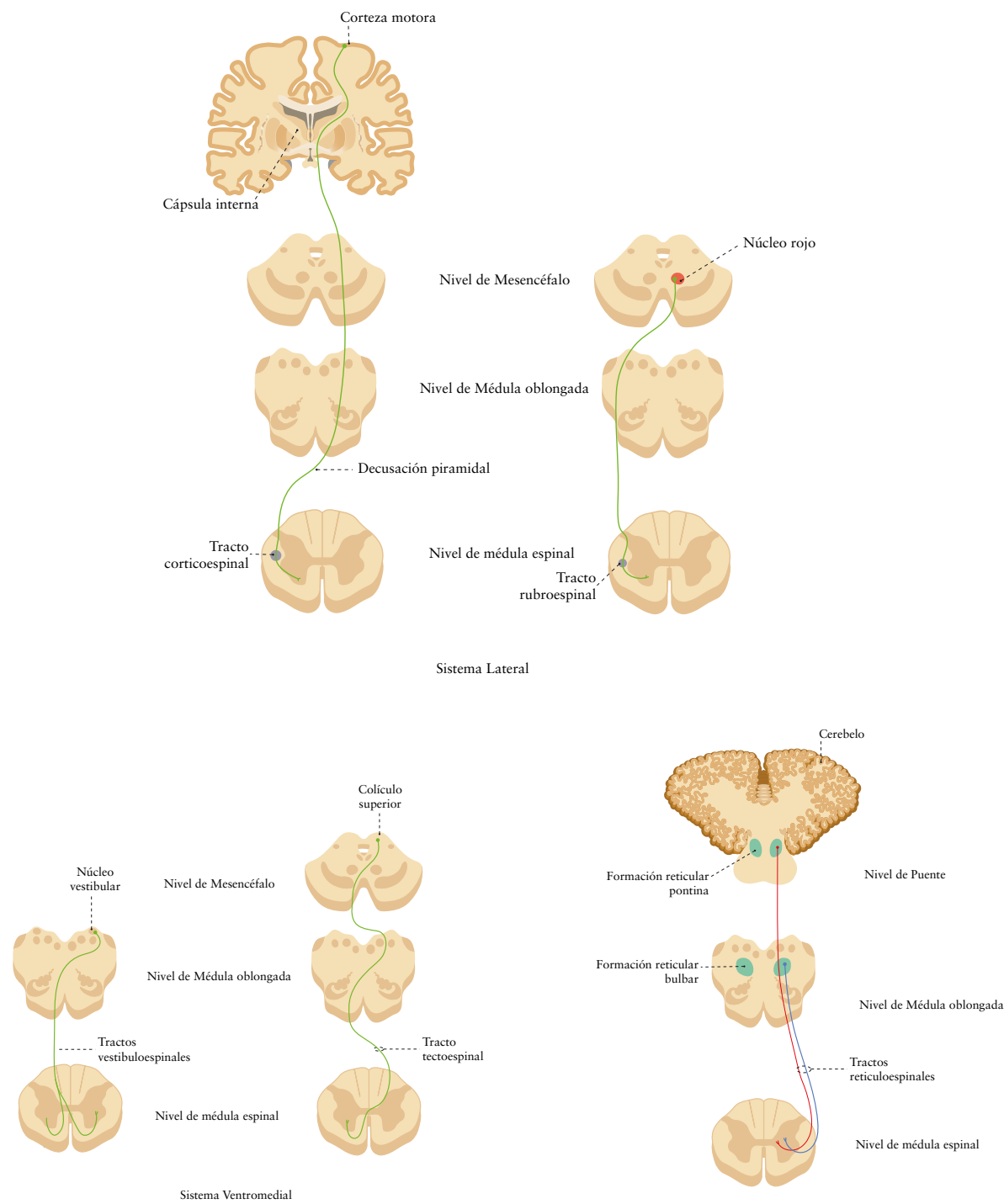
SISTEMA VENTROMEDIAL: se origina de núcleos vestibulares, constituyendo el tracto vestibuloespinal; a partir del colículo superior, constituyendo el tracto tectoespinal; y de la sustancia reticular bulbar y pontina, constituyendo el tracto retículoespinal.

El tracto vestibuloespinal descende, cruzándose a nivel bulbar, y luego descende por los cordones anteriores en forma bilateral. El tracto tectoespinal decusa a nivel del mesencéfalo y descende por el cordón anterior de la médula contralateral. Los tractos retículoespinales descenden de manera ipsilateral la mayor parte.

Las neuronas, tanto del sistema lateral como del ventromedial, influyen a las neuronas de la lámina IX y especialmente a las interneuronas de la lámina VIII de manera ordenada, es decir, existe una organización somatotópica destinada a cierto tipo de motoneuronas en particular.

Todas estas neuronas que determinan la formación de los sistemas lateral y ventromedial constituyen las motoneuronas superiores, las cuales van a modular la actividad de la motoneurona inferior.

FIGURA 160. Esquema de los sistemas lateral y ventromedial, desde sus orígenes corticales y en el troncoencefálico hasta su posición, formando vías en la médula.



Planificación del movimiento

En la corteza frontal premotora se encuentra el centro de planificación de movimientos com-

plejos que lo requieren. Por ejemplo, para la planeación de un swing para realizar un hoyo en el golf, se necesita medir distancias, elegir instrumentos adecuados, calcular dirección del viento, etcétera. Esos movimientos se integran a nivel de

corteza premotora, la que modula a la corteza motora primaria.

En la corteza de este tipo predominan las neuronas piramidales gigantes, que miden aproximadamente 100 micras y que se ubican en la lámina V de la corteza del área 4 de Brodmann fundamentalmente.

Núcleos de la base

Se trata de un conjunto de núcleos dispersos que se originan en el telencéfalo, diencefalo y mesencéfalo. Tienen organización funcional que determina que algunos núcleos de la base reciban información y otros emitan o envíen información. Los que reciben información se denominan núcleos de input y los que envían información a otros territorios son núcleos de output. La comunicación entre ellos estará dada por núcleos intrínsecos.

El núcleo caudado, el núcleo accumbens y una parte del núcleo lentiforme constituyen el cuerpo estriado, que es una unidad funcional del circuito motor.

El núcleo lentiforme tiene dos partes: una externa, denominada putamen, y una interna, denominada pálido, dividida a su vez en un pálido lateral y otro medial.

El putamen, el caudado y el accumbens constituyen entonces el estriado, y constituyen también los núcleos del input, los cuales son los que reciben información de toda la corteza, especialmente de la corteza de asociación y de la corteza frontal.

Otro componente es el tálamo, especialmente los núcleos ventrolateral, dorsolateral y dorsomedial. El tálamo es una vía de fuga, o sea, saca la información y la proyecta a la corteza; si bien la información la recibió de toda la corteza, envía solo información a la corteza premotora, área 6 de Brodmann.

Cuando la corteza de asociación determina la necesidad de un movimiento complejo cualquiera, debemos planificarlo. La voluntad y predisposición para ese movimiento la otorgará la corteza de asociación especial y la corteza prefrontal, que emiten comunicación con el cuerpo estriado que determina cómo realizar este movimiento. El estriado recibe esta información y se comunica con el resto de los núcleos del circuito motor para luego originar una respuesta, que cuando

está lista llega al tálamo, y el tálamo la envía a la corteza premotora, que se encarga de ordenar el movimiento complejo y estimular a la corteza motora primaria para que determine una vía corticoespinal, modulándose así la información que va a constituir esta vía corticoespinal.

Los otros componentes del circuito motor son el núcleo subtalámico y la sustancia negra. Esta última se ubica en relación al mesencéfalo, al pie del pedúnculo cerebral, separando el pie del pedúnculo cerebral del tegmento mesencefálico. Esta sustancia negra tendrá dos porciones: una parte reticular y una parte compacta. Entre ambas estructuras (sustancia negra y núcleo subtalámico) tendremos una zona menos delimitada, denominada área tegmental ventral.

Entonces los núcleos que constituyen este circuito motor forman parte del telencéfalo (putamen, caudado y accumbens), parte del diencefalo (núcleo subtalámico y los tres núcleos del tálamo) y del mesencéfalo (sustancia negra y área tegmental ventral).

El pálido medial del núcleo lentiforme y el núcleo subtalámico se van a comunicar con el tálamo, constituyendo vías de salida del circuito motor que deben pasar por el tálamo. Estos son llamados núcleos de output. En tanto que pálido lateral y la sustancia negra, más el área tegmental ventral, van a estar constituyendo los núcleos intrínsecos, que se comunican con otros núcleos del circuito motor, o sea, no emiten ni reciben información de afuera.

Entonces, a partir de la corteza frontal, prefrontal y de asociación de cualquier sitio, la información se proyecta al circuito motor, el cual se proyecta al tálamo, y este modula la corteza premotora que modulará la corteza motora primaria.

La alteración del circuito motor origina una alteración en los movimientos involuntarios. Origina un temblor constante que cesa cuando la persona realiza un acto motor mediado por la corteza motora primaria, es decir, un acto absolutamente voluntario. Cuando realizamos un acto absolutamente voluntario, mediado por la corteza motora primaria, el circuito motor no actúa, por lo cual cesa el temblor corporal. Esta enfermedad se conoce con el nombre de Parkinson, la cual es producida por la degeneración de las neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra.

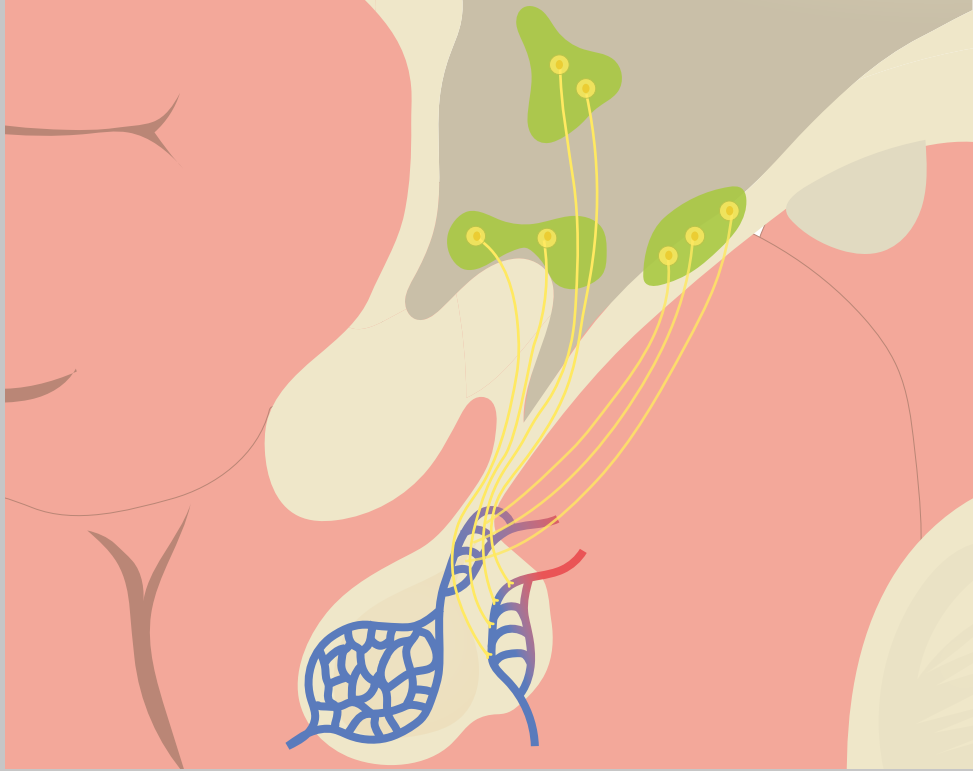


► CAPÍTULO XIII



Regulación de las funciones viscerales





En neurobiología, el adjetivo visceral se utiliza para la innervación del músculo liso, cardíaco y las células secretoras de todas las regiones corporales. La función primaria de la innervación visceral es mantener una óptima homeostasis. Esto se consigue con la regulación de órganos y vísceras relacionadas con la digestión, circulación, respiración, mantenimiento de la temperatura corporal, excreción y reproducción. Además de los reflejos viscerales, la actividad del músculo liso, cardíaco y glándulas se alteran por influencias desde niveles encefálicos, sobre todo en respuesta a las emociones y el medio ambiente.

Las funciones viscerales van a ser controladas por dos sistemas principales: uno endocrino, cuyos efectos tardan más en manifestarse y son más prolongados, y otro nervioso, de respuestas más rápidas, pero de menor duración.

Ambos sistemas, a su vez, son controlados por el hipotálamo, el cual fue descrito en el capítulo correspondiente como una estructura del diencefalo, dispuesto en relación con el ventrículo mediano, de posición anteroinferior al tálamo, del cual se separa por el surco hipotalámico. El hipotálamo ocupa las paredes de la región infundibulotubérica. Neurofuncionalmente está organizado en tres grupos de núcleos dispuestos en sentido mediolateral.

Los **núcleos periventriculares** del hipotálamo se relacionan estrechamente con el tercer ventrículo y están compuestos por núcleos delgados que se relacionan con la hipófisis anterior.

Los **núcleos mediales** del hipotálamo se relacionan con la producción de vasopresina y oxitocina y con el control del sistema nervioso autónomo.

Los **núcleos laterales** se encuentran separados del resto de los núcleos hipotalámicos por el paso de la columna del fórnix. Esta región recibe aferencias desde el córtex límbico y se relaciona con las respuestas viscerales y conductuales asociadas a las emociones, para lo que establece conexiones con distintas regiones del hipotálamo y del tronco encefálico.

Hipófisis (figura 161)

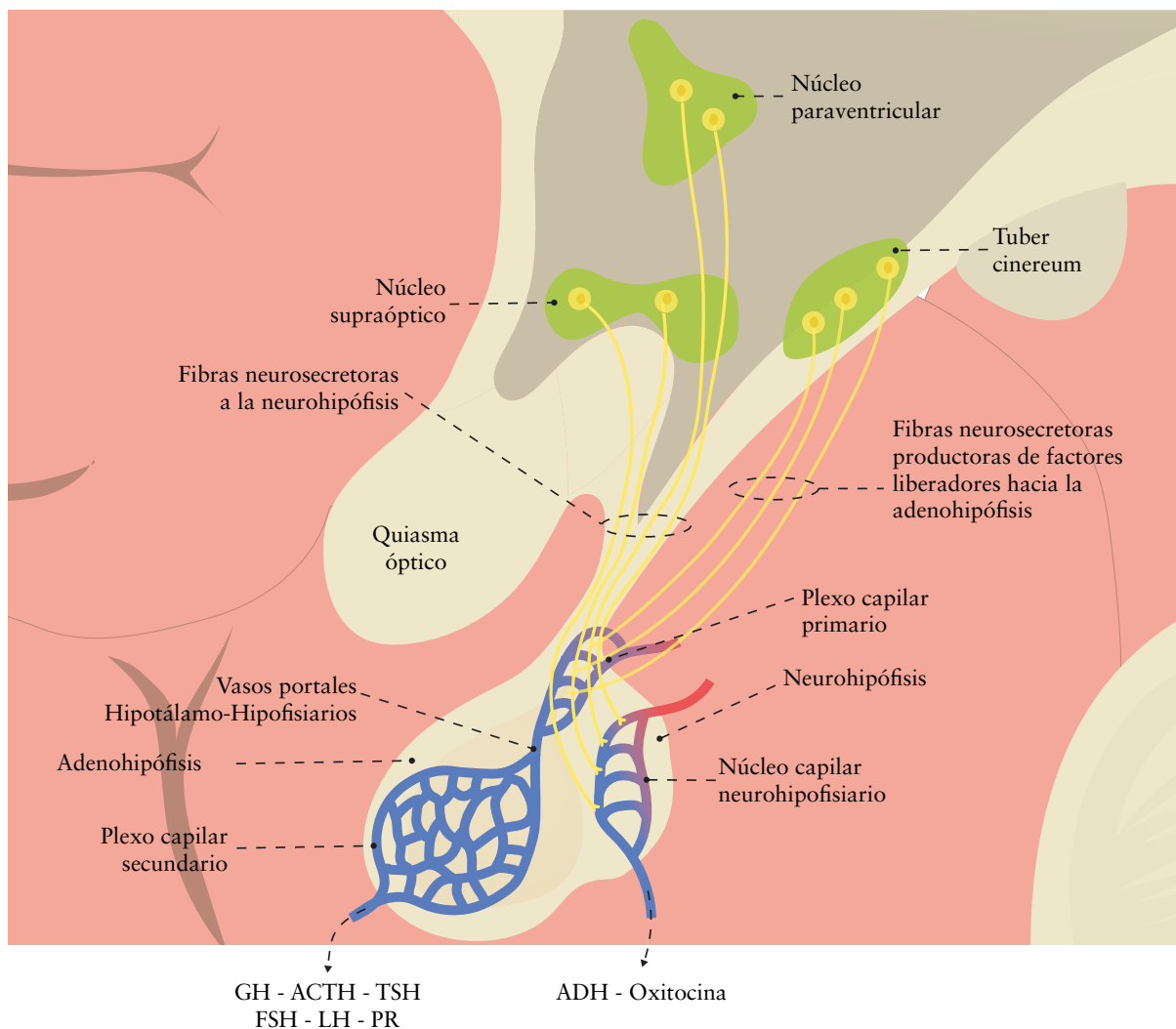
La hipófisis es una estructura compleja y corresponde a la fusión de una glándula endocrina, la hipófisis anterior, con una prolongación del hipotálamo, la hipófisis posterior. Esta complejidad se explica en su desarrollo. Por una parte, la hipófisis anterior deriva de una evaginación del ectodermo anterior a la membrana bucofaríngea, denominada bolsa de Rathke, mientras que la hipófisis posterior derivará del neuroectodermo diencefálico. En algunos mamíferos existe una *pars intermedia*, que se origina de la pared posterior de la bolsa de Rathke, pero en el humano es rudimentaria.

Anatómicamente, el hipotálamo está comunicado con la hipófisis a través de una estructura en forma de embudo que luego forma un tallo, es el tracto infundibular.

La hipófisis anterior es controlada mediante neuronas periventriculares parvocelulares (de pequeño tamaño). Este control lo realizan a través de un sistema vascular especializado, denominado sistema porta hipofisiario, y corresponden a hormonas que tienen un efecto en la liberación o la inhibición de las hormonas hipofisiarias. De esta forma las neuronas periventriculares parvocelulares están especializadas para la producción de neurohormonas que se liberan a la sangre en un circuito local (sistema porta hipofisiario) y modulan la actividad de la adenohipófisis.

La hipófisis posterior es una proyección de neuronas magnocelulares de los núcleos paraventricular y supraóptico del grupo hipotalámico medial. Estas neuronas producen oxitocina y vasopresina, las cuales son neurohormonas peptídicas que vierten directamente en los capilares fenestrados que se encuentran en la hipófisis posterior y de esta forma se introducen a la circulación mayor para ir en busca de sus órganos blancos. En su trayecto, los axones de las neuronas magnocelulares paraventriculares y supraóptica constituyen anatómicamente el tallo hipofisiario.

FIGURA 161. Esquema de la hipófisis anterior y posterior con su relación con los núcleos hipotalámicos, su mecanismo portal y secreción directa en la hipófisis posterior.



Organización del sistema nervioso autónomo (figura 162)

El sistema nervioso autónomo difiere del sistema nervioso central, porque controla vísceras destinadas a la nutrición, ejerciendo una actividad que escapa casi totalmente de la conciencia y, por lo tanto, de la voluntad. Dispone de núcleos y vías nerviosas propias que interactúan con los troncos simpáticos paravertebrales, a los cuales se les declara una autonomía que en realidad no poseen. Las vías vegetativas se distribuyen en plexos con ganglios en su trayecto. Los centros ner-

viosos vegetativos se distribuyen por el encéfalo y la médula espinal y las vías utilizan el sistema nervioso periférico para distribuirse.

La innervación eferente de las vísceras se realiza mediante dos sistemas que se organizan en paralelo, el sistema simpático y el parasimpático, aunque distintos, tanto por su organización anatómica como por la naturaleza de sus neurotransmisores. Ambos sistemas tienen un control superior desde el hipotálamo; no obstante, buena parte de sus funciones ocurre a nivel segmentario. En general, la mayor parte de las estructuras viscerales recibe innervación de ambos sistemas y estos actúan de manera antagónica. Esta des-

cripción es una generalización y existen variadas excepciones.

El sistema simpático nos prepara para la lucha y fuga. De esta forma actúa aumentando la frecuencia cardíaca y respiratoria, distribuyendo sangre en los miembros, dilatando la pupila, entre otras respuestas.

El parasimpático se asocia a funciones que buscan recuperar el estado basal de reposo y de protección, disminuyendo la frecuencia cardíaca y respiratoria, aumentando la motilidad digestiva, contrayendo la pupila, etcétera.

Desde el punto de vista anátomo funcional, ambos componentes del sistema nervioso autónomo se organizan como un sistema de dos neuronas que sinaptan en un ganglio, por lo que se denominan preganglionar y postganglionar.

Las neuronas preganglionares se encuentran siempre en componentes del sistema nervioso central, mientras que los ganglios son periféricos. En ellos las sinapsis son colinérgicas (mediadas por acetilcolina), mientras que las neuronas postganglionares simpáticas utilizan noradrenalina y las parasimpáticas acetilcolina. La excepción la constituyen algunas estructuras que solo son inervadas por el simpático, como las glándulas sudoríparas, cuya inervación es colinérgica.

Sistema parasimpático

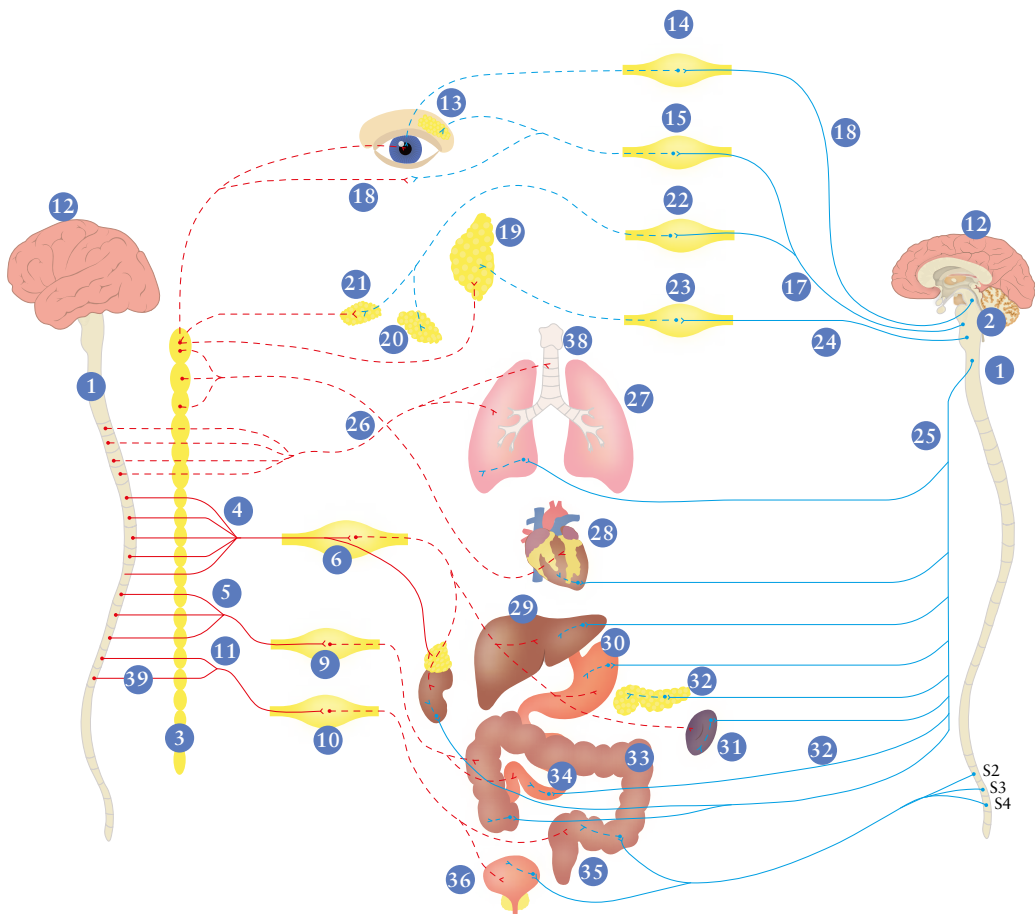
En el parasimpático los cuerpos de las neuronas preganglionares se encuentran en núcleos del tronco encefálico y de la médula sacra. Las acciones de este sistema incluyen disminución de la velocidad y fuerza del latido cardíaco, aumento en la actividad del sistema digestivo (promoción de la propulsión y la secreción), vaciamiento de la vejiga urinaria y tumefacción del tejido genital eréctil. Como ya se mencionó, la acetilcolina es el neurotransmisor entre neuronas pre y postganglionares, pero también entre los contactos

postganglionares y el órgano efector, por lo que el sistema parasimpático es colinérgico.

