Ciencia Latina
Internacional

Fundamentos de Neuroanatomía Funcional para Ciencias de la Salud

CID editorial
ALIANZA RED
Red de Redes
INDEXA
Crossref

Diciembre 2025 – CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright © CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright del texto © 2025 de Autores
biblioteca.ciencialatina.org
editorial@ciencialatina.org
Atención por WhatsApp al +52 22 26903834

Datos Técnicos de Publicación Internacional
Título: Fundamentos de Neuroanatomía Funcional para Ciencias de la Salud **Autores:** Ronald Jonathan Cañarte Siguencia, Andrea Graciela Alvarado Zambrano **Diseño de tapa:** CID - Centro de Investigación y Desarrollo **Corrección de Estilo:** CID - Centro de Investigación y Desarrollo **Formato:** PDF **Páginas**: 216 pág. **Tamaño:** A4 **Requisitos de sistema:** Adobe Acrobat Reader **Modo de acceso:** World Wide Web **ISBN:** 978-1-968743-53-6 **DOI:** https://doi.org/10.37811/cli_w1294

1ª. Edición. Año 2025. Editorial CID - Centro de Investigación y Desarrollo.

El contenido del libro y sus datos en su forma, corrección y fiabilidad son responsabilidad exclusiva de los autores. Permite la descarga de la obra y compartir siempre que los créditos se atribuyan a los autores, pero sin la posibilidad de cambiarlo de cualquier forma o utilizarlo con fines comerciales

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I 5
Fundamentos Evolutivos y Estructurales del Sistema Nervioso 5
CAPÍTULO II 44
Meninges y Sistema de Protección Cerebroespinal 44
CAPÍTULO III 49
Médula Espinal: Organización Anatómica y Funcional 49
CAPÍTULO IV 67
Tronco Cerebral: Organización Anatómica y Funcional 67
CAPÍTULO V 121
Cerebelo: Organización Anatómica y Funcional 121
CAPÍTULO VI 128
Encéfalo: Organización Anatómica y Funcional 128

Fundamentos de Neuroanatomía Funcional para Ciencias de la Salud

"Una aproximación integrada para estudiantes y profesionales de la salud"

Ronald Jonathan Cañarte Siguencia

https://orcid.org/0000-0002-4501-1614

rjcs191987@gmail.com

Guayaquil – Ecuador

Andrea Graciela Alvarado Zambrano

https://orcid.org/0009-0008-0423-9250

andreaalvarado091989@gmail.com

Guayaquil – Ecuador

- Capítulo 1. Fundamentos Evolutivos y Estructurales del Sistema Nervioso
- Capítulo 2. Meninges y Sistema de Protección Cerebroespinal
- Capítulo 3. Médula Espinal: Organización Anatómica y Funcional
- Capítulo 4. Tronco Cerebral: Organización Anatómica y Funcional
- Capítulo 5. Cerebelo: Organización Anatómica y Funcional
- Capítulo 6. Encéfalo: Organización Anatómica y Funcional

CAPÍTULO I

Fundamentos Evolutivos y Estructurales del Sistema Nervioso

Evolución filogenética del sistema nervioso

La **filogenia** es la disciplina que estudia las relaciones evolutivas entre especies y el desarrollo progresivo de sus estructuras biológicas a lo largo del tiempo. En este contexto, la **evolución filogenética del sistema nervioso** analiza los cambios estructurales y funcionales observados desde las formas más simples de organización celular hasta los complejos sistemas nerviosos presentes en los vertebrados superiores, incluyendo el ser humano (Kandel et al., 2021; Haines, 2019).

Orígenes de la función nerviosa: irritabilidad y taxia

La interacción de un organismo con su entorno genera la forma más primitiva de respuesta biológica: la **irritabilidad**, entendida como la capacidad de responder a un estímulo interno o externo. Esta reacción inicial se expresa mediante una respuesta orientada denominada **taxia**, considerada la primera manifestación funcional de un sistema nervioso en etapas tempranas de la evolución (Nolte, 2020).

A medida que aumenta la complejidad ambiental y estructural del organismo, la respuesta nerviosa se vuelve más sofisticada, alcanzando su máximo desarrollo en el ser humano con la aparición de procesos psíquicos superiores.

Evolución filogenética en los diferentes grupos animales

1. Protozoos

Los protozoos, aunque unicelulares, presentan **irritabilidad** y **taxia**, constituyendo las formas más primitivas de respuestas biológicas asociadas a funciones semejantes a un sistema nervioso.

2. Metazoos

Los metazoos comprenden organismos multicelulares con grado variable de organización. Sus sistemas nerviosos muestran un incremento progresivo en **complejidad**, **centralización** y **especialización funcional** (Snell, 2019).

a. Poríferos (esponjas)

Carecen de sistema nervioso verdadero, pero mantienen irritabilidad y taxia.

Dependientes del flujo acuático, muestran respuestas simples sin células nerviosas especializadas.

b. Celenterados inferiores (hidras)

Poseen un **sistema nervioso difuso**, constituido por células neurosensibles y epiteliomusculares que integran funciones sensoriales y motoras simultáneamente.

c. Celenterados superiores (medusas)

Presentan un sistema nervioso **multilateral**, con agrupaciones neuronales organizadas en redes radiales que coordinan movimientos de la sombrilla y tentáculos.

d. Equinodermos

Estructura **multilateral más avanzada**, con un ganglio central encargado de la integración sensitiva y motora.

e. Platelmintos (gusanos planos)

Introducen la disposición **bilateral simétrica** del sistema nervioso, con dos ganglios cerebroides y cordones nerviosos longitudinales orientados en un eje cráneo–caudal.

f. Anélidos

Presentan:

- Cefalización más definida.
- Sistema nervioso centralizado.
- Metamería nerviosa (repetición segmentaria).
- Ganglios segmentarios interconectados.

g. Artrópodos

Su sistema nervioso se caracteriza por:

- Orientación cráneo–caudal.

- Cefalización avanzada.
- Centralización y metamería.
- Desarrollo de **telerreceptores visuales** (omatidios).

3. Cordados

a. Anfioxo (cefalocordado)

Representa un pez primitivo con un **cordón nervioso tubular dorsal hueco**, sustentado por una notocorda. Presenta un engrosamiento cefálico rudimentario, sin diferenciación clara entre encéfalo y médula espinal (Afifi & Bergman, 2005).

4. Vertebrados

En los vertebrados inferiores y superiores el sistema nervioso es más comparable al del ser humano. Su desarrollo embrionario se organiza inicialmente en **tres vesículas encefálicas primarias**:

1. **Prosencéfalo (cerebro anterior)**
2. **Mesencéfalo (cerebro medio)**
3. **Rombencéfalo (cerebro posterior)**

Estas originan **cinco vesículas secundarias**, base estructural del neuroeje:

- **Prosencéfalo → Telencéfalo y Diencéfalo**
- **Mesencéfalo → lámina tectal y pedúnculos cerebrales**
- **Rombencéfalo → Metencéfalo y Mielencéfalo**

En estas estructuras circula **líquido cefalorraquídeo** a través de los ventrículos y del conducto ependimario.

Tipos celulares y consolidación del acto reflejo

En los vertebrados se diferencian grupos neuronales especializados:

- **Receptoras**: transducen estímulos externos en potenciales nerviosos.
- **Sensitivas (aferentes)**: conducen información al sistema nervioso central.

- **Interneuronas**: integran y modulan los impulsos.
- **Motoras (eferentes)**: transmiten órdenes hacia órganos efectores.

La interacción entre estos elementos permite la aparición del **acto reflejo**, mecanismo de respuesta involuntaria y estereotipada, mediado por la unidad funcional del sistema nervioso: el **arco reflejo** (Haines, 2019).

En el arco reflejo:

1. El receptor detecta el estímulo.
2. La vía aferente lo conduce al ganglio de la raíz dorsal.
3. Interneuronas integran la información.
4. La motoneurona de la asta anterior ejecuta la respuesta hacia el efector.

Características del sistema nervioso humano

El sistema nervioso central del ser humano presenta:

- **Disposición dorso–medial**.
- **Orientación cráneo–caudal**.
- **Alto grado de centralización**.
- **Cefalización marcada** (concentración de funciones superiores en el encéfalo).
- **Metamería** residual (visible en médula espinal y pares raquídeos).

Estas características representan el resultado final de un largo proceso evolutivo que culmina en la sofisticación de funciones como el pensamiento, la memoria, el lenguaje y la conciencia (Kandel et al., 2021).

Evolución ontogénica del sistema nervioso

La **ontogenia del sistema nervioso** estudia el desarrollo progresivo de las estructuras neurales desde la fecundación hasta la vida adulta. Este proceso altamente coordinado implica la formación del tubo neural, el establecimiento de las vesículas encefálicas primarias y secundarias, y la diferenciación de los componentes del sistema nervioso central y periférico (Snell, 2019; Moore et al., 2020).

Desarrollo embrionario temprano

Tras la fecundación, el cigoto experimenta divisiones sucesivas que originan la **mórula** y posteriormente el **blastocisto**, compuesto por dos masas celulares:

- **Masa celular interna**, precursora de las hojas germinativas: ectodermo, mesodermo y endodermo.
- **Masa celular externa**, que formará la placenta.

Hacia la **tercera semana del desarrollo**, el ectodermo adopta la forma de un disco aplanado más ancho en su extremo cefálico. De este ectodermo surgen estructuras fundamentales para el sistema nervioso mediante el proceso de **neurulación**.

Neurulación: formación del sistema nervioso primitivo

1. Placa neural (primer estadio)

El ectodermo dorsal se engrosa y constituye la **placa neural**, primera manifestación del sistema nervioso en desarrollo (Haines, 2019).

2. Surco neural (segundo estadio)

Los bordes de la placa neural se elevan formando los **pliegues neurales**, y la región central se invagina formando el **surco neural**.

3. Tubo neural (tercer estadio)

Los pliegues neurales se aproximan y fusionan, iniciando el cierre del tubo neural en la región cervical futura y avanzando en dirección cráneo–caudal.

Durante este proceso persisten dos aberturas:

- **Neuroporo anterior (de Dareste)**: se cierra alrededor del día 25.
- **Neuroporo posterior**: se cierra alrededor del día 27 (Moore et al., 2020).

El cierre completo del tubo neural, a inicios de la cuarta semana, marca el origen estructural del **sistema nervioso central (SNC)**. Simultáneamente, un grupo de células ectodérmicas especializadas se desprende formando la **cresta neural**, origen del **sistema nervioso periférico (SNP)**.

Desarrollo del Sistema Nervioso Central

A finales del primer mes, el tubo neural contiene un epitelio neuroectodérmico pseudoestratificado que se diferencia en **tres capas concéntricas**, esenciales para la futura organización del SNC (Snell, 2019):

1. Capa ependimaria

Tapiza la luz del tubo neural y dará origen al **ependimo**, encargado de recubrir el sistema ventricular.

2. Capa del manto

Contiene neuroblastos, glioblastos y oligodendroblastos.

- **Neuroblastos** → neuronas.
- **Glioblastos** → astrocitos.
- **Oligodendroblastos** → oligodendrocitos.
- Esta capa origina la **sustancia gris**.

3. Capa marginal

Compuesta por fibras nerviosas en mielinización, formará la **sustancia blanca**.

Ontogenia de la médula espinal

El engrosamiento de la capa del manto origina dos regiones:

- **Placa basal (ventral)** → neuronas motoras somáticas y viscerales (asta anterior).
- **Placa alar (dorsal)** → interneuronas y neuronas sensitivas del SNC (asta posterior).

Ambas placas están separadas por el **surco limitante**.

- Los neuroblastos de la placa basal forman las **motoneuronas**, cuyos axones emergen por las raíces ventrales.
- Los neuroblastos de la placa alar originan interneuronas e interneuronas comisurales, cuya información puede ascender, descender o cruzar la línea media (Nolte, 2020).

Ontogenia del encéfalo

Con el cierre del neuroporo anterior, la porción cefálica del tubo neural se dilata y forma **tres vesículas encefálicas primarias**:

1. Prosencéfalo (cerebro anterior)

Da origen a:

- **Telencéfalo**: hemisferios cerebrales y núcleos basales.
- **Diencéfalo**: tálamo, hipotálamo, epitálamo, subtálamo y metatálamo.

2. Mesencéfalo (cerebro medio)

Se diferencia en:

- **Porción ventral**: pedúnculos cerebrales.
- **Porción dorsal**: lámina cuadrigémina (colículos superiores e inferiores).

3. Rombencéfalo (cerebro posterior)

Se divide en:

- **Metencéfalo**: cerebelo (dorsal) y protuberancia (ventral).
- **Mielencéfalo**: bulbo raquídeo o médula oblongada.

La configuración de vesículas y cavidades origina posteriormente el **sistema ventricular**, por donde circula el líquido cefalorraquídeo.

Desarrollo del Sistema Nervioso Periférico

Las células de la **cresta neural** migran desde la región dorsolateral del tubo neural y forman:

- Neuronas pseudounipolares de los ganglios raquídeos.
- Ganglios simpáticos y parasimpáticos (simpatoblastos).
- Células de Schwann.
- Células pigmentarias.
- Odontoblastos.

- Componentes óseos y cartilaginosos de los arcos faríngeos.
- Meninges externas (duramadre y aracnoides).

Ontogenia de los nervios craneales

Los nervios craneales se originan de la placa basal, la placa alar o las placodas sensitivas:

- **I. Olfatorio** → placoda olfatoria
- **II. Óptico** → vesícula óptica y pedículo óptico
- **III, IV, VI, XI, XII** → placa basal (motores)
- **V, VII, IX, X** → placa basal y alar (mixtos)
- **VIII** → placoda ótica

Ganglios derivados de la cresta neural:

- Ganglio geniculado (VII)
- Ganglios espirales de Corti y vestibulares de Scarpa (VIII)
- Ganglio de Gasser (V)
- Ganglio petroso (IX)
- Ganglio nodoso (X)

Ontogenia de los nervios raquídeos

Los **31 pares de nervios raquídeos** son de origen mixto:

- **Raíz ventral (motora):** placa basal → motoneuronas somáticas y viscerales.
- **Raíz dorsal (sensitiva):** placa alar → conexiones centrales; ganglio raquídeo → neuronas pseudounipolares derivadas de cresta neural.

Las prolongaciones periféricas terminan en receptores, y las centrales ingresan al asta posterior de la médula espinal.

Sistema nervioso autónomo

Deriva también de la cresta neural:

- **Simpático (toracolumbar):** ganglios paravertebrales y prevertebrales.
- **Parasimpático (craneosacro):** ganglios viscerales asociados a III, VII, IX y X pares craneales y al plexo sacro.

Histogénesis del sistema nervioso

La **histogénesis** del sistema nervioso central (SNC) comprende el conjunto de procesos celulares mediante los cuales las células primitivas del tubo neural se diferencian y originan los distintos tipos celulares que conformarán la médula espinal y el encéfalo. Una vez completado el cierre del tubo neural, su luz queda revestida por un **epitelio neuroectodérmico pseudoestratificado**, denominado **neuroepitelio**, el cual constituye la unidad germinativa a partir de la cual se originan todos los elementos neuronales y gliales del SNC (Snell, 2019; Nolte, 2020).

Neuroepitelio y líneas de diferenciación

Las células neuroepiteliales presentan intensa actividad mitótica y originan progresivamente varios tipos celulares:

1. Neuroblastos

Son las **células precursoras de las neuronas**. Su diferenciación ocurre en etapas secuenciales:

- **Neuroblasto apolar**
- **Neuroblasto bipolar**
- **Neuroblasto multipolar**

Los neuroblastos multipolares evolucionan finalmente hacia **neuronas maduras**, que migran a su localización definitiva dentro de la sustancia gris (Moore et al., 2020).

2. Glioblastos

Derivan del neuroepitelio y constituyen los precursores de las células gliales del SNC:

- **Oligodendroblastos → oligodendrocitos**, encargados de la mielinización en el SNC.
- **Astroblastos → astrocitos**:
  - **Astrocitos fibrosos** (en la sustancia blanca)

- **Astrocitos protoplasmáticos** (en la sustancia gris)

Estas células participan en el soporte metabólico neuronal, regulación iónica y mantenimiento de la barrera hematoencefálica (Nolte, 2020; Kandel et al., 2021).

3. Células ependimarias

El neuroepitelio también origina el **glioepitelio ependimario**, que recubre la luz del canal central medular y las cavidades ventriculares. Estas células participan en el movimiento del líquido cefalorraquídeo y en la formación de la barrera hematoencefálica ventricular (Haines, 2019).

4. Microglía (mesoglía)

A diferencia del resto de células del SNC, la **microglía no deriva del neuroectodermo**, sino del **mesénquima mesodérmico** circundante. Estas células migran hacia el tubo neural en etapas tempranas y constituyen el sistema inmunitario residente del SNC, participando en la fagocitosis y la respuesta inflamatoria (Kandel et al., 2021).

Teoría histogenética de His

La teoría clásica propuesta por **Wilhelm His** sostiene que el neuroepitelio del tubo neural origina dos líneas celulares fundamentales:

1. Células germinales

Responsables de la producción de **neuroblastos**, los cuales se diferencian en neuronas.

2. Espongioblastos

Precursores de:

- **Glioblastos**, que darán origen a oligodendrocitos y astrocitos.
- **Glioepitelio ependimario**, encargado de revestir el sistema ventricular.

Esta división histórica permitió establecer las bases del conocimiento moderno sobre la diferenciación celular en el SNC (Afifi & Bergman, 2005).

Sistema nervioso central. - Una vez cerrado el tubo neural, en su interior prolifera un epitelio pseudoestratificado que se diferencia en el neuroepitelio responsable de originar todas las células nerviosas, tales como:

- Neuroblasto apolar que se diferencia en neuroblasto bipolar, multipolar y estos en neuronas.
- Glioblasto que se diferencia oligodendroblastos y astroblastos que da origen a las neuroglias como las oligodendroglías centrales; y las macroglías como el astrocito fibroso y protoplasmático.
- Célula ependimaria o glioepitelio ependimario que recubre la luz del epéndimo.
- Microglía, mesoglía o falsa glía, la mesénquima del mesodermo que rodea el tubo neural tiene la capacidad de diferenciarse en esta célula de función inmunitaria.

La teoría de His sostiene que en el tubo neural existen dos tipos de células a partir de las cuales se originan las células nerviosas: células germinales que se diferencian en neuroblastos y los espongioblastos que se diferencian en glioblastos y glioepitelio ependimario.

La Neurona

La **neurona** es la unidad estructural y funcional fundamental del sistema nervioso. Se caracteriza por su **individualidad funcional**, al ser capaz de recibir, integrar y transmitir información de manera autónoma, y por su capacidad de establecer **relaciones de contigüidad** mediante sinapsis para la comunicación intercelular (Kandel et al., 2021; Nolte, 2020). Morfológicamente, está constituida por un **soma o cuerpo celular**, y por dos tipos de prolongaciones: **dendritas** y **axón**.

1. Soma o cuerpo neuronal

El soma contiene los componentes esenciales para el metabolismo y la supervivencia celular. Presenta abundantes **corpúsculos de Nissl**, **neurofilamentos**, organelos citoplasmáticos y un núcleo característico.

1.1. Núcleo neuronal

El núcleo neuronal es generalmente **único, esférico y central**, con cromatina laxa y un nucléolo prominente. Su tamaño es proporcional a la actividad metabólica de la célula. Cajal clasificó los núcleos neuronales según la disposición de la cromatina en:

1. **reticulada**,
2. **condensada**, y
3. **granular** (Snell, 2019).

1.2. Organelos citoplasmáticos

En el citoplasma se observan:

a) Aparato de Golgi

Constituido por sacos y vesículas que conforman un retículo laminar encargado del procesamiento, empaquetamiento y secreción de proteínas y neurotransmisores.

b) Mitocondrias

Presentes en todo el soma, pero especialmente abundantes en el **telodendrón**, debido al elevado requerimiento energético de la transmisión sináptica (Haines, 2019).

c) Lisosomas

Estructuras redondeadas implicadas en la degradación de productos intracelulares y en procesos de reciclaje celular.

1.3. Inclusiones citoplasmáticas

Entre las inclusiones pigmentarias destacan:

- **Melanina**: pigmento oscuro observado en el locus coeruleus, sustancia negra y núcleo rojo.
- **Lipofuscina**: pigmento de desgaste de color amarillento que aumenta con la edad.
- **Gránulos neurosecretores acidófilos**: presentes en núcleos supraóptico y paraventricular.

- Inclusiones glúcidas, lipoides o vacuolares pueden encontrarse en diferentes contextos fisiológicos o patológicos (Afifi & Bergman, 2005).

2. Neurofibrillas y corpúsculos de Nissl

2.1. Neurofibrillas

Las neurofibrillas constituyen parte del **citoesqueleto neuronal** y se distribuyen por soma, dendritas y axón. Al microscopio electrónico se componen de:

- **Neurofilamentos**
- **Microtúbulos**
- **Microfilamentos**

Cumplen funciones estructurales y participan en el transporte axonal (Kandel et al., 2021).

2.2. Corpúsculos de Nissl

Son agregados de **retículo endoplásmico rugoso y ribosomas**, localizados en el soma y las dendritas, pero ausentes en el **cono de arranque** y en el **axón**. Constituyen centros de síntesis proteica esenciales para la función neuronal. Su morfología varía según el tipo de neurona (Snell, 2019).

Cromatólisis

Proceso que ocurre tras lesión axonal, caracterizado por la **disolución y desaparición de los corpúsculos de Nissl**. Si la neurona se recupera, el proceso se revierte; si el daño es grave, conduce a apoptosis neuronal (Moore et al., 2020).

3. Membrana neuronal

La neurona está delimitada por una **bicapa fosfolipídica** que contiene proteínas estructurales, canales iónicos, bombas y receptores. Esta membrana regula el intercambio iónico y molecular, mantiene el potencial de membrana y permite la propagación del impulso nervioso (Nolte, 2020).

4. El axón

El **axón** es una prolongación única que emerge del **cono de arranque** o **montículo axónico**. Se caracteriza por:

- ausencia de corpúsculos de Nissl,
- calibre uniforme,
- emisión de colaterales en ángulo recto,
- terminación en una arborización denominada **telodendrón**.

El telodendrón contiene abundantes mitocondrias y vesículas sinápticas. La conducción del impulso es **celulífuga** (sale del soma), en concordancia con la **ley de polaridad dinámica** (Kandel et al., 2021).

5. Las dendritas

Las **dendritas** son prolongaciones múltiples, cortas y con diámetro irregular. Contienen corpúsculos de Nissl y reciben impulsos provenientes de otras neuronas, siendo su conducción **celulípeta** (hacia el soma). Constituyen la principal superficie receptora neuronal (Haines, 2019).

Clasificación de las Neuronas

La clasificación de las neuronas puede realizarse atendiendo a distintos criterios morfológicos y funcionales a continuación revisaremos los más utilizados:

1. Clasificación según el número de prolongaciones

Este criterio es uno de los más empleados en neuroanatomía clásica y se basa en la cantidad y disposición de dendritas y axón (Nolte, 2020; Snell, 2019).

a) Neuronas apolares

Corresponden a un estadio temprano del desarrollo, derivadas del neuroblasto apolar. En el adulto solo persisten en algunas regiones especializadas, como el área postrema del tronco encefálico.

b) Neuronas unipolares, monopolares o pseudounipolares

Poseen una sola prolongación que se bifurca en dos ramas, una periférica y otra central. Constituyen la población neuronal predominante en los **ganglios raquídeos** y en los **ganglios sensitivos de los nervios craneales**.

c) Neuronas bipolares

Presentan dos prolongaciones: una dendrita y un axón. Se encuentran en estructuras sensoriales especializadas como:

- la retina (neuronas bipolares conectadas con conos y bastones),
- los quimiorreceptores gustativos,
- los ganglios coclear (Corti) y vestibular (Scarpa) del nervio VIII.

d) Neuronas multipolares

El tipo más abundante del sistema nervioso central. Poseen múltiples dendritas y un axón. Participan en funciones motoras, integradoras y asociativas.

2. Clasificación según la forma celular (Santiago Ramón y Cajal)

Cajal propuso una clasificación basada en la morfología de las arborizaciones dendríticas y la disposición del soma (Haines, 2019).

a) Neuronas de arborización protoplasmática monopolar (neuronas de Purkinje)

Propias de la **corteza cerebelosa**, con forma piriforme y un tronco dendrítico grueso del cual emergen abundantes ramificaciones en forma de "árbol".

b) Neuronas con penacho o apósito polar (neuronas piramidales dobles)

Presentes en el **hipocampo**, poseen una dendrita principal en un extremo y un penacho dendrítico en el otro, mientras que el axón emerge desde la base.

c) Neuronas con grueso tronco protoplasmático apical (neuronas piramidales)

Abundan en la **corteza cerebral**. Entre ellas destacan las **células gigantopiramidales de Betz**, ubicadas en la quinta capa de la corteza motora, cuyos axones conforman parte fundamental de la vía piramidal.

d) Neuronas estrelladas

Pueden ser pequeñas, medianas o grandes.

- Las **grandes** corresponden a neuronas motoras de la asta anterior y núcleos motores del tronco encefálico.

- Las pequeñas y medianas representan **neuronas granulares** de corteza, cerebelo y médula espinal, actuando principalmente como interneuronas.

3. Clasificación según la longitud del axón (Camillo Golgi)

Golgi propuso una clasificación universal al considerar que todas las neuronas son multipolares, diferenciándose por la **longitud de su axón** (Afifi & Bergman, 2005).

a) Neuronas de Golgi tipo I (axón largo)

De carácter motor. Sus axones recorren largas distancias dentro del neuroeje y participan en conexiones de proyección.

b) Neuronas de Golgi tipo II (axón corto)

Sus axones no ingresan en la sustancia blanca. Funcionan como interneuronas o neuronas de asociación, formando circuitos locales de retroalimentación.

La Doctrina de la Neurona (Waldeyer)

Formulada a finales del siglo XIX, constituye uno de los pilares de la neurobiología moderna. Establece que la neurona es la **unidad básica** del sistema nervioso en términos:

a) Genéticos

Cada neurona se origina exclusivamente a partir de un neuroblasto y permanece indivisible.

b) Morfológicos

Las neuronas son entidades separadas; no existe continuidad citoplasmática entre ellas, solo **contigüidad** sináptica. Cajal denominó este principio **"ley de independencia orgánica"**.

c) Tróficos

La respuesta neuronal frente a la lesión es específica: puede presentar **cromatólisis**, regeneración axonal o **degeneración walleriana**.

d) Fisiológicos

La conducción del impulso sigue un trayecto unidireccional desde las dendritas hacia el axón, conforme a la **ley de polarización dinámica**.

e) Patológicos

Cada neurona responde de manera individual frente a agentes patógenos o lesiones.

La doctrina neuronal permitió establecer los fundamentos para comprender la organización estructural y funcional del sistema nervioso (Kandel et al., 2021).

La Neuroglía

La **neuroglía** constituye el conjunto de células no neuronales que brindan soporte estructural, metabólico, inmunológico y homeostático al sistema nervioso. Todas las neuroglias, excepto la microglía, derivan del **neuroectodermo del tubo neural**, y se caracterizan por poseer prolongaciones citoplasmáticas que ocupan los espacios intersticiales del tejido nervioso y cumplen funciones de sostén, protección y regulación del microambiente neuronal (Nolte, 2020; Snell, 2019).