En el tronco encefálico las encontramos formando parte de las columnas eferentes viscerales generales, constituyendo los siguientes núcleos (figura 163):

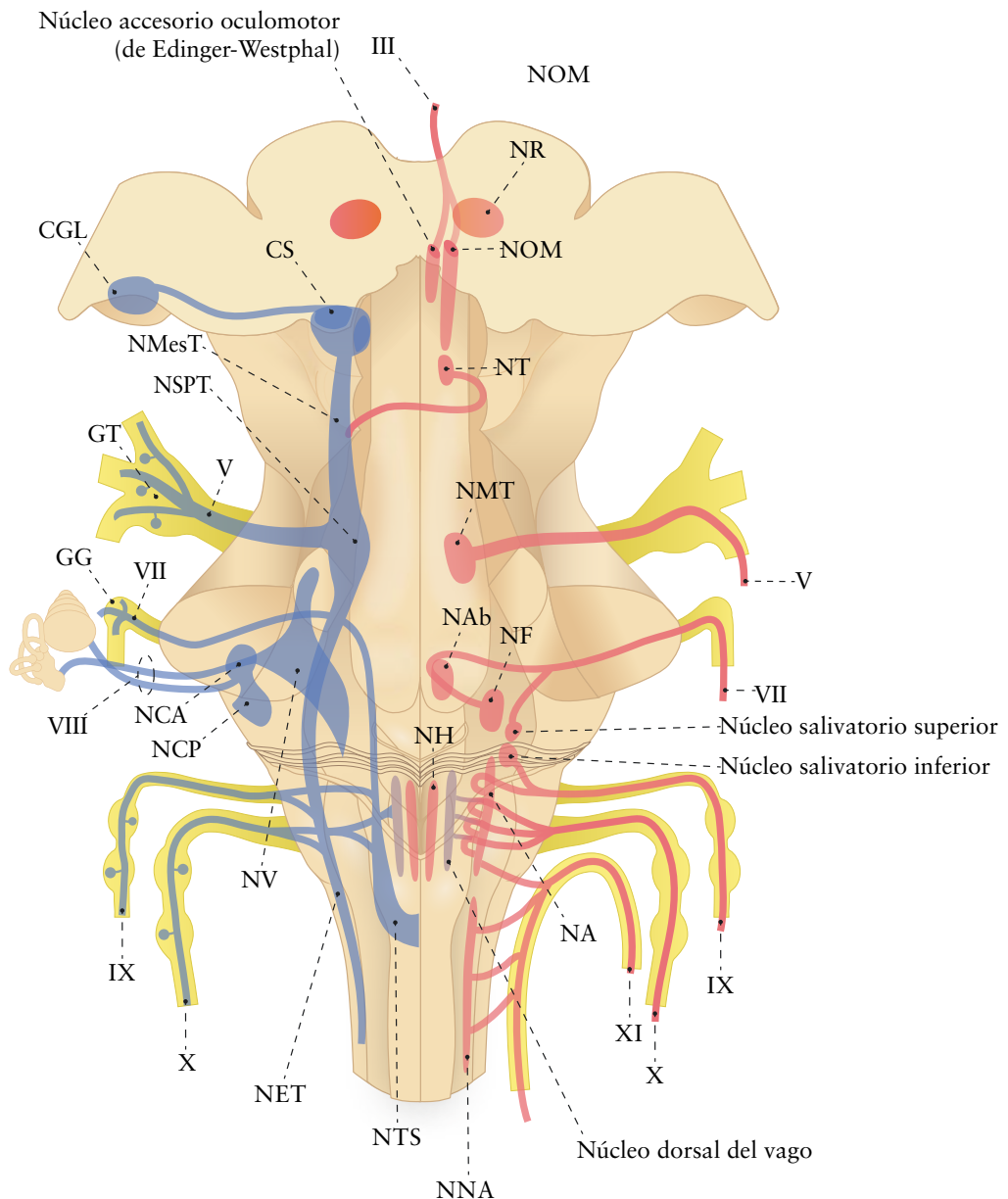
1. El núcleo accesorio del oculomotor (Edinger-Westphal), de ubicación mesencefálica y participa en el reflejo pupilar. Las neuronas preganglionares que se originan en este núcleo salen junto al nervio oculomotor para llegar al ganglio ciliar, donde sinaptan con la postganglionar, la cual sale del ganglio junto con los nervios ciliares cortos.
2. El complejo salivatorio superior, que se ubica en el puente y se considera origen real del nervio facial. Este núcleo tiene dos porciones: una superior, denominada lacrimomuconasal, y otra inferior, el núcleo salivatorio superior propiamente tal. Ambas emergen junto al nervio facial. El primero llega al ganglio pterigopalatino, a partir del cual las fibras postganglionares se incorporan al ramo cigomático del nervio maxilar que lo lleva a la glándula lagrimal; el segundo alcanza los ganglios submandibular y sublingual, a través del nervio lingual mixto, y determina la secreción de saliva de consistencia serosa o acuosa.
3. Núcleo salivatorio inferior, de ubicación bulbar, es considerado origen real del nervio glosofaríngeo. Sus fibras preganglionares llegan al ganglio ótico y las postganglionares alcanzan la parótida transportadas por el nervio auriculotemporal del trigémino.
4. Núcleo motor dorsal del vago, llamado también cardioneumogastroentérico, por su distribución. Tiene ubicación bulbar y se considera origen real del nervio vago. Las neuronas preganglionares se distribuyen junto al nervio vago hasta alcanzar los ganglios entéricos que se organizan en torno al estómago, intestino y colon proximal.

FIGURA 162. Organización del sistema nervioso autónomo, sus principales estructuras y vísceras que inerva.



1. Médula espinal	14. Ganglio oftálmico	27. Pulmón
2. Bulbo	15. Ganglio esfenopalatino	28. Corazón
3. Cadena simpática paravertebral	16. Nervio oculomotor	29. Hígado
4. Nervio esplácnico mayor	17. Nervio facial	30. Estómago
5. Nervio esplácnico menor	18. Mucosa nasal	31. Bazo
6. Ganglio celíaco	19. Glándula parótida	32. Páncreas
7. Glándula suprarrenal	20. Glándula submaxilar	33. Intestino grueso
8. Riñón	21. Glándula sublingual	34. Intestino delgado
9. Ganglio mesentérico superior	22. Ganglio submaxilar	35. Recto
10. Ganglio mesentérico inferior	23. Ganglio ótico	36. Vejiga
11. Nervio esplácnico lumbar	24. Nervio glossofaríngeo	37. Nervios pelvianos
12. Encéfalo	25. Nervio vago	38. Tráquea
13. Glándula lacrimal	26. Fibras postganglionares simpáticas	39. Fibras preganglionares simpáticas

FIGURA 163. Esquema de los núcleos parasimpáticos del tronco encefálico con sus nervios de emergencia. Columnas nucleares aferentes y eferentes; orígenes de nervios craneanos. III. Nervio oculomotor, VII. Nervio facial, VIII. Nervio vestibulococlear, IX. Nervio glosofaríngeo, X. Nervio vago, XI. Nervio accesorio, CGL. Cuerpo geniculado lateral, CS. Colículo superior, GG. Ganglio geniculado (Rodilla del nervio facial), GT. Ganglio trigeminal (de Gasser), NA. Núcleo ambiguo, NAb. Núcleo abducens, NCA. Núcleo coclear anterior, NCP. Núcleo coclear posterior, NET. Núcleo espinal del trigémino, NF. Núcleo facial, NH. Núcleo hipogloso, NMesT. Núcleo mesencefálico del trigémino, NMT. Núcleo motor del trigémino, NNA. Núcleo del nervio accesorio, NOM. Núcleo oculomotor, NR. Núcleo rojo, NSPT. Núcleo sensitivo principal del trigémino, NT. Núcleo troclear, NST. Núcleo del tracto solitario, NV. Núcleos vestibulares.



Orígenes sacros del parasimpático

Además de los grupos nucleares del tronco encefálico, el parasimpático tiene orígenes en la médula sacra. Las neuronas preganglionares del parasimpático sacro se encuentran en la región intermediolateral de los segmentos S2, S3 y S4 y salen de la médula a través de las raíces motoras de los nervios espinales de estos segmentos. Los ganglios se encuentran próximos a los órganos y las postganglionares aportan inervación al colon distal, recto, vejiga, próstata, tejidos eréctiles del clítoris y pene (figura 162).

Sistema simpático

El sistema simpático estimula actividades que se acompañan de gasto de energía. Incluyen aceleración del corazón, incremento de la fuerza del latido cardíaco, elevación de la presión arterial y redirección del flujo sanguíneo a los músculos esqueléticos a expensas de la circulación visceral y cutánea. Las respuestas simpáticas se observan de manera más notable durante las situaciones de estrés y urgencia. Como se comentó anteriormente el neurotransmisor utilizado para sinapsis pre y postganglionares es acetilcolina, pero en las sinapsis entre neuronas postganglionares y órgano efector utiliza noradrenalina, por esta razón se dice que el sistema simpático es noradrenérgico. Este sistema tiene su origen exclusivamente en la médula espinal, en los segmentos C8-L2 en la región intermediolateral, lámina VII de Rexed, la cual es visible macroscópicamente como asta lateral de la médula.

Los ganglios del simpático forman la cadena paravertebral, una cadena de 20-25 pares de ganglios macroscópicos que en la región cervical tienden a fusionarse, por lo que no existen ocho pares de ganglios, sino un ganglio cervical superior, muy voluminoso, y otros cervical medio e inferior de menor tamaño. En la región toracolumbar, en cambio, se disponen metaméricamente.

Las fibras preganglionares simpáticas salen de la médula junto a las raíces anteriores de los nervios espinales C8-L2 y se incorporan al nervio espinal, para luego salir de él con el nombre de ramos comunicantes blancos que se dirigen a la cadena paravertebral.

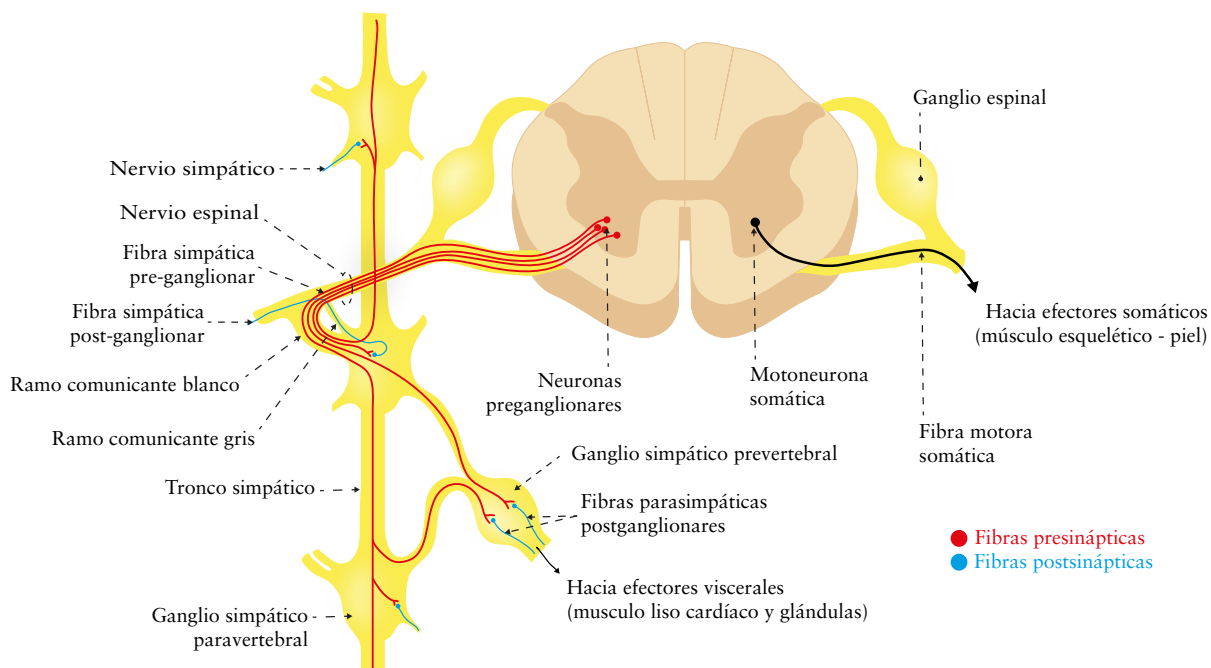
En la cadena paravertebral, el ramo comunicante blanco puede:

1. Realizar sinapsis a ese nivel.
2. Ascender y realizar la sinapsis en un ganglio ubicado superiormente.
3. Descender y realizar sinapsis en un ganglio ubicado inferiormente.
4. Salir sin sinaptar en la cadena paravertebral, constituyendo un nervio esplácnico.

Una vez que la fibra preganglionar ha sinaptado en algún ganglio de la cadena (posibilidades 1, 2 o 3), sale de la cadena y se dirige al nervio espinal que se encuentra más próximo, con el nombre de ramo comunicante gris.

Si la fibra preganglionar no sinapta en la cadena paravertebral, sino que sale como nervio esplácnico (posibilidad 4), la sinapsis la realizará en ganglios ubicados próximos a las vísceras o en sus paredes (intramurales), muchos de los cuales son microscópicos.

FIGURA 164. Esquema del comportamiento de las fibras simpáticas preganglionares que salen de la médula, siguiendo la raíz anterior. Nótese su relación con los ganglios de la cadena parevertebral.



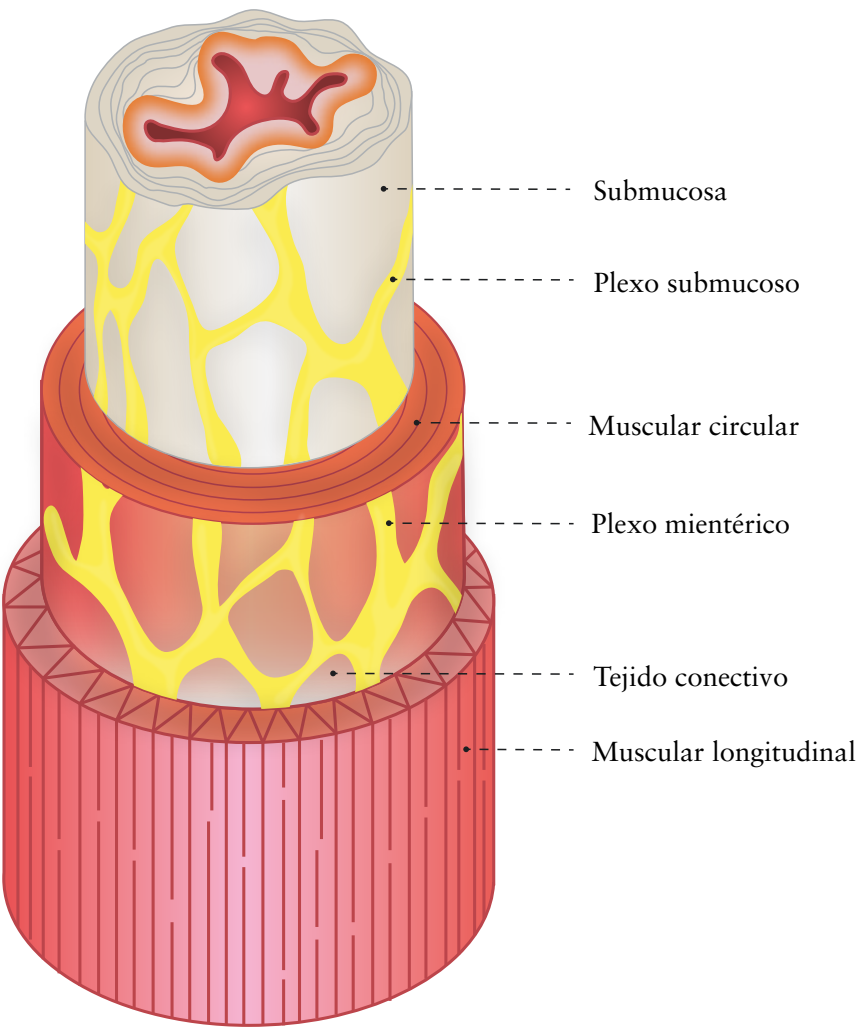
Sistema nervioso entérico (figura 165)

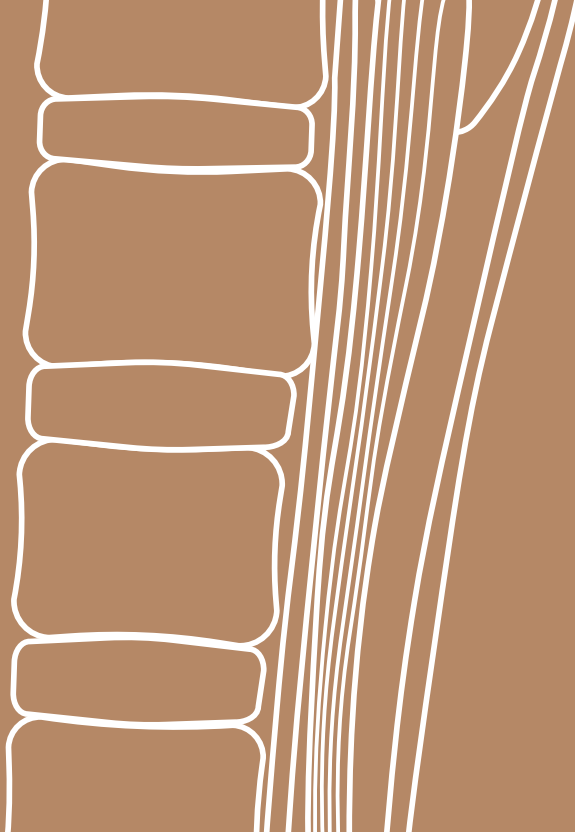
Además de los sistemas simpático y parasimpático, existe un tercer sistema que participa en el control visceral, denominado sistema nervioso intramural, debido a que se dispone formando plexos y ganglios en las paredes de algunas vísceras. Su mayor expresión la encontramos en relación con el tubo digestivo y anexos, por lo que se suele llamar sistema nervioso entérico.

El sistema nervioso entérico está representado por un plexo submucoso, el más interno, ubicado entre la capa muscular interna y la túnica mucosa de la pared del tubo digestivo; y un plexo mientérico, que se ubica en la túnica muscular, entre

la capa muscular circular interna y la longitudinal externa. El sistema nervioso entérico presenta gran autonomía y su función se realiza principalmente mediante reflejos segmentarios. No obstante esta autonomía, su función es modulada por el sistema parasimpático que modula la motilidad, la secreción y los procesos de absorción.

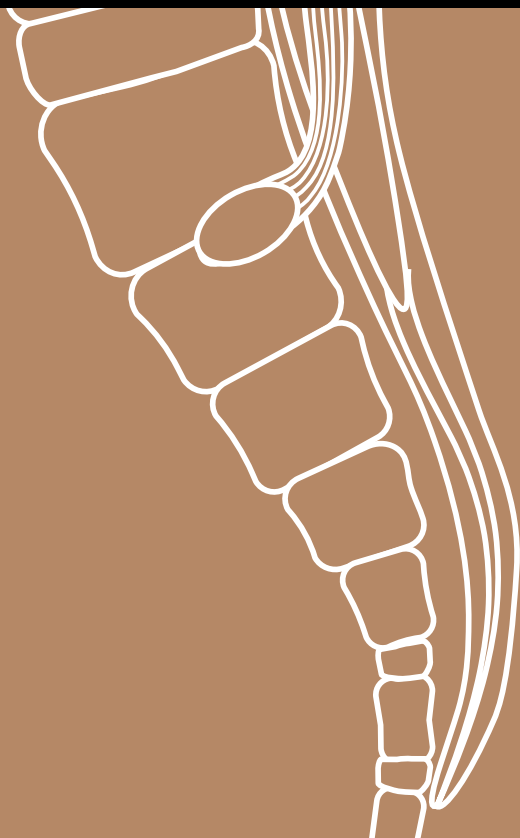
FIGURA 165. Esquema de una sección de tubo digestivo. Se observa el lumen del intestino revestido de mucosa, seguido de un plexo submucoso y luego el plexo mientérico ubicado entre la capa de fibras musculares circulares y longitudinales.

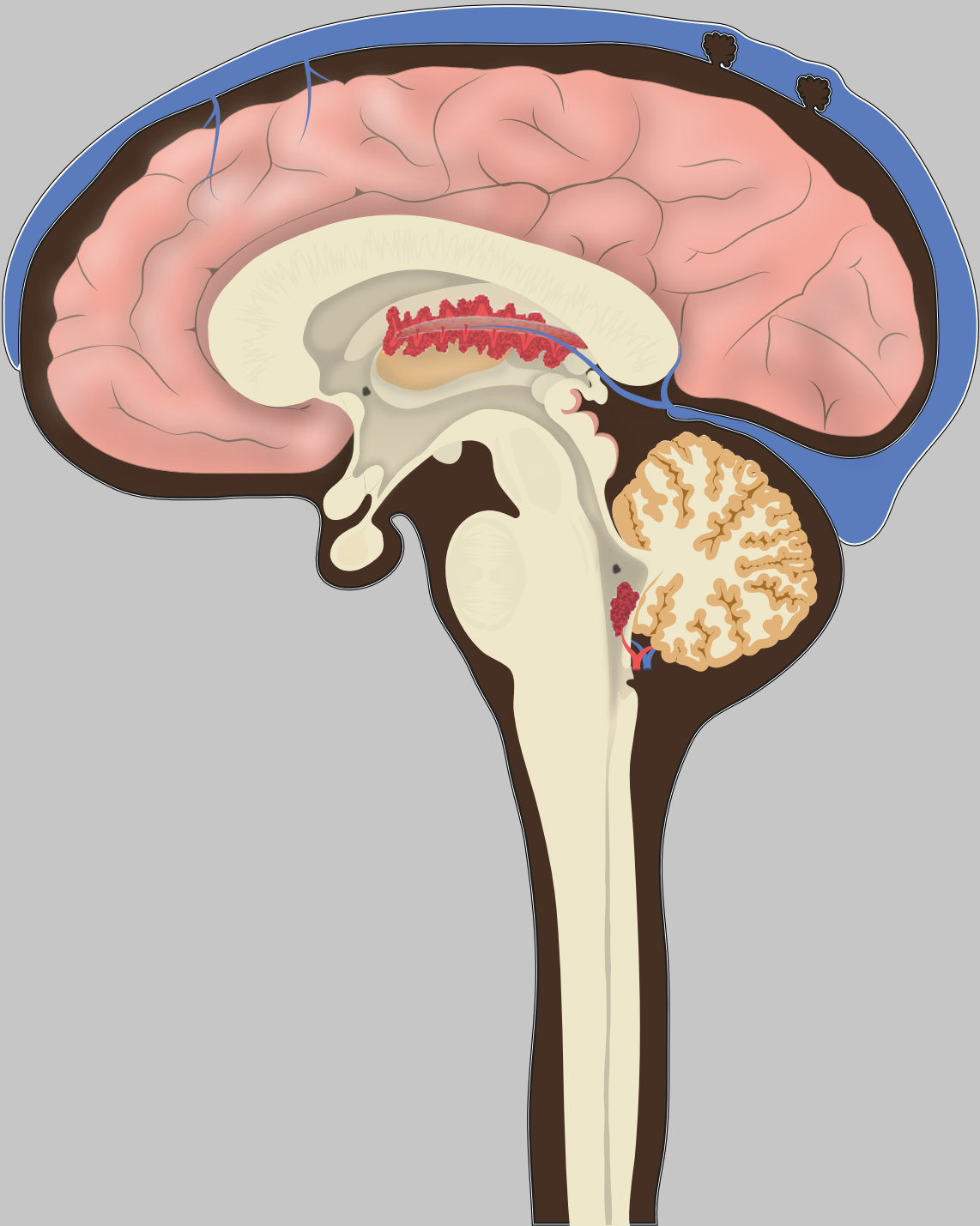




CAPÍTULO XIV

**Meninges, líquido cerebroespinal, ventrículos
encefálicos y espacios subaracnoideos**





Meninges

El sistema nervioso central se encuentra envuelto completamente en un conjunto de membranas denominadas meninges. Estas rodean el encéfalo y la médula, pero también el nervio óptico y el comienzo del trayecto de los nervios craneales y espinales. Las meninges son tres: la más externa, la duramadre o paquimeninge; una meninge intermedia, denominada aracnoides; y una meninge interna, que se pone en contacto con la superficie del encéfalo y médula, denominada piamadre. A la aracnoides y piamadre se les llama también leptomeninges.

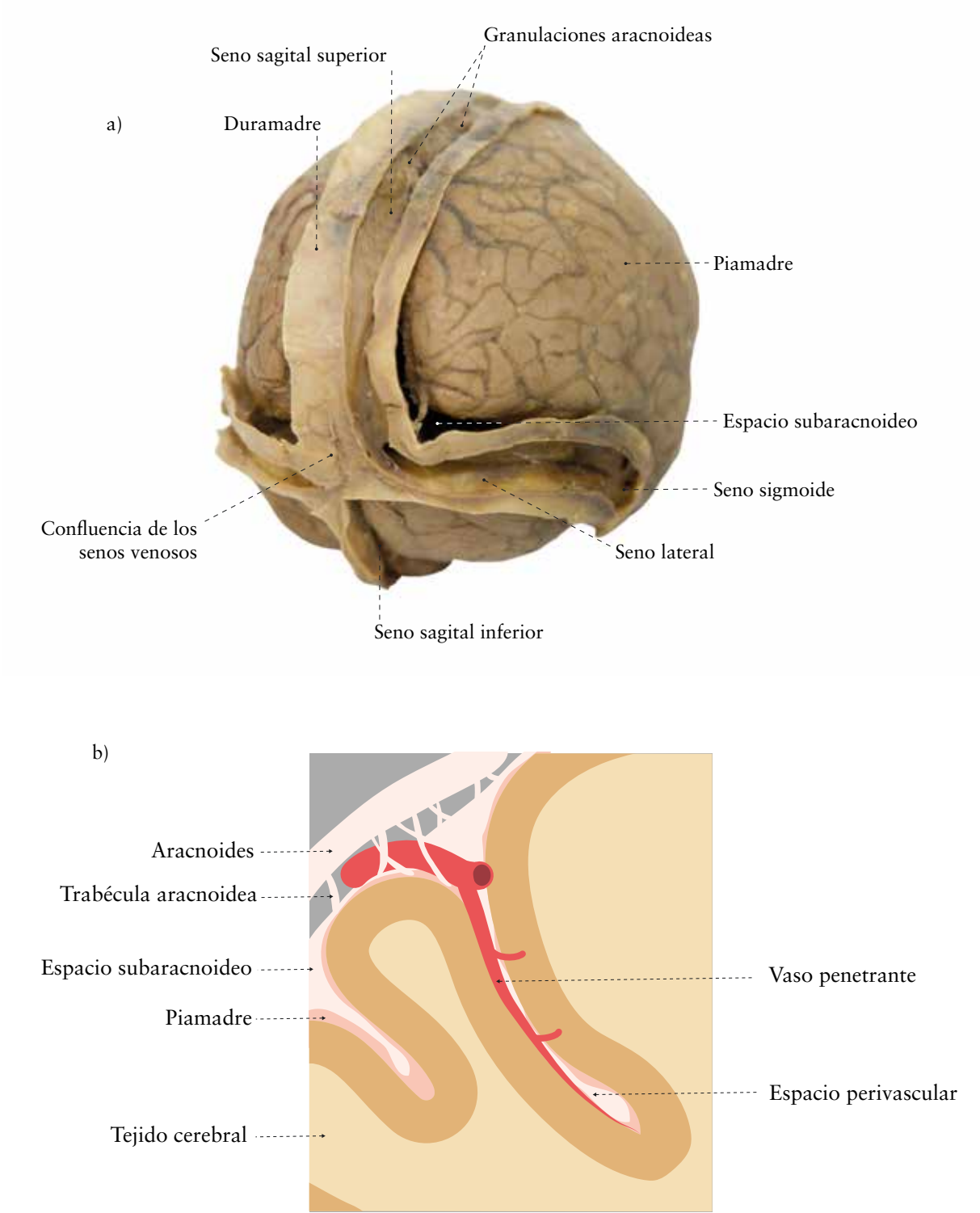
La duramadre tiene aspecto de tela transparente, nacarada e inextensible. Está constituida por tejido fibroso y contiene una gran cantidad de vasos sanguíneos y nervios sensitivos (figura 166a). La duramadre se comporta de manera diferente en relación con la médula y con el encéfalo. La duramadre espinal no se pone en contacto con la pared del canal vertebral; está separada de él por un espacio real denominado espacio epidural, en el que encontramos grasa semifluida y plexos venosos. La duramadre craneal o encefálica, en cambio, se encuentra adherida a la superficie interna del cráneo y su constitución es bilaminar, con una hoja parietal, adherida al cráneo y que reemplaza al periostio de los huesos por su cara endocraneal, y una hoja visceral que mira hacia la superficie del encéfalo. Entre la duramadre encefálica y el cráneo circulan los vasos meningeos, en un espacio que se hace real cuando estos vasos se rompen, produciendo un hematoma en el espacio extradural. La duramadre craneal está inervada principalmente por colaterales de las tres divisiones del nervio trigémino. Entre las hojas parietal y visceral de la duramadre craneal se establecen conductos voluminosos, revestidos de endotelio y que llevan sangre venosa, son los

senos venosos de la duramadre y son estudiados en el capítulo de vascularización. La hoja visceral de la duramadre origina prolongaciones sagitales, denominadas falces (hoz), que encontramos entre los hemisferios cerebrales y en el cerebelo; prolongaciones horizontales, denominadas tentorios o tiendas, como la que constituye el techo de la fosa craneal posterior, el tentorio cerebelar; cavidades o cavum, como la cavidad trigeminal.

La aracnoides se encuentra entre la duramadre y la piamadre, formando un entramado como una tela de araña, de ahí su nombre. Está compuesta por una delgada capa de tejido conectivo, recubierta externa e internamente por una capa de células aplanadas. El espacio entre la aracnoides y la piamadre se denomina espacio subaracnoideo, que contiene líquido cerebroespinal y por él circulan las arterias encefálicas.

La piamadre es la meninge más interna, está constituida por una delgada capa de tejido conectivo, revestida por una monocapa de células epiteliales planas por su cara aracnoidea y por su cara que se relaciona con el tejido nervioso; en esta, las células epiteliales piales están unidas por desmosomas y uniones nexó. Entre la piamadre y el tejido nervioso existe un pequeño espacio denominado subpial donde encontramos tejido conectivo y pequeños vasos arteriales y venosos, que están penetrando en el tejido nervioso. El espacio subpial termina formando una hendidura denominada espacio de Virchow-Robín. La piamadre se introduce en los surcos y fisuras de las estructuras del sistema nervioso central, cuando se retira mediante disección, sale acompañada de una gran cantidad de pequeños vasos que se encuentran en el espacio subpial, por lo que tiene el aspecto de membrana muy vascularizada (figura 166b).

FIGURA 166. A. Fotografía de las meninges canales disecadas con encéfalo in situ. Se observa duramadre seccionada para permitir visualizar los hemisferios cerebrales y los senos venosos abiertos con las granulaciones aracnoideas. También se muestra una arteria en el espacio subaracnoideo. B. Esquema de las relaciones que establece un vaso arterial penetrante hasta el espacio perivascular de Virchow Robin y tejido nervioso.



Líquido cerebroespinal

El líquido cerebroespinal (LCE) es un líquido incoloro que circula por el interior de los ventrículos encefálicos y el espacio subaracnoideo. Se produce principalmente en los plexos coroideos de los ventrículos y secundariamente en el epéndimo que reviste las cavidades ventriculares, lo hace a razón de 0,35 ml/min o unos 500 ml por día. Un adulto contiene en promedio unos 150 ml de LCE.

El LCE desempeña importantes funciones. Primero, es un soporte físico para el SNC, ya que flota dentro de este fluido. Segundo, favorece la excreción de sustancias solubles en agua que tienen dificultades para atravesar la barrera hematoencefálica. Tercero, actúa como vehículo para el transporte de sustancias químicas que son producidas por algunas neuronas y liberadas en los ventrículos, para luego ser captadas por otras células ubicadas en las paredes ventriculares (figura 167).

El LCE producido en los ventrículos pasa al espacio subaracnoideo a través de sitios muy precisos en el techo del cuarto ventrículo, denominados agujeros mediano (de Magendie) y laterales (de Luschka). El espacio subaracnoideo forma un espacio continuo, dispuesto en torno al sistema nervioso central encefálico y medular que en algunos sitios se ensancha dando origen a lagunas denominadas cisternas.

La reabsorción del LCE ocurre en las granulaciones aracnoideas, ubicadas en torno al seno

sagital superior. De esta forma, el líquido cerebroespinal se vierte a la circulación venosa hacia la circulación general. Dado que la producción del LCE es continua en los plexos coroideos, debe existir un equilibrio con la reabsorción para evitar el aumento de presión del LCE.

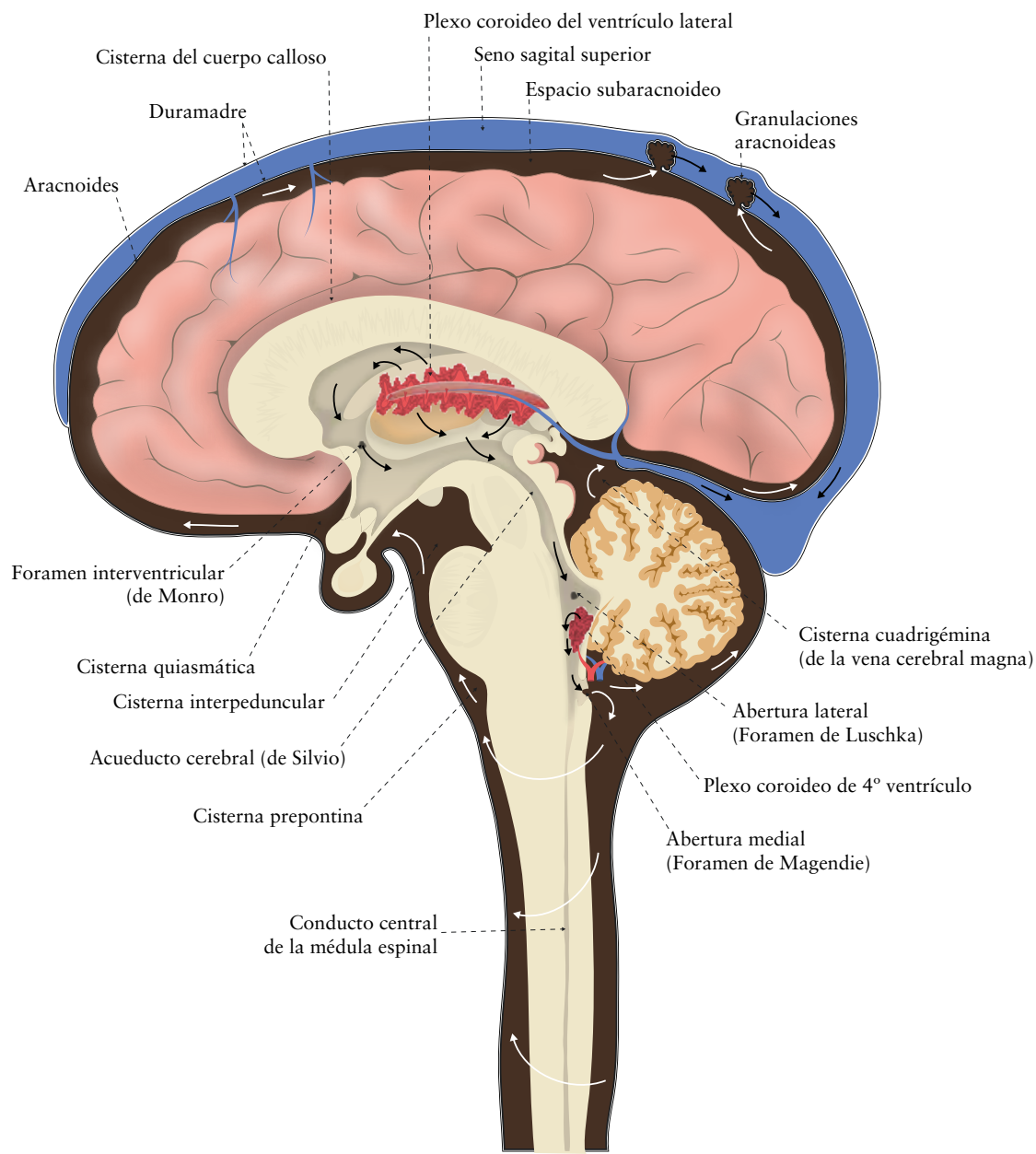
Composición

La composición del líquido cerebroespinal es muy similar a la del plasma sanguíneo, siendo las variaciones principales la menor presencia de proteínas (se calcula que en el plasma sanguíneo la presencia de proteínas es doscientas veces mayor) y el tipo de electrolitos que forman parte de él.

Una solución de base acuosa, el líquido cerebroespinal tiene diversos componentes de gran importancia para el mantenimiento del sistema nervioso, como vitaminas (especialmente del grupo B), electrolitos, leucocitos, aminoácidos, colina y ácido nucleico.

Dentro de esta gran cantidad de elementos, en el líquido cerebroespinal destaca la presencia de albúmina como principal componente proteico, junto con otros como la prealbúmina, alfa-2-macroglobulina o la transferrina. Al margen de estos componentes destaca la elevada presencia de glucosa, teniendo alrededor de entre un 50 y 80% de presencia en esta solución tan vital para el sistema nervioso central.

FIGURA 167. Esquema de la circulación del líquido cerebroespinal.

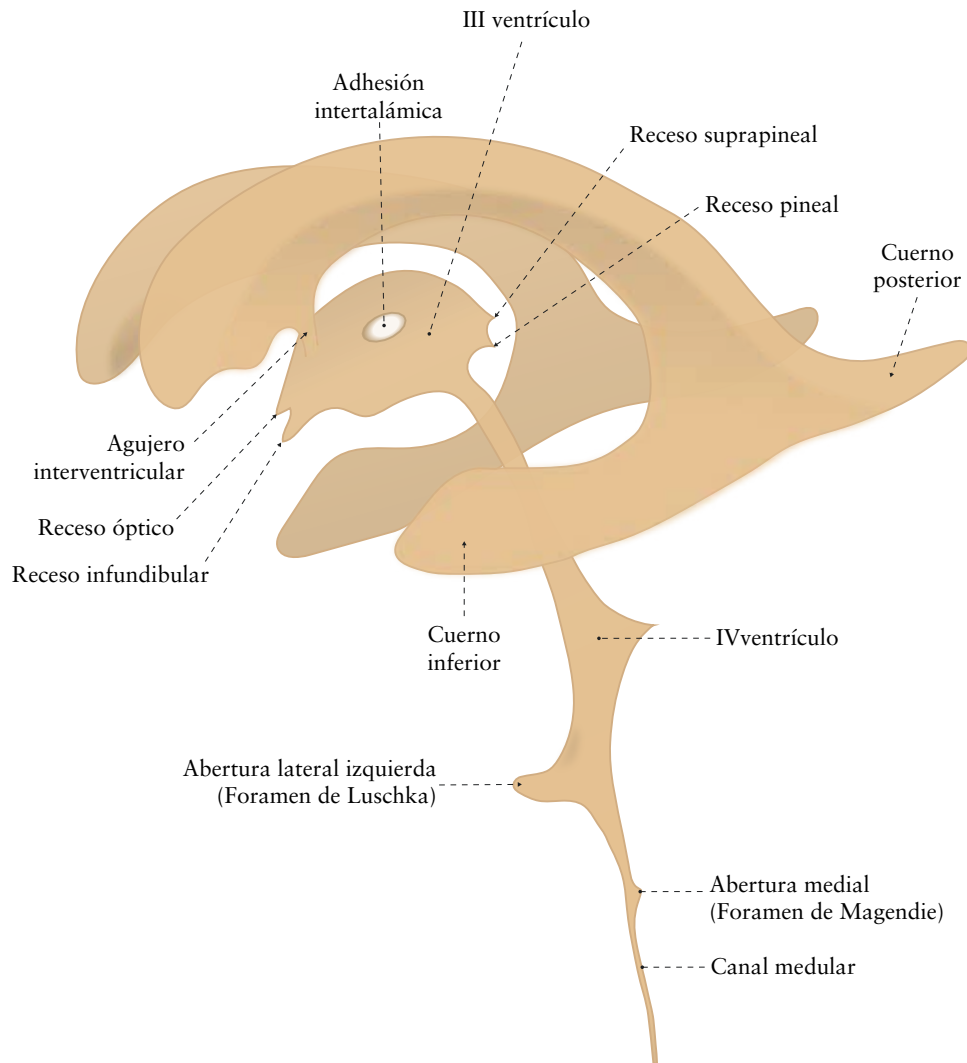


Sistema ventricular

Si recordamos la embriología, el tubo neural presenta una cavidad revestida de epéndimo, la cual comienza a ensancharse en la cuarta semana de desarrollo. Estos ensanchamientos constituyen

las vesículas telencefálicas, diencefálicas y romboencefálicas, que en el encéfalo van a persistir como cavidades ventriculares, con el nombre de ventrículos laterales, mediano y cuarto ventrículo, respectivamente (figura 168).

FIGURA 168. Esquema del sistema ventricular encefálico.

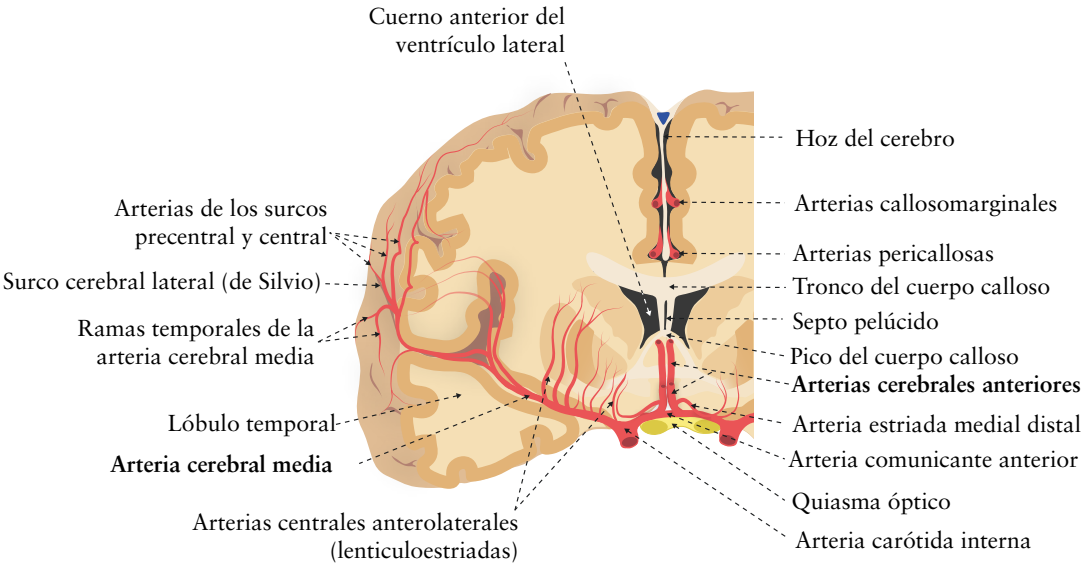


VENTRÍCULOS LATERALES: tiene forma de letra C invertida con una prolongación hacia posterior. De esta forma tienen un asta anterior o frontal, un trigono o atrio, un cuerpo, un asta posterior u occipital y un asta inferior o temporal.

CUERNO O ASTA ANTERIOR (figura 169): es la prolongación ubicada por delante del foramen interventricular anterior (foramen de

Monro), que comunica los ventrículos laterales con el ventrículo mediano. Se encuentra dentro del lóbulo frontal. Tiene un techo formado por el cuerpo calloso, una pared medial constituida por el septo pelúcido, la pared lateral, que en el fondo es como un piso inclinado de afuera hacia dentro, está constituida por la cabeza del núcleo caudado.

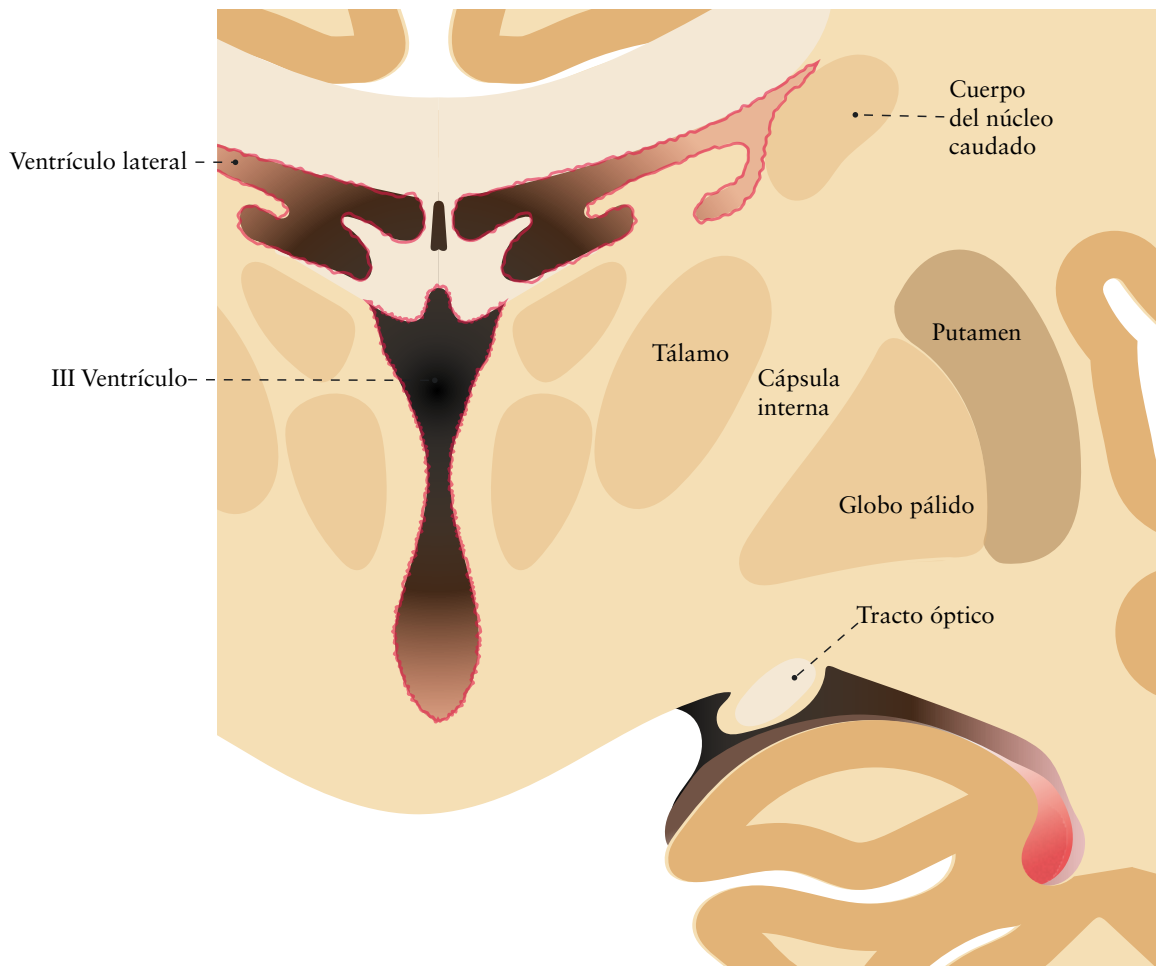
FIGURA 169. Esquema de corte transversal del cuerno anterior.