Tradicionalmente, la neuroglía se clasifica en:

1. **Ectoglía o glía verdadera**, derivada del neuroectodermo.
2. **Mesoglía o microglía**, de origen mesodérmico.

1. Glía verdadera o ectoglía

La ectoglía comprende tres grandes grupos celulares:

1. **Glioepitelio ependimario**,
2. **Macroglía (astrocitos)**,
3. **Oligodendroglía**.

1.1. Macroglía: Los astrocitos

Los **astrocitos** constituyen la población glial más numerosa del sistema nervioso central (SNC). Cumplen funciones **tróficas, estructurales, defensivas, metabólicas y reguladoras del**

microambiente extracelular, además de participar en la formación de la **barrera hematoencefálica (BHE)** y en el mantenimiento de la sinapsis (Kandel et al., 2021).

Los astrocitos se clasifican en dos tipos clásicos:

a) Astrocito fibroso (aracnocito)

- Se localiza predominantemente en la **sustancia blanca**.
- Presenta **gliofibrillas**, prolongaciones finas, largas y con escasa ramificación.
- Sus prolongaciones terminales se expanden en **pies perivasculares o podocitos**, que rodean los capilares contribuyendo a la **BHE**.
- Junto con la piamadre forma la **membrana pioglial**.
- Ante lesión del SNC, desarrolla **astrocitosis reactiva**, caracterizada por hipertrofia y aumento de filamentos intermedios (Nolte, 2020).

Se lo denomina también **"satélite vascular"** por su relación directa con vasos sanguíneos.

b) Astrocito protoplasmático (musgocito)

- Predomina en la **sustancia gris**.
- Carece de gliofibrillas evidentes, pero posee **gliosomas**, inclusiones citoplasmáticas características.
- Tiene prolongaciones gruesas, cortas y tortuosas.
- Rodea somas neuronales manteniendo una íntima conexión metabólica; por ello Cajal lo denominó **"satélite neuronal"**.
- Participa igualmente en la **BHE** y en la regulación sináptica (Haines, 2019).

1.1.1. Astrocitos atípicos

Existen formas especializadas de macroglía, como:

- **Células de Müller** (retina).
- **Células de Bergmann** (corteza cerebelosa).

Estas representan variantes morfológicas adaptadas a la organización tisular de estructuras particulares (Afifi & Bergman, 2005).

1.2. Oligodendroglía

Las **oligodendroglías** poseen escasas prolongaciones y un citoplasma rico en gliosomas. Son las responsables de producir la **vaina de mielina en el SNC**, y se distribuyen tanto en la sustancia gris como blanca.

Se han descrito cuatro tipos clásicos de oligodendroglía central (Río-Hortega, citado por Kandel et al., 2021):

1. **Tipo I o de Robertson**: satélites perineuronales, predominan en sustancia gris.
2. **Tipo II o de Cajal**: rodean fibras nerviosas en forma laminar; se ubican cerca de la sustancia blanca.
3. **Tipo III o de Paladino**: estrechamente relacionadas con fibras nerviosas, formando anillos y espirales.
4. **Tipo IV o de Río Hortega**: producen abundante mielina en la sustancia blanca.

Oligodendroglía periférica

En el sistema nervioso periférico (SNP), las funciones equivalentes recaen en:

- **Células de Schwann o lemnocitos** (mielina somática).
- **Células de Remak** (fibras amielínicas viscerales).
- **Teloglias o lemnocitos terminales** (terminaciones nerviosas).
- **Anficitos en ganglios periféricos**, rodeando somas neuronales.

Estas células garantizan la conducción saltatoria y el aislamiento eléctrico de los axones (Snell, 2019).

2. Microglía o mesoglía

La **microglía** es la única glía de origen **mesodérmico**, derivada del mesénquima circundante al tubo neural. Fue caracterizada por **Pío del Río Hortega**, quien la identificó usando tinciones de plata amoniacal.

Funciones principales:

- Actúa como **macrófago residente del SNC**.
- Participa en **fagocitosis**, vigilancia inmunitaria y eliminación de detritos.
- Se activa durante la lesión, adoptando morfología ameboide y función presentadora de antígenos (Kandel et al., 2021).

En la sustancia gris se clasifica en:

- **Satélites perivasculares**
- **Satélites perineuronales**
- **Neuroglias intersticiales**

3. Glioepitelio ependimario

El cierre del tubo neural da origen a la **capa ependimaria**, que se diferencia en un epitelio cúbico o cilíndrico ciliado conocido como **epéndimo**. Este reviste las cavidades ventriculares del encéfalo y el canal central de la médula espinal, colaborando en el movimiento del líquido cefalorraquídeo y en la homeostasis del microambiente ventricular (Haines, 2019).

Fibra nerviosa

La fibra nerviosa se compone del axón y de las vainas que lo rodean: la vaina de mielina en las fibras mielínicas o las células de Schwann en las fibras amielínicas. Morfológicamente, presenta una estructura cilíndrica con estrechamientos periódicos denominados estrangulaciones de Ranvier, que separan los segmentos internodales o nodos de Ranvier con una longitud aproximada de 0,5 a 2 mm (Snell, 2019).

Estructura de la fibra nerviosa

1. Axón o neurito: El axón contiene neurofibrillas y organelos citoplasmáticos, y está recubierto por el axolema. Ante tinciones con nitrato de plata, en los nodos de Ranvier puede observarse la denominada cruz de Ranvier, visible debido a la ausencia de protección de mielina en dicho punto (Nolte, 2019).

2. Vaina de mielina: La vaina de mielina es una cubierta lipoproteica discontinua que envuelve al axón y deja expuestos los nodos de Ranvier. Está formada por oligodendrocitos en el

sistema nervioso central (SNC) y por células de Schwann en el sistema nervioso periférico (SNP). Dentro del segmento internodal se observan interrupciones denominadas cisuras de Schmidt-Lanterman, que corresponden a remanentes citoplasmáticos entre las láminas de mielina (Kandel et al., 2021). El enrollamiento espiral de la membrana plasmática de la célula de Schwann forma el mesoaxón, el cual puede ser interno o externo según su continuidad con las láminas de mielina.

3. Vaina de Schwann: La vaina de Schwann, o neurilema, rodea externamente a la vaina de mielina y está constituida por las células de Schwann. Cada segmento internodal corresponde a una célula de Schwann, la cual se engrosa y ramifica a nivel de los nodos de Ranvier para interdigitase con las células vecinas. En las fibras amielínicas, una sola célula de Schwann puede englobar múltiples axones, mientras que, en el SNC, un oligodendrocito puede mielinizar hasta 60 axones (Snell, 2019).

4. Vaina endoneural: La vaina endoneural, también llamada vaina de Henle o de Key y Retzius, está constituida por tejido conectivo laxo que brinda soporte y protección a cada fibra nerviosa individual (Nolte, 2019).

Clasificación anatómica de las fibras nerviosas

La clasificación anatómica se basa en la presencia o ausencia de mielina y de neurilema (Guyton & Hall, 2021).

1. Fibras mielínicas con neurilema

- Mayor espesor y abundante mielina.
- Rodeadas por una vaina completa de células de Schwann.
- **Localización:** nervios raquídeos y craneales (excepto pares I y II), pertenecientes al SNP somático.

2. Fibras mielínicas sin neurilema

- Gruesas y de conducción rápida.
- Poseen vaina de oligodendroglía tipo IV.
- **Localización:** sustancia blanca del SNC y fibras del nervio óptico.

3. Fibras amielínicas con neurilema

- Fibras delgadas.
- Rodeadas por células de Schwann.
- **Localización:** sistema nervioso periférico visceral (fibras de Remak) y nervio olfatorio.

4. Fibras amielínicas sin neurilema

- Fibras centrales delgadas.
- **Localización:** sustancia gris del SNC.

Clasificación fisiológica de las fibras nerviosas

Erlanger y Gasser (1937) clasificaron las fibras según (Kandel et al., 2021):

a) diámetro,

b) velocidad de conducción,

c) características del registro eléctrico,

dividiéndolas en grupos **A, B, C** y **γ (gamma)**.

Fibras A

- Diámetro: 1–20 µm.
- Velocidad de conducción: 5–120 m/s.
- Fibras mielínicas somáticas sensitivas y motoras.

Subtipos

Aα

- 15 µm; 60–120 m/s.
- Conducen impulsos motores hacia músculo esquelético y propioceptivos hacia el SNC.

Aβ

- 8 µm; 30–70 m/s.
- Transmiten sensibilidad táctil, presión y temperatura.

Aδ

- 5 µm; 15–30 m/s.
- Conducen impulsos relacionados con el dolor agudo y temperatura.

Aθ (subgrupo fino de Aβ)

- 3 µm; 12–30 m/s.
- Participan en la conducción sensorial de temperatura y dolor.

Fibras B

- 3 µm; 3–15 m/s.
- Mielínicas, visceromotoras preganglionares y viscerosensitivas.
- Incluyen fibras preganglionares del sistema autónomo.

Fibras C

- 0,3–1,3 µm; 0,5–2 m/s.
- Amielínicas.
- Conducen dolor difuso, impulsos viscerales y fibras posganglionares del SNP.

Fibras γ

- 3–6 µm; 15–30 m/s.
- Mielínicas.
- Controlan el tono muscular y participan en el **circuito gamma** junto a los husos musculares.

Nervio

Un nervio constituye una estructura formada por la agrupación de múltiples fibras nerviosas, las cuales se organizan en **fascículos**; a su vez, varios fascículos conforman el nervio periférico. Su arquitectura interna está sostenida por capas de tejido conectivo especializado, cuya función es brindar protección, soporte estructural y mantener el microambiente neural adecuado (Snell, 2019; Nolte, 2019):

- **Epineuro:** capa externa de tejido conectivo denso que envuelve y protege a todo el nervio.
- **Perineuro:** capa de tejido conectivo que rodea cada fascículo nervioso y contribuye a la barrera hemoneural.
- **Endoneuro:** tejido conectivo laxo que rodea individualmente a cada fibra nerviosa.

Clasificación de los nervios

Según su función

- **Motores:** conducen impulsos eferentes hacia músculo estriado.
- **Sensitivos:** transmiten información aferente desde receptores periféricos.
- **Mixtos:** contienen fibras motoras y sensitivas.

Según su origen en el neuroeje

Nervios craneales (12 pares)

- **Motores:** III, IV, VI, XI, XII.
- **Sensitivos:** I, II, VIII.
- **Mixtos:** V, VII, IX, X.

Nervios raquídeos

- 31 pares, todos **mixtos**, con componentes aferentes y eferentes (Bear et al., 2021).

Lesiones nerviosas

Toda lesión nerviosa implica dos eventos fundamentales:

1. **Alteración de la conducción**, debido a daño de la mielina o interrupción axonal.

2. **Degeneración Walleriana**, fenómeno de destrucción del segmento distal del axón lesionado (Kandel et al., 2021).

Las principales clasificaciones clínicas de lesión nerviosa son:

- **Neuromesis:** sección completa del nervio, con pérdida total de la continuidad axonal y del tejido conectivo.

- **Neuropraxia:** interrupción transitoria de la conducción, generalmente por compresión; no existe daño axonal.

- **Axonotmesis:** el axón se interrumpe, pero las envolturas conectivas del nervio permanecen intactas, permitiendo la regeneración.

La regeneración axonal en el sistema nervioso periférico ocurre a una velocidad aproximada de **1 mm por día**, y puede requerir hasta seis meses para completarse, dependiendo del nivel de lesión (Snell, 2019).

Nervio raquídeo

Cada nervio raquídeo se organiza en cuatro ramos principales:

- Ramo dorsal
- Ramo ventral
- Ramo comunicante
- Ramo meníngeo

Sistemas neuronianos del nervio raquídeo

Raíz dorsal (aferente sensitiva)

La raíz dorsal presenta un **ganglio espinal**, constituido por neuronas pseudounipolares que poseen dos prolongaciones:

- **Prolongación periférica:** recoge el estímulo desde los receptores.
- **Prolongación central:** ingresa a la médula espinal y establece sinapsis en los núcleos del asta dorsal (Nolte, 2019).

En esta raíz se identifican los siguientes sistemas:

1. Sistema aferente somático general

Conduce información:

- **Exteroceptiva:** tacto, térmica y dolorosa.
- **Propioceptiva:**
  - *Consciente:* proyecta a la corteza cerebral.
  - *Inconsciente:* alcanza el cerebelo antes de proyectarse a niveles corticales.

2. Sistema aferente visceral general

Transporta sensibilidad visceral, especialmente dolor difuso procedente de vísceras.

3. Sistema aferente gamma

Conduce información sensorial procedente del circuito gamma y de los husos neuromusculares.

La lesión en la raíz dorsal produce **anestesia** en el territorio correspondiente.

Raíz ventral (eferente motora)

La raíz ventral está formada por fibras procedentes de los núcleos motores del asta anterior, derivados de la placa basal del tubo neural (Kandel et al., 2021). Se identifican tres sistemas neuronianos principales:

1. Sistema eferente somático general

Compuesto por fibras somatomotoras tipo A, mielínicas y de conducción rápida, encargadas de inervar el músculo estriado esquelético.

Fibras somatomotoras

- **Origen:** núcleos motores del asta ventral.
- **Tipo anatómico:** fibras mielínicas con neurilema.
- **Velocidad de conducción:** 5–120 m/s.
- **Terminación:** placa motriz terminal.

2. Sistema eferente visceral general

Formado por fibras visceromotoras tipo C (amielínicas) que se originan en los núcleos visceromotores, incluyendo núcleo de Onuf (parasimpático) y el núcleo simpático intermediolateral. Sus fibras forman parte del sistema nervioso autónomo y se dirigen hacia músculo liso, músculo cardíaco y glándulas.

Fibras visceromotoras

- **Origen:** núcleos visceromotores.
- **Tipo anatómico:** fibras amielínicas con neurilema.
- **Velocidad:** 3–15 m/s.
- **Terminación:** plexos en músculo liso, cardíaco y glándulas.

3. Sistema eferente gamma

Transporta la señal motora hacia los husos neuromusculares y neurotendinosos para regular el tono muscular, integrándose al circuito gamma.

Fibras gamma

- **Diámetro:** 3–6 µm.
- **Velocidad:** 15–30 m/s.
- **Mielinización:** mielínicas.

- Función: modulación del tono muscular y retroalimentación propioceptiva (Bear et al., 2021).

La organización del nervio raquídeo representa un modelo completo de integración sensitivo-sensorial (aferente) y motora (eferente). La complejidad estructural y funcional de los nervios craneales se aborda de manera específica en la sistematización del tronco encefálico.

Ganglio

Los ganglios nerviosos son agrupaciones de cuerpos neuronales situadas fuera del sistema nervioso central (SNC). Constituyen estaciones funcionales intermedias en la transmisión de información sensitiva o autonómica. Están rodeados por una cápsula de tejido conjuntivo, la cual se continúa con las capas fibrosas de los nervios periféricos (Snell, 2019; Nolte, 2019). Desde el punto de vista funcional, los ganglios se clasifican en ganglios sensitivos y ganglios visceromotores (autonómicos).

Ganglios sensitivos

Según su localización, los ganglios sensitivos pueden ser **raquídeos** o **craneales**. Se caracterizan por contener neuronas primarias aferentes, cuya función consiste en recibir información sensitiva periférica y transmitirla hacia el SNC.

1. Ganglios espinales (raquídeos)

Se encuentran en la raíz dorsal de cada uno de los 31 pares de nervios raquídeos. Contienen neuronas pseudounipolares, típicas del sistema sensitivo somático (Kandel et al., 2021).

2. Ganglios craneales

Localizados en relación con los nervios craneales que transportan sensibilidad aferente. Entre ellos:

- Ganglio de Gasser o trigeminal (nervio V)
- Ganglio geniculado (nervio VII)
- Ganglio petroso (nervio IX)
- Ganglio nodoso o yugular-inferior (nervio X)
- Ganglios de Corti y de Scarpa (nervio VIII)

Las neuronas de los ganglios sensitivos son predominantemente pseudounipolares, excepto aquellas asociadas al nervio vestibulococlear (VIII), que son bipolares (Nolte, 2019).

Estas neuronas presentan cuerpos celulares de 20 a 100 µm de diámetro. Se distinguen dos poblaciones principales:

- Células grandes y claras, con axones mielínicos, relacionadas con la sensibilidad propioceptiva.
- Células pequeñas y oscuras, cuyos axones amielínicos participan en la conducción del dolor y la sensibilidad exteroceptiva.

Las prolongaciones de las neuronas pseudounipolares se originan como un solo proceso que se bifurca en forma de "T" o "Y":

- Una rama periférica, que actúa como fibra aferente.
- Una rama central, que penetra en el neuroeje para sinaptar en la médula o el tronco encefálico.

La neuroglia de los ganglios sensitivos está compuesta por células satélite o anfineurogliocitos perisomáticos y periaxónicos, encargados de sostén metabólico y aislamiento (Waxman, 2017).

Ganglios visceromotores (autonómicos)

Son ganglios pertenecientes al sistema nervioso autónomo y se dividen según su ubicación y función (Bear et al., 2021):

- Cadenas laterovertebrales (paravertebrales) del sistema simpático.
- Ganglios prevertebrales, ubicados en el abdomen y pelvis.
- Ganglios intraviscerales o terminales, localizados dentro de las paredes de órganos.
- Ganglios cefálicos parasimpáticos, asociados a pares craneales:
  - Ganglio ciliar (nervio III).
  - Ganglio esfenopalatino (nervio VII).
  - Ganglio submandibular (nervio VII).

- Ganglio ótico (nervio IX).
- Ganglios terminales del nervio X (vago).

Las neuronas de los ganglios visceromotores son multipolares, también denominadas neuronas de Dogiel, caracterizadas por un núcleo excéntrico, escasa cromatina y un nucléolo prominente. Sus axones constituyen fibras postganglionares, que establecen sinapsis con músculo liso, músculo cardíaco o células glandulares (Kandel et al., 2021).

Al igual que en los ganglios sensitivos, su neuroglia está constituida por células satélite anfineurogliocíticas, que envuelven los somas neuronales proporcionando soporte y regulación microambiental.

Sinapsis

La actividad nerviosa del ser humano, tanto voluntaria como involuntaria, depende de la capacidad de las neuronas para transmitir información mediante conexiones especializadas denominadas sinapsis. El mecanismo más elemental de integración funcional del sistema nervioso es el arco reflejo, estructurado por una secuencia de neuronas que conducen impulsos desde receptores periféricos hacia el sistema nervioso central (SNC), donde se integra la información para generar una respuesta específica hacia un efector (Haines, 2018; Nolte, 2019). En este contexto, la sinapsis constituye el punto de comunicación funcional entre neuronas o entre una neurona y una célula efectora.

1. Antecedentes históricos de la sinapsis

Los primeros intentos de describir la conexión neuronal surgieron durante el siglo XIX. Gerlach propuso la existencia de una red continua de dendritas, la denominada *red de Gerlach*, interpretando que las neuronas se anastomosaban físicamente. Posteriormente, Golgi defendió la continuidad anatómica entre axones, reforzando el concepto reticularista.

En 1886, Forel refutó estas ideas al señalar que la comunicación entre neuronas no implicaba continuidad estructural. Por su parte, Ramón y Cajal (1888) introdujo la “doctrina de la neurona”, planteando que las neuronas eran unidades independientes que establecían “articulaciones” funcionales. Más adelante, Foster y Sherrington acuñaron el término **sinapsis** para describir el contacto funcional entre neuronas (Purves et al., 2018).

En el siglo XX, los trabajos de Gasser (1939) y Eccles (1957) demostraron que la transmisión sináptica implicaba fenómenos electroquímicos de naturaleza direccional. La introducción del microscopio electrónico en la década de 1950 permitió esclarecer la ultraestructura sináptica y confirmar el carácter discontinuo de las neuronas.

2. Concepto actual de sinapsis

Desde una perspectiva neuroanatómica y funcional, la sinapsis se define como la región especializada donde se establece la comunicación entre dos células excitables, al menos una de ellas neuronal, mediante un proceso unidireccional regulado por la ley de polaridad dinámica, según la cual el impulso nervioso se transmite desde el axón de la neurona presináptica hacia las dendritas, el soma, o excepcionalmente el axón de la célula postsináptica (Snell, 2019; Nolte, 2019).

3. Clasificación anatómica de las sinapsis

Considerando los elementos celulares que participan, las sinapsis se clasifican en (Haines, 2018):

A. Sinapsis interneuronales

- **Axodendríticas:** el axón de una neurona establece contacto con las dendritas de otra. Ejemplo: fibras trepadoras con las dendritas de las células de Purkinje del cerebelo.
- **Axosomáticas:** el axón presináptico contacta directamente el soma neuronal. Ejemplo: la sinapsis del cuerpo trapezoide con su ramillete axónico pericelular.
- **Axoaxónicas:** dos axones entran en relación funcional, modulando la liberación del neurotransmisor. Ejemplo: la sinapsis entre el axón de la célula en cesto y el axón de la célula de Purkinje del cerebelo.
- **Dendrodendríticas:** se presentan en algunos vertebrados e invertebrados, pero no en humanos.

B. Variantes especializadas

- **Placa motora terminal:** sinapsis entre la motoneurona alfa y la fibra muscular esquelética.

- **Plexos terminales viscerales:** interacción entre neuronas visceromotoras y músculo liso, músculo cardiaco o glándulas.

4. Clasificación fisiológica de las sinapsis

De acuerdo con el mecanismo de transmisión del impulso nervioso (Kandel et al., 2021):

- **Sinapsis química:** la señal se transmite por liberación de **neurotransmisores** desde vesículas presinápticas hacia receptores postsinápticos.

- **Sinapsis eléctrica:** la transmisión ocurre mediante un flujo directo de corriente iónica a través de uniones comunicantes (*gap junctions*).

5. Sinapsis química

La mayoría de las sinapsis del sistema nervioso humano son químicas. En ellas, la llegada del potencial de acción a la terminal presináptica induce la liberación de neurotransmisores, los cuales difunden a través de la hendidura sináptica y se unen a receptores postsinápticos generando despolarización o hiperpolarización, según el tipo de receptor activado (Purves et al., 2018).

Neurotransmisores periféricos

- **Acetilcolina:** presente en la unión neuromuscular, fibras simpáticas preganglionares y fibras parasimpáticas pre y posganglionares.

- **Noradrenalina:** neurotransmisor principal de las fibras simpáticas posganglionares.

Neurotransmisores centrales

- **Glutamato:** principal neurotransmisor excitador del SNC; participa en la vía piramidal.

- **GABA:** principal neurotransmisor inhibidor; genera hiperpolarización por entrada de cloro.

- Otros neurotransmisores incluyen glicina, dopamina, serotonina, histamina y numerosos neuropéptidos.

6. Sinapsis eléctrica

En ciertas regiones cerebrales y especialmente en tejidos embrionarios, la transmisión eléctrica permite una propagación rápida del impulso mediante canales intercelulares especializados. La despolarización postsináptica ocurre prácticamente sin retardo, con una conducción generalmente unidireccional dada la alta resistencia del elemento presináptico (Kandel et al., 2021).

7. Ultraestructura de la sinapsis

Los estudios con microscopía electrónica revelan tres componentes fundamentales (Haines, 2018; Nolte, 2019):

Elemento presináptico

Corresponde al extremo del telodendrón y contiene:

- Abundantes mitocondrias.
- Vesículas sinápticas con neurotransmisores.
- Gránulos de glucógeno.
- Puede adoptar configuraciones puntuales, en cáliz, por engranaje o por conexión.

Hendidura sináptica

Espacio de 100–200 Å donde se libera el neurotransmisor. La difusión química ocurre en aproximadamente 0,5 ms.

Elemento postsináptico

Posee densidades postsinápticas con receptores, complejos proteicos y un retículo subsináptico que participa en la transducción de señales y la plasticidad neuronal.

8. Fisiología del impulso nervioso

El potencial de acción incluye tres fases principales:

1. **Despolarización:** apertura de canales de sodio y entrada masiva de Na+.
2. **Repolarización:** salida de K+ hacia el exterior celular.

3. **Recuperación o poshiperpolarización:** restablecimiento del potencial de reposo mediante la bomba Na^+/K^+-ATPasa.

El potencial de reposo oscila entre –70 y –90 mV. Si un estímulo supera el umbral (≈ –50 mV), se activa un potencial de acción regido por la **ley del todo o nada**.

La conducción del impulso nervioso en fibras mielinizadas sigue el principio de **conducción saltatoria**, ocurriendo exclusivamente en los nódulos de Ranvier.

Terminaciones nerviosas

Las terminaciones nerviosas constituyen los segmentos distales del axón, específicamente la porción terminal del telodendrón. Estas estructuras especializadas permiten la comunicación del sistema nervioso con los tejidos efectores y la recepción de información sensorial procedente del medio interno y externo (Nolte, 2019).

Desde el punto de vista funcional, las terminaciones nerviosas pueden clasificarse en:

1. **Terminaciones efectoras:** liberan neurotransmisores que inducen cambios fisiológicos en las células efectoras.

2. **Terminaciones receptoras:** actúan como transductores biológicos capaces de convertir estímulos físicos, químicos o mecánicos en impulsos nerviosos (Snell, 2019).

Receptores

Los receptores sensoriales pueden clasificarse de acuerdo con su morfología en:

- Terminaciones nerviosas libres
- Terminaciones nerviosas encapsuladas

Asimismo, Sherrington los organizó según su ubicación y tipo de sensibilidad en:

- Receptores de la sensibilidad general
- Receptores de la sensibilidad especial (Kandel et al., 2021)

Dentro de la sensibilidad general, se distinguen tres grupos fundamentales:

1. Exteroceptores

Perciben estímulos procedentes del exterior del organismo, tales como tacto, dolor, temperatura y presión. Incluyen receptores de contacto y telerreceptores (Snell, 2019).

2. Propioceptores

Detectan estímulos originados en músculos, tendones, fascias y articulaciones. Son fundamentales para la percepción de la posición corporal, coordinación y regulación del tono muscular. Entre ellos destacan los huesos neuromusculares y los órganos tendinosos de Golgi, responsables de la sensibilidad propioceptiva consciente e inconsciente (Nolte, 2019).

3. Interoceptores

Registran estímulos procedentes de las vísceras, principalmente relacionados con la sensibilidad visceral y el dolor difuso (Kandel et al., 2021).

La sensibilidad puede subdividirse en superficial (relacionada con exterocepción) y profunda (asociada a propiocepción e interocepción).

Receptores generales

Exteroceptores

I. Exteroceptores libres

1. Terminaciones nerviosas libres

Se distribuyen ampliamente en epidermis y tejidos superficiales. Terminan en un ligero ensanchamiento y captan sensaciones del dolor somático (Snell, 2019).

2. Disco táctil de Merkel

También llamados meniscos táctiles. Son receptores de adaptación lenta, localizados en epidermis profunda, vaina externa de la raíz del pelo, planta del pie, palma de la mano y en la areola del pezón son abundantes al nacer y disminuye gradualmente con la edad. Captan sensación táctil protopática, especializados en el tacto discriminativo (Kandel et al., 2021).

3. Terminaciones nerviosas en folículos pilosos

Detectan el desplazamiento del vello y participan en el tacto protopático, dolor somático y sensibilidad peritriquial.