CUERPO (figura 170): se extiende desde el foramen interventricular hasta el esplenio del cuerpo calloso. Su techo está representado por el cuerpo calloso; una parte medial, al igual que el cuerno anterior, representada por el septo pelúcido, y ya más visiblemente el cuerpo del fórnix; en el piso, veremos la cara dorsal del tálamo y parte del núcleo caudado. Entre estos dos últimos se observa un ángulo, una zona ocupada por algunos elementos que son fáciles de distinguir. En primer

lugar, un engrosamiento del epéndimo denominado lámina afixa, bajo la cual encontramos un paquete de fibras, denominadas estría terminal, que desciende desde el área septal al complejo amigdalino, siguiendo la dirección de la cola del núcleo caudado. La otra estructura que veremos es una vena que está drenando la sangre de todos los elementos del cuerpo estriado, denominada vena terminal. Finalmente está el plexo coroideo acompañando esas estructuras.

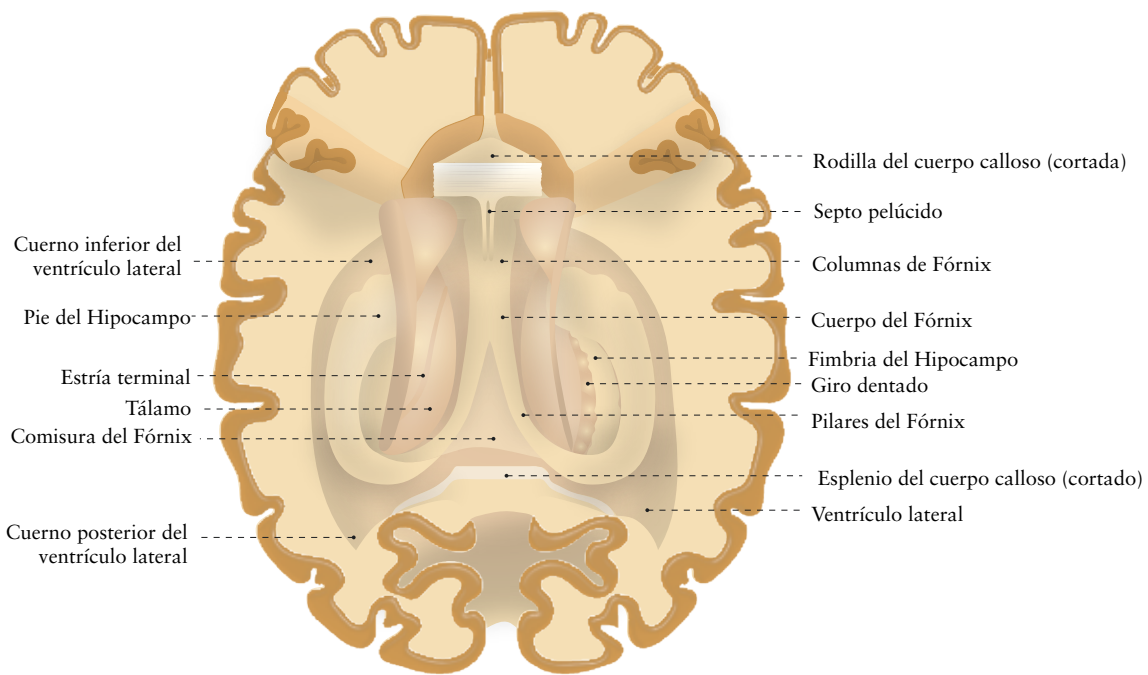
FIGURA 170. Esquema de corte transversal del cuerpo.



TRÍGONO O ATRIO: es la parte más ensanchada del ventrículo lateral y corresponde al sitio de reunión de las tres prolongaciones del ventrículo o encrucijada ventricular. Tiene forma triangular y contiene un abundante plexo coroideo que continúa con el plexo del cuerno inferior.

CUERNO O ASTA POSTERIOR (figura 171): corresponde a una prolongación posterior que se introduce al lóbulo occipital, su forma es variable. Este

cuerno tiene un piso inclinado o pared medial, donde se distingue una prominencia, denominada calcar avis, producida por la presencia del surco calcarino. En esta pared encontramos, además, fibras del rodete del cuerpo calloso que producen una elevación denominada bulbo. Su techo está constituido por la sustancia blanca que constituyen las fibras geniculocalcarinas y el fórceps mayor o radiaciones occipitales del cuerpo calloso.

FIGURA 171. Esquema de corte transversal del cuerno posterior y cuerno inferior.

CUERNO O ASTA INFERIOR: se extiende desde el atrio, penetra en el lóbulo temporal con orientación inferolateral. Su techo está constituido por la cola del núcleo caudado y tracto óptico, ubicados en la sustancia blanca del hemisferio. En su piso encontramos la eminencia colateral, que consiste en una invaginación al interior del lumen del ventrículo producida por el surco colateral. Más cercana a la línea media comenzamos a describir una zona funcionalmente muy importante, que en el corte coronal tiene la forma de hipocampo (figura 171).

VENTRÍCULO MEDIANO O TERCER VENTRÍCULO: El ventrículo mediano es la cavidad del diencefalo. Es un estrecho corredor que limita a ambos lados con el tálamo e hipotálamo. Hacia anterior limita con la lámina terminal o supraóptica y el receso óptico, su piso adopta la forma de embudo por la presencia del infundibulum y el túber y es levantado por los núcleos mamilares. En su techo encontramos una tela coroidea, formada por epéndimo y piamadre, que se invagina trayendo consigo vasos sanguíneos que capilari-

zan para formar un plexo coroideo. Hacia posterior encontramos la glándula pineal, los recesos supra e infrapineal y la comisura posterior.

El ventrículo mediano se encuentra comunicado con los ventrículos laterales a través de los forámenes interventriculares o de Monro, a través de los cuales atraviesa el plexo coroideo.

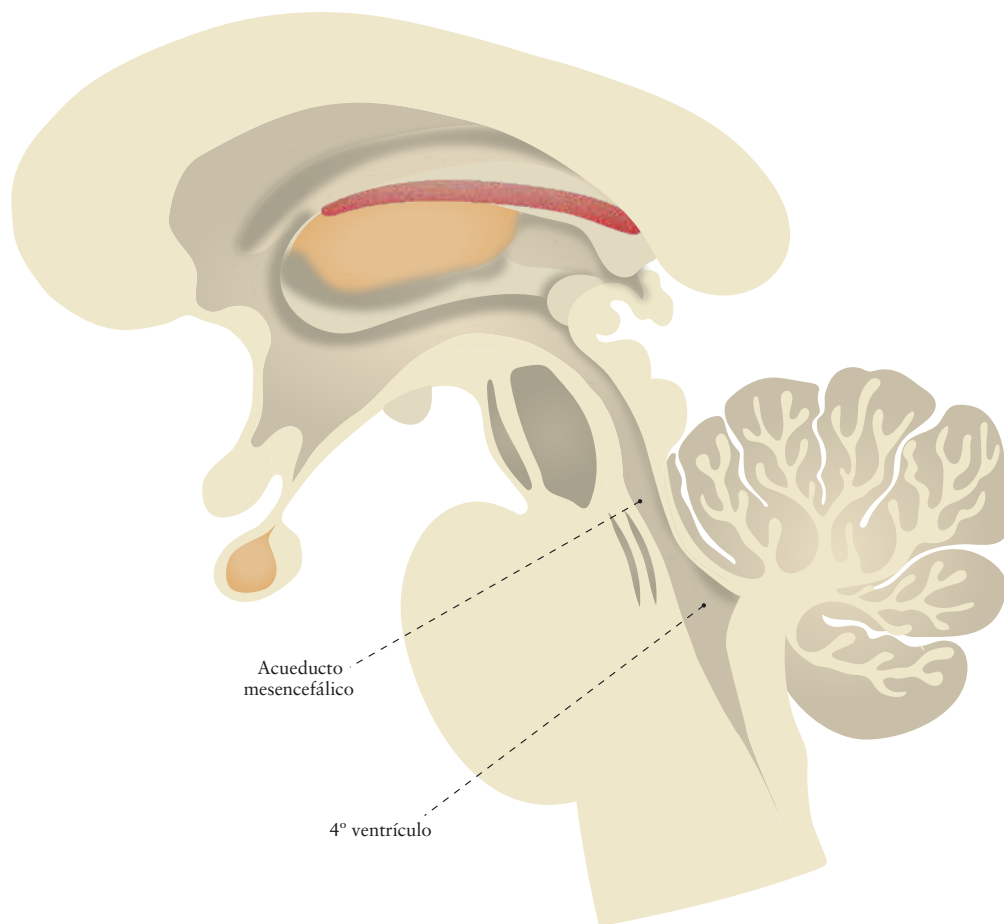
ACUEDUCTO CEREBRAL O DE SILVIO: es un conducto estrecho en forma de arco de 1,5-1,8 cm de longitud y un diámetro de 1-2 mm. Es la porción más estrecha del sistema ventricular y comunica el ventrículo mediano con el cuarto ventrículo.

CUARTO VENTRÍCULO: corresponde a la cavidad del romboencéfalo, en su piso encontramos las caras posteriores de bulbo y puente, mientras que su techo se relaciona con el cerebelo a través de los velos medulares superior e inferior y de los pedúnculos cerebelares superiores. El piso tiene forma de rombo y es rico en detalles anatómicos relacionados con las estructuras subyacentes que fueron descritas en el capítulo de tronco encefálico.

El techo del cuarto ventrículo está revestido por una tela coroidea con un plexo coroideo abundante, la cual se encuentra interrumpida por

los forámenes laterales y medial que comunican el cuarto ventrículo con la cisterna magna (figura 172).

FIGURA 172. Esquema de corte sagital del cuarto ventrículo.



Espacio subaracnoideo (figura 173)

El espacio subaracnoideo se encuentra entre la piamadre y la aracnoides, por el cual circula el líquido cerebroespinal. Este espacio es atravesado por los nervios que emergen del tronco encefálico y las raíces de los nervios espinales. En él encontramos los grandes vasos arteriales que forman el sistema de la carótida interna y el sistema vertebrobasilar.

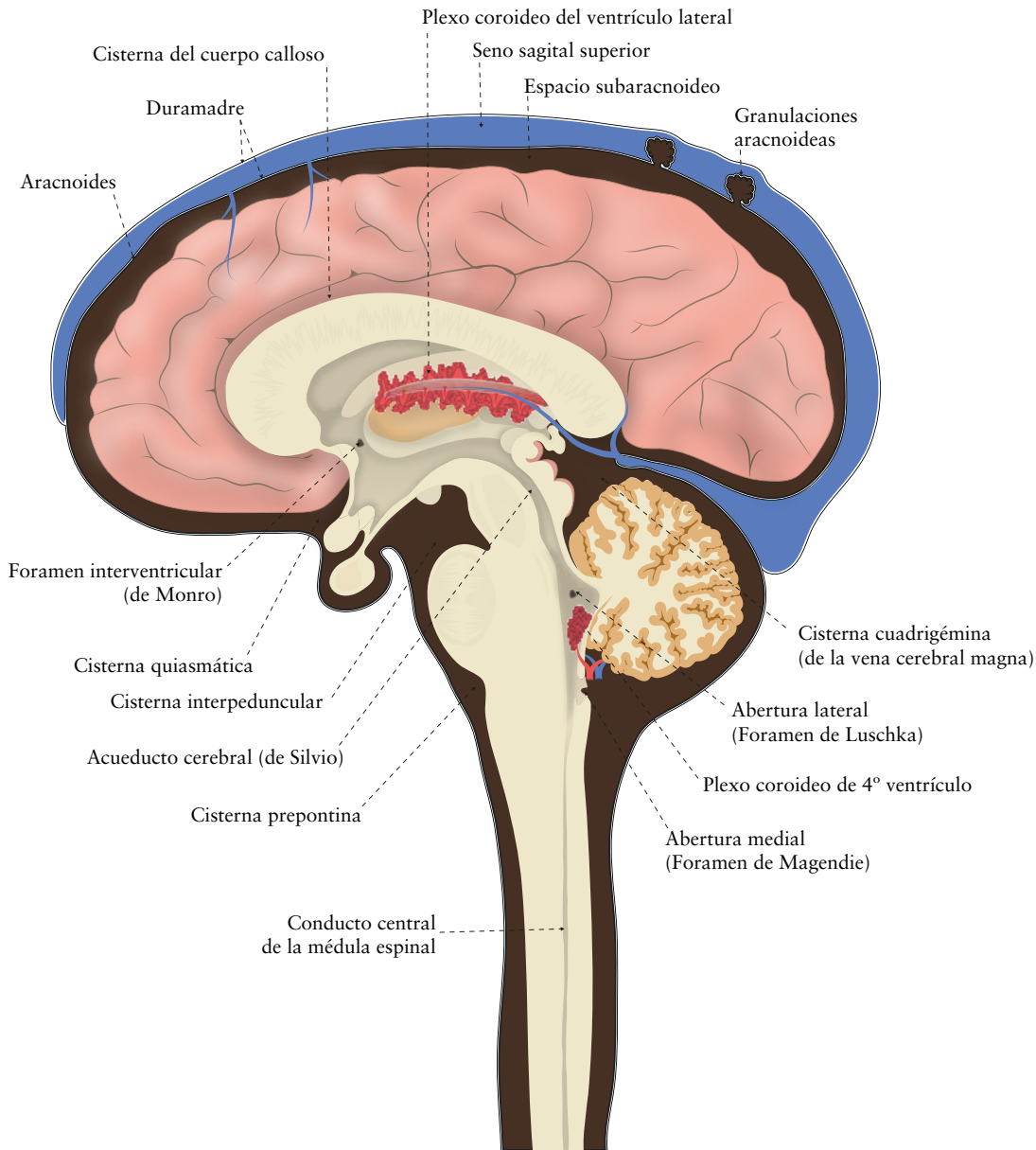
Es un espacio continuo alrededor de superficie externa del cerebro, cerebelo y médula espinal, las cuales se encuentran revestidas por piamadre.

CISTERNAS: el espacio subaracnoideo se ensancha en algunos sitios para constituir las cisternas, las cuales se denominan según la región donde se encuentran. La mayor de ellas es la cisterna cerebelomedular o cisterna magna. La cisterna pontobulbar se relaciona ventralmente con el puente y el bulbo y en ella encontramos la arteria basilar con sus ramas. La cisterna cerebelobulbar lateral se relaciona lateralmente con el bulbo rostral y se relaciona con los nervios que ahí emergen y la arteria cerebelar posteroinferior. La cisterna cerebelopontina se ubica en el ángulo cerebelopontino y se relaciona con los nervios craneales del surco bulbopontino. La cisterna cuadrigémina se

ubica sobre el techo del mesencéfalo y contiene la vena cerebral magna. La cisterna interpeduncular se ubica en el espacio interpeduncular. La cisterna

crural, ambiens, quiasmática, de la lámina terminal, de la cisura lateral y otras de menor tamaño son visibles en imágenes.

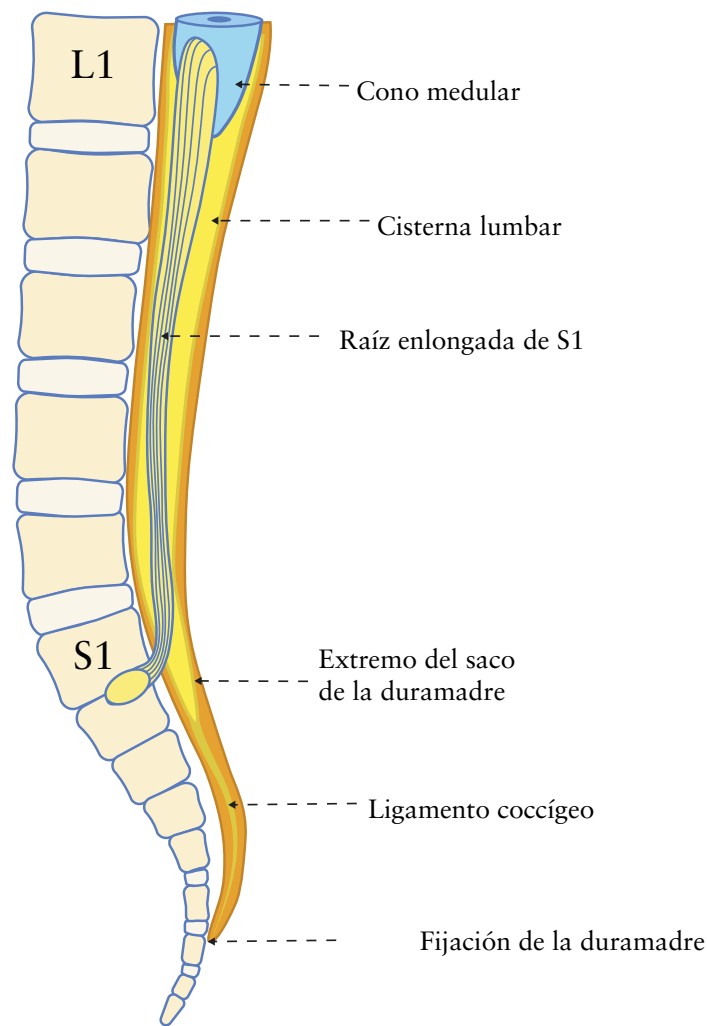
FIGURA 173. Esquema del espacio subaracnoideo con las cisternas.



CISTERNA LUMBAR: en relación con la médula espinal encontramos la cisterna lumbar muy extensa (figura 174). Se extiende desde la terminación de la médula en el ápice del cono medular hasta el fondo de saco dural. En el adulto este espacio se encuentra entre las vértebras L2 y S2. Tiene gran importancia clínica, ya que en este si-

tio se pueden realizar punciones lumbares para la obtención del líquido cerebroespinal. En la cisterna lumbar encontramos las raíces de los nervios lumbares, sacros y coccigeos que se dirigen a sus forámenes de salida y que constituyen la cauda equina, además del *philum* terminal de la médula.

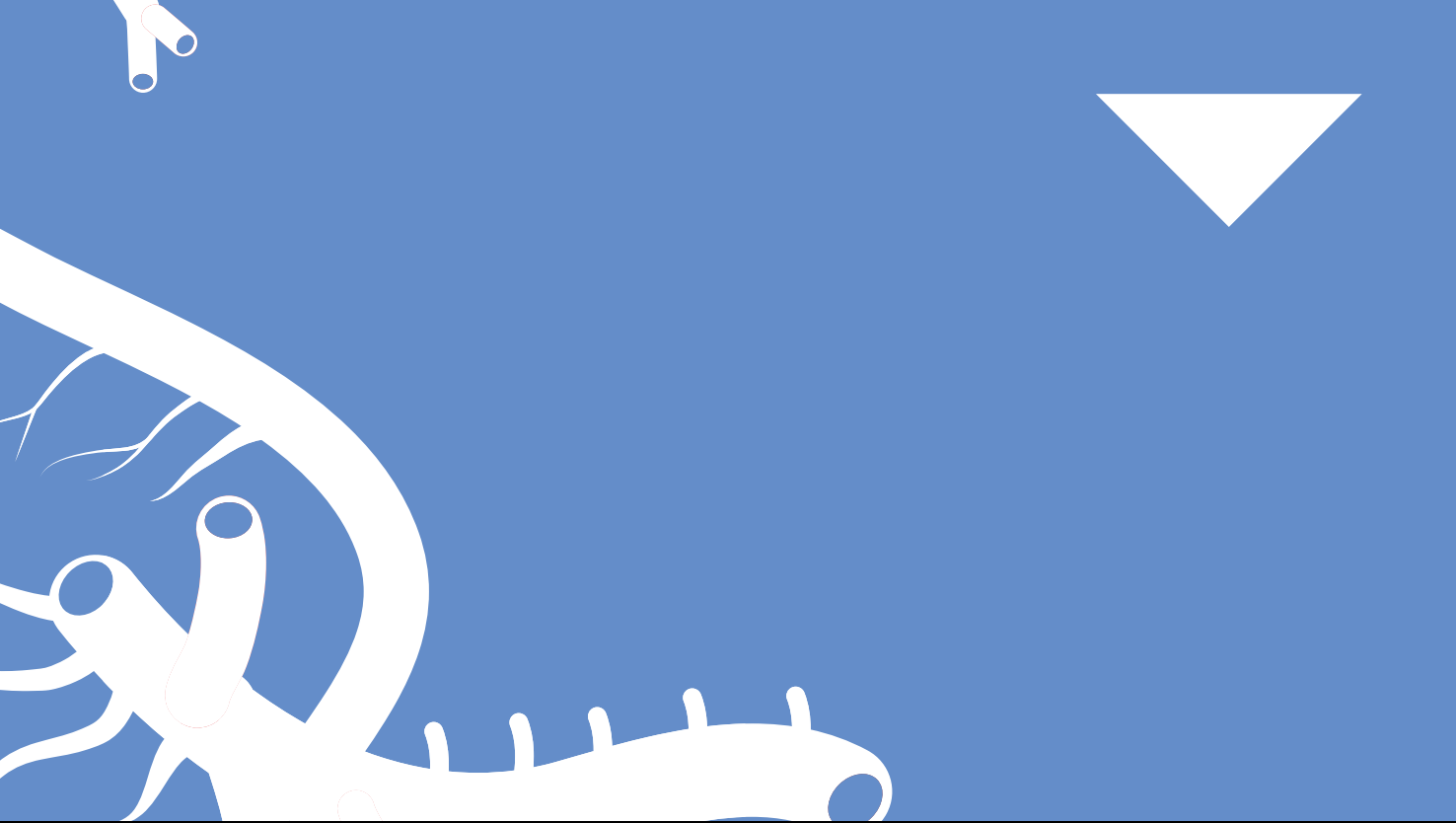
FIGURA 174. Esquema de la cisterna lumbar con su contenido.





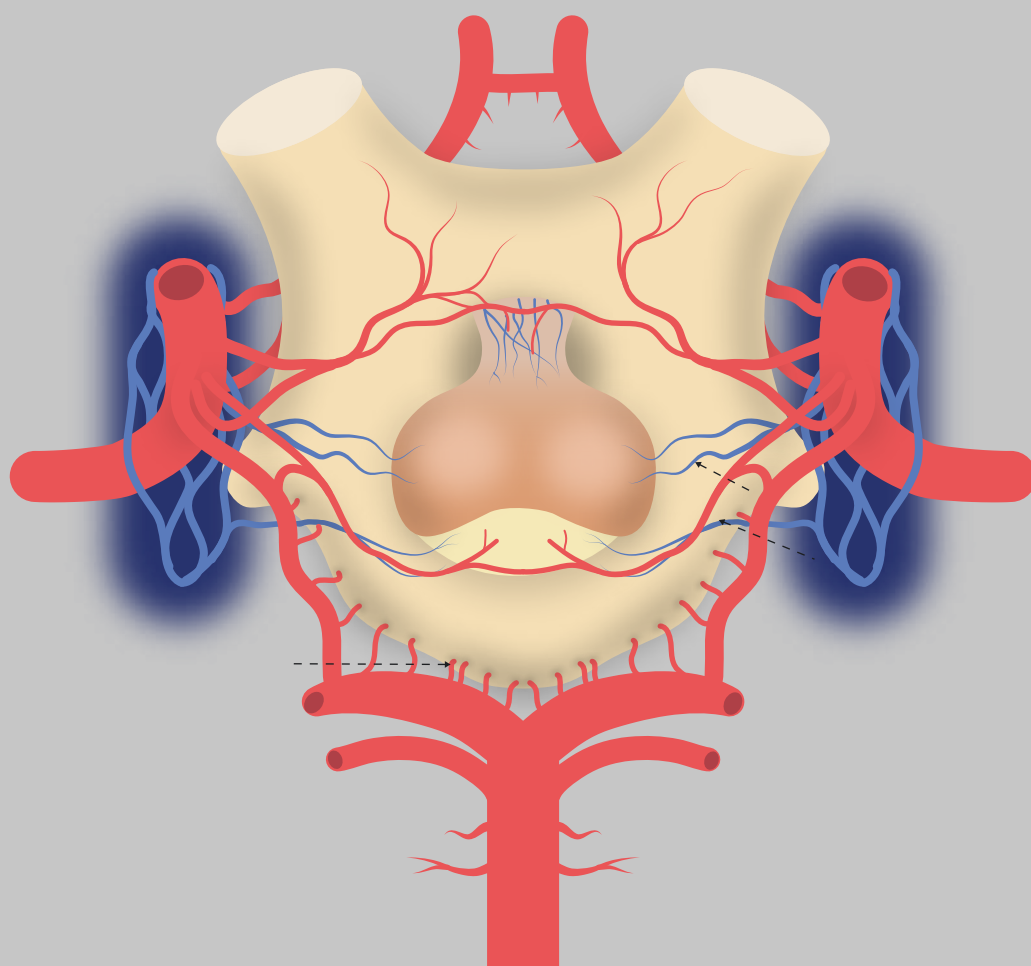
► CAPÍTULO XV





Vascularización del sistema nervioso central





El tejido nervioso en el sistema nervioso central es altamente demandante de oxígeno. El volumen de sangre que reciben las distintas regiones de este sistema varía según su actividad metabólica. En términos generales, la sustancia gris tiene mayores requerimientos metabólicos que la sustancia blanca, lo que determina diferencias notables en el flujo que reciben (75 ml frente a 25 ml por 100 g/min).

El cerebro representa solo el 2% del peso corporal; sin embargo, utiliza el 15% del gasto cardíaco total y consume entre el 20 y el 22% de oxígeno. El flujo sanguíneo cerebral es superado solo por el riñón y el corazón.

Si se detiene la circulación por 20 segundos el individuo pierde la conciencia, y en 4-5 minutos las lesiones suelen ser irreversibles, por lo tanto, el sistema nervioso necesita un flujo continuo y adecuado. La distribución del flujo sanguíneo cerebral aumenta en las áreas que se encuentran activas y disminuye durante el sueño.

Las arterias cerebrales se autorregulan para mantener estables los flujos sanguíneos en el SNC, a pesar de los cambios de presión que ocurran en la circulación general. Los mecanismos involucrados en esta regulación son prin-

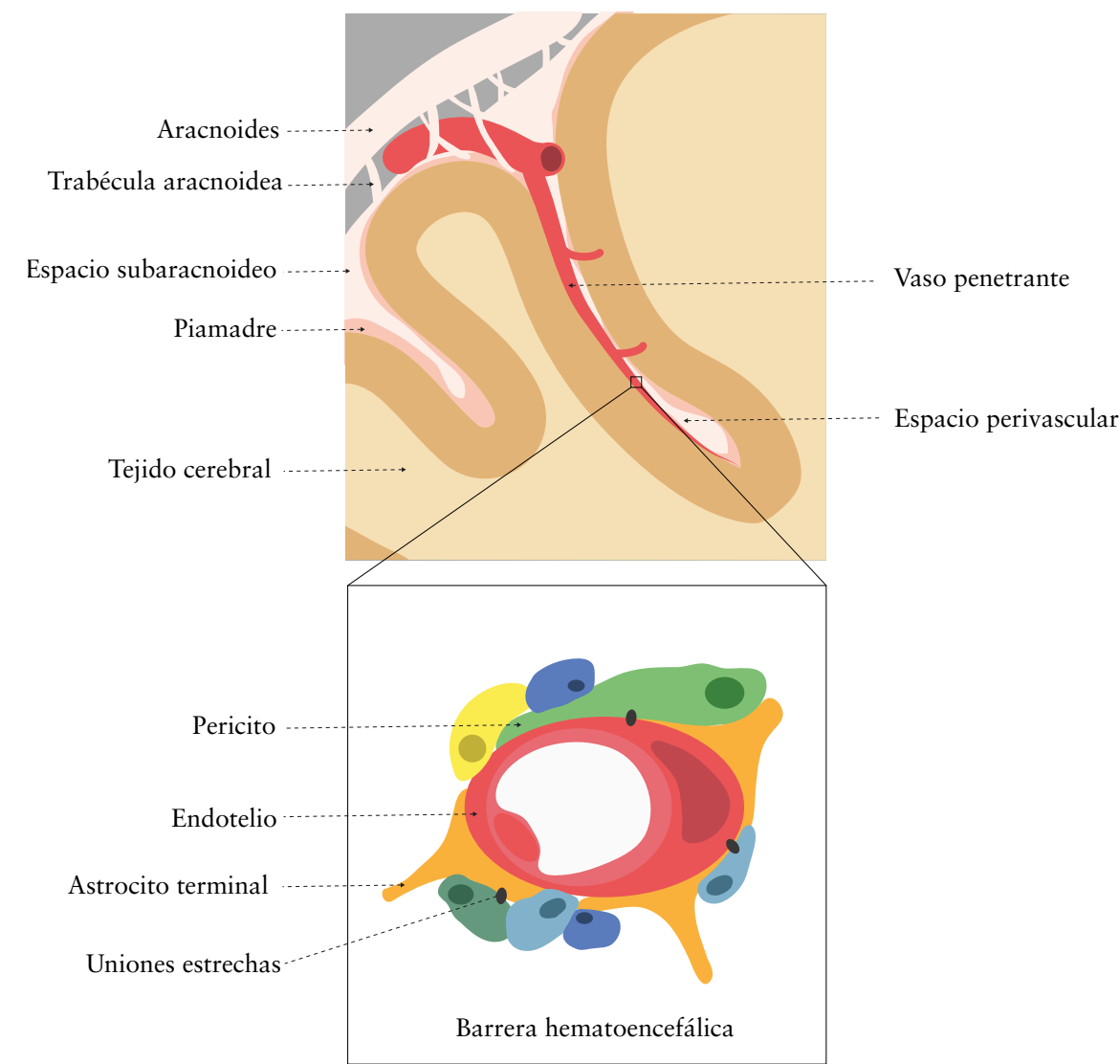
cipalmente locales y el rol del sistema nervioso autónomo es muy limitado. De esta forma, la disminución del oxígeno (hipoxia) y el aumento del CO_2 (hipercapnia) originan vasodilatación y aumento de flujo sanguíneo local, mientras que la disminución del CO_2 (hipocapnia) provoca vasoconstricción y disminución del flujo.

Las arterias intracraneales presentan características histológicas propias, como una membrana elástica interna muy desarrollada en la túnica íntima, mientras que la túnica media es delgada, al igual que la adventicia, la cual está desprovista de vasa vasorum.

En los sitios donde las arterias cerebrales de mayor calibre originan ramas suelen existir discontinuidades de la túnica media, las cuales tienen importancia clínica, dado que son lugares donde se localizan comúnmente los aneurismas.

Las arterias que irrigan el sistema nervioso central se ubican en el espacio subaracnoideo, y a medida que profundizan en el interior del tejido nervioso lo hacen con una prolongación perivascular de dicho espacio, denominado espacio de Virchow-Robin (figura 175).

FIGURA 175. Esquema de arteriola en espacio de Virchow Robin y representación de la barrera hemoencefálica.



La sangre que circula por los vasos intraencefálicos no llega a ponerse en contacto con el tejido encefálico, sino que se encuentra separada de este por una barrera de permeabilidad selectiva, denominada barrera hemoencefálica (figura 175). Participan en ella el endotelio de los capilares no fenestrados de los vasos intraencefálicos, los podocitos de los astrocitos y una membrana basal compartida. La barrera hemoencefálica

es selectiva para el paso de sustancias de acuerdo con su tamaño molecular, su grado de disociación iónica y su lipoafinidad. Los podocitos de los astrocitos desempeñan un importante rol para modular la cantidad de sodio, agua, glucosa y otras sustancias en el medio extracelular.

La barrera hemoencefálica está presente en todo el encéfalo, con excepción de algunas regiones denominadas en conjunto órganos circun-

ventriculares, entre ellos encontramos la neuro-hipófisis, el área postrema, la glándula pineal, los órganos subcomisurales y subfornicales, el receso óptico y la eminencia mediana. En estas regiones los capilares presentan fenestraciones que permiten el paso de sustancias de mayor tamaño.

La barrera hematoencefálica es permeable al paso de alcohol, lo que sumado a la presencia de capilares fenestrados en los lactantes determina una vulnerabilidad en el desarrollo del sistema nervioso central por condiciones ambientales y nutricionales perinatales.

El sistema vascular encefálico presenta una serie de condiciones que evitan que el flujo sanguíneo que ingresa con alta presión lesione las delgadas paredes vasculares. Estos son:

- a) Mecanismo de sifones: corresponde a una sinuosidad que presenta una arteria a nivel macroscópico y que contribuye a disminuir la presión, lo encontramos en la arteria carótida interna en su recorrido intrapetroso y su paso por el seno cavernoso o en la arteria vertebral a su salida del foramen transverso de atlas.
- b) Características de la membrana elástica interna: muy desarrollada en los vasos intracraneales, lo que permite atenuar el golpe de presión sistólica.
- c) Ubicación en el espacio subaracnoideo: las arterias cerebrales se encuentran inmersas en lí-

quido cerebroespinal, lo que permite que cualquier expansión hacia el exterior de la pared vascular sea amortiguada por el líquido que rodea al vaso.

Anatomía de la circulación arterial encefálica (figura 176)

El flujo sanguíneo del encéfalo corresponde en promedio a 750 ml/min, los cuales son aportados por dos sistemas arteriales: el sistema de la arteria carótida interna, que aporta un flujo de 500 ml/min, y el sistema de las arterias vertebrales, que aporta aproximadamente 250 ml/min.

Arteria carótida interna

Las arterias carótidas internas son dos vasos que proporcionan irrigación sanguínea al cerebro. Se originan de la bifurcación de la arteria carótida común a la altura del ángulo mandibular y ascienden sin emitir colaterales en el cuello hasta ingresar atravesando el foramen carotideo del hueso temporal. A su salida del hueso atraviesa el seno cavernoso en el interior del cual se torna sinuosa, para salir finalmente en la región optopeduncular.

Su trayecto puede dividirse anatómicamente en cuatro segmentos: cervical, intrapetrosa, intracavernosa y supraclinoidea (figura 177).

CERVICAL: se extiende desde el origen de la arteria hasta su entrada en el canal carotídeo. No presenta colaterales, solamente en su inicio podemos observar el seno carotídeo.

INTRAPETROSA: cursa a través de la porción petrosa del hueso temporal. Es la primera porción que presenta colaterales y va acompañada por estructuras nerviosas simpáticas. Emite dos colaterales: la arteria caroticotimpánica y la arteria del canal pterigoideo.

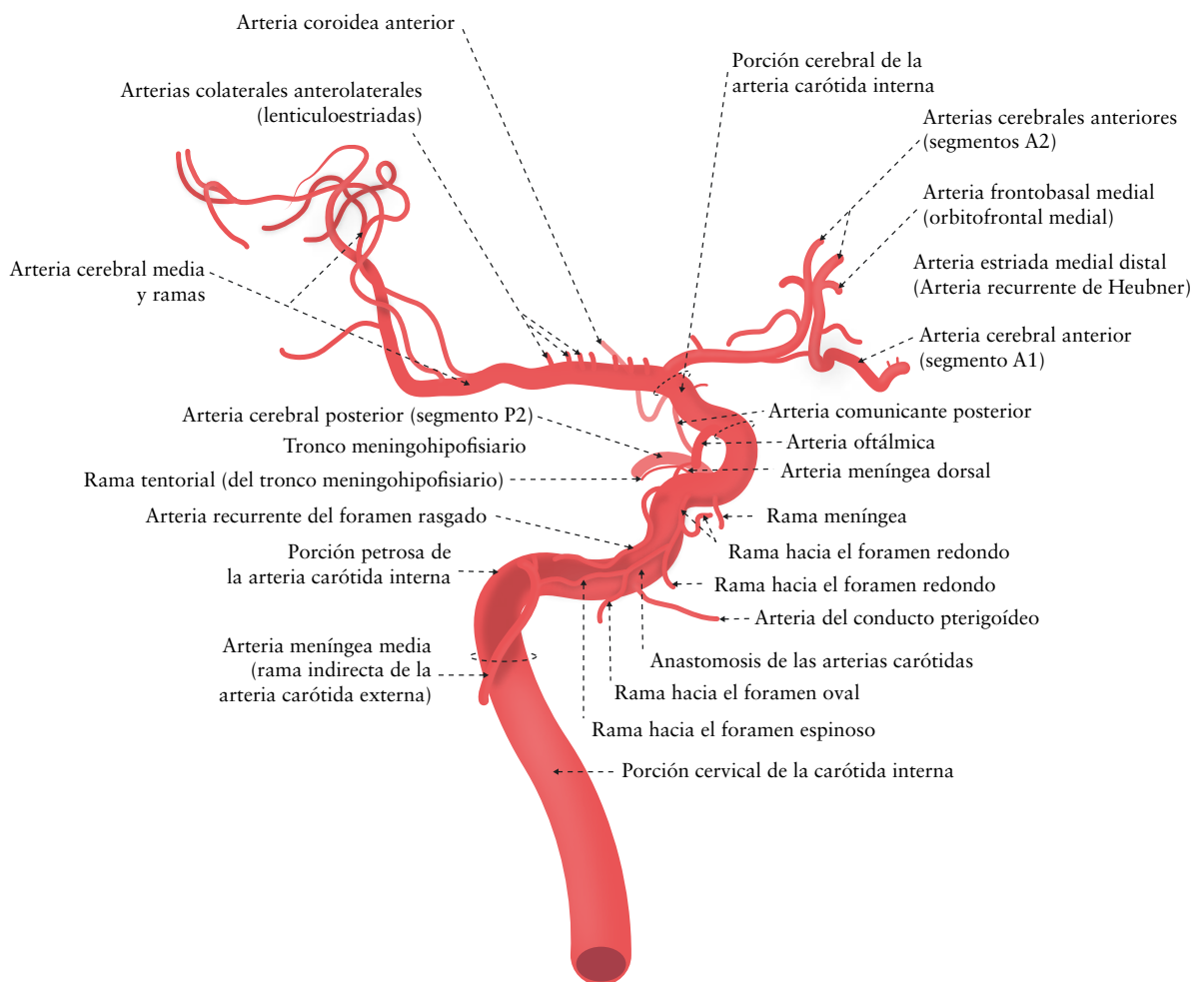
INTRACAVERNOSA: cursa dentro del seno cavernoso. En esta porción se encuentra el sifón y emite las siguientes colaterales:

- Arteria hipofisiaria inferior
- Ramos para el ganglio trigeminal
- Ramo asilar para la tienda del cerebelo
- Ramos meníngeos
- Ramo marginal para el tentorio cerebelar
- Ramos para la pared del seno cavernoso
- Ramos para los nervios IV, V1, V2 y VI par

SUPRACLINOIDEA: se sitúa entre la salida del seno cavernoso y la bifurcación de la arteria.

Todas las ramas principales de la arteria se originan de este segmento: la arteria oftálmica, comunicante posterior, coroidea anterior, cerebral media y cerebral anterior.

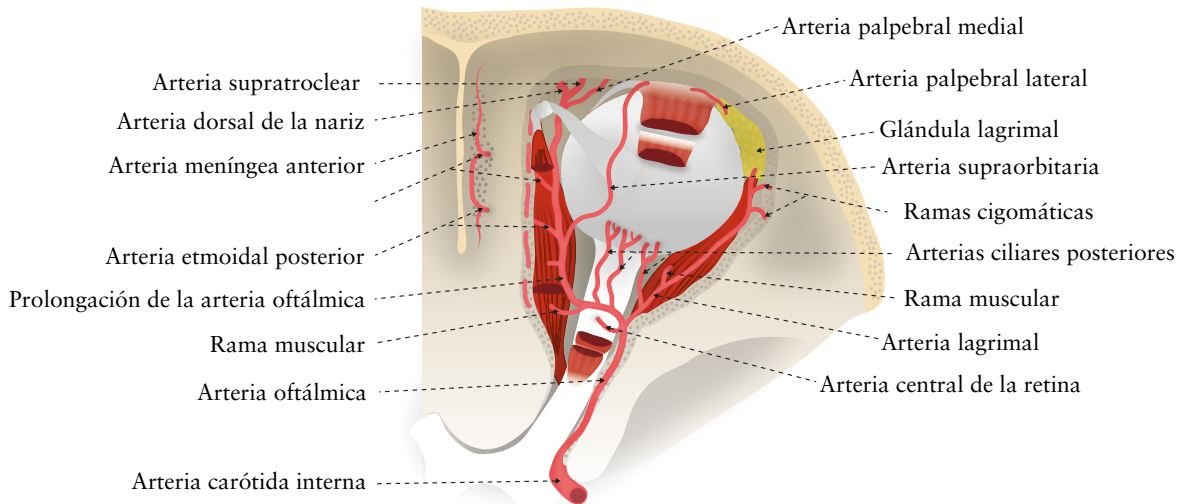
FIGURA 177. Esquema de la arteria carótida interna mostrando sus cuatro porciones y diversas colaterales de importancia.



ARTERIA OFTÁLMICA: es la primera rama, nace inmediatamente cuando la arteria sale del seno cavernoso. Tiene un trayecto oblicuo y un tanto sinuoso en dirección al foramen óptico mediante el cual ingresa a la órbita. En este lugar acompaña al nervio óptico y origina una rama impor-

tante, denominada arteria central de la retina, que penetra su vaina dural e ingresa junto con él al bulbo ocular por su polo posterior. La arteria central de la retina puede ser evaluada en el examen de fondo de ojo (figura 178).

FIGURA 178. Esquema de una órbita derecha vista superior, se extirpó el techo para observar la distribución de la arteria oftálmica.



La arteria oftálmica origina una serie de colaterales que irrigan elementos orbitarios y periorbitarios, como la arteria lagrimal, ramas musculares, ciliares cortas y largas, etmoidales anteriores y posteriores, supratroclear, supraorbitaria, palpebrales, dorsal de la nariz. Estas ramas suelen acompañar a los ramos del nervio V1 de trigémino y establecer múltiples anastomosis con colaterales de la carótida externa. Estas anastomosis tienen importancia clínica, ya que permiten suplementar la vascularización aportada por el sistema carotideo interno, en caso de oclusión.

ARTERIA COMUNICANTE POSTERIOR: se origina de la porción dorsolateral de la carótida interna y se dirige a anastomosarse con la arteria cerebral posterior. Forma parte del círculo arterial del cerebro, antiguamente denominado polígono arterial cerebral o de Willis (figura 179). De esta forma, las arterias comunicantes posteriores conectan el sistema anterior o carotídeo con el sistema posterior o vertebrobasilar.

Las ramas de la arteria comunicante posterior perforan la superficie encefálica e irrigan la

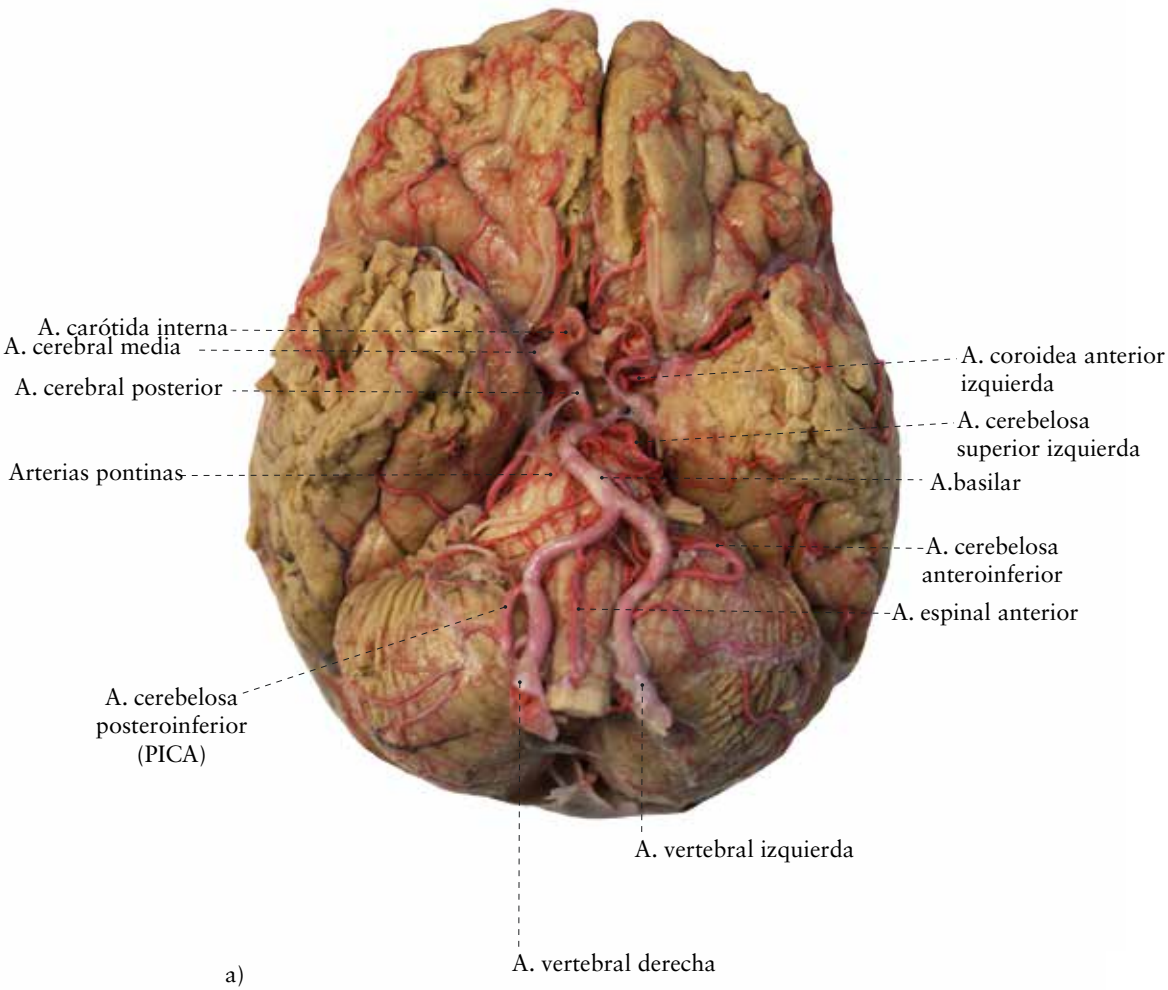
cápsula interna, su rodilla y porción anterior del brazo posterior, tálamo anterior, hipotálamo y subtálamo (figuras 179 y 180c).