II. Exteroceptores encapsulados

Corpúsculos de Meissner

Localizados en papilas dérmicas de la piel lampiña, son abundantes en la superficie palmar, plantar y dedos. Captan impresiones táctiles protopáticas y epicríticas, especializados en tacto fino y discriminativo.

Responsables de la percepción de vibraciones de baja frecuencia (Nolte, 2019). O

Corpúsculos de Krause

Se encuentran en el corion de la piel, mucosas, genitales externos, conjuntiva, labios, lengua, borde de la córnea. Su terminación nerviosa constituye un verdadero ovillo. Captan estímulos térmicos relacionados con el frío.

Corpúsculos de Ruffini

Presentes en dermis profunda de la palma de las manos, planta de los pies y regiones cutáneomucosas y tejido celular laxo subcutáneo. Su terminación nerviosa se resuelve en finas y flexuosas ramificaciones. Detectan estiramiento cutáneo y temperatura cálida.

Corpúsculos de Pacini (Vater-Pacini)

Receptores encapsulados de gran tamaño asociados a vibración de alta frecuencia y presión profunda. Su Terminación nerviosa no se divide y termina ensanchada. Se hallan en la hipodermis de las palmas de las manos y planta de los pies a nivel de tendones, capsulas articulares, periostio, peritoneo, pleura y pericardio. Captan presión (función exteroceptiva) y recepción de movimiento (función propioceptiva) (Gray, 2021).

Propioceptores

1. Husos neuromusculares

Receptores intrafusales que detectan cambios en la longitud del músculo y contribuyen al reflejo miotático. Poseen aferencias primarias (husos anuloespirales) y secundarias (en

racimo), así como inervación motora gamma para regular su sensibilidad, su función es el tono muscular, sinergia y movimiento (Snell, 2019).

2. Órganos tendinosos de Golgi

Receptores encapsulados, localizados en la unión musculo tendinosa y a veces en los tabiques y vainas musculares. Detectan tensión muscular y contribuyen al mantenimiento del tono y la postura. Su función es informar sobre tensión del musculo, participa en el control del tono muscular, incide en la postura.

3. Corpúsculos de Pacini (Vater-Pacini) Propioceptor.

Receptores encapsulados de gran tamaño asociados a vibración de alta frecuencia y presión profunda. Su Terminación nerviosa no se divide y termina ensanchada. Se hallan en la hipodermis de las palmas de las manos y planta de los pies a nivel de tendones, capsulas articulares, periostio, peritoneo, pleura y pericardio. Captan presión (función exteroceptiva) y recepción de movimiento (función propioceptiva) (Gray, 2021).

Interoceptores

Corresponden a terminaciones libres ubicadas en vísceras. Son responsables de transmitir dolor visceral, distensión y estímulos químicos internos (Kandel et al., 2021).

Receptores especiales

A. Exteroceptores somáticos

1. Fotoreceptores

Conos y bastones ubicados en la retina.

- **Bastones:** sensibles a la visión escotópica (oscuridad) y contienen rodopsina.
- **Conos:** responsables de la visión fotópica (color), con tres tipos de opsinas (rojo, verde, azul).
- Ambos receptores sinaptan con neuronas bipolares y ganglionares para formar el nervio óptico (Kandel et al., 2021).

2. Fonorreceptores

Son los receptores del sonido, se encuentran en el oído interno, el órgano de Corti,

sus células ciliadas internas y externas transforman las vibraciones mecánicas en señales nerviosas que sinaptan con las prolongaciones dendríticas de las células bipolares del ganglio Espiral de Corti y son transmitidas por el nervio coclear a la corteza cerebral. Su función es transformar las ondas sonoras en impulsos nerviosos.

B. Propioceptores somáticos

Estatorreceptores

Receptores del equilibrio ubicados en el vestíbulo y conductos semicirculares.

Incluyen:

- **Máculas (utrículo y sáculo)**: detectan aceleración lineal.
- **Crestas ampulares**: detectan aceleración angular.

Sus células ciliadas presentan estereocilios y un cinocilio; las máculas poseen otolitos de carbonato de calcio (Nolte, 2019).

Receptores especiales viscerales

1. Receptores olfatorios

Neuronas bipolares ubicadas en el epitelio olfatorio de la región posterosuperior de las fosas nasales. La transducción se realiza mediante la prolongación periférica de cilios delgados y cortos expuestos a moléculas odoríferas, su extremo central se reúne para formar el Nervio Olfatorio. Su función es trasformar el olor en estímulo nervioso.

2. Receptores gustativos

Células especializadas en los corpúsculos gustativos ubicados en papilas fungiformes, caliciformes y foliadas. Son células alargadas y fusiformes desde cuyo polo superficial arranca el cilio o pelo gustativo que transmiten la información gustativa a través de los nervios VII, IX y X. Su función es recibir la información gustativa y la transformarla en impulso nervioso.

Efectores

Placa motora terminal

Sinapsis entre neurona motora y fibra muscular esquelética. Utiliza acetilcolina como neurotransmisor (Snell, 2019).

Unidad motora

Conjunto de fibras musculares inervadas por el telodendrón de una motoneurona alfa.

Plexos terminales

Formados por terminaciones nerviosas autonómicas que inervan músculo liso, cardíaco y glándulas, utilizando acetilcolina o catecolaminas.

REFERENCIAS

Afifi, A. K., & Bergman, R. A. (2005). *Neuroanatomía funcional: Texto y atlas* (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2021). *Neurociencia: Explorando el cerebro* (4.ª ed.). Wolters Kluwer.

Gray's Anatomy. (2021). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (42.ª ed.). Elsevier.

Haines, D. E. (2019). *Fundamental neuroscience for basic and clinical applications* (6th ed.). Elsevier.

Kandel, E. R., Koester, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (2021). *Principles of neural science* (6th ed.). McGraw-Hill.

Moore, K. L., Persaud, T. V. N., & Torchia, M. G. (2020). *Embriología clínica* (10.ª ed.). Elsevier.

Nolte, J. (2019). *The human brain: An introduction to its functional anatomy* (8th ed.). Elsevier.

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.

Snell, R. S. (2019). *Neuroanatomía clínica* (8.ª ed.). Wolters Kluwer.

Waxman, S. G. (2017). *Clinical neuroanatomy* (28th ed.). McGraw-Hill.

CAPÍTULO II

Meninges y Sistema de Protección Cerebroespinal

Meninges

Las meninges son membranas concéntricas de naturaleza conjuntivo-vascular que envuelven al sistema nervioso central (SNC), tanto al encéfalo como a la médula espinal. Su función principal consiste en proporcionar protección mecánica, sostén estructural, y participar en procesos de nutrición y homeostasis del medio neural (Snell, 2019; Standring, 2021).

Desde el punto de vista estructural se clasifican en:

- Paquimeninge: Duramadre
- Leptomeninges: Aracnoides y Piamadre

Embriológicamente, la paquimeninge deriva del mesodermo, mientras que las leptomeninges proceden principalmente de la cresta neural (Nolte, 2020).

Duramadre

La duramadre es una membrana resistente y fibrosa compuesta principalmente por tejido colágeno. Se clasifica en duramadre craneal y duramadre raquídea, cada una con características particulares de acuerdo con su localización anatómica (Standring, 2021).

Duramadre craneal

La duramadre craneal se adhiere firmemente a la superficie interna del cráneo y presenta dos capas:

1. **Capa perióstica externa**, íntimamente unida al hueso craneal.
2. **Capa meníngea interna**, que es lisa y se continúa con la aracnoides.

La capa meníngea forma una serie de tabiques durales que dividen compartimentos intracraneales:

- **Hoz del cerebro**
- **Tienda del cerebelo**

- **Hoz del cerebelo**
- **Tienda de la hipófisis**

Estos pliegues durales contienen senos venosos durales que permiten el drenaje venoso encefálico (Standring, 2021).

Hoz del cerebro

Separa los hemisferios cerebrales. Sus límites anatómicos incluyen:

- Inserción anterior: **crista galli**
- Inserción posterior: continuidad con la tienda del cerebelo
- Borde superior: **seno sagital superior**
- Borde inferior: **seno sagital inferior**
- Base: **seno recto**

Tienda del cerebelo

Es un tabique horizontal, semilunar de concavidad anterior que separa los lóbulos occipitales del cerebro del cerebelo. Presenta:

- **Borde anterior libre**, que en conjunto forma la incisura del tentorio para el paso del tronco encefálico.
- **Bordes laterales**, insertos en el peñasco temporal, donde se sitúa el seno petroso superior.
- **Borde posterior**, adherido al occipital y asociado a los senos transversos.

Hoz del cerebelo

Se halla en escotadura cerebelosa posterior, tiene forma triangular, su base se inserta en la parte posterior de la cara inferior de la tienda del cerebelo.

Tienda de la hipófisis

Se extiende sobre las cuatro apófisis clinoides, forma el techo de la silla turca, es perforado por el infundíbulo y el tallo de la hipófisis.

Duramadre raquídea

Inicia distal al foramen magno y termina en un fondo de saco dural a nivel de S2, envolviendo las raíces de la cauda equina, rodea al filum terminal y se prolonga hasta el cóccix formando el ligamento coccígeo. A diferencia de la duramadre craneal, aquí existe un espacio epidural real, ocupado por tejido adiposo y plexos venosos (Snell, 2019).

Medios de fijación del SNC

El sistema nervioso central se mantiene en posición mediante diversos mecanismos de anclaje:

1. Inserción de la **hoz del cerebro** en la crista galli.
2. Inserción de la **tienda del cerebelo** en el peñasco temporal.
3. **Ligamentos dentados**, prolongaciones piales que fijan la médula a la duramadre.
4. Prolongación dural alrededor de los nervios espinales.
5. **Ligamento coccígeo**, continuación del filum terminal (Nolte, 2020).

Leptomeninges

Las leptomeninges comprenden la aracnoides y la piamadre, separadas por el espacio subaracnoideo, que contiene líquido cefalorraquídeo (LCR).

Aracnoides

Es una membrana avascular que recubre la superficie interna de la duramadre. El espacio subaracnoideo, entre la aracnoides y la piamadre, contiene líquido cefalorraquídeo (LCR) y numerosas trabéculas aracnoideas (Netter, 2019).

Cisternas subaracnoideas

Las expansiones del espacio subaracnoideo forman cisternas, entre las cuales destacan:

- Cisterna magna
- Cisterna superior
- Cisterna pontina

- Cisterna interpeduncular
- Cisterna quiasmática
- Cisterna silviana

El espacio subaracnoideo se comunica con el cuarto ventrículo mediante el foramen de Magendie (medial) y los forámenes de Luschka (laterales) (Standring, 2021).

Granulaciones de Pacchioni

Son protrusiones de la aracnoides en los senos venosos durales y constituyen el sitio principal de reabsorción del LCR hacia el sistema venoso (Snell, 2019).

Piamadre

Es una membrana altamente vascularizada que se adhiere íntimamente al tejido nervioso, penetrando en surcos y fisuras. Consta de dos capas: **pía externa** y **pía íntima** (Nolte, 2020).

En la médula espinal

- Forma la **línea blanca de Schwalbe/Splendens** en el surco medio anterior.
- Se une a la aracnoides mediante **trabéculas conjuntivas** y a la duramadre mediante **ligamentos dentados**.

En el encéfalo

Participa en la formación de los **plexos coroideos**, estructuras esenciales en la producción de LCR. Los plexos coroideos se encuentran en los ventrículos laterales y tercero, y en el techo del cuarto ventrículo, produciendo aproximadamente el **90 %** del LCR (Standring, 2021).

Barreras neurohumorales

El sistema nervioso central cuenta con barreras fisiológicas que regulan el paso de sustancias:

1. Barrera encéfalo–LCR

Formada por el glioepitelio ependimario y membranas basales subyacentes.

2. Barrera hemato–LCR

Localizada en los plexos coroideos, constituida por:

- Endotelio de los capilares
- Membrana basal
- Epitelio coroideo (Standring, 2021)

3. Barrera hematoencefálica

Compuesta por:

- Endotelio capilar con uniones estrechas
- Membrana basal
- Prolongaciones astrocíticas (Nolte, 2020)

Cumple funciones esenciales de protección y homeostasis metabólica.

REFERENCIAS

Netter, F. H. (2019). *Atlas of Human Anatomy* (7th ed.). Elsevier.

Nolte, J. (2020). *Nolte's The Human Brain: An Introduction to Its Functional Anatomy* (8th ed.). Elsevier.

Snell, R. S. (2019). *Clinical Neuroanatomy* (8th ed.). Wolters Kluwer.

Standring, S. (Ed.). (2021). *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice* (42nd ed.). Elsevier.

Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. (2018). *Clinically Oriented Anatomy* (8th ed.). Wolters Kluwer.

CAPÍTULO III

Médula Espinal: Organización Anatómica y Funcional

Médula espinal

Configuración externa

La médula espinal constituye la porción más caudal del sistema nervioso central. Se origina en el borde inferior del agujero occipital, a nivel de la decusación de las pirámides del bulbo raquídeo, y se extiende hasta aproximadamente la vértebra L2 en el adulto, donde forma el **cono medular** (Standring, 2021). Se aloja dentro del conducto vertebral y presenta la forma de un cilindro ligeramente aplanado en sentido anteroposterior, con una longitud media cercana a los 45 cm. El conducto central o **ependimario** recorre la médula a lo largo de su eje longitudinal (Snell, 2019).

A lo largo de su trayecto se observan dos engrosamientos fisiológicos, los cuales corresponden a las regiones que participan en la inervación de las extremidades:

- **Engrosamiento cervical (C4–T1)**, relacionado con la formación del plexo braquial.
- **Engrosamiento lumbosacro (L1–S2)**, vinculado al plexo lumbar y sacro, responsables de la inervación de las extremidades inferiores (Nolte, 2020).

Caudal al nivel L2, la médula se afina hasta formar el **cono medular**, cuyo vértice continúa como el **filum terminale**, una prolongación de piamadre que atraviesa el fondo de saco dural a nivel de S2 y desciende para fijarse al cóccix como **ligamento coccígeo** (Haines, 2018).

Caras y surcos de la médula espinal

La médula presenta tres caras anatómicas bien definidas: **ventral (anterior)**, **dorsal (posterior)** y **laterales**.

1. Cara ventral (anterior)

La superficie ventral exhibe características morfológicas que permiten diferenciarla claramente de la cara dorsal:

1. **Surco medio anterior**: Es una depresión profunda que delimita dos hemicilindros simétricos. En su espesor se encuentra la arteria espinal anterior, acompañada por piamadre, conformando la denominada *línea de Esplendorio* (Standring, 2021).

2. **Surcos anterolaterales**: Situados lateralmente y paralelos al surco medio anterior. Por estos surcos emergen las **raíces ventrales** de los nervios raquídeos, compuestas por tres tipos de fibras:

- fibras somatomotoras,
- fibras visceromotoras preganglionares,
- fibras gamma, relacionadas con la modulación del tono muscular.

3. Las **fibras motoras ventrales** se caracterizan por ser más delgadas en comparación con las fibras sensitivas dorsales, un aspecto relacionado con su grado de mielinización y modalidad funcional (Snell, 2019).

Entre el surco medio anterior y el anterolateral se encuentra el **cordón anterior**, el cual contiene fibras motoras descendentes, así como interneuronas estrelladas que reciben aferencias corticospinales y participan en el control motor (Nolte, 2020).

2. Cara dorsal (posterior)

La superficie dorsal presenta:

1. **Surco medio posterior**: Es menos profundo que el surco ventral y da lugar al llamado *tabique medio posterior*, una prolongación glial que divide parcialmente a los cordones posteriores (Netter, 2019).

2. **Surcos posterolaterales**: Muy notorios y ubicados lateralmente al surco medio posterior. Por estos surcos ingresan las **raíces dorsales**, que contienen fibras sensitivas somáticas y viscerales.

3. Las **fibras sensitivas dorsales** poseen mayor grosor debido a su función en la transmisión de modalidades sensoriales de alta precisión, como la propiocepción o el tacto fino.

Entre ambos surcos se localiza el **cordón posterior**, que en la región cervical presenta un surco adicional denominado **surco intermedio posterior**, el cual divide al cordón en dos fascículos:

- **Fascículo grácil (de Goll)**: medial, transporta información de miembros inferiores.
- **Fascículo cuneiforme (de Burdach)**: lateral, conduce información proveniente de miembros superiores (Standring, 2021).

3. Cordón lateral

Ubicado entre los surcos anterolateral y posterolateral, el **cordón lateral** contiene tractos ascendentes (espinotalámicos) y descendentes (corticospinal lateral, rubroespinal, entre otros). A partir del nivel L2, las raíces de los nervios lumbares y sacros descienden oblicua y luego verticalmente formando la **cauda equina**, alojada en el fondo de saco dural (Snell, 2019).

Medios de fijación de la médula espinal

La médula espinal se mantiene estabilizada dentro del conducto vertebral mediante varias estructuras anatómicas:

- **Superior:** continuidad directa con el bulbo raquídeo y la fusión de las meninges craneales y espinales.
- **Inferior:** fijación por medio del **ligamento coccígeo**, extensión del filum terminale.
- **Lateral: ligamentos dentados**, formaciones de piamadre que se insertan en la duramadre y mantienen la médula en suspensión.
- **Posterior:** el **tabique medio posterior**, prolongación glial que contribuye a la estabilidad longitudinal (Haines, 2018).

Segmentación medular

La médula espinal se organiza en **31 segmentos medulares**, que corresponden a los 31 pares de nervios raquídeos: 8 cervicales, 12 torácicos, 5 lumbares, 5 sacros y 1 coccígeo. Cada segmento da origen a un par de raíces nerviosas (rama dorsal sensitiva y rama ventral motora) que se unen para formar el nervio raquídeo respectivo. Es importante destacar que, debido al crecimiento diferencial entre la médula y la columna vertebral durante el desarrollo, los niveles vertebrales y medulares no coinciden en las regiones caudales. Esto explica por qué

las raíces de nervios lumbares, sacros y coccígeos deben descender por la cauda equina para alcanzar sus forámenes intervertebrales de salida.

Características de los segmentos medulares.

Segmento cervical (C4 – C8):

- Forma oval con diámetro transverso mayor.

- Relación 2:1 de sustancia blanca mayor que la sustancia gris

- Posee Formación Reticular de Deiters.

- Tiene surco intermedio posterior (C1 – C8).

- Presenta núcleo motor central cuyas fibras eferentes somáticas generales van por el nervio frénico para inervar el diafragma y forma parte de la columna somatomotora del XI nervio craneal para inervar el músculo esternocleidomastoideo y trapecio.

Segmento torácico (C1 – C3) (D1 – D12):

- Forma oval o circular.

- Poca sustancia gris que da origen a los nervios intercostales.

- Presenta asta lateral y núcleo de Jacobson (D1 a L3).

- Formación Reticular ausente.

- Surco intermedio posterior sólo desde D1 a D8.

Segmento lumbar (L1 – L5):

- Forma casi circular.

- Presenta gran volumen de sustancia gris.

- A este nivel nace plexo lumbosacro.

- Ausencia de: Asta Lateral, Formación Reticular y Surco Intermedioposterior.

Segmento sacro (S1 – S5):

- Forma circular a cuadrilátera.

- Presenta mayor cantidad de sustancia gris que sustancia blanca en una relación de 2:1.

- Surco intermedioposterior y formación reticular ausentes.

- Presenta núcleo de Onuf para el sistema parasimpático (S2 – S4).

Configuración interna de la médula espinal

La médula espinal está constituida por **sustancia gris** y **sustancia blanca**, dispuestas en una organización característica que refleja la integración funcional entre vías sensoriales, motoras y autónomas (Standring, 2021).

Sustancia gris

La sustancia gris ocupa la región central de la médula espinal y posee forma de "H" o de mariposa, compuesta por **astas** conectadas por la **comisura gris**, a través de la cual discurre el **conducto central**. Está constituida por cuerpos neuronales, células gliales y fibras amielínicas (Snell, 2019).

Astas de la sustancia gris

Asta anterior (ventral)

Es amplia y no alcanza la superficie ventral. Consta de: una base y una cabeza. Alberga neuronas motoras somáticas encargadas de la inervación voluntaria de músculos esqueléticos. Embriológicamente deriva de la **placa basal** del tubo neural (Nolte, 2020).

Asta posterior (dorsal)

Es estrecha, alargada y alcanza la superficie dorsal. Se organiza en vértice, cabeza, cuello y base. Contiene interneuronas y neuronas sensoriales de relevo. Se origina a partir de la **placa alar**, responsable de la integración sensitiva (Haines, 2018).

Asta lateral (intermediolateral)

Se presenta únicamente entre T1 y L3. Contiene neuronas visceromotoras preganglionares del sistema nervioso autónomo. En niveles cervicales aparece una región de transición denominada **formación reticular espinal**, compuesta por una mezcla de sustancia gris y blanca (Standring, 2021).

Tipos de neuronas medulares

Neurona radicular somatomotora (Asta anterior)

El asta anterior contiene:

1. Neuronas alfa (α)

También denominadas neuronas motoras inferiores. Reciben aferencias del tracto corticoespinal (neurona motora superior) y proyectan sus axones mielinizados hacia la placa motora terminal. Sherrington las denominó la **"vía final común"** del control motor (Snell, 2019).

2. Neuronas gamma (γ)

Participan en el sistema de regulación del tono muscular mediante la inervación de los husos neuromusculares.

3. Células de Renshaw

Interneuronas inhibitorias pequeñas cuyos axones permanecen dentro de la sustancia gris y forman circuitos de retroalimentación o *feedback* que regulan la actividad motora (Nolte, 2020).

Neurona cordonal (Asta posterior)

El asta posterior contiene neuronas de proyección clasificadas en:

- **Homolaterales**, cuyos axones ascienden por el mismo lado.
- **Heterolaterales**, que cruzan por la comisura blanca anterior para ascender contralateralmente.
- **Bilaterales**, con proyecciones a ambos lados de la médula (Haines, 2018).

Estas neuronas constituyen los principales tractos sensitivos medulares.

Neurona visceromotora (Asta lateral)

Corresponde a neuronas que originan fibras preganglionares simpáticas (T1–L3) y parasimpáticas (S2–S4), esenciales para la regulación autónoma visceral.

Núcleos de la sustancia gris

1. Núcleos del asta anterior (miorrabdóticos)

Contienen neuronas alfa, gamma e interneuronas de Renshaw. Se dividen en:

- Núcleo medial
- Núcleo lateral
- Núcleo central

Estas agrupaciones varían según el nivel medular y la musculatura que inervan (Standring, 2021).

2. Núcleos del asta posterior

Derivan de la placa alar y reciben la prolongación central de neuronas pseudounipolares de los ganglios raquídeos y son:

a. Núcleo posteromarginal (Waldeyer) Implica neuronas que participan en la transmisión de impulsos dolorosos y térmicos.

b. Sustancia gelatinosa (Rolando) Conformada predominantemente por neuronas heterolaterales cuyos axones forman parte del **tracto espinotalámico lateral**, encargado sensibilidad táctil, térmica y dolorosa del cuerpo (Haines, 2018).

c. Núcleo propio Localizado en la cabeza del asta posterior. Sus proyecciones heterolaterales forman el **tracto espinotalámico ventral**, responsable de la sensibilidad táctil protopática.

d. Núcleo dorsal de Clarke (Stilling) Ubicado entre T1 y L2. Sus neuronas homolaterales forman el **tracto espinocerebeloso dorsal**, que conduce sensibilidad propioceptiva inconsciente de la mitad inferior del cuerpo y sus extremidades (Nolte, 2020).

e. Núcleo reticular (Bechterew) Ubicado en la base del asta posterior, sus neuronas bilaterales participan en la formación del **tracto espinocerebeloso ventral**, de carácter bilateral, recibe la sensibilidad propioceptiva inconsciente de la mitad superior del cuerpo y sus extremidades.

3. Núcleos del asta lateral

Presentan neuronas radiculares visceromotoras que proporcionan las fibras preganglionares del sistema nervioso autónomo y son:

a. Núcleo intermediolateral (Jacobson)

Presente entre T1–L3, contiene neuronas simpáticas preganglionares.

b. Núcleo intermedio medial (Onuf)

Situado en S2–S4. Sus neuronas parasimpáticas controlan esfínteres y funciones autonómicas pélvicas.

Ambos núcleos reciben proyecciones del **fascículo longitudinal dorsal** proveniente del hipotálamo (Standring, 2021).

Láminas de Rexed

Rexed clasificó la sustancia gris en **diez láminas** según su citoarquitectura:

- **I**: Núcleo posteromarginal
- **II**: Sustancia gelatinosa de Rolando
- **III–IV**: Núcleo propio
- **V–VI**: Interneuronas del asta posterior
- **VII**: Incluye núcleo de Clarke y núcleos intermedios
- **VIII**: Interneuronas motoras
- **IX**: Núcleos motores somáticos del asta anterior
- **X**: Neuroglía alrededor del conducto central (Haines, 2018)

Sustancia blanca

La sustancia blanca contiene fibras mielínicas sin neurilema organizadas en tres cordones simétricos:

- **Cordón anterior**

- **Cordón lateral**
- **Cordón posterior**

Se conforma por tractos **ascendentes** (sensitivos), **descendentes** (motores) y fascículos de **asociación intramedular** (Snell, 2019).

Cordón anterior

- Fascículo espinotalámico anterior (sensibilidad táctil gruesa)
- Fascículo corticoespinal anterior (motricidad voluntaria)
- Fascículo tectoespinal (movimientos reflejos de la cabeza)

Cordón lateral

- Fascículo espinocerebeloso dorsal
- Fascículo espinocerebeloso ventral
- Fascículo espinotalámico lateral
- Fascículo corticoespinal lateral
- Fascículo rubroespinal

Cordón posterior

- Fascículo grácil (información de miembros inferiores)
- Fascículo cuneiforme (información de miembros superiores)
- Fascículo posterolateral de Lissauer
- Fascículos de asociación: septomarginal e interfascicular (Standring, 2021)

Sistematización de la Sustancia Blanca de la Médula Espinal

La sustancia blanca de la médula espinal está constituida por **fibras mielínicas y amielínicas** organizadas en fascículos que cumplen funciones de **proyección ascendente** (vías sensitivas), **proyección descendente** (vías motoras) y **fibras de asociación** que comunican distintos niveles medulares entre sí (Snell, 2019).

1. Fibras de Proyección Ascendente

1.1. Fascículo Espinotalámico Lateral

Se origina en los axones de neuronas cordonales heterolaterales del núcleo ubicadas en la **sustancia gelatinosa** decusan en la comisura blanca y ascienden por el cordón lateral contralateral para formar el **fascículo espinotalámico lateral** (Nolte, 2020).

Función: conducción de sensibilidad térmica y dolorosa.

Sistema neuroniano: aferente somático general exteroceptivo.

1.2. Fascículo Espinotalámico Ventral

Se origina en neuronas cordonales heterolaterales del **núcleo propio del asta posterior**, cuyos axones cruzan la línea media para ascender por el cordón anterior del lado opuesto y formar el fascículo espinotalámico ventral.

Función: sensibilidad táctil protopática (gruesa).

Sistema neuroniano: aferente somático general exteroceptivo.

1.3. Fascículos Gracilis y Cuneatus

Las prolongaciones centrales de las neuronas pseudounipolares penetran el cordón posterior y forman los fascículos: **Gracilis (Goll) y Cuneatus (Burdach).**

Función: Sensibilidad Táctil Epicrítica y Propioceptiva Consciente.

Sistema Neuroniano: aferente somático general exteroceptiva y propioceptiva consciente (Carpenter & Sutin, 2014).

1.4. Fascículo Espinocerebeloso Dorsal (Flechsig)

Procede de los axones de las neuronas cordonales homolaterales del **núcleo torácico o columna de Clarke**, el fascículo espinocerebeloso dorsal asciende sin cruzar y penetra el cerebelo por el **pedúnculo cerebeloso inferior**.

Función: sensibilidad propioceptiva inconsciente de la mitad inferior del cuerpo incluyendo las extremidades inferiores.

Sistema Neuroniano: aferente somático general propioceptivo inconsciente.

1.5. Fascículo Espinocerebeloso Ventral (Gowers)

Nace de los axones de las neuronas cordonales bilaterales de la **columna de Bechterew**, que ascienden del mismo lado y del lado opuesto antes de ingresar al cerebelo por el **pedúnculo cerebeloso superior** (Nolte, 2020).

Función: sensibilidad propioceptiva inconsciente de la mitad superior del cuerpo incluyendo las extremidades superiores, sin incluir la región cervical.

Sistema neuroniano: aferente somático general propioceptivo inconsciente.

Otras fibras de proyección ascendente:

- Haz Espinotectal.
- Fibras Espinorreticulares.
- Fibras Espinocorticales.
- Fibras Espinoolivares.
- Fibras Espinovestivulares.
- Fibras Espinoprotuberanciales.

2. Fibras de Proyección Descendente

2.1. Sistema Motor Piramidal

Fascículo Corticoespinal Lateral o Haz piramidal cruzado (70% de fibras)

Se origina en las neuronas gigantopiramidales de Betz de la quinta capa de la corteza cerebral y decusa a nivel del tercio inferior del bulbo raquídeo en la **decusación piramidal**, descendiendo por el cordón lateral de la médula del lado opuesto.

Función: control voluntario fino del hemicuerpo opuesto.

Sistema neuroniano: eferente somático general.

Fascículo Corticoespinal Ventral (20% de fibras).

Desciende desde la corteza cerebral sin decusar por el cordón lateral de la médula y controla principalmente músculos axiales.

Función: motricidad voluntaria del mismo lado.

Sistema neuroniano: eferente somático general.

Fascículo Corticoespinal Anterolateral (10% de fibras).

Porción no decusada de fibras que descienden por regiones anterolaterales del cordón.

Función: motora voluntaria del hemicuerpo del mismo lado.

Sistema neuroniano: eferente somático general (Standring, 2021).

2.2. Sistema Motor Extrapiramidal

Fascículo tectoespinal, **colículoespinal o predorsal**

Sus fibras proceden del **colículo superior del mesencéfalo**, sufren decusación tegmental dorsal (Meynert), descienden por el cordón anterior y terminan en los núcleos motores de la médula lado opuesto.

Función: motora extrapiramidal, participa en movimientos posturales y oculocefalogiros.

Sistema neuroniano: eferente somático general.

Fascículo Rubroespinal (**Von Monakow).**

Emerge del **núcleo rojo del mesencéfalo**, sus fibras sufren la decusación tegmental ventral (Forel), descienden por el cordón lateral y terminan en los núcleos motores de la médula del lado opuesto.

Función: motora extrapiramidal modulación del tono muscular flexor (Nolte, 2020).

Sistema neuroniano: eferente somático general.

Fascículo Reticuloespinal

Procede de la **formación reticular**.

Función: motora extrapiramidal, movimientos automáticos del cuerpo y las extremidades.

Sistema neuroniano: eferente somático general.

Fascículo Vestibuloespinal

Desciende desde los **núcleos vestibulares**.

Función: motora extrapiramidal, controla el tono de la musculatura extensora y el reflejo de la actitud postural.

Sistema neuroniano: Eferente Somático General.

Fascículo Olivoespinal

Surge del núcleo olivar inferior.

Función: motora extrapiramidal, participación en ajustes motores finos.

Sistema neuroniano: eferente somático general.

3. Fibras de Asociación

3.1. Fascículo Propio

Fibras cortas ascendentes y descendentes que rodean la sustancia gris, conectando segmentos medulares entre sí.

3.2. Fascículo Septomarginal

Situado en el cordón posterior cervical; en región torácica recibe el nombre de **fascículo triangular de Philippe–Gombault** y en región lumbar **área oval de Flechsig**.

3.3. Fascículo Interfascicular de Schultze

Pequeños manojos de fibras descendentes cortas situados lateralmente en el cordón posterior.

4.vias medulares.

Principales Vías Sensitivas

4.1.Vía Exteroceptiva

Sistema neuroniano: aferente somático general exteroceptivo.

- **Función:** sensibilidad térmica y dolorosa.
- **Receptores:** corpúsculos de Krause (frío), Ruffini (calor) y terminaciones libres (dolor).

- **1.ª neurona:** ganglio espinal, envía la prolongación central
- **2.ª neurona:** núcleo de la sustancia gelatinosa de Rolando, envía el fascículo espinotalámico lateral.
- **3.ª neurona:** núcleo ventral posterolateral del tálamo, envía la radiación talámica centroparietal
- **Termina:** corteza somatosensitiva primaria (áreas 3,1,2 de Brodmann).

4.2.Vía Táctil Protopática

Sistema neuroniano: aferente somático general exteroceptivo.

- **Función:** sensibilidad táctil protopática.
- **Receptores:** discos de Merkel, corpúsculos de Meissner y terminación de los folículos pilosos.
- **1.ª neurona:** ganglio espinal, envía la prolongación central
- **2.ª neurona:** núcleo propio del asta posterior, envía el fascículo espinotalámico ventral
- **3.ª neurona:** núcleo ventral posterolateral del tálamo, envía la radiación talámica centroparietal
- **Termina:** corteza somatosensitiva primaria (áreas 3,1,2 de Brodmann).

4.3.Vía Propioceptiva Consciente (Lemnisco Medial)

Sistema neuroniano: aferente somático general exteroceptivo y propioceptivo consciente.

- **Función:** sensibilidad táctil epicrítica y propioceptiva consciente.
- **Receptores:** corpúsculo de Vater-Pacini, huso neuromuscular y huso neurotendinoso.
- **1.ª neurona:** ganglio espinal, envía la prolongación central directamente al cordón posterior de la médula espinal, formando el fascículo Gracilis y Cuneatus.
- **2.ª neurona:** núcleos Gracilis y Cuneatus, envían las Fibras Arciformes Internas Primarias sufren la decusación sensorial y forman el Lemnisco Medial que asciende al Tálamo.

- **3.ª neurona:** núcleo ventral posterolateral del tálamo, envía la radiación talámica centroparietal
- **Termina:** corteza somatosensitiva primaria (áreas 3,1,2 de Brodmann) (Carpenter & Sutin, 2014).

4.4Vías Propioceptivas Inconscientes

Sistema neuroniano: aferente somático general propioceptivo inconsciente.

Función: sensibilidad propioceptiva inconsciente de la mitad inferior del tronco incluyendo las extremidades inferiores.

- **Receptores:** corpúsculo de Vater-Pacini, huso neuromuscular y huso neurotendinoso.
- **1.ª neurona:** ganglio espinal, envía la prolongación central
- **2.ª neurona:** núcleo de la columna de Clarke, envía el fascículo espinocerebeloso dorsal
- **3.ª neurona:** corteza del paleocerebelo, envía el Fascículo Cerebelorubrotalamocortical.
- **Termina:** en la circunvolución motora, área 4 de Brodmann y áreas premotoras, donde se hace consciente la sensibilidad propioceptiva (Carpenter & Sutin, 2014).

Sistema neuroniano: aferente somático general propioceptivo inconsciente.

Función: sensibilidad propioceptiva inconsciente de la mitad superior del tronco incluyendo las extremidades superiores (sin incluir la región cervical).

Receptores: corpúsculo de Vater-Pacini, huso neuromuscular y huso neurotendinoso.

- **1.ª neurona:** ganglio espinal, envía la prolongación central
- **2.ª neurona:** : núcleo de la columna de Bechterew, envía el fascículo espinocerebeloso ventral
- **3.ª neurona:** corteza del paleocerebelo, envía el Fascículo Cerebelorubrotalamocortical.

- **Termina:** en la circunvolución motora, área 4 de Brodmann y áreas premotoras, donde se hace consciente la sensibilidad propioceptiva (Carpenter & Sutin, 2014).

5. Vía Piramidal

Sistema neuroniano: Eferente Somático General.

Los axones de las neuronas gigantopiramidales de Betz de la quinta capa de la corteza del área 4 de Brodmann se reúnen para formar haces de fibras de proyección descendente.

5.1. Fascículo Corticonuclear

Proyecta desde la corteza cerebral a núcleos motores del tronco encefálico, controla musculatura de cara y cuello.

Función: motora voluntaria de la hemicara y hemicuello del mismo lado.

5.2. Fascículo Corticoespinal

Dividido en: Lateral (cruzado), ventral (directo) y anterolateral u homolateral

Todos originados en la capa V de la corteza (neuronas Betz) (Kandel et al., 2021).

2.1. Sistema Motor Piramidal

Fascículo Corticoespinal Lateral o Haz piramidal cruzado (70% de fibras)

Se origina en las neuronas gigantopiramidales de Betz de la quinta capa de la corteza cerebral y decusa a nivel del tercio inferior del bulbo raquídeo en la **decusación piramidal**, descendiendo por el cordón lateral de la médula del lado opuesto.

Función: control voluntario fino del hemicuerpo opuesto.

Fascículo Corticoespinal Ventral (20% de fibras).

Desciende desde la corteza cerebral sin decusar por el cordón lateral de la médula y controla principalmente músculos axiales.

Función: motricidad voluntaria del mismo lado.

Fascículo Corticoespinal Anterolateral (10% de fibras).

Porción no decusada de fibras que descienden por regiones anterolaterales del cordón.

Función: motora voluntaria del hemicuerpo del mismo lado. (Standring, 2021).

Circulación de la Médula Espinal (Versión Académica Corregida)

La irrigación de la médula espinal, aunque suficiente para sus requerimientos metabólicos, es relativamente limitada en comparación con la del encéfalo, debido a la organización histológica más simple del tejido medular y a la menor demanda energética de sus estructuras internas (Nolte, 2020). La vascularización arterial deriva principalmente de las **arterias vertebrales**, complementadas por múltiples ramas segmentarias originadas de la **aorta torácica y abdominal**, incluidas las arterias intercostales, lumbares y sacras (Snell, 2019).

Arteria Espinal Anterior

La **arteria espinal anterior** se forma por la convergencia de ramas de ambas arterias vertebrales en la superficie ventral del bulbo raquídeo. Desciende por el **surco medio anterior** de la médula espinal, acompañada por una prolongación de piamadre que constituye la denominada **línea blanca de Splendens** (Standring, 2021).

A lo largo de su trayecto recibe refuerzos de las arterias segmentarias espinales provenientes de las arterias intercostales, lumbares y sacras. Esta arteria emite ramas **centrales o sulcales**, que penetran la sustancia gris para irrigar principalmente:

- Las **astas anteriores**,
- El **tercio anterior de la sustancia blanca**,
- Los **cordones anteriores**.

Por tanto, la espinal anterior es fundamental para la perfusión de las estructuras motoras y vías descendentes medulares.

Arterias Espinales Posteriores

Las **arterias espinales posteriores** son dos troncos longitudinales que discurren paralelos al **tabique medio posterior**, uno a cada lado. Su origen habitual se encuentra en las arterias vertebrales o en sus ramas posteroinferiores (PICA), aunque también reciben contribuciones segmentarias procedentes de las arterias intercostales, lumbares y sacras, así como anastomosis con ramas de la arteria espinal anterior (Carpenter & Sutin, 2014).

Estas arterias se distribuyen principalmente hacia:

- Las **astas dorsales**,
- Los **cordones posteriores**, incluidas las vías de Goll y Burdach,
- Parte del cordón lateral.

Su territorio es crucial para la sensibilidad epicrítica y la propiocepción consciente.

Drenaje Venoso

El drenaje venoso de la médula espinal guarda una disposición paralela al sistema arterial, a través de redes venosas anteriores y posteriores que desembocan en los **plexos venosos vertebrales internos** (Haines, 2019). Estos plexos carecen de válvulas, lo que permite la comunicación directa entre cavidades toracoabdominales y el sistema nervioso central.

REFERENCIAS

Carpenter, M. B., & Sutin, J. (2014). *Human neuroanatomy* (9th ed.). Williams & Wilkins.

Haines, D. E. (2019). *Neuroanatomy: An atlas of structures, sections, and systems* (10th ed.). Wolters Kluwer.

Kandel, E. R., Koester, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (2021). *Principles of neural science* (6th ed.). McGraw-Hill.

Netter, F. H. (2019). *Atlas of human anatomy* (7th ed.). Elsevier.

Nolte, J. (2020). *Neuroanatomía de Nolte* (8.ª ed.). Elsevier.

(*Equivalente en inglés: Nolte's The Human Brain: An Introduction to Its Functional Anatomy, 8th ed.*)

Snell, R. S. (2019). *Neuroanatomía clínica* (8.ª ed.). Wolters Kluwer.

Standring, S. (Ed.). (2021). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (42nd ed.). Elsevier.

CAPÍTULO IV

Tronco Cerebral: Organización Anatómica y Funcional

Tronco Cerebral Anatomía Macroscópica

Localización General

El tronco cerebral constituye la vía fundamental de conexión entre los hemisferios cerebrales, la médula espinal y el cerebelo. En su extremo rostral se continúa con el subtálamo del diencéfalo, mientras que caudalmente se sitúa inmediatamente por encima de la emergencia del primer nervio espinal cervical. Dorsalmente, se relaciona de manera estrecha con el cerebelo, del cual se separa por el cuarto ventrículo (Haines, 2019; Standring, 2021).

Origen Embriológico

El tronco cerebral deriva del **mesencéfalo** y del **romboencéfalo**, estructuras embrionarias que originan sus tres porciones principales: mesencéfalo, protuberancia y bulbo raquídeo.

Mesencéfalo

El mesencéfalo conserva su identidad embriológica original, ya que no se subdivide. Sin embargo, presenta dos regiones diferenciadas:

- **Porción ventral:** Origina los **pedúnculos cerebrales** (crura cerebri), que contienen fibras descendentes motoras.
- **Porción dorsal:** Forma la **lámina cuadrigémina**, constituida por los colículos superiores (vinculados con reflejos visuales) y colículos inferiores (relacionados con la vía auditiva) (Snell, 2019).

Romboencéfalo

El romboencéfalo se divide en:

1. **Metencéfalo**, del cual derivan:
   - **Porción dorsal:** El **cerebelo**.
   - **Porción ventral:** La **protuberancia** o puente de Varolio.

2. **Mielencéfalo**, que origina el **bulbo raquídeo** o médula oblonga (Carpenter & Sutin, 2014).

Divisiones del Tronco Cerebral

De caudal a rostral, el tronco cerebral está conformado por:

1. **Bulbo raquídeo**
2. **Protuberancia**
3. **Mesencéfalo**

Bulbo Raquídeo

Derivado del mielencéfalo, el bulbo presenta forma cónica, con aproximadamente 3 cm de longitud. Para su estudio macroscópico se describen tres superficies: ventral, lateral y dorsal (Haines, 2019).

Cara Ventral

En la región superior se encuentra el **surco bulboprotuberancial**, que separa el bulbo de la protuberancia. Caudalmente, se continúa con la médula espinal al nivel de la emergencia de la raíz del nervio espinal C1.

En la línea media destaca el **surco medio anterior**, cuya región inferior se interrumpe por la **decusación de las fibras corticoespinales**, formando la denominada *decusación motora*. En su extremo rostral se observa el **foramen cecum**.

A cada lado del surco medio anterior se ubican las **pirámides bulbares**, limitadas lateralmente por los **surcos anterolaterales**, de los cuales emerge el nervio hipogloso (XII) (Standring, 2021).

Cara Lateral

La estructura dominante es la **oliva bulbar**, delimitada por:

- **Surco preolivar (anterolateral):** Emergencia del nervio XII.
- **Surco retrolivar (posterolateral):** Emergencia de los nervios IX, X y XI.

En su polo superior se encuentra la **fosa supraolivar**, de la que emergen los nervios VII y VIII (Snell, 2019).

Cara Dorsal

En la línea media se observa el **surco medio posterior**, que termina en el **obex**, punto donde inicia la porción inferior del piso del cuarto ventrículo.

A cada lado se encuentra el **surco intermedio posterior**, que delimita:

- Medialmente, el **fascículo grácil**, cuyo tubérculo terminal forma la *clava*.
- Lateralmente, el **fascículo cuneatus**, cuyo tubérculo terminal constituye la *masa cuneiforme*.

Estos engrosamientos representan los núcleos grácil y cuneiforme (Gray's Anatomy, 2021).

Protuberancia o Puente

Origen y Ubicación

Derivada del metencéfalo, la protuberancia descansa ventralmente sobre la porción basilar del hueso occipital y dorsalmente participa en la formación del piso del cuarto ventrículo. Se continúa rostralmente con el mesencéfalo a través del **surco protuberancial superior** y caudalmente con el bulbo mediante el **surco bulboprotuberancial**, cercano a la emergencia del nervio abducens (VI) (Haines, 2019).

Cara Ventral

En la línea media se encuentra el **surco basilar**, donde se aloja la arteria basilar. A cada lado se observan los **rodetes pontinos**, que corresponden a:

- Vía piramidal
- Núcleos pontinos
- Fibras transversas pontocerebelosas

En la región superolateral emerge el nervio trigémino (V). El nervio motor ocular externo (VI par) emerge en el surco bulboprotuberancial, mientras que el nervio troclear (IV par) se relaciona con el surco protuberancial superior (Carpenter & Sutin, 2014).

Pedúnculos Cerebelosos

Estructuras de sustancia blanca que vinculan el cerebelo con el tronco cerebral:

1. Pedúnculo cerebeloso superior (brachium conjunctivum)

- Conecta el cerebelo con el mesencéfalo.
- En la **válvula de Vieussens** decusan fibras del nervio troclear (IV) y del fascículo espinocerebeloso ventral.

2. Pedúnculo cerebeloso medio (brachium pontis)

- Une la protuberancia con el cerebelo.
- Formado por fibras pontocerebelosas.

3. Pedúnculo cerebeloso inferior (cuerpo restiforme)

- Conecta el bulbo con el cerebelo.
- Relacionado con el velo medular inferior o **válvula de Tarín** (Snell, 2019).

Cara Dorsal de la Protuberancia

La cara posterior del puente forma la parte del piso del IV ventrículo.

El IV Ventrículo

El **cuarto ventrículo** se origina a partir de la placa alar y basal, se extiende entre el bulbo y la protuberancia por delante, y el cerebelo por detrás. Su forma romboidea determina la denominación de **fosa romboidea**, sus ángulos laterales se prolongan sobre el cuerpo restiforme conformando los recesos laterales se comunican con el espacio subaracnoideo a través de los agujeros de Lushcka, rostralmente se comunica con el ventrículo medio a través del acueducto de Silvio y caudalmente con el epéndimo. Está formado por el techo, piso y telas coroideas (Gray's Anatomy, 2021).

Techo:

- Parte superior: Pedúnculos cerebelosos superiores y válvula de Vieussens.
- Parte inferior: Pedúnculos cerebelosos inferiores y válvula de Tarín.

Piso:

- Parte superior: Cara dorsal de la protuberancia.

- Parte inferior: Porción dorsal expandida del bulbo.

El **tallo del cálamo** divide el piso en dos mitades simétricas, a cada lado el **surco limitante** delimita formaciones como:

- Fóvea superior
- Fóvea inferior, ala gris o trígono del vago
- Ala blanca interna o trígono del hipogloso
- Ala blanca externa o ala vestibular
- Eminencia teres

En los recesos laterales de la fosa romboidea se encuentra el **tubérculo acústico**, correspondiente al núcleo coclear dorsal, de donde emergen las estrías acústicas dorsales que macroscópicamente forman o se reflejan en las barbas del cálamo.

Mesencéfalo

Situado entre la protuberancia y el diencéfalo, constituye la porción más rostral del tronco cerebral. Está formada **ventralmente por** Pedúnculos cerebrales y **dorsalmente por la** Lámina cuadrigémina, con colículos superiores (visión) e inferiores (audición).Posee tres caras:

Cara Ventral

Los pedúnculos cerebrales están separados por la **fosa interpeduncular**, donde emerge el nervio oculomotor (III). A nivel del surco protuberancial superior se relacionan con el nervio troclear (IV). Los pedúnculos contienen las vías corticoespinal, corticopontina y corticonuclear (Haines, 2019).

Cara Lateral

Presenta el **surco lateral del mesencéfalo**, que separa los pedúnculos cerebrales de los pedúnculos cerebelosos superiores.

Cara Dorsal

El **surco cruciforme** divide la lámina cuadrigémina en dos colículos superiores y dos inferiores, correspondientes a los centros reflejos visuales y auditivos (Snell, 2019).

Columnas y Sistemas Neuronales del Tronco Cerebral

En el tronco encefálico, la organización funcional de los núcleos de los nervios craneales se dispone en columnas longitudinales que reflejan su origen filogenético y su especificidad funcional. Estas columnas representan agrupaciones de cuerpos neuronales, mientras que los sistemas neuronianos corresponden a los tipos de fibras que emergen o ingresan a dichos núcleos. Esta división constituye un principio fundamental para el estudio de la neuroanatomía funcional del tronco cerebral (Nolte, 2019; Standring, 2021).

1. Columna Somatomotora

Corresponde al **sistema eferente somático general (ESG)** e incluye los núcleos responsables del control motor voluntario de músculos estriados derivados de los somitas.

Bulbo raquídeo

- **Núcleo motor del hipogloso**, asociado al nervio craneal XII, encargado de la motricidad lingual.

Protuberancia

- **Núcleo motor del abducens** (VI par craneal), responsable de la inervación del músculo recto lateral del ojo.

Mesencéfalo

- **Núcleo motor del oculomotor común** (III par craneal).
- **Núcleo motor del troclear o patético** (IV par craneal).

Estos núcleos conforman la columna motora somática más medial del tronco encefálico (Snell, 2019).

2. Columna Braquiomotora

Relacionada con el **sistema eferente visceral especial (EVE)** o fibras branquiales, derivadas de los arcos faríngeos.

Bulbo raquídeo

- **Núcleo ambiguo**, cuyas fibras contribuyen a los nervios craneales IX, X y XI, participando en la deglución y fonación.

Protuberancia

- **Núcleo motor del facial** (VII par craneal).
- **Núcleo motor del trigémino** (V par craneal).

Estas estructuras controlan musculatura derivada de los arcos branquiales (Blumenfeld, 2022).

3. Columna Viceromotora

Corresponde al **sistema eferente visceral general (EVG)**, encargado de funciones autonómicas parasimpáticas.

Bulbo raquídeo

- Núcleo motor dorsal del vago (X par craneal), centro fundamental del parasimpático visceral.

Protuberancia

- Núcleo lacrimomuconasal.
- Núcleo salival superior.
- Núcleo salival inferior, participantes en la secreción glandular.

Mesencéfalo

- **Núcleo de Edinger–Westphal**, que envía fibras parasimpáticas al esfínter pupilar y músculo ciliar.
- **Núcleo medial anterior**.

4. Columna Visceroceptiva o Viscero-sensitiva

Relacionada con los sistemas **aferente visceral general y especial (AVG–E)**.

Bulbo raquídeo

- **Núcleo del tracto solitario**, receptor de aferencias viscerales y gustativas de los nervios VII, IX y X. Se sitúa exclusivamente en el bulbo.

Este núcleo constituye el principal centro integrador de la sensibilidad visceral del tronco encefálico (Nolte, 2019).

5. Columna Somatosensitiva Especial Exteroceptiva

Relacionada con el **sistema aferente somático especial (ASE)**, en especial la vía auditiva.

Bulbo raquídeo

- Núcleo coclear dorsal.
- Núcleo coclear ventral.

Ambos forman parte inicial de la vía auditiva (Standring, 2021).

6. Columna Somatosensitiva Especial Propioceptiva

También perteneciente al **sistema aferente somático especial (ASE)** y asociada a la vía vestibular, relacionada con el equilibrio.

Bulbo y Protuberancia

- Núcleo vestibular superior (Bechterew).
- Núcleo vestibular inferior o espinal.
- Núcleo vestibular lateral (Deiters).
- Núcleo vestibular medial (Schwalbe).

Estos núcleos procesan información propioceptiva y vestibular esencial para la coordinación del equilibrio (Blumenfeld, 2022).

7. Columna Somatosensitiva General

Corresponde al **sistema aferente somático general, exteroceptivo y propioceptivo (ASGE-P)**.

Bulbo

- **Núcleo grácil**.
- **Núcleo cuneiforme**.
- **Núcleo cuneiforme accesorio**.
- **Núcleo espinal del nervio trigémino**, encargado de la sensibilidad dolorosa y termoalgésica de la cara.

Protuberancia

- **Núcleo sensitivo principal del nervio trigémino**, para sensibilidad táctil fina.
- **Núcleo mesencefálico del nervio trigémino**, que transmite información propioceptiva.

Estos núcleos forman parte de las vías somatosensitivas ascendentes del cuerpo y la cara (Snell, 2019).

Anatomía microscópica del tronco cerebral.

Bulbo Raquídeo: Corte a Nivel de la Decusación Motora

Decusación Piramidal o Motora

En este nivel se cruzan aproximadamente el **70 % de las fibras del fascículo corticoespinal lateral**, formando el denominado **haz cruzado**, que desciende hacia los núcleos motores de la médula espinal contralateral. Este cruce constituye la base anatómica de la dominancia contralateral del control motor voluntario por parte de la corteza cerebral (Snell, 2019).

El **30 % restante** corresponde a fibras del **fascículo corticoespinal ventral** y del **fascículo corticoespinal homolateral**, que no decusan y descienden de forma ipsilateral como **haz directo**, participando de la modulación motora del mismo lado del cuerpo (Blumenfeld, 2022).

Desde una perspectiva mesoscópica, este nivel se caracteriza por la **decapitación de las astas anteriores**, mientras que macroscópicamente se observa el **borramiento del surco medio anterior** en el tercio distal del bulbo raquídeo (Standring, 2021).

Núcleo Espinal del Nervio Trigémino (V)

Columna: somatosensitiva general

Sistema neuronal: aferente somático general exteroceptivo

Función: procesamiento de la sensibilidad táctil, térmica y dolorosa de la cara

Aferencia: tracto espinal del nervio trigémino (prolongación central del ganglio de Gasser)

Eferencia: fascículo trigeminotalámico ventral

Rasgo macroscópico: forma el **tubérculo cineréo** en la cara posterior del bulbo

Fascículo Cuneatus

Sistema neuronal: aferente somático general propioceptivo consciente

Función: tacto epicrítico y propiocepción consciente de la mitad superior del tronco y extremidades superiores

Rasgo macroscópico: constituye la porción externa del cordón posterior desde C7 hacia arriba y la cara posterior del bulbo

Fascículo Gracilis

Sistema neuronal: aferente somático general propioceptivo consciente

Función: tacto epicrítico y propiocepción consciente de la mitad inferior del tronco y extremidades inferiores

Rasgo macroscópico: conforma la porción interna del cordón posterior y la superficie posterior del bulbo.