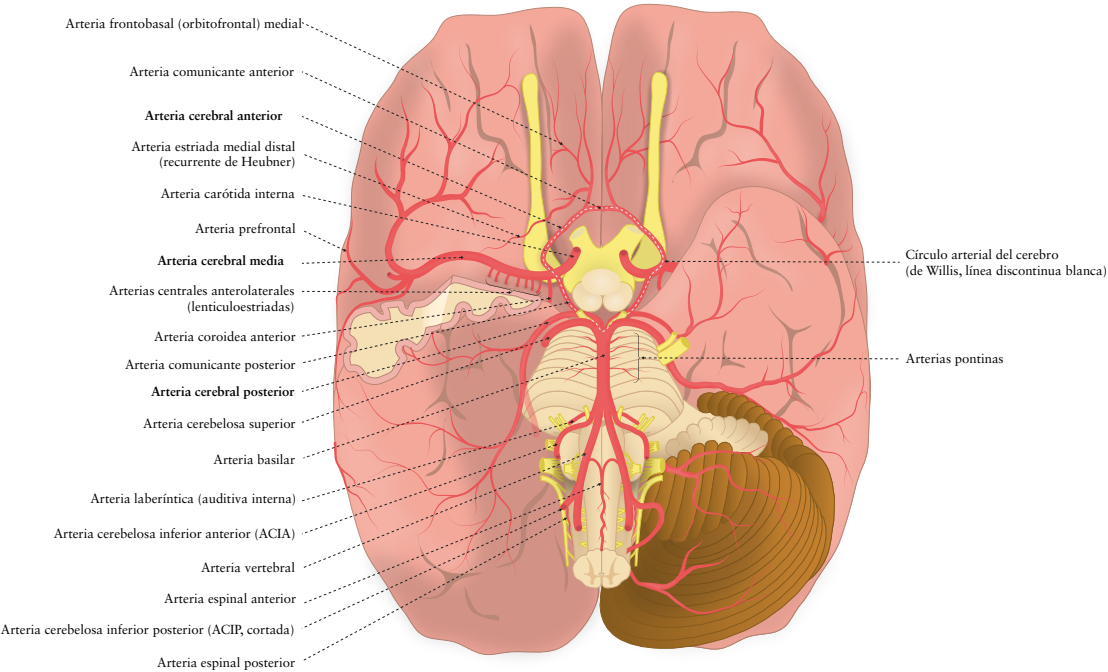
ARTERIA COROIDEA ANTERIOR: esta arteria se origina regularmente de la carótida interna antes de su bifurcación, aunque es frecuente que lo haga desde la arteria cerebral media. Tiene un trayecto posterolateral, cruza el tracto óptico y se dirige a la cara medial del lóbulo temporal. Sus ramas perforan la superficie y se dirigen a irrigar el plexo coroideo de la prolongación lateral del ventrículo lateral.

La arteria coroidea anterior irriga el tracto óptico, el núcleo geniculado lateral, el pálido, la cola del núcleo caudado, la sustancia negra, núcleo rojo, amígdala, túbulo cinerum, hipocampo anterior y brazo posterior de la cápsula interna.

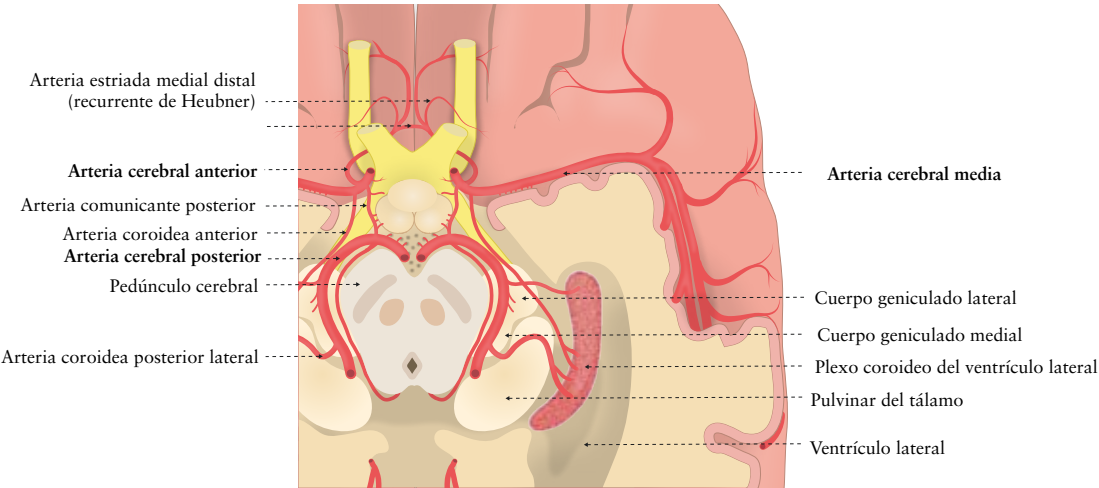
Por lo tanto, esta arteria coroidea anterior es una de las principales para la irrigación de estructuras subcorticales (figura 179c).

FIGURA 179. Esquema de arterias en la base del encéfalo. En (a) fotografía de encéfalo con una inyección vascular con látex rojo, en la que se observa el círculo arterial del cerebro; (b) esquema del círculo arterial del cerebro y su distribución en la base del encéfalo; y (c) esquema de distribución de las arterias cerebral media y cerebral posterior, nótese la irrigación del plexo coroideo del ventrículo lateral.





b)



c)

Terminales de la arteria carótida interna

ARTERIA CEREBRAL ANTERIOR (ACA): está dividida en dos segmentos por la arteria comunicante anterior. Un segmento precomunicante (A1) y otro postcomunicante (A2) (figura 180a).

ARTERIA COMUNICANTE ANTERIOR: es una arteria que anastomosa las arterias cerebrales anteriores de ambos lados. Aunque suele esquematizarse como un vaso único y perpendicular a las ACA, es frecuente que constituya una red anastomótica de gran importancia para asegurar el flujo sanguíneo entre ambos hemisferios.

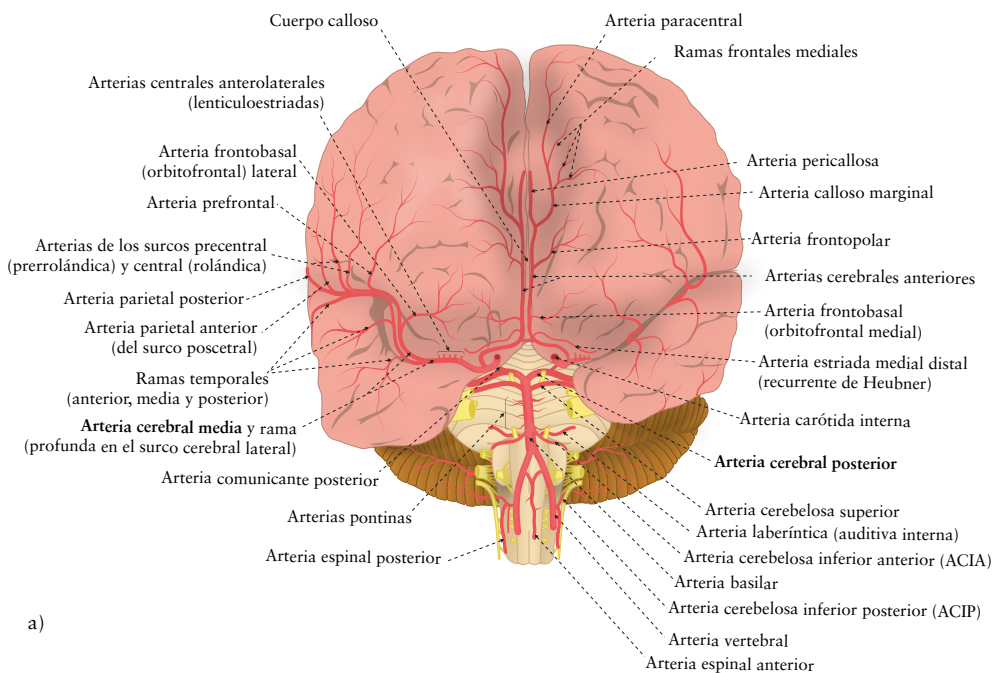
El segmento A1 de ACA origina ramas perforantes largas que irrigan el hipotálamo anterior y las arterias centrales anteromediales.

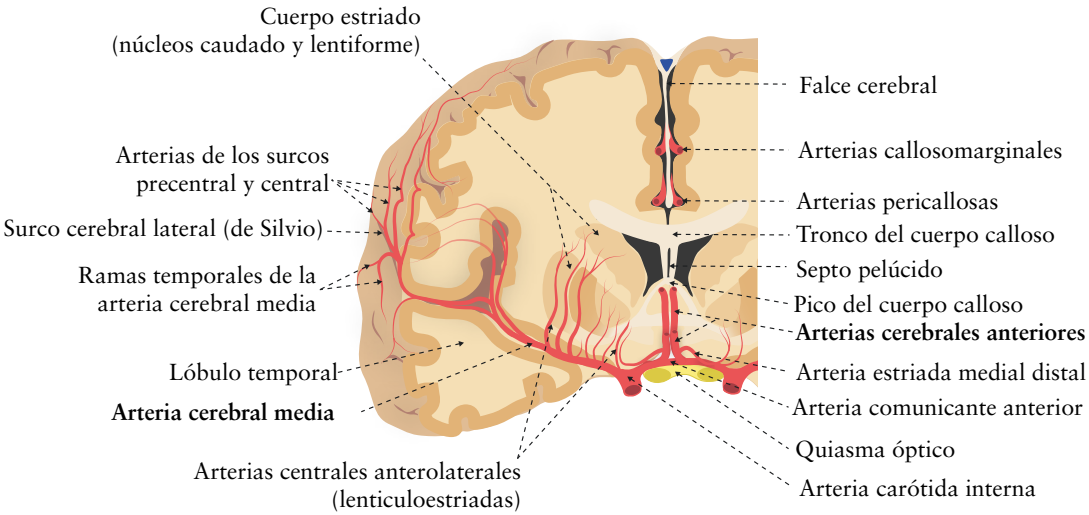
El segmento A2 de ACA tiene un trayecto más extenso, normalmente presenta la arteria estriada medial distal o arteria central larga, también conocida como recurrente de Heubner, que irriga la cabeza del núcleo caudado, región anterior del núcleo lentiforme y brazo anterior de la cápsula interna. Esta arteria presenta gran importancia clínica por su importante territorio de irrigación

y su ubicación es difícil de identificar. La mayoría de las veces corresponde con una colateral del segmento A2, aunque se puede encontrar en A1. Las diversas ramas del segmento A2 irrigan la cara inferior del lóbulo frontal, llamado orbitario, mediante ramas al giro recto, al bulbo y tracto olfatorio, que derivan de la arteria frontobasal medial (orbitofrontal). También origina la arteria frontopolar que irriga la parte anterior del giro frontal superior por la cara medial del cerebro. La arteria cerebral anterior termina bifurcándose en una arteria callosomarginal y una arteria pericallosa que recorren la fisura longitudinal.

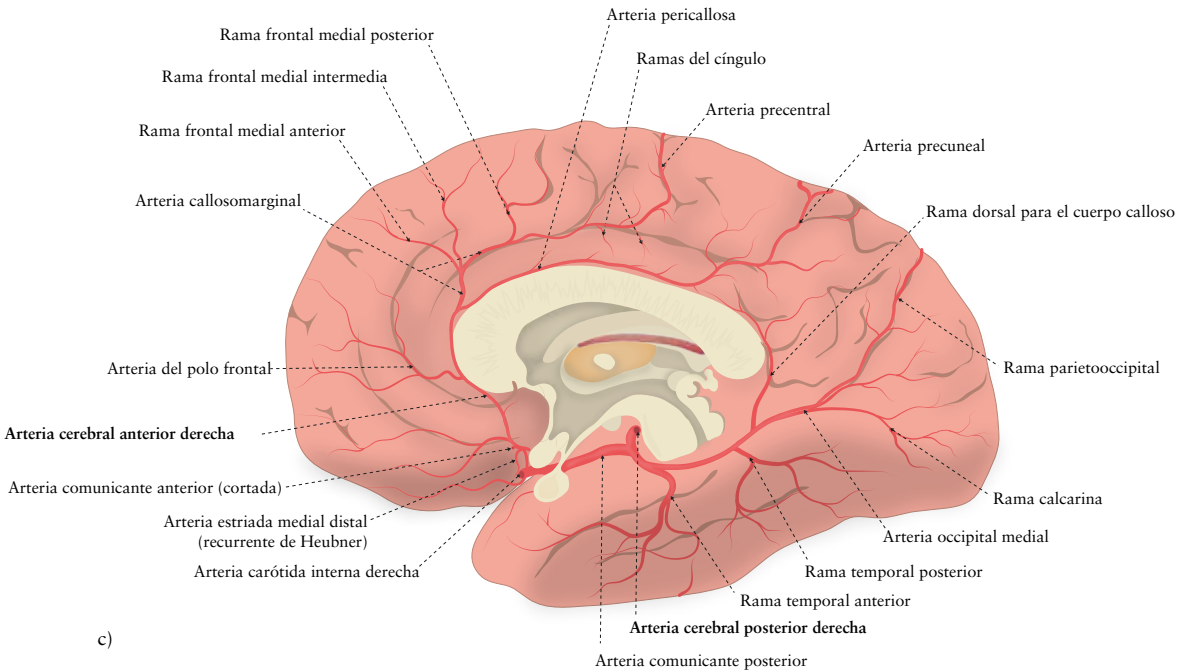
La arteria callosomarginal sigue el surco del mismo nombre, origina arterias frontales mediales anterior, intermedia y posterior que irrigan el giro frontal superior; también emite una rama paracentral y sus colaterales se anastomosan con ramas de la cerebral media. Por su parte, la arteria pericallosa se relaciona íntimamente con el cuerpo calloso al cual irriga, junto al septo pelúcido y al fórnix. Termina originando ramas a la precuña y al rodete del cuerpo calloso, anastomosándose con la arteria cerebral posterior.

FIGURA 180. Distribución de las arterias cerebral anterior, media y posterior en el encéfalo. A. Esquema de ACA mostrando sus dos porciones A1 y A2, B. Esquema de distribución de la ACM y C. Esquema de distribución de ACA y ACP.





b)



c)

Arteria cerebral media

Es rama terminal de la arteria carótida interna, la más voluminosa de todas las arterias cerebrales. Tiene su origen en la parte lateral de la arteria carótida interna, hace un recorrido por la fisura lateral, donde se divide en varias ramas (figuras 179, 180b y 181). Proporciona la irrigación para casi toda la superficie lateral de los hemisferios cerebrales, exceptuando la estrecha banda irrigada por la arteria cerebral anterior, el polo occipital y la cara inferolateral del hemisferio que están irrigados por la arteria cerebral posterior.

Su territorio de irrigación comprende:

La porción de la corteza motora y sensitiva primaria (y de asociación) correspondiente a la extremidad superior, cara, lengua y parte de la extremidad inferior, área de Broca, corteza prefrontal, corteza auditiva 1ª y de asociación (incluso Wernicke), corteza de asociación principal (giros supramarginal y angular). En su trayecto tiene tres porciones: porción esfenoidal, paralela al ala menor del esfenoides y que otorga ramas para los núcleos basales; porción insular, que tiene recorrido sobre la ínsula; y porción terminal o cortical, que se ubica al fondo de la fisura lateral.

PORCIÓN ESFENOIDAL:

La arteria cerebral media, antes de dividirse, emite alrededor de 12-15 ramas perforantes que se denominan arterias centrales anterolaterales (lenticuloestriadas). Estas arterias van ingresando desde la superficie y van contribuyendo a la irrigación al cuerpo estriado (especialmente putamen), brazo posterior de la cápsula interna, cuerpo del núcleo caudado y porción medial del tálamo (figura 180b). Estas arterias tienen la desventaja de ser muy finas en relación al calibre de la arteria cerebral media, y además la mayoría nace en ángulo recto a esta arteria, por lo que un aumento brusco de presión puede producir la ruptura de estas ramas, provocando una hemorragia a nivel de la rodilla y porción posterior de la cápsula interna, afectando el paso del impulso nervioso, especialmente motores. Además, en este grupo de arterias (lenticuloestriadas) aparece una, la 6ª o 7ª arteria central antero lateral, que Charcot describió como la arteria de la hemorragia de la cápsula interna, por lo que se le denomina arteria hemorrágica de Charcot.

PORCIÓN INSULAR:

La primera rama importante da la irrigación de la cara orbitaria en la parte lateral y se llama arteria frontobasal lateral. Inmediatamente después de dar esta rama la arteria cerebral media se dobla y se introduce en el lobo de la ínsula (figura 181). Emerge a través de la zona del limen de la ínsula, girando hacia la región de la corteza insular. Allí va a presentar arterias insulares y una serie de arterias temporales: arteria temporal anterior, arteria temporal media y arteria temporal posterior.

Luego aparecen una serie de otras ramas que van ascendiendo hacia la región de la superficie de la corteza cerebral de la cara superolateral, donde encontramos una arteria para el surco central, otra para el surco precentral, otra para el surco postcentral (arteria parietal anterior), arteria parietal posterior y arteria para el giro angular. Por lo tanto, vamos a tener aquí una distribución bastante clara de lo que son las ramas colaterales y terminales de la arteria cerebral media.

La oclusión de la arteria cerebral media puede ocasionar parálisis o paresia contralateral, más marcada en la extremidad superior y cara (hemiplejía o hemiparesia faciobraquiocrural), pérdida contralateral de la cinestesia y tacto discriminativo (hipoestesia variable de la hemicara, extremidad superior e inferior contralateral), cambios en la actitud mental y personalidad o afasia, cuando se afecta el hemisferio dominante (izquierdo). Por otra parte, la oclusión aguda de la arteria cerebral media en su origen casi siempre causa gran déficit motor y sensitivo, debido al gran territorio comprometido. La oclusión de ramas penetrantes causa una gran variedad de síndromes clínicos, los cuales dependen del área que quede isquémica, del tamaño de la arteria comprometida y de la presencia de circulación colateral.

Existen anastomosis entre las ramas leptomenígeas de la arteria cerebral media con la cerebral posterior en la porción posterior de la superficie hemisférica lateral. La porción más latero-posterior del lóbulo occipital puede ser irrigada tanto por la arteria cerebral media como por la cerebral posterior.

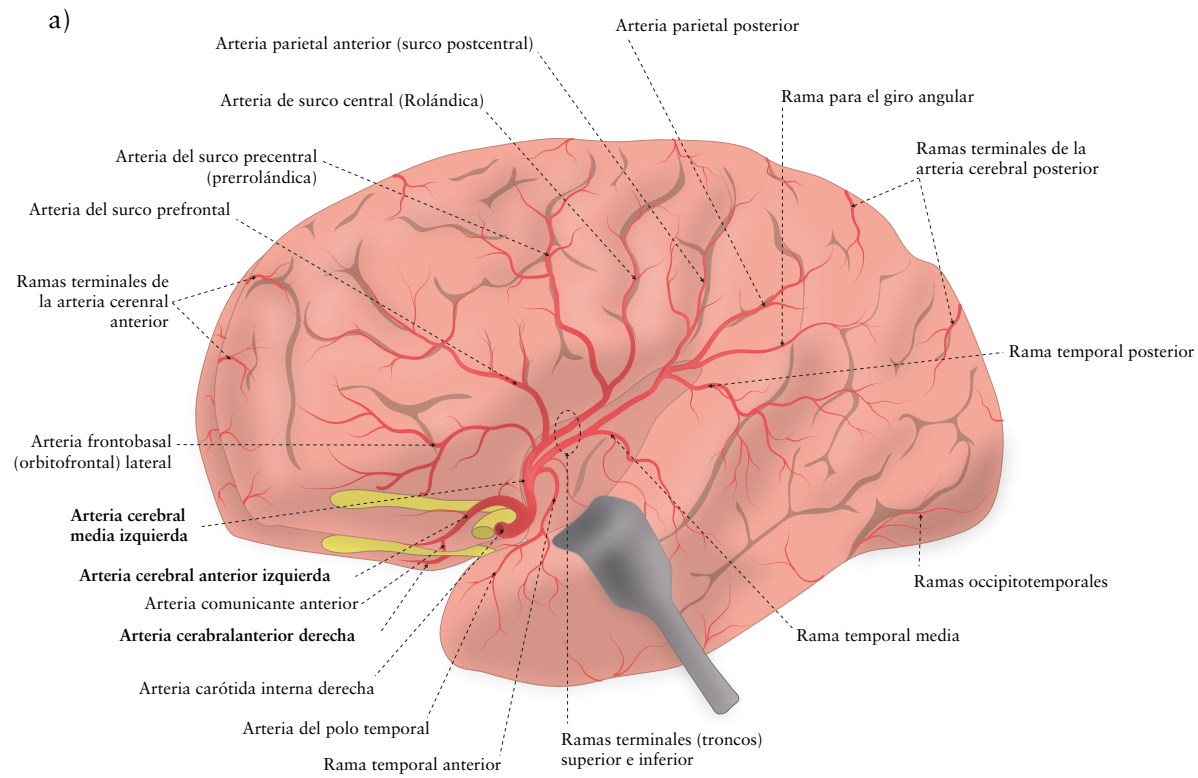
La arteria cerebral media se divide en dos segmentos: uno proximal, llamado M1, que se extiende hasta la ínsula, y otro distal, M2, que se bifurca en un tronco superior y otro inferior.

El segmento M1 se relaciona con la sustancia perforada anterior, la cual es penetrada por las 10 a 15 ramas denominadas lenticuloestriadas o estriadas laterales. Estos vasos irrigan parte de la cabeza y todo el cuerpo del núcleo caudado y la mayor parte del núcleo lentiforme. M1 también origina las arterias temporal anterior y orbito-frontal lateral.

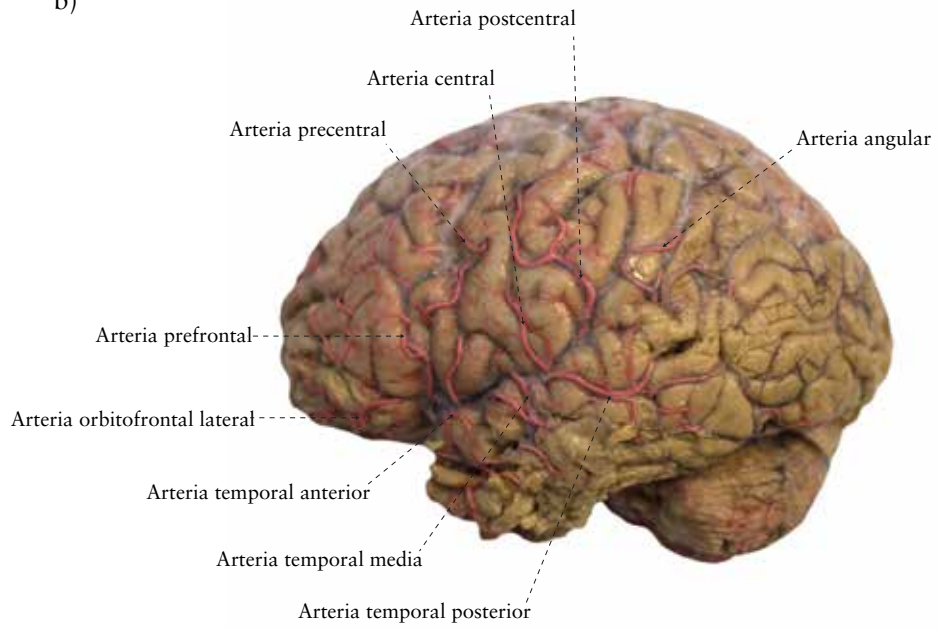
El segmento M2 recorre el surco lateral (de Silvio), formando los troncos superior e inferior que distribuyen ramas por los opérculos frontal y

temporal. Su distribución origina una imagen angiográfica característica conocida como candelabros cerebrales medios y sus ramas se denominan de acuerdo a la región que irrigan e incluyen las arterias precentral, central, postcentral (parietal anterior), parietal posterior, angular, temporal posterior y occipital posterior (figura 181 b y c).

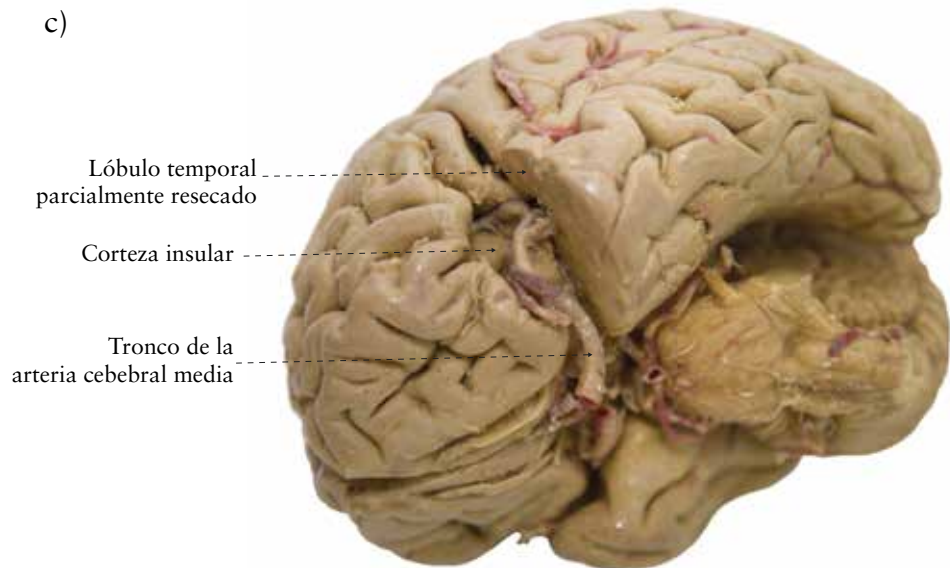
FIGURA 181. Esquema de distribución de la ACM mostrando sus dos porciones M1 y M2. A. Esquema de distribución y territorio cortical de la ACM, B. Fotografía de cerebro fijado e inyectado con látex rojo en el que se observa el territorio cortical de la ACM y C. Cerebro plastinado e inyectado con látex rojo, se ha extirpado parte del lóbulo temporal para observar el territorio de distribución de la ACM.



b)



c)

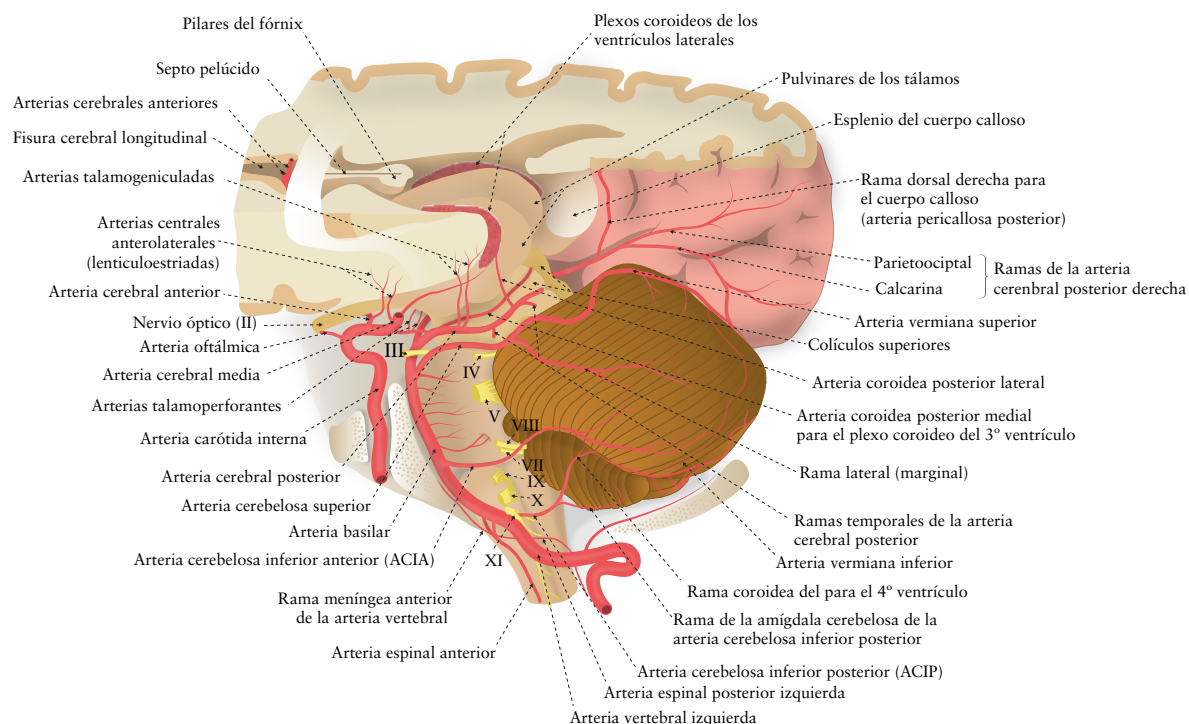


Arterias vertebrales, sistema vertebrobasilar

Las arterias vertebrales se originan de la subclavia, ascienden por los forámenes transversos de las vértebras cervicales desde C6 y al llegar

a atlas perforan la membrana atlantooccipital e ingresan por el foramen magno, para luego reunirse formando el tronco de la arteria basilar a nivel del surco bulbopontino.

FIGURA 182. Esquema que detalla la distribución y recorrido de la arteria vertebral izquierda. Nótese la formación de la arteria basilar y su territorio de irrigación.



En su trayecto las arterias vertebrales originan ramas medulares segmentarias y pequeñas ramas para músculos prevertebrales. En su segmento intracraneal originarán las arterias espinales posteriores, que descenderán siguiendo los surcos dorsolaterales de la médula.

ARTERIA CEREBELAR POSTERIORINFERIOR (PICA por sus siglas en inglés) (figura 182): son las ramas de la arteria vertebral con mayor calibre, se originan 1 o 2 cm antes que formen la arteria basilar. La arteria PICA se dirige a la cara inferior del cerebelo, a la cual llega rodeando el bulbo y relacionándose estrechamente con las raíces nerviosas del hipogloso, glosofaríngeo, vago y accesorio.

En su trayecto la arteria irriga el cordón lateral del bulbo y el núcleo espinal del trigémino,

que es muy superficial en esa región. Esta relación tiene gran importancia clínica para comprender el síndrome bulbar lateral o de Wallenberg. La arteria PICA termina irrigando la región posterior e inferior del cerebelo, así como el cuarto ventrículo, a través de su rama coroidea.

ARTERIA ESPINAL ANTERIOR: inmediatamente antes que formen la arteria basilar, las arterias vertebrales originan una rama espinal anterior que se anastomosa por convergencia con la del lado opuesto y forma una arteria espinal anterior única que recorre el surco mediano ventral de la médula espinal (figura 182).

ARTERIA BASILAR: se forma por la reunión de las arterias vertebrales a nivel del surco bulbopontino, recorre la cara anterior del puente, re-

gularmente en posición mediana, para terminar bifurcándose a nivel de la unión pontomesencefálica, originando las arterias cerebrales posteriores que forman parte del círculo arterial de la base. En su trayecto origina las arterias circunferenciales o pontinas largas y cortas y las arterias cerebelosas anteroinferior y cerebelosa superior.

ARTERIAS PONTINAS: son múltiples colaterales que se originan perpendiculares a la basilar, originan ramas perforantes que penetran en el puente e irrigan las estructuras subyacentes. En base a su longitud se diferencian en pontinas cortas y largas, algunas de las cuales irrigan las raíces del nervio trigémino en su origen aparente.

ARTERIA CEREBELAR ANTEROINFERIOR (ACAI): estas arterias siguen el trayecto de los nervios facial y vestibulococlear, cuyas raíces irrigan. Una de estas ramas ingresa al meato acústico interno con el nombre de arteria laberíntica y contribuye a irrigar el oído interno. La ACAI termina irrigando la porción anterior de la cara inferior del cerebelo.

ARTERIA CEREBELAR SUPERIOR (ACS): es la más voluminosa de las ramas de la arteria basilar, rodea al mesencéfalo para terminar en la cara superior del cerebelo, originando ramas hemisféricas y verminianas superiores. En su trayecto hacia el cerebelo, la arteria cerebelar superior puede establecer relaciones estrechas con la raíz sensitiva del trigémino, originando compresión vascular, lo cual ha sido relacionado con la patogenia de la neuralgia del trigémino.

ARTERIA CEREBRAL POSTERIOR (ACP): se origina por bifurcación de la basilar y se considera su terminación. La ACP se anastomosa con las arterias comunicantes posteriores del sistema carotideo, de esta forma se conecta la circulación anterior y posterior del encéfalo. El origen puede ser asimétrico, emergiendo de la basilar en un lado y de la carótida interna en el otro.

La ACP origina ramas corticales que irrigan las superficies inferolateral y medial del lóbulo temporal y las superficies lateral y medial del ló-

bulo occipital (corteza calcarina, corteza visual primaria), ramas penetrantes irrigan los pedúnculos cerebrales, la porción posterior del tálamo, núcleo lenticular, glándula pineal y cuerpo geniculado medial. Una o dos ramas coroideas entran en el cuerno inferior del ventrículo lateral e irrigan el plexo coroideo, arterias llamadas coroideas posterolaterales. La ACP también origina irrigación para el plexo coroideo del tercer ventrículo, denominada arteria coroidea posteromedial, por rodear de manera estrecha el pedúnculo cerebral (figura 179c).

La arteria cerebral posterior presenta tres porciones:

Porción precomunicante P1, ubicada proximal a su anastomosis con la arteria comunicante posterior. Emite ramas perforantes para el tálamo, hipotálamo y globo pálido, que pasan por el espacio perforado anterior.

Porción poscomunicante P2, origina ramas para el tálamo, plexos coroideos y pedúnculos cerebrales.

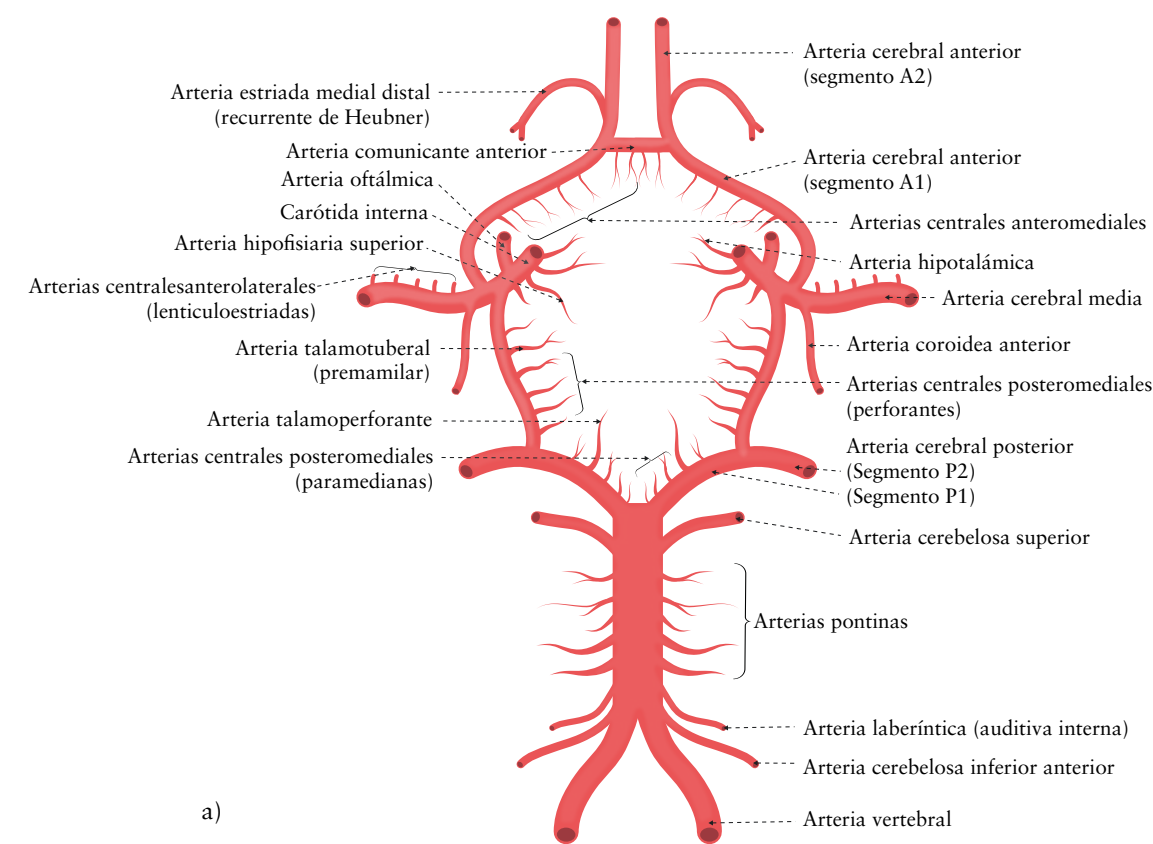
Porción terminal P3, lugar desde donde emergen las ramas terminales, que son las arterias occipitales lateral y medial.

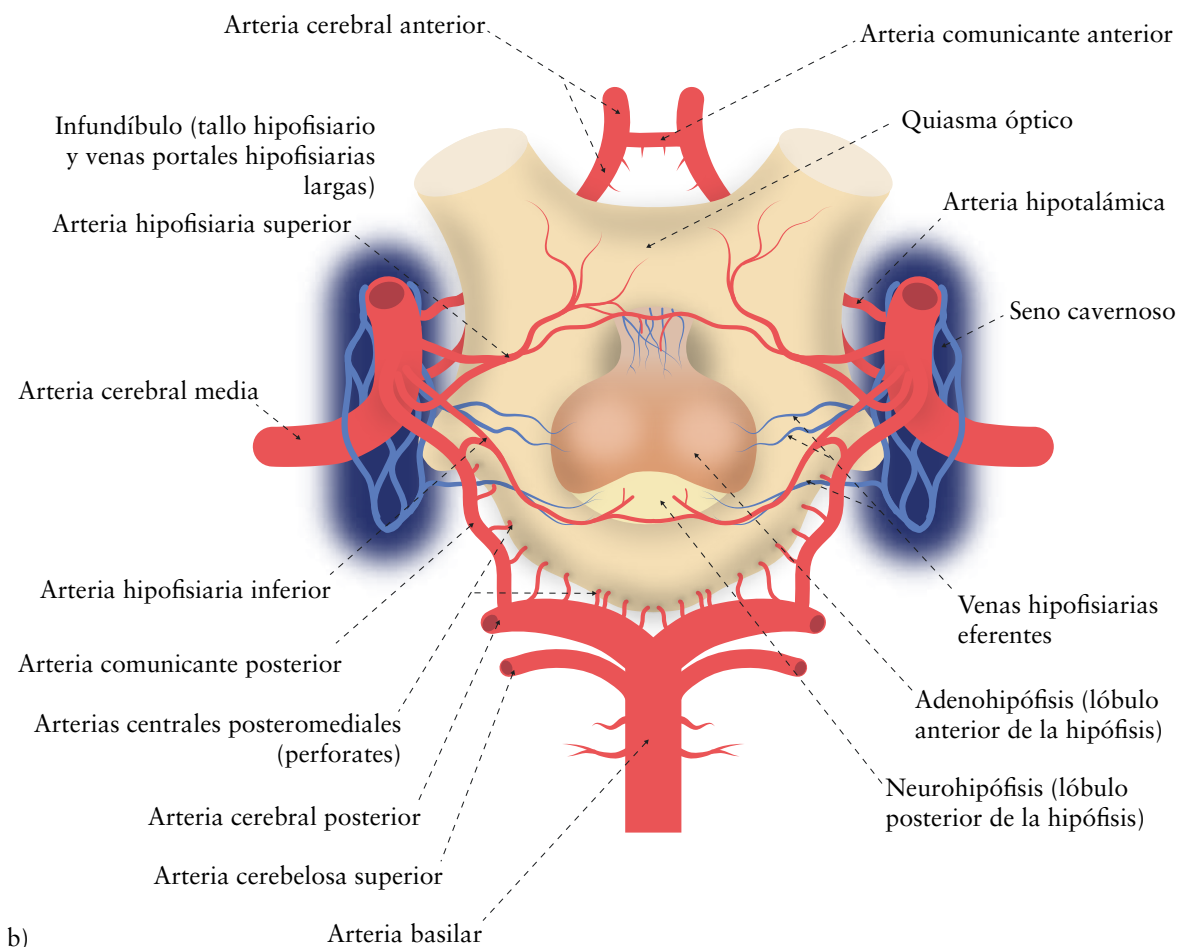
Círculo arterial del cerebro

Denominado polígono arterial cerebral o polígono de Willis, en honor a sir Thomas Willis que lo describió en 1664 y tiene importancia para asegurar la circulación colateral en el encéfalo.

Esquemáticamente se trata de un heptágono donde cada uno de sus lados está representado por vasos de calibre relativamente similar y homogéneo. Esta disposición dista mucho de ser constante y su disposición es muy heterogénea (figura 183).

FIGURA 183. A. Esquema del círculo arterial del cerebro y sus diversas colaterales. B. Esquema de irrigación hipofisiaria.





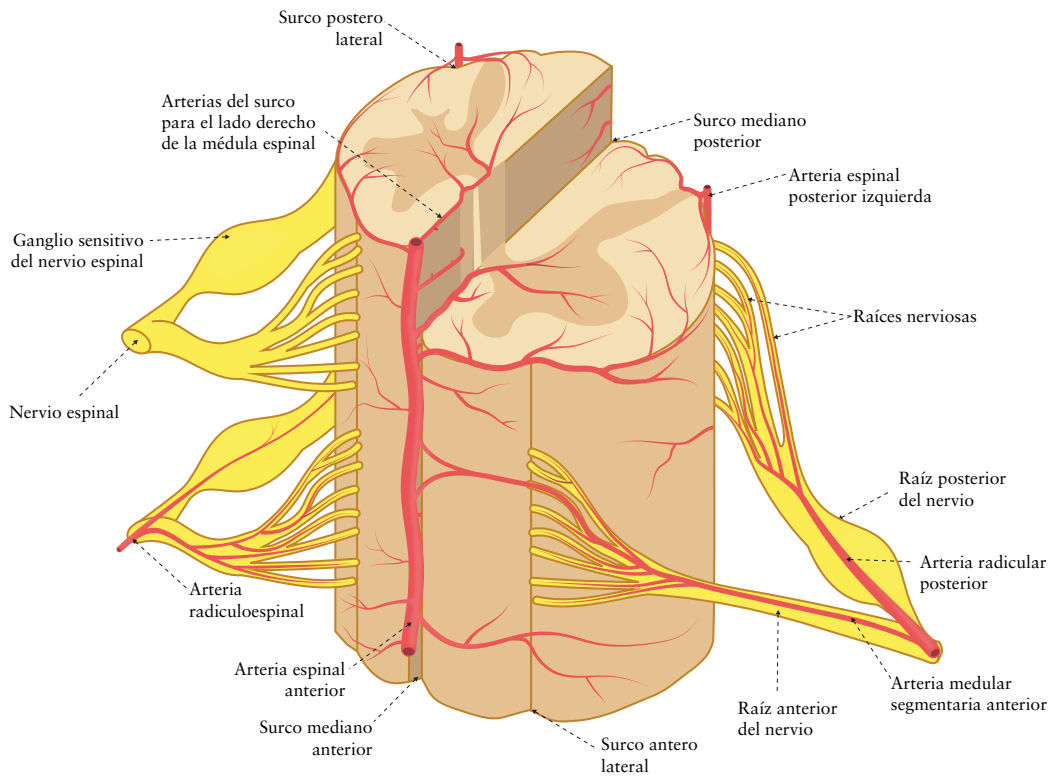
Irrigación de la médula espinal

El patrón básico de irrigación arterial de la médula espinal involucra tres vasos que corren longitudinalmente a lo largo de ella: arteria espinal anterior y dos arterias espinales posteriores (figura 184).

ARTERIA ESPINAL ANTERIOR: nace de la unión de dos ramas de la arteria vertebral que se unen a nivel de la decusación de las pirámides, para luego descender por la superficie anterior de la médula espinal, recorriendo la fisura mediana anterior. Irriga parte del bulbo, las raíces del nervio hipogloso y los cordones anteriores y laterales de la médula espinal.

ARTERIAS ESPINALES POSTERIORES: se originan directamente de las arterias vertebrales o indirectamente de las arterias cerebelares posteroinferiores. Descienden por la superficie posterolateral de la médula espinal, cercana a las raíces posteriores. Irriga los cordones posteriores de la médula espinal.

Las arterias espinales anterior y posteriores forman un sistema longitudinal que es reforzado segmentariamente por una serie de vasos tributarios transversales que penetran al canal medular por los forámenes intervertebrales, junto a los nervios y raíces espinales. Las anastomosis entre los vasos longitudinales y los vasos segmentarios se producen en la superficie de la médula espinal.

FIGURA 184. Esquema de corte transversal de médula espinal y distribución de las arterias espinales.

De los 31 pares de vasos segmentarios que penetran con los nervios espinales, la gran mayoría no termina en la médula espinal. Entre ellos existen diferentes tipos:

ARTERIAS RADICULARES PROPIAMENTE TALES: es decir, aquellas arterias que irrigan las raíces nerviosas y el ganglio sensitivo solamente. No alcanzan la médula espinal.

ARTERIAS RADÍCULO-PIALES: son aquellas que llegan solo hasta la piamadre.

ARTERIAS RADÍCULO-MEDULARES: son un grupo de 8 a 10 arterias que alcanzan la médula espinal, anastomosándose con el sistema longitudinal. Generalmente ingresan por un solo lado de la médula espinal y frecuentemente se dividen en dos ramas, una anterior y otra posterior, que acompañan a las respectivas raíces nerviosas.

Con fines descriptivos, la médula espinal se divide en tres territorios, según la vascularización que reciban (figura 185):

SUPERIOR O CÉRVICO-TORÁCICO: comprende todos los segmentos cervicales hasta el segundo o

tercer segmento torácico. Dentro de la gran variabilidad de la irrigación de este segmento, es más o menos frecuente encontrar el siguiente patrón: la primera porción de la médula espinal es irrigada solo por el sistema de vasos longitudinales; existe una arteria radicular rama de la arteria vertebral que acompaña la raíz C3, una rama de la arteria cervical profunda que penetra con la raíz C6 y una rama de la arteria intercostal superior que acompaña la raíz C8. Para asegurar la circulación de este territorio se producen una serie de anastomosis entre los distintos vasos del cuello, principalmente a través de la arteria cervical profunda y arteria cervical ascendente. Por tanto, frente a una obstrucción en la región del engrosamiento cervical, el déficit puede ser suplido por alguna de las numerosas colaterales.