Fascículos Observables en Este Corte:

Fascículo Longitudinal Medial (Fascículo Oculocéfalo-Giro)

Función: coordina los movimientos conjugados de la cabeza y los ojos, integrando núcleos oculomotores y vestibulares.

Fascículo Espinotalámico Ventral

Función: transmisión de la **sensibilidad táctil protopática** del cuerpo.

Fascículo Espinotalámico Lateral

Función: transmisión de la **sensibilidad térmica y dolorosa** corporal.

Fascículo Tectoespinal

Función: participa en el control del **tono muscular cervical** y en los reflejos posturales orientadores.

Fascículo Vestíbuloespinal

Función: contribuye al control del **tono muscular extensor** y a la postura refleja derivada de los estímulos vestibulares.

Fascículo Olivoespinal

Función: intervención en la **modulación motora extrapiramidal**.

Fascículo Rubroespinal

Función: facilita el **tono muscular flexor**.

Fascículo Espinocerebeloso Ventral

Función: transmite **propiocepción inconsciente** de la mitad superior del cuerpo y extremidades (exceptuando región cervical).

Fascículo Espinocerebeloso Dorsal

Función: conducción de **propiocepción inconsciente** de la mitad inferior del cuerpo y extremidades.

Corte del Bulbo a Nivel de la Decusación Sensitiva o Piriforme

En el bulbo raquídeo, a nivel de la decusación sensitiva (o piriforme), se localizan estructuras esenciales para la transmisión de la sensibilidad somática consciente del cuerpo. En esta región se encuentran los núcleos grácil y cuneatus, donde hacen sinapsis las fibras del sistema de columnas dorsales, así como el núcleo espinal del nervio trigémino y diversos tractos ascendentes y descendentes característicos del tallo encefálico (Nolte, 2019; Blumenfeld, 2022).

Núcleo Gracilis (Núcleo de Goll)

- **Columna funcional:** Somatosensitiva general.
- **Sistema neuronal:** Aferente somático general, propioceptivo consciente.

- **Función:** Transmite sensibilidad táctil discriminativa (epicrítica) y propioceptiva consciente procedente de la mitad inferior del cuerpo.
- **Aferencia:** Fascículo gracilis (o columna de Goll), compuesto por fibras provenientes de los ganglios espinales lumbares y sacros.
- **Eferencia:** Emite fibras arcuatas internas primarias, que cruzan la línea media para constituir el lemnisco medial.
- **Relieve macroscópico:** Forma el tubérculo grácil en la cara dorsal del bulbo (Standring, 2021).

Núcleo Cuneatus (Núcleo de Burdach)

- **Columna funcional:** Somatosensitiva general.
- **Sistema neuronal:** Aferente somático general, propioceptivo consciente.
- **Función:** Procesa sensibilidad epicrítica y propioceptiva consciente de la mitad superior del tronco y miembros superiores.
- **Aferencia:** Fascículo cuneatus (o columna de Burdach), proveniente de los ganglios espinales torácicos superiores y cervicales.
- **Eferencia:** Emite fibras arcuatas internas primarias que cruzan en la decusación sensitiva para integrarse al lemnisco medial.
- **Relieve macroscópico:** Origina el tubérculo cuneado en la cara posterior del bulbo (Standring, 2021).

Decusación Sensitiva o Piriforme

Los núcleos grácil y cuneado emiten las fibras arcuatas internas primarias, las cuales se dirigen ventromedialmente hasta cruzar la línea media en la **decusación sensitiva o piriforme**. Como resultado de esta decusación, las fibras ascendentes se organizan en el **lemnisco medial**, vía principal para la conducción de la sensibilidad epicrítica y propioceptiva consciente hasta el tálamo ventral posterior (Nolte, 2019; Blumenfeld, 2022).

- **Origen:** Núcleo gracilis y núcleo cuneatus.
- **Fibras que cruzan:** Fibras arcuatas internas primarias.

- **Estructura resultante:** Lemnisco medial.
- **Función:** Conducción de tacto discriminativo (epicrítico) y propiocepción consciente.

Núcleo Espinal del Nervio Trigémino (V Par)

- **Columna funcional:** Somatosensitiva general.
- **Sistema neuronal:** Aferente somático general exteroceptivo.
- **Función:** Procesa sensibilidad dolorosa, térmica y táctil protopática de la cara.
- **Aferencia:** Tracto espinal del nervio trigémino, prolongación central de neuronas pseudounipolares ubicadas en el ganglio trigeminal (ganglio de Gasser).
- **Eferencia:** Fibras que ascienden por el fascículo trigeminotalámico ventral hacia el tálamo contralateral.
- **Relieve macroscópico:** Forma el denominado "tubérculo cinéreo" o trigeminal (Snell, 2019).

Además de los núcleos mencionados, el corte del bulbo a nivel de la decusación piriforme permite identificar múltiples fascículos ascendentes y descendentes que participan en la coordinación sensoriomotora:

- **Fascículo longitudinal medial:** Coordina los movimientos conjugados de ojos y cabeza.
- **Fascículo espinotalámico ventral:** Conduce tacto protopático.
- **Fascículo espinotalámico lateral:** Transmite dolor y temperatura corporales.
- **Fascículo tectoespinal:** Participa en reflejos posturales y orientación cefálica.
- **Fascículo vestíbuloespinal:** Controla el tono muscular extensor y la postura.
- **Fascículo olivoespinal:** Vía extrapiramidal de origen bulbar con función motora.
- **Fascículo rubroespinal:** Facilita el tono muscular flexor.
- **Fascículo espinocerebeloso ventral:** Conduce propiocepción inconsciente de la mitad superior del cuerpo.

- **Fascículo espinocerebeloso dorsal:** Informa propiocepción inconsciente de la mitad inferior del cuerpo (Blumenfeld, 2022; Nolte, 2019).

Corte del Bulbo a Nivel del Tercio Inferior de la Oliva Bulbar

En el tercio inferior de la oliva bulbar se identifican estructuras relevantes para la integración sensitiva y motora del sistema nervioso central. Este nivel del bulbo raquídeo contiene núcleos propioceptivos, vías cerebelosas y el complejo olivar inferior, el cual participa en el control motor extrapiramidal y en la modulación cerebelosa (Nolte, 2019; Standring, 2021).

Núcleo Cuneatus Accesorio (Núcleo de Von Monakow)

El núcleo cuneatus accesorio constituye la continuación bulbar del **núcleo dorsal del asta posterior**, también conocido como **columna de Clarke**, localizado en la médula torácica. Se relaciona con la propiocepción inconsciente del territorio cervical.

- **Columna funcional:** Somatosensitiva general.
- **Sistema neuronal:** Aferente somático general, propioceptivo inconsciente.
- **Función:** Conducción de información propioceptiva inconsciente procedente de la región cervical.
- **Aferencia:** Fascículo cuneiforme, formado por fibras de los ganglios espinales cervicales y torácicos superiores.
- **Eferencia:** Fascículo cuneocerebeloso (fibras arcuatas externas dorsales), que ingresan al cerebelo por el pedúnculo cerebeloso inferior.

Este sistema contribuye al control de la postura y coordinación motora fina del cuello (Blumenfeld, 2022).

Fascículo Cuneocerebeloso

El fascículo cuneocerebeloso corresponde a la vía propioceptiva inconsciente para la región cervical, equivalente al fascículo espinocerebeloso dorsal destinado a miembros inferiores.

- **Función:**
  - Transmisión de la propiocepción inconsciente del cuello y miembros superiores.

- **Receptores:**

  - Husos neuromusculares.
  - Órganos tendinosos de Golgi.
  - Corpúsculos de Pacini de función propioceptiva.

- **Estaciones sinápticas:**

1. **Ganglio espinal cervical**, donde se origina el fascículo cuneiforme.
2. **Núcleo cuneatus accesorio**, desde donde parte el fascículo cuneocerebeloso.
3. **Cerebelo (corteza y núcleos profundos)**, desde el cual la información asciende por el sistema cerebelorubro-tálamo-cortical para su integración en la corteza cerebral (Nolte, 2019).

Complejo Olivar Inferior

El complejo olivar es un centro supraespinal esencial para la modulación del movimiento voluntario e involuntario. Establece conexiones entre estructuras motoras subcorticales y la neocorteza cerebelosa.

- **Función general:** Modulación motora extrapiramidal; aprendizaje motor y sincronización cerebelosa.

- **Componentes:**

  - **Oliva bulbar o núcleo olivar inferior**, recubierto por el *amiculum olivae*.
  - **Núcleo paraolivar dorsal**.
  - **Núcleo paraolivar medial**.

- **Aferencias principales:**

  - Fibras corticolivares.
  - Haz central de la calota.
  - Fibras rubrolivares.
  - Fibras talamolivares.

- **Eferencias:**

  - **Fascículo olivocerebeloso** (fibras arcuatas internas secundarias) hacia la corteza cerebelosa.

  - **Fascículo olivoespinal** (de Helwig), involucrado en control motor extrapiramidal (Standring, 2021).

Fascículos Observables en este Nivel

Lemnisco Medial

- **Origen:** Decusación sensitiva o piriforme.
- **Fibras constituyentes:** Fibras arcuatas internas primarias provenientes de los núcleos gracilis y cuneatus.
- **Función:** Tacto epicrítico y propiocepción consciente del cuerpo (Blumenfeld, 2022).

Fascículo Tectoespinal

- **Origen:** Colículo superior.
- **Decusación:** Decusación tegmental dorsal (de Meynert).
- **Función:** Movimientos reflejos posturales y coordinación de musculatura cervical ante estímulos visuales.

Fascículo Longitudinal Medial (FLM)

El FLM es una vía de asociación intersegmentaria que coordina la actividad de los núcleos oculomotores con los núcleos vestibulares y cervicales.

- **Función:** Coordinación oculocefálica.
- **Composición:**

  - **Fibras ascendentes:**

    - Fibras de núcleos vestibulares.
    - Proyecciones del nervio accesorio (XI).

  - **Fibras descendentes:**

- Fascículo tectobulbar.
- Fascículo tectoespinal.
- Fibras de núcleos accesorios del III par craneal.

La Gran Vía Piramidal

La vía piramidal constituye el principal sistema motor voluntario del sistema nervioso central.

- **Origen:** Área motora primaria (área 4 de Brodmann), específicamente en las neuronas gigantopiramidales de Betz.
- **Conformación:**
  - **Haz corticonuclear**, que proyecta hacia núcleos motores bulbares ipsilaterales.
  - **Haz corticoespinal**, cuyas fibras cruzan principalmente en la decusación piramidal para inervar motoneuronas del lado opuesto.
- **Función:** Control motor voluntario fino y preciso.
- **Terminación:**
  - Núcleos motores del bulbo.
  - Motoneuronas espinales de los segmentos corporales (Snell, 2019; Nolte, 2019).

Corte del bulbo raquídeo a nivel del tercio medio de la oliva bulbar

En el corte transversal del bulbo raquídeo correspondiente al tercio medio de la oliva bulbar se reconocen múltiples núcleos y fascículos previamente estudiados. En esta región, el fascículo espinocerebeloso dorsal ya no se observa de manera independiente, debido a que sus fibras han sido incorporadas al cuerpo restiforme, principal componente del pedúnculo cerebeloso inferior (Snell, 2019; Nolte, 2020). No obstante, se identifican estructuras funcionalmente relevantes que se describen a continuación.

Núcleo Arcuato o Arciforme

El núcleo arcuato constituye un importante centro modulador dentro de los sistemas motores extrapiramidales.

- **Función:** Participación en la modulación motora extrapiramidal.

- **Aferencias:** Recibe fibras corticopontinas específicas denominadas *fibras corticoarcuatas*.

- **Eferencias:** Proyecta hacia el cerebelo por medio del *fascículo arcuatocerebeloso*, también conocido como *fibras arciformes externas ventrales*, que ingresan al cerebelo a través del pedúnculo cerebeloso inferior (Carpenter, 2011; Nolte, 2020).

La Vía Piramidal

La vía piramidal representa el principal sistema motor voluntario y se encuentra compuesta por dos grandes fascículos descendentes:

- **Fascículo corticonuclear:** Controla la musculatura voluntaria de la hemicara ipsilateral.

- **Fascículo corticoespinal:** Controla la musculatura voluntaria del hemicuerpo contralateral, tras su decusación en el bulbo raquídeo (Standring, 2021).

- **Función general:** Ejecución de los movimientos voluntarios finos.

Núcleo Ambiguo

Localizado en la formación reticular bulbar, el núcleo ambiguo presenta una organización con porciones rostral y caudal.

- **Columna funcional:** Branquimotora.

- **Sistema neuroniano:** Eferente visceral especial (E.V.E).

- **Función:** Participación en reflejos de la tos, vómito y regulación de funciones bulbares motoras (Smith & Paton, 2018).

Aferencias:

- Fibras del fascículo corticobulbar para el control voluntario de la fonación y la deglución.

- Fibras del fascículo longitudinal medial, importante en la coordinación cefalo-ocular.

- Conexiones con la formación reticular centrales para el control respiratorio y cardiovascular.

Eferencias:

- La porción rostral contribuye a los componentes eferentes viscerales especiales de los nervios craneales IX, X y XI, inervando músculos faríngeos.
- La porción caudal aporta fibras a la raíz craneal del nervio accesorio (XI), las cuales posteriormente se unen al nervio vago e inervan musculatura laríngea y faríngea (Snell, 2019; Standring, 2021).

Núcleo y Tracto Solitario

Este núcleo se divide funcionalmente en dos porciones:

- **Porción rostral (núcleo gustativo)**
- **Porción caudal (núcleo cardiorrespiratorio)**
- **Columna funcional:** Viscerosensitiva.
- **Sistema neuroniano:** Aferente visceral general y especial.
- **Función general:** Procesamiento de información gustativa y cardiorrespiratoria.

Aferencias:

Fibras de los nervios VII, IX y X.

Eferencias:

Proyección central a través del fascículo solitario hacia núcleos autonómicos y estructuras suprabulbares (Nolte, 2020).

Porción Rostral o Núcleo Gustativo (Vía Gustativa)

- **Sistema neuroniano:** Aferente visceral especial.
- Los botones gustativos distribuidos en lengua y cavidad orofaríngea transmiten información hacia el tronco cerebral mediante los nervios VII, IX y X.
- El núcleo del tracto solitario proyecta el fascículo solitario que asciende junto al llamado Sistema Lemniscal, al núcleo ventral posteromedial del tálamo, desde donde la información alcanza la corteza gustativa primaria en el área 43 de Brodmann (Carpenter, 2011; Nolte, 2020).

Porción Caudal o Núcleo Cardiorrespiratorio

- **Sistema neuroniano:** Aferente visceral general.

Recibe información proveniente de barorreceptores, quimiorreceptores y centros respiratorios periféricos.

Proyecciones:

- **Locales:** Hacia la formación reticular para el control reflejo respiratorio y cardiovascular.
- **Descendentes:** A neuronas autonómicas espinales para regulación gastrointestinal y visceral.
- **Ascendentes:** Al hipotálamo y amígdala, contribuyendo a la integración autonómica y conductual (Nolte, 2020).

Núcleo Motor del Hipogloso

- **Columna funcional:** Somatomotora.
- **Sistema neuroniano:** Eferente somático general.
- **Función:** Control de la musculatura extrínseca e intrínseca de la lengua.

Aferencias:

- Fascículo corticobulbar.
- Fascículo longitudinal medial.
- Fibras de los núcleos perihipoglosos.

Eferencias:

- Fibras eferentes somáticas generales que forman el (XII).

Macroscópicamente: se refleja en el piso del cuarto ventrículo como el *trígono del hipogloso* (Standring, 2021).

Núcleos Perihipoglosos

Participan en la coordinación de movimientos linguales y en la vía gustativa.

Son tres:

- Núcleo intercalado
- Núcleo de Roller o sublingual
- Núcleo prepósito

Función: Conexión cerebelosa para la coordinación fino-motora de la lengua (Carpenter, 2011).

Núcleo Dorsal del Vago

- **Columna funcional:** Visceromotora.
- **Sistema neuroniano:** Eferente visceral general.
- **Función:** Inervación parasimpática preganglionar de corazón, pulmones y tubo digestivo.

Aferencias:

- Del fascículo corticobulbar
- Fibras de núcleos sensoriales de los nervios IX y X.

Eferencias:

- Fibras eferentes viscerales generales que forman el nervio vago (X).

Macroscópicamente: Se representa en el piso del IV ventrículo como el *trígono del vago o ala gris* (Snell, 2019).

Núcleos Vestibulares

Son cuatro núcleos ubicados en la región vestibular del bulbo y puente:

- Núcleo vestibular superior (Bechterew)
- Núcleo vestibular inferior (espinal)
- Núcleo vestibular medial (Schwalbe)
- Núcleo vestibular lateral (Deiters)

Columna funcional: Somatosensitiva especial (propioceptiva).

Sistema neuronal: Aferente somático especial (equilibrio).

Función: Segundo relevo de la vía vestibular.

Aferencias:

- **Neurona bipolar del ganglio de Scarpa.**
- **Fascículo fastigiobulbar.**

Eferencias:

- **Formación del fascículo longitudinal medial.**
- **Fascículo vestibulocerebeloso hacia el cerebelo.**
- **Fascículo vestibuloespinal para el control del tono muscular (Nolte, 2020).**

Macroscópicamente: se reflejan en el piso del IV ventrículo en el Ala Blanca Externa o Ala Vestibular.

Vía Vestibular o Vía del Equilibrio

Los estatorreceptores (máculas y crestas ampulares) detectan cambios en la posición corporal y envía la información en la siguiente secuencia funcional:

1. **Primer estacionamiento:** Ganglio de Scarpa, envía la información por el nervio Vestibulococlear que penetra al tronco cerebral por la faceta supraolivar.

2. **Segundo estacionamiento: Núcleos vestibulares que envían** proyecciones que terminan en:

- Fascículo vestibulocerebeloso hacia el **Cerebelo,** centro del equilibrio, mismo que retroalimenta el fascículo fastigiobulbar
- Fascículo vestibuloespinal **a la médula espinal,** para controlar el tono muscular y la taxia
- Fascículo longitudinal medial para movimientos coordinados cabeza–ojos (Standring, 2021; Nolte, 2020)

Corte del bulbo raquídeo a nivel del tercio superior de la oliva bulbar

En el corte bulbar correspondiente al tercio superior de la oliva se observan, además de las estructuras previamente descritas, componentes de relevancia funcional relacionados con la audición, el equilibrio, la integración motora y la modulación autonómica.

Núcleos Cocleares y la Vía Auditiva

Los núcleos cocleares constituyen el **segundo relevo sináptico** de la vía auditiva y están formados por dos estructuras: el **núcleo coclear dorsal** y el **núcleo coclear ventral** (Nolte, 2020).

Núcleo Coclear Dorsal

- **Columna funcional:** somatosensitiva especial exteroceptiva.
- **Sistema neuroniano:** aferente somático especial.
- **Función:** segundo relevo de la vía auditiva.
- **Aferencias:** proyecciones centrales de la neurona bipolar del *ganglio espiral de Corti*.
- **Eferencias: estrías acústicas dorsales**, las cuales ascienden y se proyectan hacia el cuerpo trapezoide.
- **Macroscópica:** forma el **tubérculo acústico** en la superficie dorsolateral del bulbo.

Núcleo Coclear Ventral

- **Columna funcional:** somatosensitiva especial exteroceptiva.
- **Función:** segundo relevo de la vía auditiva.
- **Aferencias:** fibras del ganglio espiral de Corti.
- **Eferencias: estrías acústicas mediales y ventrales**, que contribuyen al **cuerpo trapezoide**, estructura fundamental en la decusación auditiva

Vía Auditiva

El proceso auditivo se inicia en el receptor, el **órgano de Corti**, donde las señales mecánicas se convierten en impulsos eléctricos que sinaptan con la neurona bipolar del ganglio espiral (primer relevo). Desde allí, las fibras se reúnen y forman la porción acústica del VIII par craneal,

este penetra al bulbo raquídeo a nivel de la fosa supraolivar y alcanzan los núcleos cocleares dorsal y ventral (segundo relevo). A partir de estos núcleos se originan las **estrías acústicas**, que decusan en el rafe medio, con fibras del núcleo del cuerpo trapezoide y de la oliva protuberancial, conforman el **lemnisco lateral**, el cual asciende hasta el núcleo del **colículo inferior** (tercer relevo). El colículo inferior proyecta sus fibras eferentes a través del brazo conjuntival inferior al **cuerpo geniculado medial** (cuarto relevo). Finalmente, las fibras ascienden mediante el fascículo **geniculotemporal** hasta la **corteza auditiva primaria** (áreas 41 y 42 de Brodmann), localizadas en las **circunvoluciones transversas de Heschl**. (Blumenfeld, 2022).

3. Lemnisco Lateral

Constituido por:

- Fibras contralaterales de los núcleos cocleares.
- Fibras ipsilaterales del núcleo del cuerpo trapezoide.
- Fibras ipsilaterales de la oliva protuberancial.

Su función principal es conducir información auditiva de alta fidelidad hacia el colículo inferior (Nolte, 2020).

Área Postrema

El **área postrema** se localiza a cada lado del obex y se caracteriza como un **órgano circumventricular**, permeable a sustancias circulantes (Gray's Anatomy, 2021).

Presenta neuronas apolares y una densa red vascular.

Funciones:

- Es un **quimiorreceptor emético**.
- Detecta toxinas presentes en sangre y LCR.
- Junto al núcleo del tracto solitario y el nervio vago, participa en el **reflejo del vómito**.

Fibras Arciformes

Las fibras arciformes representan sistemas de conexión bulbo-cerebelosos y están organizadas en internas y externas.

Arciformes Internas Primarias

Lemnisco Medial

- **Origen:** núcleos grácil y cuneiforme, sus fibras sufren la decusación sensitiva o piriforme
- **Función:** conducción de sensibilidad táctil epicrítica y propioceptiva consciente.

Arciformes Internas Secundarias

Fascículo trigeminotalámico ventral.

- *Origen:* Núcleo Espinal del V Par.
- *Función:* táctil-térmica-dolorosa de la cara.

Fascículo olivocerebeloso

- *Origen:* Oliva Bulbar.
- *Función:* Motor extrapiramidal

Arciformes Externas Dorsales

Fascículo cuneocerebeloso

- **Origen:** núcleo cuneiforme accesorio.
- **Función:** propiocepción inconsciente del cuello.

Arciformes Externas Ventrales

Fascículo reticulocerebeloso.

Origen: Núcleo Reticular Lateral.

Función: Motora Extrapiramidal.

Fascículo arcuatocerebeloso.

Origen: Núcleos Arcuatos.

Función: Motora Extrapiramidal.

Pedúnculos Cerebelosos

Los pedúnculos cerebelosos constituyen las vías de comunicación entre el tronco encefálico y el cerebelo.

Pedúnculo Cerebeloso Inferior (Cuerpo Restiforme)

Aferencias principales:

- Fascículo espinocerebeloso dorsal.
- Fascículo olivocerebeloso.
- Fascículo cuneocerebeloso.
- Fascículo reticulocerebeloso.
- Fascículo arcuatocerebeloso.
- Fibras vestibulocerebelosas (por el cuerpo yuxtarestiforme).

Eferencias:

- Fibras cerebeloreticulares.
- Fibras cerebelovestibulares.
- Fascículo fastigiobulbar.

Pedúnculo Cerebeloso Medio (Braquium Pontis)

Fibras primarias:

- Fascículo pontocerebeloso.
- Fascículo cerebelocerebeloso.

Fibras secundarias:

- Fascículo trigeminocerebeloso.

- Fascículo reticulocerebeloso.

Pedúnculo Cerebeloso Superior (Braquium Conjuntivum)

Formado por:

- Fascículo cerebelorubrotalamocortical (decusación de Wernekink).
- Fascículo espinocerebeloso ventral.
- Fascículo tectocerebeloso.

Formación Reticular

La **formación reticular** es una red difusa de núcleos que se extiende desde la médula cervical hasta el diencéfalo, filogenéticamente corresponde a una de las estructuras más antiguas, Regula funciones esenciales como el tono muscular, la actividad refleja, el control autonómico y el ciclo sueño-vigilia a través del **Sistema Activador Reticular Ascendente (SARA)** (Blumenfeld, 2022).

Organización Nuclear

- **Grupo paramediano**
- **Grupo central** (núcleo reticular ventral y gigantocelular)
- **Grupo lateral** (núcleo reticular lateral y parvicelular)

Aferencias principales:

- Fascículo espinorreticular.
- Fascículo cerebelorreticular.
- Fascículo tectoreticular.
- Fascículo corticorreticular.
- Colaterales de nervios craneales. Fibras Aferentes:

Eferencias:

- Fascículo retículotalámico (ascendentes).

- Fibras del Sistema Activador Reticular Ascendente (S.A.R.A)
- Fascículos retículobulbar, retículoespinal y retículocerebeloso (descendentes).

Funciones de la Formación Reticular

- Regulación del **tono muscular**, especialmente de músculos antigravitatorios.
- Modulación de **sensaciones somáticas y viscerales**.
- Regulación del **sistema nervioso autónomo**.
- Influencia en funciones **endocrinas** y ritmos biológicos.
- Sostenimiento del **estado de alerta y conciencia** mediante el SARA.

Protuberancia.

Protuberancia: Corte a Nivel de la Eminencia Teres

El corte transversal de la protuberancia a nivel de la **eminencia teres** se divide clásicamente en dos regiones anatómica y funcionalmente diferenciadas:

1. **Porción basilar o ventral del puente**
2. **Porción tegmental, calota pontina o porción dorsal del puente**

Esta organización refleja la distribución característica de los sistemas motores descendentes, núcleos pontinos y vías sensoriales ascendentes del tronco encefálico (Haines, 2018; Nolte, 2020).

Porción Basilar o Ventral de la Protuberancia

Vía piramidal

La vía piramidal, constituida por los fascículos **corticobulbar** y **corticoespinal**, atraviesa la región basilar de la protuberancia. En su trayecto, estas fibras dividen los **núcleos pontinos**, desplazándolos hacia anterior y generando los característicos **rodetes protuberanciales** observables en la superficie ventral del puente (Snell, 2019).

Núcleos Pontinos

Los **núcleos pontinos** son núcleos suprasegmentarios localizados en la porción basilar. Su función principal se vincula con la **modulación del sistema motor extrapiramidal**, actuando como un relevo crítico entre la corteza cerebral y el cerebelo (Nolte, 2020).

Aferencias

Reciben múltiples proyecciones corticopontinas:

- **Fascículo frontopontino** (o de Arnold), proveniente de la corteza frontal.
- **Fascículo parietotemporooccipitopontino** (o de Türck), originado en las cortezas parietal, temporal y occipital.
- **Fibras tectoprotuberanciales**, originadas en el colículo superior, que median información visual hacia el cerebelo.

Estas proyecciones representan componentes esenciales del denominado *sistema motor extrapiramidal* (Haines, 2018).

Eferencias

Las fibras eferentes forman el **fascículo pontocerebeloso**, el cual **se decusa** en la línea media por delante de la vía piramidal y se dirige al hemisferio cerebeloso contralateral. La mayoría de sus fibras integra el **pedúnculo cerebeloso medio** (*brachium pontis*) (Standring, 2021).

2. Porción Tegmental o Dorsal del Puente

Cuerpo trapezoide

El **cuerpo trapezoide** es un fascículo transversal ubicado ventralmente dentro de la calota pontina. Está formado principalmente por las eferencias del **núcleo coclear ventral**, entre ellas:

- **Estrías acústicas ventrales**
- **Estrías acústicas mediales**

Estas fibras participan en la conformación del **lemnisco lateral**, estructura clave en la transmisión auditiva ascendente (Snell, 2019).

Lemnisco medial

El **lemnisco medial** constituye la vía ascendente que transmite sensibilidad **táctil epicrítica** y **propioceptiva consciente** del cuerpo. Está formado por las fibras arciformes internas secundarias, que se originan tras la **decusación sensitiva o piriforme** de la médula oblonga (Haines, 2018).

Haz central de la calota

El haz central contiene fibras ascendentes y descendentes que interconectan estructuras del diencéfalo, tronco encefálico y médula espinal. Entre ellas destacan:

- **Fascículo reticulotalámico** (ascendente)
- **Fascículo talamolivar** (descendente)
- **Fascículo rubrolivar** (descendente)

Estas vías participan en procesos moduladores motores y sensoriales (Nolte, 2020).

Núcleo motor del VI nervio craneal (Motor Ocular Externo).

Columna: somatomotora.

Sistema neuroniano: eferente somático general.

Función: inervar al musculo recto lateral del ojo.

Aferencias

- Fibras del fascículo corticobulbar
- Proyecciones del **fascículo longitudinal medial**

Eferencias

- Fibras motoras somáticas que constituyen el **VI nervio craneal**

Macroscópicamente: Este núcleo, junto con la curvatura (rodilla) del nervio facial, origina el relieve conocido como **eminencia teres** en el piso del cuarto ventrículo (Haines, 2018).

Núcleo motor del VII nervio craneal (Facial)

Columna: Branquiomotora.

Sistema neuroniano: eferente visceral especial.

Función: inervar los músculos de la expresión facial.

Aferencias

- Fibras del fascículo corticobulbar de ambos hemisferios en su región rostral
- Fibras corticobulbares predominantemente de un hemisferio en su región caudal

Eferencias

- Fibras viscerales especiales que forman el **VII nervio craneal**

El trayecto dorsal y arqueado del nervio facial sobre el núcleo del abducens explica la formación de la **rodilla facial**, involucrada también en la eminencia teres (Nolte, 2020).

Núcleo espinal del V nervio craneal (Trigémino)

Columna: somatosensitiva general

Sistema neuroniano: aferente somático general exteroceptivo.

Función: táctil, térmica y dolorosa de la cara.

Aferencia

- El Tacto Espinal del V Nervio Craneal, prolongaciones centrales de la neurona pseudounipolar del ganglio de Gasser.

Eferencia

- **Fascículo trigeminotalámico ventral**

Macroscópicamente, su localización se correlaciona con la formación del **tubérculo cinéreo** (Snell, 2019).

Núcleo de la oliva protuberancial y núcleo del cuerpo trapezoide

Ambas estructuras proyectan fibras que, junto con el cuerpo trapezoide, contribuyen a la formación del **lemnisco lateral**, fundamental para la vía auditiva ascendente (Haines, 2018).

Protuberancia: Corte a Nivel de la Emergencia del V Nervio Craneal

El corte transversal de la protuberancia en el plano correspondiente a la emergencia del nervio trigémino (V par craneal) revela una organización estratificada en dos grandes porciones:

1. Porción basilar (ventral)
2. Porción tegmental (dorsal)

Esta disposición refleja la trayectoria de vías motoras y sensoriales, así como la localización de núcleos pontinos implicados en la transmisión motora, sensitiva, auditiva y cerebelosa (Haines, 2018; Snell, 2019; Standring, 2021).

Porción Basilar de la Protuberancia

Esta región está dominada por las principales vías motoras descendentes, los núcleos pontinos y las fibras transversales que conectan la protuberancia con el cerebelo.

Vía piramidal

La vía piramidal, integrada por los fascículos **corticobulbar** y **corticoespinal**, atraviesa la porción basilar en sentido vertical. Su presencia divide los núcleos pontinos y contribuye a la formación de los relieves ventrales del puente (Nolte, 2020).

Núcleos pontinos

Los núcleos pontinos constituyen estaciones de relevo fundamentales en la comunicación entre la corteza cerebral y el cerebelo. Reciben aferencias corticopontinas y proyectan fibras pontocerebelosas que cruzan la línea media (Haines, 2018).

3. Fibras transversales del puente

Estas fibras forman parte de dos grandes sistemas de proyección:

- **Fascículo pontocerebeloso**: principal vía aferente hacia el cerebelo, derivada de los núcleos pontinos.
- **Fascículo cerebelocerebeloso**: fibras que coordinan información interhemisférica cerebelosa.

Ambas contribuyen al pedúnculo cerebeloso medio o *brachium pontis*.

Porción Tegmental de la Protuberancia

La porción tegmental contiene vías ascendentes, núcleos sensoriales, centros auditivos pontinos y sistemas coordinadores oculomotores.

Lemnisco medial

Estructura ascendente encargada de la sensibilidad táctil epicrítica y propioceptiva consciente. Se origina tras la decusación de las fibras arciformes internas en la médula oblonga (Haines, 2018).

Haz central de la calota

Constituido por vías ascendentes y descendentes relacionadas con núcleos olivar, talámico y rubral:

- Fascículo reticulotalámico
- Fascículo talamolivar
- Fascículo rubrolivar (Nolte, 2020).

Núcleo olivoprotuberancial

Participa en la modulación auditiva y contribuye al **lemnisco lateral** mediante fibras eferentes.

Núcleo del cuerpo trapezoide

Recibe fibras de los núcleos cocleares y contribuye a la transmisión auditiva hacia el colículo inferior y al lemnisco lateral (Snell, 2019).

Fascículo longitudinal medial (FLM)

Sistema oculocéfalogiro que coordina movimientos conjugados de ojos y cabeza. Contiene:

- Fibras ascendentes desde los núcleos vestibulares y del nervio accesorio (XI)
- Fibras descendentes tectoespinales. tectobulbares Y fibras de los núcleos accesorios del III nervio craneal.

Núcleos del V Nervio Craneal

Núcleo motor del trigémino

Columna: Branquiomotora.

Sistema neuroniano: eferente visceral especial.

Función: inervación de los músculos de la masticación, del martillo, temporal, masetero, periestafilino externo y estructuras relacionadas con la articulación temporomandibular.

Aferencias

- Fibras del fascículo corticobulbar

Eferencias

- Fibras eferentes viscerales especiales que forman la porción motora del V nervio craneal (Haines, 2018).

Núcleo sensitivo principal del trigémino

Ubicado lateral al núcleo motor y medial a la raíz mesencefálica del trigémino.

Columna: somatosensitiva general.

Sistema neuroniano: Aferente somático general propioceptivo.

Función: transmitir sensibilidad táctil epicrítica y propioceptiva consciente de la cara.

Aferencias

- Tracto espinal del trigémino (prolongación de neuronas del ganglio de Gasser)

Eferencias

- Fascículo trigeminotalámico dorsal (Snell, 2019).

Sistemas de Conexión Cerebelosa

Pedúnculo cerebeloso medio (brachium pontis)

Conecta la protuberancia con el cerebelo.

Fibras primarias (más abundantes):

- Fascículo pontocerebeloso
- Fascículo cerebelocerebeloso

Fibras secundarias:

- Fascículo trigeminocerebeloso
- Fascículo retículocerebeloso (Haines, 2018).

Pedúnculo cerebeloso superior (brachium conjunctivum)

Formado principalmente por:

- Fascículo cerebelorubrotalamocortical, que cruza en la **decusación de Wernekink**
- Fascículo espinocerebeloso ventral
- Fascículo tectocerebeloso (Standring, 2021).

Válvula de Vieussens o velo medular anterior

Estructura de sustancia blanca que une ambos pedúnculos cerebelosos superiores.

En ella decusan:

- Fascículo espinocerebeloso ventral cruzado (Gowers)
- Nervio troclear (IV par craneal) (Snell, 2019).

Corte de Protuberancia a Nivel de la Raíz Mesencefálica del V Nervio

Porción basilar

- Vía piramidal
- Núcleos pontinos
- Fibras transversales: pontocerebelosas y cerebelocerebelosas

Porción tegmental

Sistema Lemniscal, está formado por:

- **Lemnisco espinal, F**ormado por los fascículos espinotalámico lateral y ventral.
- Función: conducción del dolor, temperatura y tacto protopático del cuerpo.
- **Lemnisco medial,** Vía de sensibilidad epicrítica y propioceptiva consciente del cuerpo.
- **Lemnisco Trigeminal,** compuesto por el fascículo trigeminotalámico ventral y fascículo trigeminotalámico dorsal**.** Conduce sensibilidad táctil, térmica, dolorosa y propioceptiva de la cara.
- **Fascículo solitario,** Vía gustativa (Haines, 2018; Nolte, 2020).

Pedúnculo cerebeloso superior (brachium conjunctivum)

Formado principalmente por:

- Fascículo cerebelorubrotalamocortical, que cruza en la **decusación de Wernekink**
- Fascículo espinocerebeloso ventral
- Fascículo tectocerebeloso

(Standring, 2021).

Haz central de la calota

Constituido por vías ascendentes y descendentes relacionadas con núcleos olivar, talámico y rubral:

- Fascículo reticulotalámico
- Fascículo talamolivar
- Fascículo rubrolivar (Nolte, 2020).

Fascículo longitudinal medial (FLM)

Sistema oculocéfalogiro que coordina movimientos conjugados de ojos y cabeza. Contiene:

- Fibras ascendentes desde los núcleos vestibulares y del nervio accesorio (XI)

- Fibras descendentes tectoespinales. tectobulbares Y fibras de los núcleos accesorios del III nervio craneal (Standring, 2021).

Lemnisco lateral.

Fibras que lo componen:

- Fibras contralaterales de lo núcleos cocleares
- Fibras ipsilaterales de los núcleos del cuerpo trapezoide.
- Fibras ipsilaterales del núcleo de la oliva protuberancial.

Locus coeruleus

Núcleo pigmentado que secreta **noradrenalina**. Se ubica entre el el Fascículo Longitudinal Medial y la raíz mesencefálica del trigémino.

Funciones:

- Regulación del ritmo respiratorio (centro neumotáxico)
- Ciclo circadiano
- Regulación del estado de alerta y primeras fases del sueño

Envía proyecciones reticulares denominadas **fascículo de Probst** (Standring, 2021).

Núcleo mesencefálico del trigémino

Columna: somatosensitiva general

Sistema neuroniano: aferente somático general propioceptivo inconsciente.

Función: sensibilidad propioceptiva inconsciente de la cara.

Aferencias

- Tracto espinal del V par

Eferencias

- Fascículo trigeminocerebeloso

La **raíz mesencefálica del V par** corresponde a sus fibras emergentes (Snell, 2019).

Válvula de Vieussens o velo medular anterior

Estructura de sustancia blanca que une ambos pedúnculos cerebelosos superiores.

En ella decusan:

- Fascículo espinocerebeloso ventral cruzado (Gowers)
- Nervio troclear (IV par craneal) (Snell, 2019).

Mesencéfalo:

Corte de Mesencéfalo a Nivel del Tubérculo Cuadrigémino Inferior

El mesencéfalo es la porción más rostral del tronco encefálico y, desde un punto de vista morfológico, se organiza en tres regiones bien definidas: el **pie peduncular (crura cerebri)** en su zona anterior, el **tegmento mesencefálico** en la región central y el **tectum** o lámina cuadrigémina en la porción dorsal (Standring, 2021).

Porción Anterior: Pie Peduncular o Crura Cerebri

El pie peduncular constituye una vía esencial para la conducción de fibras motoras descendentes. Su organización interna responde a la denominada **"sistematización del pie peduncular"**, que distribuye las fibras en tres tercios (Nolte, 2019):

- **Tercio interno:** contiene el **fascículo frontopontino** o fascículo de Arnold.
- **Tercio medio:** ocupado por la **vía piramidal**, que incluye los fascículos corticoespinales y corticonucleares.
- **Tercio externo:** alberga el **fascículo parietotemporooccipitopontino** o fascículo de Türck.

Tanto el fascículo frontopontino como el parietotemporooccipitopontino forman parte del **sistema motor extrapiramidal**, estableciendo conexiones entre la corteza cerebral y los núcleos del puente para la modulación del movimiento automático y postural (Blumenfeld, 2022).

Sustancia Negra (Locus Niger o Columna de Soemmering)

La **sustancia negra** es una estructura pigmentada situada entre el pie peduncular y el tegmento. Se clasifica funcionalmente dentro del **sistema motor extrapiramidal**, y su pigmentación se debe a elevados contenidos de **neuromelanina**, derivada del metabolismo de la dopamina (Nolte, 2019).

Funciones

Su función principal consiste en **regular la actividad motora involuntaria**, el **tono muscular** y la **coordinación de patrones motores automáticos** mediante circuitos con los ganglios basales.

Aferencias

- Fascículo corticonigro (corteza cerebral).
- Fibras estrionigras (núcleo caudado y putamen).
- Fibras palidonigras (globo pálido).
- Fibras tegmentonigras (formación reticular mesencefálica).
- Fibras subtalamonigras (núcleo subtalámico).

Eferencias

- Fibras nigroestriadas (hacia el estriado).
- Fibras nigropalidales (globo pálido).
- Fibras nigrosubtalámicas (núcleo subtalámico).
- Fibras nigrotalámicas (tálamo).

Relevancia clínica

La degeneración progresiva de las neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra origina la enfermedad de Parkinson, caracterizada por **rigidez**, **bradicinesia** y **temblor de reposo** (Blumenfeld, 2022).

Núcleo Interpeduncular

El núcleo interpeduncular es una estructura pigmentada situada en el **fondo de la fosa interpeduncular**. Participa en funciones **límbicas y autonómicas**, actuando como relevo entre el sistema epitalámico y la sustancia gris periacueductal (Standring, 2021).

Aferencias

- Fascículo retroflexo de Meynert (haz habenulopeduncular) proveniente de la **habenula**.

Eferencias

- Proyecciones hacia los núcleos de la **sustancia gris periacueductal**, incluyendo los núcleos de Gudden y Bechterew.

Porción Media: Calota o Tegmento Mesencefálico

En esta región se encuentran sistemas ascendentes y descendentes fundamentales para la integración sensoriomotora, entre ellos (Nolte, 2019):

- Sistema lemniscal.
- Decusación de Wernekinck (pedúnculos cerebelosos superiores).
- Haz central de la calota.
- Fascículo longitudinal medial.
- Lemnisco lateral.
- Formación reticular mesencefálica.

Porción Dorsal: Tectum Mesencefálico o Lámina Cuadrigémina

El tectum se compone de los colículos superior e inferior. A nivel del **tubérculo cuadrigémino inferior** se ubica el núcleo responsable del procesamiento auditivo de tercer orden.

Núcleo del Tubérculo Cuadrigémino Inferior

- **Localización:** lámina cuadrigémina.
- **Función:** constituye el **tercer relevo** de la vía auditiva.

- **Aferencias:** fibras del **lemnisco lateral**.
- **Eferencias:** proyecta hacia el **cuerpo geniculado medial** mediante el **brazo conjuntival inferior** (Blumenfeld, 2022).

Núcleo Motor del IV Par Craneal (Troclear o Patético)

Columna: somatomotora.

Sistema neuroniano: eferente somático general.

Función: inervar al músculo oblicuo superior del ojo.

Aferencias

- Fascículo corticobulbar o corticonuclear.

Eferencias

Las fibras somáticas eferentes **decusan completamente** en la **válvula de Vieussens**, emergen en el **surco protuberancial superior**, y se dirigen al músculo oblicuo superior **del lado contralateral**, constituyendo el único par craneal que se decusa totalmente (Nolte, 2019).

Corte de Mesencéfalo a Nivel del Tubérculo Cuadrigémino Superior

El mesencéfalo, estructura intermedia entre el puente y el diencéfalo, se organiza en tres regiones anatómicas principales: el **pie peduncular**, el **tegmento mesencefálico** y el **tectum** o lámina cuadrigémina. El análisis de un corte transversal a nivel del **tubérculo cuadrigémino superior** permite identificar importantes centros motores y oculomotores, así como vías ascendentes y descendentes críticas para la integración sensorial y motora (Standring, 2021; Nolte, 2019).

Porción Anterior: Pie Peduncular o Crura Cerebri

En esta región se identifican estructuras relacionadas con la conducción motora y la integración extrapiramidal:

- **Sistematización del pie peduncular**
- **Sustancia negra (Locus niger)**
- **Núcleo interpeduncular**

El pie peduncular aloja fibras corticopontinas, corticoespinales y corticonucleares que constituyen las principales vías motoras descendentes del encéfalo.

Porción Media: Calota o Tegmento Mesencefálico

En la calota se localizan vías ascendentes sensoriales, núcleos motores y componentes de la formación reticular. En este nivel se observan (Nolte, 2019):

- Sistema lemniscal
- Haz central de la calota
- Fascículo longitudinal medial
- Formación reticular

Núcleo Rojo (Núcleo de Stilling)

El **núcleo rojo** es una estructura pigmentada suprasegmentaria incluida dentro del sistema motor extrapiramidal. Se extiende desde el límite caudal del colículo superior hasta el subtálamo, y se sitúa en la porción dorsal del tegmento mesencefálico (Blumenfeld, 2022).

División histológica

- **Neorubrum** (porción rostral)
- **Paleorubrum** (porción caudal)

Función

Participa en la **modulación del movimiento involuntario**, coordinación postural y control de movimientos automáticos.

Aferencias

- Fascículo corticorrúbrico (corteza cerebral)
- Fascículo Cerebelorubrotalamocortical corresponde a fibras contralaterales de los núcleos profundos del cerebelo a través del pedúnculo cerebeloso superior, tras la **decusación de Wernekinck**

Eferencias

Las fibras eferentes del núcleo rojo decusan en la **decusación tegmental ventral** o **decusación de Forel** y forman los siguientes fascículos:

- Fascículo rubrolivar
- Fascículo rubroreticular
- Fascículo rubroespinal
- Fascículo rubrocerebeloso

Complejo Oculomotor

El complejo oculomotor está constituido por núcleos somatomotores (El Núcleo de Perlia), visceromotores (el núcleo de Edinger-Westphal y el núcleo medial anterior) y núcleos accesorios del III par craneal.

EL NÚCLEO PERLIA (Núcleo Motor Ocular Común).

Núcleo de Perlia (Núcleo Motor Ocular Común)

- **Columna:** somatomotora
- **Sistema neuroniano:** eferente somático general
- **Función:** inerva los músculos extrínsecos del ojo (rectos superior, inferior, medial y oblicuo inferior), excepto el recto lateral y el oblicuo superior (inervados por VI y IV).

Aferencias:

- Fascículo corticonuclear
- Fascículo longitudinal medial

Eferencias:

- Fibras eferentes somáticas generales que forman el nervio oculomotor (III par)

Núcleo de Edinger–Westphal y Núcleo Medial Anterior

Columna: Visceromotora.

Sistema neuroniano: eferente visceral general.

Función: sus fibras parasimpáticas preganglionares inervan la musculatura intrínseca del ojo: -el esfínter pupilar y el músculo ciliar.

- **Núcleo de Edinger–Westphal:** controla el esfínter pupilar
- **Núcleo medial anterior:** inerva el músculo ciliar

Aferencias:

- Fibras corticobulbares
- Fascículo longitudinal medial
- Núcleos accesorios del III par
- Área pretectal

Eferencias:

- Fibras parasimpáticas preganglionares hacia el **ganglio ciliar**, responsables de inervar la musculatura intrínseca del ojo de la acomodación y la miosis

Núcleos Accesorios del III Nervio Craneal

Ubicados en la sustancia gris periacueductal, participan en los reflejos pupilares y oculares:

- Núcleo intersticial de Cajal
- Núcleo de Darkschewitsch
- Núcleo de la comisura posterior

Estos núcleos proyectan fibras al fascículo longitudinal medial y al área pretectal, en coordinación con los reflejos pupilares a la luz (Blumenfeld, 2022).

Porción Dorsal: Tectum o Lámina Cuadrigémina

Núcleo del Tubérculo Cuadrigémino Superior

El colículo superior presenta una organización histológica en capas, semejante a una corteza sensorial primitiva. De afuera hacia adentro:

- Stratum zonale (capa zonal).
- Stratum cinereum (capa cinérea).
- Stratum opticum (capa óptica).
- Stratum lemnisci (capa lemniscal formada por capas gris y blanca, media y profunda).

Función: Integra información **visual**, modulando movimientos oculares reflejos, orientación del eje corporal y respuestas motoras ante estímulos visuales.

Aferencias

- Fibras corticotectales
- Fibras espinotectales
- Cuerpo geniculado lateral
- Cintilla óptica
- Fibras del núcleo del colículo inferior

Eferencias

- Fibras tectotalámicas
- Fibras tectorreticulares
- Fibras tectoprotuberanciales
- Fibras tectobulbares
- Fibras tectoespinales

Las fibras tectobulbares y tectoespinales decusan en la **decusación tegmental dorsal** o **decusación de Meynert**, y descienden por el fascículo longitudinal medial hasta la médula espinal cervical.

Órgano Subcomisural

Situado dorsal al acueducto cerebral y por debajo de la comisura posterior, contiene **células ependimarias con función neurosecretora**, descritas clásicamente como productoras de

sustancias esteroidales, entre ellas la aldosterona, derivados relacionados con mineralocorticoides (Standring, 2021).

Área Pretectal

Se localiza entre el mesencéfalo dorsal y el diencéfalo, participando junto con los núcleos accesorios del III par en el **reflejo fotomotor**.

Aferencias:

- Fibras de la Corteza Cerebral.
- Fibras del Cuerpo Geniculado Lateral.
- Fibras de la Cintilla Óptica.
- Fibras de los Núcleos Accesorios del III Nervio Craneal.

Eferencias:

- Proyecciones hacia los núcleos visceromotores y accesorios del III par a través del tegmento mesencefálico.

Sistematización de los Nervios Craneales

Nervio Motor Ocular Común (III par)

Origen aparente: fosa interpeduncular

Tipo: Nervio motor

Columna: Somatomotora

Sistema neuroniano: eferente somático general (ESG)

Inerva: músculos oculomotores, recto superior, inferior, interno, oblicuo menor y elevador del párpado superior.

Núcleo del III nervio craneal

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar y fascículo longitudinal medial
- **Eferencia:** Fibras ESG

Columna: Visceromotora

Sistema neuroniano: eferente visceral general (EVG)

Inerva: el esfínter pupilar y el músculo ciliar.

Núcleo del Edinger Westphal y núcleo medial anterior

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar y fascículo longitudinal medial.
- **Eferencia:** Fibras EVG.

Nervio Patético o Troclear (IV par)

Origen aparente: Válvula de Vieussens

Tipo: Nervio motor

Columna: Somatomotora

Sistema neuroniano: eferente somático general (ESG)

Inerva: músculos oblicuo mayor.

Núcleo del nervio troclear

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar
- **Eferencia:** Fibras ESG

Nervio Trigémino (V par)

Origen aparente: a cada lado de los rodetes protuberanciales

Tipo: Nervio mixto

Columna: Branquiomotora.

Sistema neuroniano: Eferente visceral especial (EVE).

Inerva: Músculos de la masticación, tensor del tímpano, velo del paladar, milohioideo, vientre anterior del digástrico

Núcleo motor del V nervio craneal

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar

- **Eferencia:** Fibras EVE

Columna: Somatosensitiva General

Sistema neuroniano: Aferente somático general propioceptiva consciente (ASGPC)

Inerva: Sensibilidad Táctil, Térmica y dolorosa de la cara.

Núcleo Espinal del V Nervio Craneal

- **Aferencia:** Tracto Espinal del V par.
- **Eferencia:** Fascículo Trigeminotalámico Ventral.

Núcleo Sensitivo Principal del V Nervio Craneal.

- **Aferencia:** Tracto Espinal del V par.
- **Eferencia:** Fascículo Trigeminotalámico dorsal.

Columna: Somatosensitiva General

Sistema neuroniano: Aferente somático general propioceptiva inconsciente (ASGPI)

Inerva: posición de articulaciones y vibración de la cara, boca, senos paranasales, meninges y dos tercios anteriores de la lengua,

Núcleo Mesencefálico del V Nervio Craneal.

- **Aferencia:** Tracto Espinal del V par.
- **Eferencia:** Fascículo Trigéminocerebeloso.

Nervio Motor Ocular Externo (VI par)

Origen aparente: Surco protuberancial inferior a nivel de las pirámides bulbares.

Tipo: Nervio motor

Columna: Somatomotora

Sistema neuroniano: eferente somático general (ESG)

Inerva: músculo recto interno

Núcleo motor de VI nervio craneal

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar
- **Eferencia:** Fibras ESG

Nervio Facial (VII par)

Origen aparente: fosa supraolivar

Tipo: Nervio mixto

Columna: Branquiomotora.

Sistema neuroniano: Eferente visceral especial (EVE).

Inerva: Músculos de la expresión facial, parte del digástrico y estilohiodeo.

Núcleo motor del VII nervio craneal

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar
- **Eferencia:** Fibras EVE

Columna: Visceromotora

Sistema neuroniano: Eferente Visceral General (EVG).

Inerva: -glándula Lacrimal, glándulas salivales (excepto la Parótida).

Núcleo salival superior

- **Aferencia:** fibras del ganglio geniculado.
- **Eferencia:** Fascículo EVG

Núcleo Lacrimonasal.

- **Aferencia:** Fibras del ganglio geniculado.
- **Eferencia:** Fascículo EVG

Columna: Viscerosensitiva

Sistema neuroniano: Aferente Visceral General y Especial (AVGE)

Inerva: Sensibilidad gustativa de los dos tercios anteriores de la lengua.

Núcleo del Fascículo Solitario.

Aferencia: Fibras del ganglio geniculado

Nervio Auditivo (VIII par)

Origen aparente: fosa supraolivar

Tipo: Nervio sensitivo

Columna: Somatosensitiva especial

Sistema neuroniano: Aferente somático especial extetoceptiva (ASGEE)

Función: Información auditiva del Ganglio de Corti, proveniente del Órgano de Corti.

Núcleos Cocleares Dorsal y Ventral.

- **Aferencia:** Fibras auditivas del Ganglio de Corti.
- **Eferencias:** Estrías Acústicas.

Columna: Somatosensitiva especial

Sistema neuroniano: Aferente somático especial propioceptiva (ESEP)

Función: Información Propioceptiva del Ganglio de Scarpa, proveniente de los Conductos semicirculares, Utrículo y Sáculo.

Núcleos Vestibulares: Superior (de Bechterew)**,** Lateral (de Deiters), Medial (de Schwalbe), Inferior (Espinal de Roller).

- **Aferencia:** Fibras vestibulares del Ganglio de Scarpa.
- **Eferencias:** Fascículo Vestibulocerebeloso, Vestibuloespinal, Fibras al Fascículo Longitudinal Medial.

Nervio Glosofaríngeo (IX par)

Origen aparente: surco retrolivar

Tipo: Nervio mixto

Columna: Branquiomotora.

Sistema neuroniano: Eferente visceral especial (EVE).

Inerva: Músculo estilofaríngeo, estilogloso, glosoestafilino, faringoestafilino, músculos constrictores de la faringe, vientre posterior del digástrico.