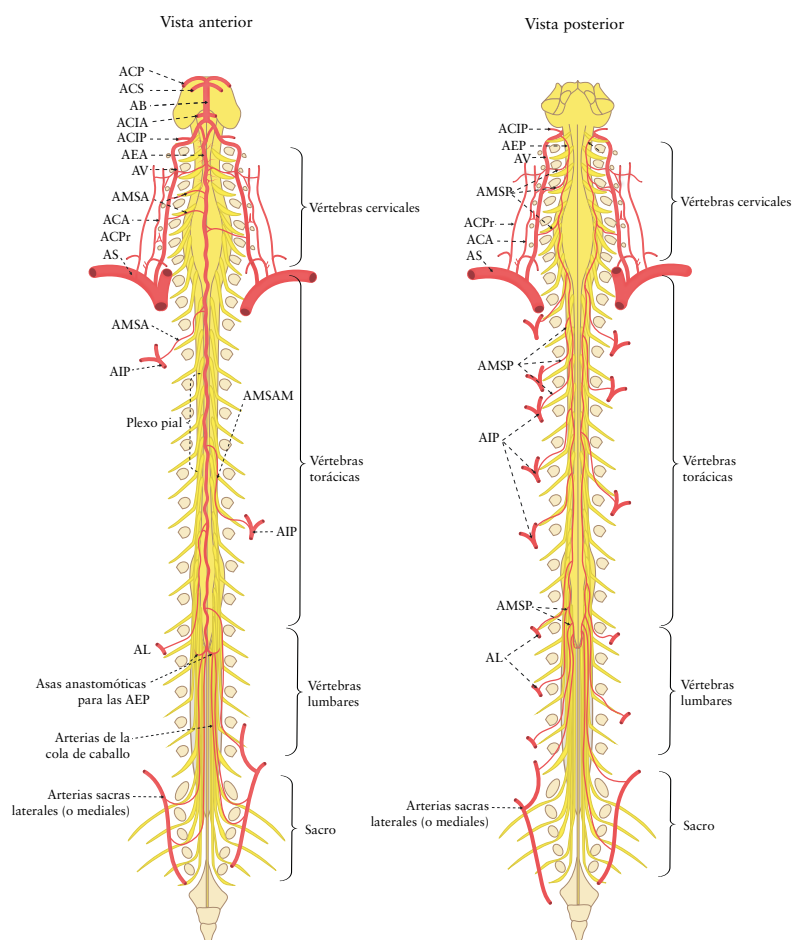
INTERMEDIO: este territorio se extiende entre los segmentos T4 y T8. Generalmente, existe una sola rama del sistema segmentario a nivel de T7 aproximadamente, la cual proviene de una arteria intercostal rama de la aorta. Este territorio es el

más pobremente irrigado, por tanto, es el más débil de los tres segmentos ante una obstrucción vascular. La arteria espinal anterior puede estar extremadamente disminuida de calibre a este nivel.

INFERIOR: el territorio medular inferior va desde los últimos segmentos torácicos hasta el cono medular. Depende en gran parte de una arteria radículo-medular llamada arteria radicular mayor (de Adamkiewicz), que es la de mayor diámetro de todas las arterias radículo-medulares. Es una rama de las primeras lumbares provenientes de la aorta, llega a la médula con mayor frecuencia por una de las raíces del lado izquierdo entre los segmentos T12 y L4 (85% de los casos), y emite una rama radicular anterior gruesa y una radicu-

lar posterior menor que terminan por irrigar el engrosamiento lumbar y constituirse en el mayor aporte nutritivo para los dos tercios inferiores de la médula espinal. La cauda equina es irrigada por una o dos ramas de las arterias lumbar, ilio-lumbar y sacras lateral y media. Estas ramas también ascienden hasta el cono medular para formar una amplia red anastomótica, llamada asa del cono medular, al cual también contribuyen ramas de las tres arterias espinales y una rama descendente de calibre relativamente grueso que proviene de la arteria de Adamkiewicz. La región caudal de la médula espinal es un territorio con muy buena vascularización.

FIGURA 185. Esquema de irrigación medular por regiones. ACP. Arteria cerebral posterior, ACS. Arteria cerebelosa superior, AB. Arteria basilar, ACIA. Arteria cerebelosa inferior anterior, ACIP. Arteria cerebelosa inferior posterior, AV. Arteria vertebral, AMSA. Arterias medulares segmentarias anteriores, ACA. Arteria cervical ascendente, ACPr. Arteria cervical profunda, AS. Arteria subclavia, AIP. Arteria intercostal posterior, AMSAM. Arteria medular segmentaria anterior mayor (Arteria radicular mayor de Adamkiewicz), AL. Arteria lumbar, AEP. Arterias espinales posteriores, AMSP. Arterias medulares segmentarias posteriores.



Sistema arterial intramedular

El sistema arterial intramedular está formado por las arterias centrales y por el plexo perimedular.

ARTERIAS CENTRALES: nacen en ángulo recto de la arteria espiral anterior, penetran la fisura mediana anterior hasta alcanzar la comisura blanca anterior y emiten una rama para cada lado de la médula espinal. Se pueden encontrar varias por centímetro, siendo menos numerosas y de menor calibre en el territorio medular intermedio. Irrigan la parte más profunda de la sustancia blanca y la sustancia gris, exceptuando los extremos de las astas posteriores. Son funcionalmente arterias terminales.

PLEXO PERIMEDULAR: está formado por varias arteriolas anastomóticas provenientes de las arterias espinales anterior, posteriores y radículo-piales. Desde este plexo pial nacen numerosos vasos que penetran en forma radial la médula, constituyendo así la corona radiada.

VASCULARIZACIÓN DE LAS MENINGES: la mayor parte de la irrigación meníngea no proviene de los sistemas de la carótida interna ni del vertebrobasilar, por el contrario, su circulación se considera mayoritariamente extraencefálica y proviene de colaterales de la carótida externa.

Los vasos meníngeos recorren el espacio extradural en la cabeza y epidural en el canal medular. Las arterias meníngeas craneales son voluminosas y se denominan meníngea anterior, media y posterior.

Retorno venoso venas encefálicas

Las venas encefálicas tienen paredes delgadas, no tienen capa muscular ni poseen válvulas. Salen del encéfalo y se ubican en el espacio subaracnoideo; luego atraviesan la aracnoides y la capa meníngea de la duramadre y drenan en los senos venosos craneales.

El sistema de retorno venoso del encéfalo consta de un sistema superficial y de un sistema profundo. Ambos sistemas retornan a un sistema colector de senos venosos. Este sistema colector finalmente retorna la sangre del encéfalo hacia las venas yugulares internas que dejan el cráneo a través del foramen yugular. Una pequeña porción de la sangre abandona el cráneo a través de anas-

tomosis entre los senos duros y venas del cuero cabelludo, venas diploicas y venas emisarias.

Por lo general las venas encefálicas no acompañan a las arterias en su recorrido y se ubican en la superficie de los hemisferios cerebrales, a diferencia de las arterias que se encuentran en la profundidad de las fisuras.

SISTEMA DE RETORNO VENOSO SUPERFICIAL: está compuesto por grandes venas superficiales que se agrupan de la siguiente manera:

GRUPO SUPERIOR: está conformado por las venas cerebrales superiores: prefrontales, frontales, parietales y occipitales. Las venas de este grupo retornan en el seno sagital superior.

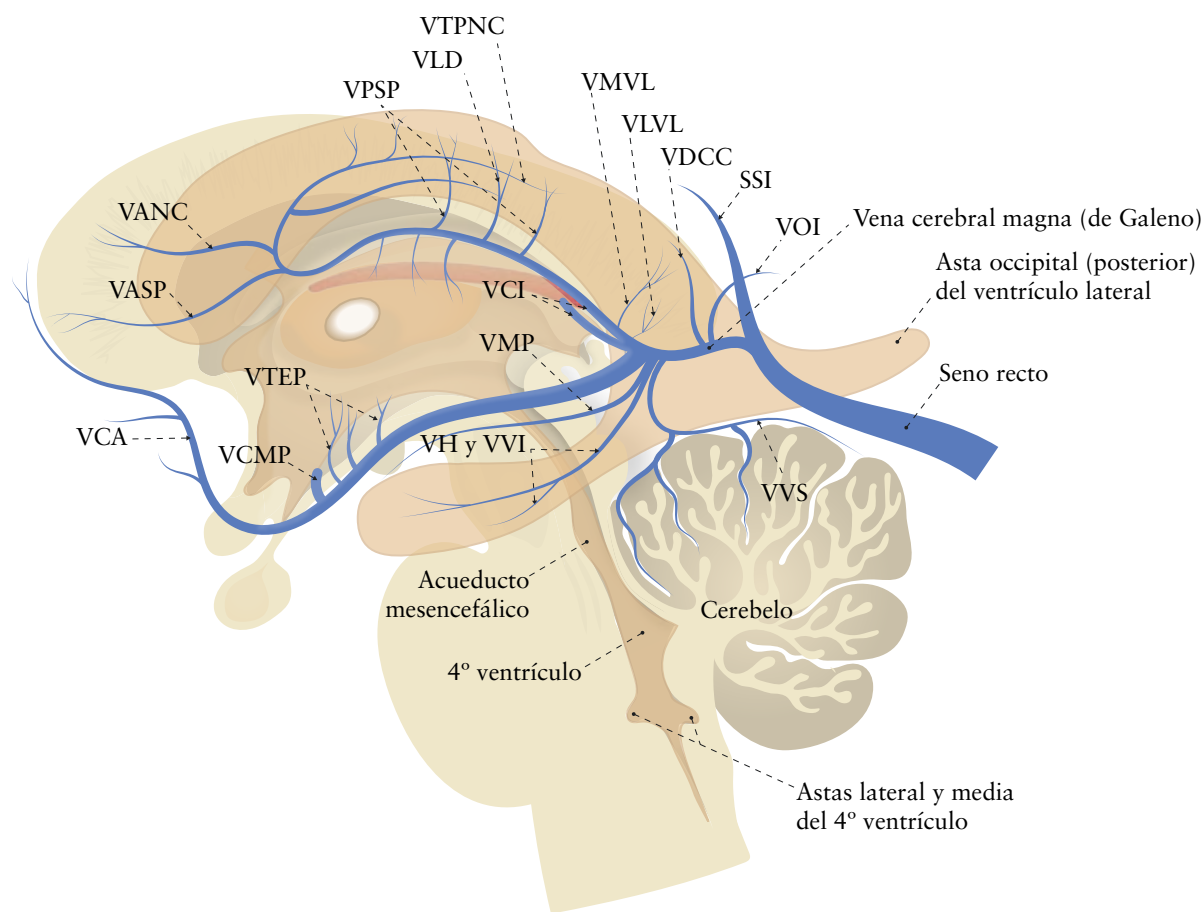
GRUPO MEDIO: también denominado horizontal, está conformado por la vena cerebral media superficial que retorna la superficie lateral del hemisferio cerebral y acompaña a la arteria cerebral media. Atraviesa la cisura lateral y retorna al seno esfenoparietal y posteriormente al seno cavernoso. La vena más prominente de este grupo es la vena anastomótica superior de Trolard, ubicada en el surco central, que interconecta los grupos de venas superior y venas. Se interconecta con el grupo inferior por medio de la vena anastomótica inferior o de Labbe.

GRUPO INFERIOR: está conformado por la vena cerebral media profunda. Retorna la superficie inferior del hemisferio y la ínsula y se anastomosa con las venas cerebral anterior y del cuerpo estriado para formar la vena basal (de Rosenthal). Retorna hacia el seno cavernoso y transversos.

SISTEMA DE RETORNO VENOSO PROFUNDO: este sistema retorna principalmente hacia venas ventriculares. Cerca del foramen interventricular, se unen un conjunto de venas (terminal o talamoestriada superior, septal anterior y caudada anterior) para dar origen a dos venas cerebrales internas, que discurren posteriormente en la tela coroidea del tercer ventrículo y se unen por debajo del rodete del cuerpo calloso con las venas Bales de Rosenthal, para formar la vena cerebral magna (de Galeno), la cual retorna en el seno recto, que se encuentra en la unión del tentorio con la falce cerebral (figura 186).

VENA CEREBRAL MAGNA (DE GALENO): se forma por la unión de las venas cerebrales internas y las venas basales. Se caracteriza por ser muy corta y frágil. Drena en el seno recto.

FIGURA 186. Esquema del retorno venoso profundo del encéfalo y sus principales venas asociadas.

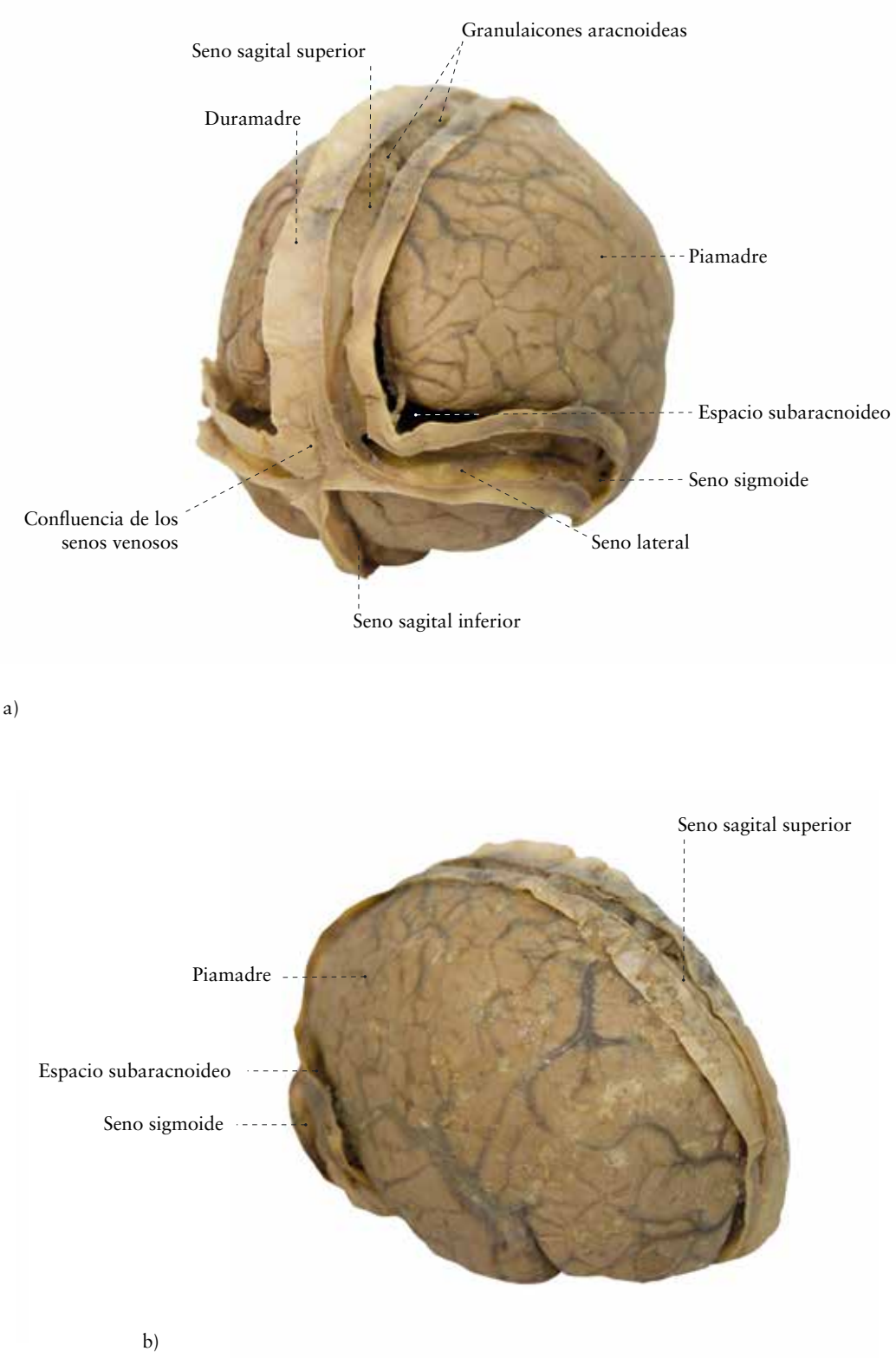


Senos venosos de la duramadre

Los senos venosos de la duramadre son grandes sistemas colectores por los cuales drena la sangre del encéfalo hacia las venas yugulares internas. Se forman por el desdoblamiento de la duramadre, compuesta por una hoja parietal y otra visceral. Se encuentran revestidos de endotelio vascular, siendo este el único elemento que le da continuidad al sistema vascular sanguíneo.

En esas regiones carece de válvulas y sirven como canales de baja presión para el retorno del flujo sanguíneo venoso hacia la circulación sistémica. Se podrían definir como conductos que llevan sangre venosa, pero no son venas (figura 187).

FIGURA 187. Fotografía de un cerebro plastinado con meninges. Se observa la piamadre y los senos venosos de la duramadre en A. vista posterolateral y B. vista anterolateral.



Los senos venosos de la duramadre participan en la reabsorción del líquido cerebroespinal, especialmente a nivel del seno sagital superior, mediante unas estructuras denominadas granulaciones aracnoideas. Participan, por tanto, en la regulación de la presión endocraneal.

Los senos venosos de la duramadre se clasifican en impares y pares:

Los senos impares son:

- Seno recto
- Seno occipital
- Seno sagital superior
- Seno sagital inferior
- Seno intercavernoso

Los senos pares son:

- Senos transversos
- Senos sigmoides
- Senos cavernosos
- Senos petrosos superior
- Senos petrosos inferior

Retorno venoso de la médula espinal

El retorno venoso de la médula espinal se realiza mediante dos plexos, el vertebral interno y vertebral externo, los cuales forman anillos definidos en torno a cada nivel vertebral. Existe libre comunicación entre ambos. Algunos afluentes venosos provenientes de las vértebras, ligamentos y médula espinal llegan a conformar el plexo.

PLEXO VERTEBRAL INTERNO: es una red anastomótica de venas que se entremezcla con el tejido conjuntivo laxo del espacio epidural. Se observan venas que corren longitudinalmente por la superficie posterior de los cuerpos vertebrales

y discos intervertebrales a cada lado del ligamento longitudinal posterior. Entre este ligamento y el cuerpo vertebral existen afluentes que reciben la sangre proveniente de las venas basivertebrales. El aspecto posterior del plexo se apoya sobre las láminas vertebrales y el ligamento amarillo y suele ser menos desarrollado que en la región anterior. Existe un conjunto de pequeñas venas que perforan los ligamentos y comunican el plexo vertebral interno con el externo. Este plexo es una vía de diseminación de células neoplásicas muy común, ya que el sistema nervioso no tiene vasos linfáticos que permitan la metástasis. Por lo tanto, a través de este plexo viajan células neoplásicas hacia la parte superior y se localizan en alguna zona a nivel cerebral. Estos plexos venosos se conectan hacia el exterior a través de las venas intervertebrales, logrando conectarse por ejemplo con el sistema ácigos a nivel torácico, con el sistema lumbar a nivel abdominal (vena lumbar ascendente), hemiácigos, etcétera. Por eso cuando hay un tumor maligno a nivel abdominal o torácico, la metástasis va por esta vía e ingresa al plexo vertebral, donde ascienden al cerebro, cerebelo o puente.

PLEXO VERTEBRAL EXTERNO: está formado por un conjunto de venas que corren longitudinalmente por la superficie externa de los cuerpos y láminas vertebrales. Tiene una porción anterior que se comunica con las venas basivertebrales. La porción posterior forma una red en torno a los procesos espinosos, transversos y articulares, y se comunica con las venas occipitales, cervicales profundas y vertebrales. A veces es posible que algunos afluentes venosos lleguen a los senos duros de la fosa craneal posterior.

Referencias bibliográficas

- Bear, M. F. (2016), *Neurociencia La Exploracion Del Cerebro*. Barcelona, España, Editorial: Lippincott Raven, Tercera edición.
- Benninghoff & Drenckhahn (2010), *Compendio de Anatomía*, Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana.
- Carpenter, M. B. (1994), *Neuroanatomía Fundamentos*, Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana, Cuarta Edición.
- Fitzgerald, M. J.; Gruener, G.; Mtui, E. (2012), *Neuroanatomía Clínica y Neurociencia*, Barcelona, España, Editorial Elsevier, Sexta Edición.
- Gennesar, F. *at al.* (2015), *Histología*, Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana, Cuarta Edición.
- Kiernan, J. A. (2006), *Barr El Sistema Nervioso Humano. Un punto de vista anatómico*, D. F., México, Editorial McGraw-Hill Interamericana, Octava Edición.
- Kierszenbaum, A. L. (2016), *Histología y Biología Celular*, Barcelona, España, Editorial Elsevier, Cuarta Edición.
- Martin, J. H. (2013), *Neuroanatomía Texto y Atlas*, España, Editorial McGraw-Hill, Cuarta Edición.
- Rouviere, H. & Delmas, A. (2005), *Anatomía Humana, Descriptiva, Topográficas y Funcional*, Tomo 4, Sistema Nervioso Central, Editorial Elsevier, Onceava Edición.
- Snell, R. S. (2003), *Neuroanatomía Clínica*, Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana, Quinta Edición.
- Young, P. A. & Young, P. H. (2001), *Neuroanatomía Clínica y Funcional*, Barcelona, España, Editorial Masson.

Este libro se terminó de imprimir
en Santiago de Chile,
septiembre de 2021

Teléfono: 22 22 38 100 / ril@rileditores.com

Se utilizó tecnología de última generación que reduce
el impacto medioambiental, pues ocupa estrictamente
el papel necesario para su producción, y se aplicaron
altos estándares para la gestión y reciclaje de desechos
en toda la cadena de producción.

La neuroanatomía corresponde al estudio del sistema nervioso, en especial de la configuración de las estructuras que constituyen el sistema nervioso central, comprendidas como vías y centros nerviosos. La neuroanatomía se relaciona estrechamente con otras disciplinas que se ocupan de este sistema, como la anatomía macroscópica, la biología del desarrollo, la histología, la fisiología, las neurociencias, entre otras.

La comprensión de la organización del sistema nervioso es fundamental para que el profesional de la salud comprenda los fundamentos del comportamiento y de las respuestas del individuo ante el medio. Este conocimiento ha tenido un notable desarrollo reciente de la mano de las neurociencias que han permitido una mejor comprensión de los fundamentos biológicos de la conducta. También ha sido notable el desarrollo de técnicas imagenológicas para el estudio en vivo del sistema nervioso. Ambas disciplinas, las neurociencias y la imagenología, requieren una adecuada comprensión de la morfología de las vías y centros nerviosos.

En este libro ofrecemos una descripción de la neuroanatomía humana, coherente con los contenidos propios de un curso en esta materia, dirigido a estudiantes de ciencias de la salud y medio de consulta a profesionales del área. Por ello contribuye como una herramienta útil, orientadora y didáctica para el aprendizaje del estudiante, y no pretende mostrar el conocimiento neuroanatómico humano disponible de manera exhaustiva.

En el primer capítulo se establecen los conceptos básicos. Se trata de un glosario de términos fundamentales para la comprensión de las descripciones que se realizan en los capítulos siguientes. En el segundo y el tercer capítulo se analizan la neurohistología con aplicaciones clínicas y el desarrollo de las estructuras del sistema nervioso central. A partir del cuarto capítulo se realiza la descripción de la neuroanatomía de manera segmentaria, desde la médula espinal hasta los niveles superiores del sistema nervioso central. Finalmente se incluyen capítulos integradores que permiten la comprensión de vías que recorren centros en los distintos niveles del sistema nervioso central.

Hemos acompañado las descripciones con ilustraciones —desarrolladas minuciosamente por la médico cirujano Carla Lillo Muñoz— que son muchas veces más importantes que el texto mismo.

Esperamos que les sea de utilidad.