Núcleo Ambiguo

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar y longitudinal medial.
- **Eferencia:** Fibras EVE

Columna: Visceromotora

Sistema neuroniano: Eferente Visceral General (EVG).

Inerva: sensibilidad gustativa del tercio posterior de la lengua.

Núcleo salival inferior

- **Aferencia:** fibras del ganglio petroso.
- **Eferencia:** Fascículo EVG.

Columna: Viscerosensitiva

Sistema neuroniano: Aferente Visceral General y Especial (AVGE)

Inerva: Impulsos quimiorreceptores en el cuerpo carotideo (regula O2 y CO2).

Núcleo del Fascículo Solitario.

Aferencia: Fibras del ganglio petroso.

Nervio Vago (X par)

Origen aparente: surco retrolivar

Tipo: Nervio mixto

Columna: Branquiomotora.

Sistema neuroniano: Eferente visceral especial (EVE).

Inerva: Músculos de la faringe y laringe.

Núcleo Ambiguo

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar y longitudinal medial.
- **Eferencia:** Fibras EVE

Columna: Visceromotora

Sistema neuroniano: Eferente Visceral General (EVG).

Inerva: corazón, pulmones, tracto digestivo.

Núcleo motor del X par

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar y longitudinal medial.
- **Eferencia:** Fascículo EVG.

Columna: Viscerosensitiva

Sistema neuroniano: Aferente Visceral General y Especial (AVGE)

Inerva: Información de baroreceptores **y** Sensibilidad gustativa de la Epiglotis y la Faringe

Núcleo del Fascículo Solitario.

Aferencia: Fibras del ganglio nodoso.

Nervio Espinal (XI par)

Origen aparente: surco retrolivar

Tipo: Nervio motor

Columna: Branquiomotora.

Sistema neuroniano: Eferente visceral especial (EVE).

Inerva: La mitad del paladar, cuerdas vocales, y la faringe.

Núcleo Ambiguo

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar y longitudinal medial.
- **Eferencia:** Fibras EVE

Columna: Somatomotora

Sistema neuroniano: eferente somático general (ESG)

Inerva: Esternocleidomastoideo y Trapecio.

Núcleo Miorabdótico Central de la medula espinal cervical.

- **Aferencia:** Fascículo corticoespinal
- **Eferencia:** Fibras ESG

Nervio Hipogloso Mayor (XII par)

Origen aparente: surco retrolivar

Tipo: Nervio motor

Columna: Somatomotora

Sistema neuroniano: eferente somático general (ESG)

Inerva: Inerva los músculos intrínsecos y extrínsecos de la lengua.

Núcleo Motor Hipogloso Mayor

- **Aferencia:** Fascículo corticobulbar
- **Eferencia:** Fibras ESG

REFERENCIAS

Blumenfeld, H. (2022). *Neuroanatomy through clinical cases* (3rd ed.). Oxford University Press.

Carpenter, M. B., & Sutin, J. (2014). *Human neuroanatomy* (9th ed.). Williams & Wilkins.

Haines, D. E. (2018). *Neuroanatomy: An atlas of structures, sections, and systems* (10th ed.). Wolters Kluwer.

Nolte, J. (2019). *Nolte's the human brain: An introduction to its functional anatomy* (8th ed.). Elsevier.

Snell, R. S. (2019). *Neuroanatomía clínica* (8.ª ed.). Wolters Kluwer.

(*Equivalente en inglés: Snell's Clinical Neuroanatomy, 8th ed.*)

Smith, J. C., & Paton, J. F. R. (2018). The brainstem neural networks controlling breathing and cardiovascular regulation. In G. Paxinos (Ed.), *The human nervous system* (4th ed., pp. 385–420). Academic Press.

Standring, S. (Ed.). (2021). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (42nd ed.). Elsevier.

CAPÍTULO V

Cerebelo: Organización Anatómica y Funcional

Cerebelo.

El cerebelo es una estructura suprasegmentaria esencial para la coordinación motora, el mantenimiento del equilibrio y la regulación del tono muscular. Anatómicamente se localiza en la fosa cerebelosa del hueso occipital, separado del lóbulo occipital por la tienda del cerebelo, una prolongación de la duramadre. Se articula con el tronco encefálico a través de los pedúnculos cerebelosos superior, medio e inferior, y en su cara anterior se relaciona con el cuarto ventrículo (Nolte, 2020).

En el adulto pesa aproximadamente 140 gramos y presenta dimensiones de unos 9 cm de ancho, 6 cm de alto y 6 cm de profundidad, con variaciones dependientes del sexo, edad y constitución morfológica individual (Snell, 2019).

Desde el punto de vista embriológico, el cerebelo deriva del metencéfalo. Su formación inicia cuando el labio rómbico prolifera hacia la región dorsal del cuarto ventrículo durante el segundo mes de gestación, originando posteriormente la placa cerebelosa. Esta placa se diferencia hacia el tercer mes en una región medial que formará el vermis y dos expansiones laterales que darán origen a los hemisferios cerebelosos (Standring, 2021).

División filogenética del cerebelo

Filogenéticamente, el cerebelo humano se divide en tres componentes funcionales:

- **Arquicerebelo (vestibulocerebelo):**
- Relacionado con los impulsos vestibulares, participa en el control del equilibrio y la mirada (Nolte, 2020).
- **Paleocerebelo (espinocerebelo):**
- Coordina la información propioceptiva y regula el tono muscular.
- **Neocerebelo (cerebrocerebelo):**
- Se encarga de la planificación, coordinación fina y automatización de los movimientos voluntarios.

Anatomía macroscópica

El cerebelo está conformado por dos hemisferios laterales y una estructura media denominada **vermis**, unidos por una compleja serie de cisuras. En su estructura irregular presenta claramente caras, bordes y cisuras. La **cisura horizontal o circunferencial** divide la superficie cerebelosa en una cara anterosuperior y una posteroinferior (Kandel et al., 2021).

Bordes

- **Borde anterior:** arqueado, en relación con el tronco encefálico y separado de este por el cuarto ventrículo.
- **Borde posterior:** presenta una depresión media denominada escotadura cerebelosa o *valécula cerebelosa*.

Caras

Cara anterosuperior

Limitada superiormente por la tienda del cerebelo. Presenta el surco primario y el surco secundario, que delimitan los lóbulos anterior, simple y semilunar superior. En la línea media, de esta cara tenemos las siguientes estructuras del vermis:

- Língula y el lobulillo central, están en relación con el borde anterior.
- Culmen o montículo, se relaciona a cada lado con el lóbulo anterior.
- Declive, a cada lado se encuentra el lóbulo simple.
- Lámina o folium, situado entre los lóbulos semilunares superiores.

Cara posteroinferior

Relacionada con la cisterna magna o cerebelobulbar. Presenta tres surcos, surco retropiramidal, prepiramidal, posterolateral que dividen esta cara en el lóbulo semilunar inferior, los lóbulos delgado y digástrico, las amígdalas cerebelosas y el lóbulo nódulo-floculonodular. En la línea media, de esta cara tenemos las siguientes estructuras del vermis:

- Tuber, entre los lóbulos semilunares inferiores.
- Pirámide, entre los lóbulos, delgado y digástrico.

- Úvula, entre las amígdalas cerebelosas.
- Nódulo, entre los flóculos.

Clasificación anatomofisiológica

Paleocerebelo

Está formado por estructuras anatómicas del vermis y de los hemisferios cerebelosos e Incluye: língula, lobulillo central, culmen y lóbulo anterior (Snell, 2019).

Función principal: regulación del tono muscular.

Aferencias (todas terminan en la corteza del paleocerebelo como fibras musgosas)

- Fascículo trigeminocerebeloso
- Fascículo cuneocerebeloso
- Fascículo espinocerebeloso dorsal
- Fascículo espinocerebeloso ventral

Eferencias

- Fascículo cerebelorubrotalamocortical.

Neocerebelo

Incluye: lóbulo simple, declive, lóbulos semilunares superior e inferiror, folium, tuber, lóbulo delgado, digástrico, pirámide y tonsilas cerebelosas.

Función: coordinación de los movimientos voluntarios del hemicuerpo ipsilateral.

Aferencias (Estos fascículos terminan en la corteza del neocerebelo como fibras musgosas)

- Corticopontocerebelosas
- Corticoarcuatocerebelosas
- Corticoolivocerebelosas

Eferencias

- Fascículo cerebelorubroreticuloespinal (controla el tono de la musculatura flexora).

- Fascículo cerebelovestibuloespinal (controla el tono de la musculatura extensora).

Ambos integran el sistema motor extrapiramidal.

Arquicerebelo

Formado por: úvula, nódulo, flóculo y el lóbulo floculonodular.

Función: control del equilibrio y movimientos oculares.

Aferencias (termina en la corteza del arquicerebelo como fibra musgosa)

- Fascículo vestibulocerebeloso (fibras musgosas primarias y secundarias).

Eferencias

- Fascículo fastigioreticular o fastigiobulbar
- Fascículo uncinado de Russell

Las conexiones del arquicerebelo con los núcleos vestibulares se realizan mediante las fibras vestíbulocerebelosas primarias y secundarias, provenientes de los núcleos vestibulares y las neuronas bipolar del ganglio de Scarpa, estas fibras terminan como fibras musgosas en la capa granular del Cerebelo, de igual manera los núcleos del techo envían fibras trepadoras, hacia la corteza del arquicerebelo, y otras se dirigen hacia los núcleos vestibulares, a través del Fascículo fastigiobulbar que viaja por el Pedúnculo Cerebeloso Inferior, pero una cierta cantidad de fibras se arquean sobre éste, formando el fascículo uncinado de Russel que también llegara a los núcleos vestibulares.

Vía de la sensibilidad propioceptiva inconsciente

Estímulos:

- Cara.
- Cuello.
- Mitad superior del cuerpo y su extremidad superior.
- Mitad inferior del cuerpo y su extremidad inferior.

Receptores:

- Huso neuromuscular.
- Huso neurotendinoso
- Corpúsculo Vater Pacini

Primer estacionamiento:

- Ganglio de Gasser.
- Ganglio raquídeo.

Segundo estacionamiento:

- Núcleo mesencefálico del v nervio craneal, envía el fascículo trigeminocerebeloso
- Núcleo cuneatus accesorio, envía el fascículo cuneocerebeloso.
- Núcleo de Bechterew, envía el fascículo espinocerebeloso ventral cruzado de Gowers.
- Núcleo de la columna de Clarke, envía el fascículo espinocerebeloso dorsal directo o de Flechsig.

Termina en: la corteza del paleocerebelo como fibras musgosas, se proyectan fibras a los núcleos centrales del cerebelo que envía el fascículo cerebelorubrotálamocortical, del sistema motor extrapiramidal para integrar y coordinar el tono muscular.

Estructura interna del cerebelo

El cerebelo presenta tres componentes estructurales (Nolte, 2020):

- **Sustancia blanca central:** denominada *árbol de la vida*.
- **Núcleos centrales:** dentado, emboliforme, globoso y fastigiado.
- **Corteza cerebelosa:** formada por tres capas.

Núcleos cerebelosos

- **Dentado u oliva cerebelosa:** recibe proyecciones del neocerebelo; envía fibras al núcleo rojo y al tálamo.

- **Emboliforme y globoso:** a cada lado de la oliva cerebelosa recibe fibras del paleocerebelo y envía fibras al núcleo rojo.

- **Fastigiado o núcleo del techo:** principal centro del arquicerebelo se sitúa cerca del techo del IV ventrículo; recibe aferencias del arquicerebelo, del paleocerebelo, y de los núcleos vestibulares; envía como eferencias, el fascículo fastigiobulbar y el fascículo uncinado de russel.

Corteza cerebelosa.

La corteza cerebelosa posee tres capas:

Capa Molecular o plexiforme contiene: neurona en cesto o canasta, neuronas granulosas externas, arborización dendrítica de la neurona de Purkinje y fibras trepadoras.

Capa de Purkinje contiene: el cuerpo de la neurona de Purkinje.

Capa granulosa contiene: neuronas granulosas internas, neuronas Golgi tipo II, fibras musgosas, glomérulo cerebeloso.

También encontramos glías cerebelosas como: microglías, oligodendroglías centrales y microglías atípicas, astrocito laminado y liso.

A la corteza cerebelosa llegan dos tipos de fibras, las fibras trepadoras desde núcleos centrales y las fibras musgosas desde la periferia.

- Fibras trepadoras provenientes de los núcleos centrales del cerebelo, ascienden en relación con la neurona de Purkinje para terminar imitando a la arborización dendrítica de la neurona de Purkinje con la cual sinaptan; esto ocurre en la capa molecular de la corteza cerebelosa.

- Fibras musgosas son las más gruesas de la corteza cerebelosa, al llegar a la capa granulosa se divide en numerosas ramificaciones que termina en un ensanchamiento o terminación en rosetón, que contribuye a formar el glomérulo cerebeloso

Glomérulo cerebeloso.

Situado en la capa granular de la corteza cerebelosa, está formado por tres elementos a saber:

- Rosetón de la fibra musgosa.

- Axón de la neurona de Golgi tipo II.
- Dendritas de la neurona granular.

Conexiones del cerebelo.

El cerebelo es un gran centro suprasegmentario de integración del sistema motor extrapiramidal debido a sus conexiones a través de los pedúnculos cerebelosos.

Aferencias: terminan como fibras musgosas en la corteza cerebelosa.

- **De la corteza cerebral al neocerebelo:** fascículo corticopontocerebeloso, corticoarcuatocerebeloso y corticoolivocerebeloso.
- **Del tronco cerebral al arquicerebelo:** fascículo vestibulocerebeloso.
- **Del tronco cerebral al paleocerebelo:** fascículo olivocerebeloso, trigeminocerebeloso, retículocerebeloso, cuneocerebeloso, tectocerebeloso.
- **de la medula espinal al paleocerebelo:** fascículo espinocerebeloso dorsal y espinocerebeloso ventral.

Eferencias: Fascículo cerebelorubrotalamocortical, cerebelorubroreticuloespinal, cerebelovestibuloespinal, fastigiobulbar y fascículo uncinado de Russell.

Las conexiones del cerebelo son parte del sistema motor extrapiramidal, cada hemisferio cerebeloso gobierna la coordinación del hemicuerpo del mismo lado.

REFERENCIAS

Kandel, E. R., Koester, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (2021). *Principles of neural science* (6th ed.). McGraw-Hill.

Nolte, J. (2020). *Nolte's The human brain: An introduction to its functional anatomy* (8th ed.). Elsevier.

Snell, R. S. (2019). *Neuroanatomía clínica* (8.a ed.). Wolters Kluwer.

Standring, S. (2021). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (42nd ed.). Elsevier.

CAPÍTULO VI

Encéfalo: Organización Anatómica y Funcional

Encéfalo

Origen embriológico. - el encéfalo es la porción rostral más voluminosa, compleja e importante del sistema nervioso central y se origina embriológicamente a partir del prosencéfalo o la primera vesícula encefálica, de la que se origina el telencéfalo y el diencéfalo.

El telencéfalo. - da origen a los hemisferios cerebrales, cada uno está formado por tres porciones: ganglios de la base, sustancia blanca y corteza cerebral.

El diencéfalo. - son una serie de estructuras en la línea media llamadas: Tálamo, Metatálamo. Epitálamo, Hipotálamo, Subtálamo.

Prosencéfalo

1. Telencéfalo

Hemisferio cerebral

- Corteza cerebral
- Ganglios de la base
- Sustancia blanca

2. Diencéfalo

- Tálamo
- Metatálamo
- Epitálamo
- Hipotálamo
- Subtálamo

Anatomía macroscópica del hemisferio cerebral

Los hemisferios cerebrales constituyen las estructuras más voluminosas del encéfalo y presentan una superficie altamente plegada, formada por **surcos** (o cisuras) y **circunvoluciones**. Esta compleja arquitectura incrementa de manera considerable el área de la corteza cerebral y posibilita el desarrollo de las funciones cognitivas superiores características del ser humano (Standring, 2021; Nolte, 2016).

Para su estudio anatómico, cada hemisferio se describe a partir de **tres caras principales**:

- **Cara dorsolateral o externa**,
- **Cara medial o interna**,
- **Cara basal o inferior** (Haines, 2018; Snell, 2019).

Cara dorsolateral o externa del hemisferio cerebral

Esta cara se organiza en cuatro lóbulos: **frontal, parietal, temporal y occipital**, delimitados por cisuras profundas y un punto de referencia anatómico esencial (Blumenfeld, 2022).

Cisuras principales:

- **Cisura central o de Rolando**: se origina en el lóbulo paracentral de la cara medial y se proyecta hacia la cara dorsolateral. Termina cercana a la cisura lateral, aunque sin contacto con ella (Standring, 2021).
- **Cisura lateral o de Silvio**: nace en la cara inferior del cerebro y asciende hacia la cara dorsolateral, dividiendo claramente los lóbulos frontal y temporal.
- **Cisura parietooccipital**: se inicia en la cara medial y se proyecta hacia la superficie dorsolateral.
- **Muesca preoccipital**: punto de referencia situado en el borde inferior que permite trazar una línea imaginaria hacia la cisura parietooccipital, delimitando el lóbulo occipital.

Gracias a estas estructuras se distinguen macroscópicamente los lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital, los cuales se corresponde con los huesos homónimos del cráneo (Haines, 2018).

Lóbulo frontal

Situado por delante de la cisura central, es el principal centro de control motor, funciones cognitivas superiores y aspectos del lenguaje.

Circunvolución precentral (corteza motora primaria)

Ubicada entre la cisura central y la cisura precentral, corresponde al **área 4 de Brodmann**, donde se encuentran las **neuronas gigantopiramidales de Betz**, cuyos axones forman la vía piramidal responsable del movimiento voluntario (Nolte, 2016; Snell, 2019).

Homúnculo motor de Penfield

La representación somatotópica del cuerpo en la corteza motora primaria se organiza en:

- Porción inferior: musculatura de la cabeza y cara.
- Zona media: miembro superior.
- Porción superior: tronco.
- Cara medial: miembros inferiores (Blumenfeld, 2022).

Las lesiones en estas áreas originan paresias o plejías contralaterales.

Circunvoluciones frontales

De la cisura precentral emergen los surcos frontal superior e inferior, que delimitan las circunvoluciones frontal superior, media e inferior:

- **Circunvolución frontal superior**: contiene áreas 6, 8, 9 y 10 de Brodmann; participa en la planificación motora y funciones ejecutivas (Haines, 2018).
- **Circunvolución frontal media**: incluye la porción donde se ubica el área 8, considerada centro del lenguaje escrito; su lesión produce agrafía.
- **Circunvolución frontal inferior**: dividida en tres porciones por la rama ascendente y horizontal, colaterales de la cisura de silvio.
    - *Opercular*: área 44, centro del lenguaje articulado (área de Broca).
    - *Triangular*: área 45.

- *Orbitaria externa*: área 47 (Blumenfeld, 2022).

Funciones del lóbulo frontal

- **Movimiento voluntario**: área 4.
- **Movimiento involuntario o extrapiramidal**: áreas 6, 9 y 11.
- **Función límbica**: principalmente área 10, implicada en conducta y emociones.
- **Funciones cognitivas superiores**: razonamiento, pensamiento abstracto, planificación.
- **Lenguaje motor**: áreas 8, 44 y 45 de Brodmann (Snell, 2019).

Lóbulo parietal

Se localiza por detrás de la cisura central. Su principal función es la integración somatosensorial.

Circunvolución postcentral (áreas 3, 1 y 2 de Brodmann)

Se localiza entre la cisura central y postcentral, constituye la corteza somestésica primaria, encargada de hacer consciente la sensibilidad táctil, térmica, propioceptiva y dolorosa proveniente del tálamo por el sistema Lemniscal. En la base de esta circunvolución se localiza el **área 43**, centro cortical del gusto (Haines, 2018).

De la cisura postcentral se desprende la cisura intraparietal que divide al resto del lóbulo parietal en dos circunvoluciones:

Circunvolución parietal superior

Corresponde a las áreas 5 y 7 de Brodmann, relacionadas con la integración somatosensorial secundaria.

Circunvolución parietal inferior

Formada por:

- **Giro supramarginal (área 40 de Brodmann)**
- **Giro angular (área 39)**, centro del lenguaje óptico.

Homúnculo sensitivo de Penfield

La representación somatotópica de la sensibilidad se organiza en:

- Pie: Gustativa
- Porción inferior: sensibilidad cabeza.
- Zona media: miembro superior.
- Porción superior: tronco.
- Cara medial: miembros inferiores.

Vías sensitivas

La sensibilidad táctil, térmica, dolorosa, táctil epicrítica y propioceptiva consciente, táctil protopática y gustativa alcanzan la corteza parietal a través del **sistema Lemniscal**, compuesto por: Lemnisco trigeminal, Lemnisco espinal, Lemnisco medial, Fascículo solitario, que proyectan al núcleo ventral posterior del tálamo y desde allí a la corteza somatosensorial o área 3-1-2 de Brodmann (Blumenfeld, 2022).

Lóbulo temporal

Situado por debajo de la cisura de Silvio, presenta tres surcos paralelos (temporal superior, medio e inferior) que divide esta cara en tres circunvoluciones correspondientes:

- En la circunvolución temporal superior se ubica el **área 22 de Brodmann**, centro cortical del lenguaje auditivo; su lesión produce sordera verbal.
- En el labio inferior de la cisura de Silvio se hallan las **circunvoluciones transversas de Heschl**, áreas **41 y 42**, corteza auditiva primaria y secundaria, respectivamente (Nolte, 2016).
- Entre los labios de la cisura de Silvio **se localiza la Ínsula**, presenta un surco oblicuo que la divide en circunvoluciones anteriores cortas y posteriores largas.

Lóbulo occipital

Presenta circunvoluciones occipitales superior, media e inferior. La región más relevante es la **corteza pericalcarina**, ubicada alrededor de la cisura calcarina, que corresponde al **área 17 de**

Brodmann, centro cortical primario de la visión. Su lesión produce amaurosis cortical (Haines, 2018).

Cara medial o interna del hemisferio cerebral

La cara medial del hemisferio cerebral presenta una compleja organización estructural dominada por el **cuerpo calloso**, principal comisura interhemisférica, y por una serie de surcos y circunvoluciones que delimitan áreas funcionales fundamentales. Esta región es especialmente relevante debido a que integra componentes del sistema límbico, áreas sensoriales primarias y estructuras de asociación multimodal (Standring, 2021; Haines, 2018).

Cuerpo calloso

El cuerpo calloso constituye la mayor formación de fibras comisurales del encéfalo. Está compuesto por fibras de sustancia blanca que permiten la comunicación e integración funcional entre ambos hemisferios cerebrales (Snell, 2019; Nolte, 2016). Morfológicamente, se divide en cuatro porciones, de anterior a posterior:

1. **Rostrum o pico**: porción más anterior y aguda; de él emerge la lámina rostral, que se dirige hacia el hipotálamo.

2. **Genu o rodilla**: curvatura anterior que continúa con el rostro calloso.

3. **Cuerpo**: porción media y más extensa.

4. **Esplenio o rodete**: segmento posterior grueso que conecta principalmente áreas visuales y de asociación.

El cuerpo calloso está circunscrito por la **cisura del cuerpo calloso**, que permite delimitar su relación con otras circunvoluciones de la cara medial (Standring, 2021).

Surcos principales de la cara medial

En paralelo al cuerpo calloso discurre la **cisura calloso-marginal**, que constituye un punto anatómico clave. De esta cisura se originan tres ramas:

- **Rama paracentral**,
- **Rama marginal o terminal**,
- **Rama intraparietal**.

Estas ramas dividen la cara medial en regiones funcionales específicas (Haines, 2018).

Circunvoluciones de la cara medial

Circunvolución del cíngulo

Ubicada entre la cisura del cuerpo calloso y la cisura calloso-marginal, forma parte esencial del sistema límbico. Consta de:

- **Porción anterior**, que incluye el **área septal**, compuesta por la circunvolución subcallosa y la circunvolución paraterminal.
- **Porción media**, correspondiente al cuerpo de la circunvolución del cíngulo.
- **Istmo**, estrechamiento posterior que conecta el cíngulo con la circunvolución parahipocámpica (Blumenfeld, 2022).

Funcionalmente, participa en procesos emocionales, motivacionales y de integración autonómica.

Circunvolución frontal interna

Situada por encima de la cisura calloso-marginal y por debajo del borde superior del hemisferio, ocupa la región comprendida entre la rama paracentral y el borde frontal medial. Interviene en funciones ejecutivas y motoras suplementarias (Nolte, 2016).

Lóbulo paracentral

Localizado entre la rama paracentral y la rama marginal, este lóbulo contiene las representaciones somatotópicas correspondientes al **homúnculo motor** y **sensitivo** de los miembros inferiores, pertenecientes a las áreas 4 y 3-1-2 de Brodmann respectivamente (Haines, 2018).

Es aquí donde emerge la cisura central o de Rolando, la cual presenta dos características fundamentales:

1. Se origina en la cara medial.

2. Nunca entra en contacto con la cisura de Silvio (Standring, 2021).

Lóbulo cuadrado o precuña (precuneus)

Ubicado por detrás de la rama marginal y por delante de la cisura parietooccipital, representa un área de asociación somatosensorial correspondiente a las áreas 5 y 7 de Brodmann. Interviene en integración visoespacial, representación corporal y funciones cognitivas superiores (Blumenfeld, 2022).

Región posterior de la cara medial

Esta zona está delimitada por dos cisuras esenciales:

- **Cisura parietooccipital**,
- **Cisura calcarina**, que presenta ramas anterior y posterior.

Ambas estructuras delimitan las circunvoluciones visuales principales.

Cuneus (cuña)

Estructura triangular situada entre la cisura parietooccipital y la rama posterior de la cisura calcarina. Su base se apoya sobre el borde superior de la cisura calcarina y su vértice se orienta hacia el esplenio del cuerpo calloso. Forma parte de la corteza visual primaria y de asociación (áreas 17, 18 y 19 de Brodmann) (Haines, 2018).

Región pericalcarina

La encontramos alrededor de la cisura calcarina y correspondiente al área 17 de Brodmann, constituye la **corteza visual primaria**. Las lesiones en esta región producen amaurosis o ceguera cortical (Nolte, 2016).

Gyrus lingual

Situado por debajo de la rama posterior de la cisura calcarina, se continúa hacia adelante con el cuerpo de la circunvolución parahipocámpica y con el **uncus**. Forma parte de las áreas visuales secundarias (Haines, 2018).

Circunvolución parahipocámpica

Limitada medialmente por la cisura interhemisférica y lateralmente por el surco colateral, presenta tres porciones:

1. **Uncus** (porción anterior).

2. **Cuerpo** (porción media).

3. **Gyrus lingual** (porción posterior).

Por delante del surco colateral se localiza la **cisura rinal**, cuya corteza adyacente corresponde al **área entorrinal (área 28)**, centro cortical del olfato. Las lesiones de esta región ocasionan hiposmia o anosmia (Blumenfeld, 2022).

Lóbulo límbico o gyrus fornicatus

Representa la expresión macroscópica del sistema límbico. Está compuesto por:

- Área septal: Circunvolución subcallosa y paraterminal.
- Circunvolución del cíngulo
- Istmo
- Circunvolución parahipocámpica
- Uncus

Estas estructuras participan en procesos emocionales, memoria, olfato y conductas viscerales (Nolte, 2016; Snell, 2019).

Cara basal o inferior del cerebro

La cara inferior se divide en dos regiones mediante la cisura de Silvio:

- **Porción frontal (anterior)**
- **Porción temporooccipital (posterior)** (Standring, 2021)

Porción frontal

Paralela a la cisura interhemisférica se encuentra el **surco olfatorio**, que aloja:

- Bulbo olfatorio
- Tracto olfatorio
- Trígono olfatorio

Desde el trígono surgen las **estrías olfatorias medial, lateral e intermedia**.

Medial al surco olfatorio se encuentra el **gyrus recto**, mientras que lateralmente aparece el **área orbitaria**, subdividida por un característico surco en forma de "H" en cuatro regiones: anterior, posterior, interna y externa (Snell, 2019).

Porción temporooccipital

En esta región se identifica:

Circunvolución parahipocámpica

También denominada quinta circunvolución temporal, compuesta por:

- Uncus
- Cuerpo
- Gyrus lingual

Circunvolución fusiforme

Llamada también cuarta circunvolución temporal, situada entre el surco colateral y el surco temporal inferior. Participa en reconocimiento visual y procesamiento de formas complejas (Haines, 2018).

Diencéfalo

El diencéfalo constituye la porción más rostral del tronco encefálico y se sitúa inmediatamente por encima del mesencéfalo. Está conformado por un grupo de estructuras de gran relevancia funcional para la integración sensitiva, motora, autonómica y límbica. Desde el punto de vista anatómico, incluye cinco componentes principales: **tálamo, epitálamo, metatálamo, hipotálamo y subtálamo** (Standring, 2021; Haines, 2018).

Componentes del diencéfalo

- **Tálamo:** estructura más voluminosa del diencéfalo, ubicada en su región dorsal y rostral.
- **Epitálamo:** situado dorsocaudal al tálamo, próximo a los colículos superiores e inferiores.

- **Metatálamo:** comprende los cuerpos geniculados medial y lateral, ubicados a cada lado del pulvinar talámico.

- **Hipotálamo:** se localiza ventromedial al tálamo y constituye el principal centro autonómico del SNC.

- **Subtálamo:** situado ventrolateral al tálamo y rostral al mesencéfalo (Nolte, 2016; Snell, 2019).

Tálamo

El tálamo está constituido por **dos masas ovoides de sustancia gris**, separadas medialmente por el **tercer ventrículo** y unidas en algunos individuos por la **adhiessio interthalamica** o comisura gris intertalámica (Haines, 2018).

Límites anatómicos del tálamo

- **Dorsal:** techo del tercer ventrículo, tela coroidea y plexos coroideos de los ventrículos laterales.

- **Ventral:** hipotálamo y subtálamo.

- **Lateral:** cápsula interna.

- **Dorsolateral:** núcleo caudado.

Esta disposición lo convierte en la principal estación integradora entre la corteza cerebral y el resto del sistema nervioso (Blumenfeld, 2022).

Funciones generales del tálamo

El tálamo cumple tres funciones fundamentales:

1. **Centro de relevo sensitivo:** recibe y retransmite casi toda la información sensorial proveniente de médula espinal, tronco cerebral y cerebelo hacia la corteza (excepto la olfatoria).

2. **Función límbica:** participa en la integración emocional y autonómica.

3. **Función motora extrapiramidal:** colabora con ganglios basales y cerebelo (Carpenter, 2015).

Organización interna del tálamo

El tálamo se divide en regiones mediante la **lámina medular interna**, estructura de sustancia blanca con forma de "Y" que segmenta cada masa talámica en tres partes:

1. **Región anterior**
2. **Región medial**
3. **Región lateral**

(Standring, 2021).

Sistematización de los núcleos talámicos

A continuación, se presenta la sistematización clásica, detallando núcleos, aferencias, eferencias y funciones.

Región anterior del tálamo

Núcleo anterior del tálamo (NAT)

Correspondencia macroscópica: tubérculo anterior del tálamo.

Aferencias:

- Fórnix
- Estría terminalis
- Fascículo septotalámico
- Fascículo mamilotalámico (Vía de Vicq d'Azyr)

Eferencias:

- Circunvolución del cíngulo
- Proyecciones talamomamilares

Función: integrante del **circuito límbico**, esencial para memoria, motivación y comportamiento emocional (Blumenfeld, 2022; Haines, 2018).

Región medial del tálamo

1. Núcleos de la línea media (NLM)

2. Núcleo dorsomedial (NDM)

Aferencias:

- Estría terminalis
- Neocorteza temporal
- Corteza orbitofrontal caudal

Eferencias:

- Corteza prefrontal (área 10)
- Corteza orbitofacial (área 8)

Función: regulación afectiva, motivación, memoria y conducta social.

Región lateral del tálamo

La región lateral se divide en **zona dorsal** y **zona ventral**.

Zona dorsal

1. Núcleo dorsolateral (NDL)

Aferencias y eferencias:

- Circunvolución del cíngulo
- Corteza precuneal

Función: integración límbica y cognitiva intermedia.

2. Núcleo posterolateral (NPL)

Aferencias: áreas 5 y 7 del lóbulo parietal superior.

Eferencias: mismas áreas.

Función: integración somestésica secundaria.

3. Núcleo pulvinar (NP)

Aferencias:

- Cuerpos geniculados medial y lateral
- Áreas visuales 18 y 19

Eferencias:

- Áreas 18 y 19
- Corteza parietal posterior
- Corteza temporal
- Corteza estriada

Función: integración visual y auditiva de alto nivel (Nolte, 2016).

Zona ventral

1. Núcleo ventral anterior (NVA)

Aferencias: fascículos lenticulares, talámico y nigrotalámico.

Eferencias: corteza premotora (área 6), fibras a la ínsula.

Función: motora extrapiramidal.

2. Núcleo ventral lateral (NVL)

Aferencias:

- Fascículos lenticular y talámico
- Fascículo nigrotalámico
- Vía cerebelorubrotalamocortical

Eferencias: corteza motora primaria (área 4) y premotora (área 6).

Función: modulación del movimiento, motora extrapiramidal.

Núcleo ventral posterior (NVP)

A. Núcleo ventral posteromedial (NVPM)

Aferencias:

- Lemnisco trigeminal
- Fascículo solitario

Eferencias:

- Áreas 3, 1 y 2 de Brodmann

Función: sensibilidad táctil, térmica y dolorosa de la cara; sensibilidad gustativa.

Núcleo ventral posterolateral (NVPL)

Aferencias:

- Lemnisco medial
- Lemnisco espinal

Eferencias: áreas 3, 1 y 2.

Función: Sensibilidad táctil, térmica y dolorosa del cuerpo, Tacto epicrítico, Propiocepción consciente, Tacto protopático.

Radiaciones talámicas

Las proyecciones talámicas se organizan en dos grandes grupos:

1. **Fibras corticotalámicas** (de la corteza al tálamo)
2. **Fibras talamocorticales** (del tálamo a la corteza)

Ambos grupos constituyen los **cuatro pedúnculos talámicos** (Carpenter, 2015).

Pedúnculo talámico anterior (frontal)

Conecta el lóbulo frontal (área prefrontal) con los Núcleos talámicos: anterior, medial, intralaminares, y núcleos de la línea media.

Función: integración límbica, emociones y conducta afectiva.

Pedúnculo talámico superior (centroparietal)

Conecta el área Rolándica y las porciones adyacentes de los lóbulos parietal y frontal, con la hilera de núcleos talámicos ventrales (ventral anterior, ventral lateral, ventral posterior).

Vías aferentes:

- Lemnisco medial
- Lemnisco espinal
- Lemnisco trigeminal
- Fascículo solitario
- Fascículo cerebelorubrotalamocortical

Termina en:

- Área 43
- Áreas sensitivas 3, 1, 2
- Área motora 4
- Corteza orbitofrontal caudal y medial

Función: transmisión de señales somatosensoriales del cuerpo, cabeza y gusto.

Pedúnculo talámico posterior (occipital)

Conecta las circunvoluciones occipitales y parietales posteriores, con las porciones caudales del Tálamo. Incluye:

- Radiación óptica
- Cuerpo geniculado lateral
- Proyecciones claustrocorticales
- Fascículo geniculocalcarino, y fibras Corticogeniculadas.

Función: visión consciente.

Pedúnculo talámico inferior (temporal)

Conecta el Tálamo con el lóbulo temporal y la ínsula.

Incluye:

- Fascículo geniculotemporal hacia áreas 41 y 42

Función: audición consciente.

Metatálamo

El metatálamo constituye la porción caudal y lateral del tálamo y se encuentra íntimamente relacionado con el **pulvinar**, formando parte esencial de los sistemas sensoriales auditivo y visual. Está compuesto por dos núcleos principales:

- **Núcleo del cuerpo geniculado medial (CGM)**
- **Núcleo del cuerpo geniculado lateral (CGL)**
- (Standring, 2021; Haines, 2018).

Núcleo del cuerpo geniculado medial (CGM)

El cuerpo geniculado medial constituye la **cuarta estación de relevo de la vía auditiva**, recibiendo información del mesencéfalo y proyectándola hacia la corteza auditiva primaria (Nolte, 2016; Blumenfeld, 2022).

Función

Procesamiento auditivo (estación talámica auditiva principal).

Aferencias

- Provienen fundamentalmente del **brazo conjuntival inferior**, formado por fibras ascendentes del **colículo inferior** (Haines, 2018).

Eferencias

- **Fascículo geniculotemporal (radiación auditiva)**, que pasa por la porción *retrolenticular* del brazo posterior de la cápsula interna y terminan en el **Área 41 de Brodmann**

(corteza auditiva primaria, circunvoluciones transversas de Heschl) y **Área 42 de Brodmann** (corteza auditiva secundaria) centros corticales de la audición.

Núcleo del cuerpo geniculado lateral (CGL)

El cuerpo geniculado lateral es la **principal estación talámica de la vía visual**, recibiendo información retinotópica y enviándola a la corteza occipital (Carpenter, 2015; Snell, 2019).

Función

Procesamiento visual (estación talámica de la vía óptica).

Aferencias

- **Brazo conjuntival superior**, proveniente del **colículo superior**.
- **Fibras de la cintilla óptica**, que contienen la información visual proveniente de la retina.

Eferencias

- **Fascículo geniculocalcarino (radiación óptica)**, que viaja a través del **pedúnculo talámico posterior** hasta alcanzar el **Área 17 de Brodmann** (corteza visual primaria, región pericalcarina).

Epitálamo

El epitálamo se sitúa en la región **dorsomedial y caudal al tálamo**, formando parte del techo del tercer ventrículo. Comprende estructuras implicadas en funciones límbicas, endocrinas y reflejas (Standring, 2021).

Componentes anatómicos del epitálamo

- **Trígono habenular**
- **Estría medular del tálamo**
- **Glándula pineal (epífisis)**
- **Comisura blanca posterior**

Trígono habenular

El trígono habenular es una pequeña región triangular localizada dorsomedial al tálamo, por encima de la glándula pineal. Contiene el **núcleo habenular**, dividido en porciones medial y lateral (Nolte, 2016).

Núcleo habenular

Función

Participa en el Procesamiento límbico, Integración de respuestas emocionales y autonómicas y Vía reflejo-olfatoria debido a sus conexiones con los núcleos septales

(Haines, 2018).

Aferencias

- **Estría medular del tálamo** (fascículo septotalámico), formada por fibras provenientes de: Núcleos septales, Núcleos talámicos anteriores, Núcleo preóptico lateral y Globo pálido. Al llegar a la región pineal, algunas fibras cruzan formando la **comisura habenular** (comisura blanca superior).

Eferencias

- **Fascículo retroflejo de Meynert (habenulopeduncular)**, que desciende hacia el **núcleo interpeduncular** en el mesencéfalo.

Glándula pineal o epífisis

La glándula pineal es una estructura neuroendocrina con forma de cono, situada por encima de los colículos superiores. Se fija al techo del tercer ventrículo por dos comisuras:

- **Comisura habenular** (superior)
- **Comisura blanca posterior** (inferior)

Histológicamente está compuesta por **pinealocitos**, células gliales y trabéculas de tejido conectivo (Snell, 2019; Haines, 2018).

Funciones

- **Endocrina**, mediante secreción de melatonina, serotonina y noradrenalina.

- **Regulación circadiana**, actuando como “reloj biológico”.
- **Función antigonadotrópica**, regulando la maduración sexual en la infancia.

Con la edad, suele presentar calcificaciones denominadas **acervuli cerebri** o “arena cerebral”.

Lesiones

Su patología clásica es el **pinealoma**, que puede causar el **síndrome de Parinaud**, caracterizado por alteración de los movimientos verticales oculares.

Comisura blanca posterior

La comisura blanca posterior está constituida por fibras que provienen principalmente de:

- Núcleo intersticial de Cajal
- Núcleo de Darkschewitsch
- Núcleo de la comisura posterior

Estas fibras relacionan los colículos superiores con la habenula y el área pretectal, participando en el **reflejo pupilar a la luz**. Anatómicamente se sitúa por **encima de la entrada del acueducto de Silvio** y forma parte del límite dorsal del tercer ventrículo (Carpenter, 2015).

Hipotálamo

El hipotálamo constituye la porción ventromedial del diencéfalo y se ubica inmediatamente por debajo del tálamo, del cual se encuentra separado mediante el **surco hipotalámico**. Su morfología general adopta la forma de un rombo, cuyo contorno delimita el denominado **rombo optopeduncular**, descrito entre la hendidura de Bichat, el quiasma óptico y los pedúnculos cerebrales (Nolte, 2016; Standring, 2021).

Lateralmente se relaciona con las cintillas ópticas, mientras que anteriormente establece límites con la superficie orbitofrontal. Desde el punto de vista macroscópico, el hipotálamo está conformado por varias estructuras que forman parte esencial del piso y de las paredes del tercer ventrículo.

Estructuras macroscópicas del hipotálamo

- **Comisura blanca anterior**

Formada por fibras interhemisféricas que reciben la lámina rostral proveniente del rostrum del cuerpo calloso. De ella emerge la **lámina terminal**, la cual se extiende hasta el quiasma óptico, donde forma el **receso óptico** del tercer ventrículo.

- **Infundíbulo**

- Estructura tubular que conecta al hipotálamo con la hipófisis, permitiendo la comunicación neuroendocrina con la neurohipófisis (Haines, 2018).

- **Tuber cinereum**

Engrosamiento gris situado entre los cuerpos mamilares y el infundíbulo.

- **Cuerpos mamilares**

Dos eminencias redondeadas que forman parte del sistema límbico; participan en el circuito de Papez y en la consolidación de la memoria (Blumenfeld, 2022).

- **Espacio perforado posterior**

Región vascularizada que delimita inferiormente los cuerpos mamilares.

Estas estructuras conforman las paredes del **tercer ventrículo**, de la siguiente manera:

Paredes del tercer ventrículo relacionadas con el hipotálamo

- **Pared anterior:**

- Comisura blanca anterior y lámina terminal.

- **Piso:**

- Quiasma óptico, infundíbulo, tuber cinereum, cuerpos mamilares y espacio perforado posterior.

- **Pared posterior:**

- Trígono habenular, glándula pineal y comisura blanca posterior.

- **Techo:**

- Porción dorsal del tálamo.

Funciones del hipotálamo

El hipotálamo se constituye como el principal centro integrador neuroendocrino, autonómico y conductual del encéfalo. Sus funciones incluyen:

- **Control neuroendocrino** mediante la síntesis y liberación de hormonas hipotalámicas.
- **Regulación del sistema nervioso autónomo** (simpático y parasimpático).
- **Función límbica y visceral**, regulando emociones y respuestas conductuales.
- Regulación de **ingesta alimentaria**, sed y conducta sexual.
- Modulación de los **ritmos circadianos** y temperatura corporal (Snell, 2019; Carpenter, 2015).

El hipotálamo recibe y emite proyecciones a través de grandes fascículos, tales como:

- **Fornix**
- **Estría terminal**
- **Fascículo prosencefálico medial**
- **Radiaciones amigdalinas anteriores**

Organización interna del hipotálamo

El hipotálamo está conformado por una masa de sustancia gris dividida funcional y anatómicamente en **tres grandes regiones** (Haines, 2018; Standring, 2021):

1. Área preóptica

Localizada anterior al quiasma óptico y considerada funcionalmente parte del hipotálamo. Sus núcleos incluyen:

- **Núcleo preóptico periventricular**: rodea el tercer ventrículo.
- **Núcleo preóptico medial**
- **Núcleo preóptico lateral** o núcleo intersticial del fascículo prosencefálico medial.

Esta región participa en la termorregulación, la conducta sexual y el control parasimpático.

2. Área hipotalámica externa

Se ubica lateral al pilar anterior del fórnix y al fascículo mamilotalámico, y medial a la cápsula interna. Incluye:

- **Núcleo hipotalámico lateral**
- **Núcleo del tuber**
- **Núcleo tuberomamilar** (único núcleo histaminérgico del encéfalo)

Esta área participa en la regulación del apetito y el estado de vigilia.

3. Área hipotalámica interna

Situada medialmente, contiene tres subdivisiones principales:

A. Región supraóptica

Localizada por encima del quiasma óptico. Contiene:

- **Núcleo supraóptico:** secreta **vasopresina (ADH)**.
- **Núcleo paraventricular:** secreta **oxitocina**.
- **Núcleo hipotalámico anterior:** termorregulación.
- **Núcleo supraquiasmático:** marcapasos del **ritmo circadiano**, recibe aferencias retinianas.

B. Región del tuber

Relacionada con el control de la adenohipófisis mediante el **fascículo tuberohipofisario**. Incluye:

- Núcleo ventromedial (centro de saciedad).
- Núcleo dorsomedial.
- Núcleo hipotalámico posterior.
- **Núcleo arcuato o infundibular:** secreta dopamina inhibidora de prolactina.

C. Región mamilar

Compuesta por el **complejo nuclear mamilar**:

- Núcleo mamilar externo
- Núcleo mamilar intercalado
- **Núcleo mamilar interno**, que forma el tubérculo mamilar. Recibe aferencias del **pedúnculo mamilar** y proyecta mediante el **fascículo mamiloprincipal**, que se divide en: **Fascículo mamilotalámico** y **Fascículo mamilotegmentario**.

Aferencias del hipotálamo

- **Fascículo prosencefálico medial**
- **Fornix** (vía hipocampo → hipotálamo)
- **Estría terminal** (vía amígdala → hipotálamo)
- **Fibras corticohipotalámicas**
- **Fibras talamohipotalámicas**
- **Fibras retinohipotalámicas**
- **Pedúnculo mamilar**

Eferencias del hipotálamo

- **Fascículo prosencefálico medial**
- **Fascículo mamiloprincipal:**
  - *Haz mamilotalámico*
  - *Haz mamilotegmentario*
- **Fascículo tuberohipofisario:** controla la adenohipófisis.
- **Fascículo supraoptico–hipofisario:** controla la neurohipófisis.
- **Fascículo longitudinal dorsal:** regula núcleos autónomos del tronco encefálico y médula espinal.

Subtálamo

El subtálamo constituye una región diencefálica ubicada inmediatamente rostral a la calota mesencefálica, caudal y ventral al tálamo, lateral al hipotálamo y medial a la cápsula interna. Anatómicamente, representa un territorio de transición entre el diencéfalo y el mesencéfalo, compuesto por núcleos de sustancia gris y haces de sustancia blanca que participan activamente en la modulación de la actividad motora extrapiramidal (Haines, 2018; Nolte, 2016; Standring, 2021).

Sustancia gris del subtálamo

La sustancia gris subtalámica incluye núcleos con funciones motoras críticas:

1. Porción rostral del núcleo rojo y de la sustancia negra

En su extremo más rostral, el subtálamo contiene prolongaciones del **núcleo rojo** y de la **sustancia negra (locus niger)**, estructuras mesencefálicas relacionadas con la regulación motora involuntaria (Carpenter, 2015).

Núcleo subtalámico o cuerpo de Luys

El **núcleo subtalámico** constituye la estructura nuclear más importante del subtálamo. Se ubica entre la sustancia negra y la zona incierta y forma parte fundamental del **circuito motor de los ganglios basales**.

Aferencias

- Fibras corticosubtalámicas.
- Fibras tálamo-subtalámicas.
- Fibras tegmento-subtalámicas.
- Fibras pálido-subtalámicas (del globo pálido lateral).

Eferencias

- Proyección subtálamo-nigral.
- Proyección subtálamo-palidal (hacia el globo pálido medial).

Función

El núcleo subtalámico es esencial para la **modulación inhibitoria motora** dentro del circuito indirecto de los ganglios basales, contribuyendo a frenar movimientos no deseados (Blumenfeld, 2022).

Lesión

La destrucción del núcleo subtalámico provoca **hemibalismo**, caracterizado por movimientos bruscos, violentos y de gran amplitud, semejantes al "lanzamiento de una bala", generalmente limitados a un hemicuerpo contralateral (Nolte, 2016; Snell, 2019).

Zona incierta

Considerada la prolongación rostral de la formación reticular mesencefálica, la zona incierta se localiza entre el tálamo ventral y el núcleo subtalámico, o bien entre el fascículo talámico y el lenticular.

Aferencias

- Fibras corticofugas.

Eferencias

- Proyecciones hacia:
  - Núcleo rojo,
  - Tubérculo cuadrigémino superior,
  - Área pretectal.

Función

La zona incierta actúa como **centro integrador de impulsos ópticos y vestibulares**, modulando información antes de su llegada a la porción externa del globo pálido (Haines, 2018).

Sustancia blanca del subtálamo: Campos de Forel

La sustancia blanca subtalámica está organizada en tres regiones clásicas denominadas **campos de Forel**, que contienen fascículos fundamentales para la integración motora extrapiramidal.

- **Campo H (prerrúbrico)** Contiene el **asa lenticular** (fascículo del lentiforme hacia el tálamo).
- **Campo H2** Ubicado entre el cuerpo de Luys y la zona incierta.
- Incluye: **fascículo lenticular** y la **comisura hipotalámica anterior o de Ganser**.
- **Campo H1** Localizado entre la zona incierta y el tálamo ventral.
- Contiene: **Fascículo talámico** (haz H1 de Forel).

Estos fascículos constituyen vías esenciales de conexión entre el globo pálido, el tálamo y estructuras mesencefálicas.

Comisuras diencefálicas

Las comisuras presentes en el diencéfalo pueden clasificarse en **macroscópicas** y **microscópicas**.

Comisuras macroscópicas

- **Comisura quiasmática** (en relación con el quiasma óptico).
- **Comisura blanca anterior**.
- **Comisura gris intertalámica o adhesión intertalámica**.
- **Comisura blanca posterior**.

Comisuras microscópicas

- **Comisura supraóptica ventral o comisura de Gudden**: une ambos cuerpos geniculados mediales.
- **Comisura supraóptica dorsal o comisura de Meynert**: conecta el núcleo subtalámico con el globo pálido.
- **Comisura hipotalámica anterior o de Ganser**: une el globo pálido con el hipotálamo, atravesando el campo H2 de Forel.
- **Comisura supramamilar**: conecta las regiones preópticas laterales del hipotálamo.

Ganglios o núcleos de la base

Los ganglios basales constituyen un conjunto de núcleos subcorticales derivados embriológicamente del telencéfalo, encargados de modular la actividad motora, funciones cognitivas y procesos emocionales. Clásicamente, están integrados por cinco componentes principales: el núcleo caudado, el núcleo lenticular (putamen y globo pálido), el complejo amigdalino, el área septal y el claustrum (Haines, 2018; Nolte, 2019).

Los ganglios basales pueden clasificarse filogenéticamente en tres grupos:

- **Arquiestriado**: complejo amigdalino, la porción más antigua.
- **Paleoestriado**: globo pálido.
- **Neoestriado**: núcleo caudado y putamen, estructuras más recientes evolutivamente (Standring, 2021).

Aunque el putamen y el globo pálido conforman el **núcleo lenticular** por razones descriptivas, difieren en su origen y función.

Morfobiológicamente, el **neoestriado** (caudado + putamen) y el **paleoestriado** (globo pálido) constituyen el **cuerpo estriado**, estructura fundamental en la regulación extrapiramidal del movimiento (Carpenter & Sutin, 2012).

Cuerpo estriado

El cuerpo estriado se encuentra atravesado por fibras de la corteza cerebral y del tálamo que conforman la **cápsula interna**, la cual divide al estriado en dos componentes:

- **Porción medial**: núcleo caudado
- **Porción lateral**: núcleo lenticular (Nolte, 2019).

Núcleo Caudado

El núcleo caudado presenta forma de “C” o coma y se relaciona íntimamente con el ventrículo lateral. Se subdivide en:

- **Cabeza**: redondeada, situada sobre el espacio perforado anterior.
- **Cuerpo**: en relación con la cara dorsolateral del tálamo, separado por el surco terminal.

- **Cola**: curva hacia abajo y adelante para terminar en el complejo amigdalino (Haines, 2018).

Núcleo Lenticular

Formado por el Putamen y el globo pálido, es de forma piramidal, localizado entre la capsula externa y la capsula interna presenta:

- **Base** dirigida hacia el claustrum
- **Vértice** hacia la rodilla de la cápsula interna

Está dividido internamente por dos láminas de sustancia blanca:

- **Lámina medular externa** → separa putamen de globo pálido
- **Lámina medular interna** → divide el globo pálido en segmentos interno (medial) y externo (lateral) (Standring, 2021)

Putamen

Constituye la porción lateral del núcleo lenticular. Contiene neuronas pequeñas, redondas y fusiformes, y neuronas grandes multipolares, y recibe abundante inervación dopaminérgica. Se continúa ventralmente con la cabeza del núcleo caudado, formando el **neoestriado** (Nolte, 2019).

Globo Pálido

Porción medial del núcleo lenticular. Se caracteriza por neuronas multipolares grandes y constituye el principal centro eferente de los ganglios basales.

Aferencias (Palidopétalas)

- **Estriopálidas**: desde el neoestriado
- **Subtalamopálidas**: desde el núcleo subtalámico
- **Nigropálidas**: desde la sustancia negra (Carpenter & Sutin, 2012)

Eferencias (Palidofugas)

Segmento medial:

- Asa lenticular → campo H de Forel
- Fascículo lenticular → campo H2 de Forel

Segmento lateral:

- Fibras palidotalámicas
- Fibras palidorrúbricas
- Fibras palidosubtalámicas

El **haz H1 de Forel** integra fibras palidotalámicas, dentotalámicas y rubrotalámicas.

Conexiones del Cuerpo Estriado

Aferencias

- Fibras **corticoestriadas** (áreas premotoras y asociativas)
- Fibras **nigroestriadas** (sistema dopaminérgico)
- Fibras **talamoestriadas** (núcleos VA/VL)

Eferencias

- Asa lenticular
- Fascículo lenticular
- Fibras estrionígras
- Fibras estriopálidas

Función

El cuerpo estriado modula el movimiento voluntario y participan en el circuito extrapiramidal; su disfunción origina trastornos como **enfermedad de Parkinson** y **movimientos hipercinéticos** (Huntington, distonías) (Nolte, 2019).

Núcleo Accumbens

Situado en la unión ventral del caudado y putamen, es clave en el sistema de recompensa. Está involucrado en:

- Adicción
- Conducta emocional
- Estrés
- Sexualidad

Cumple funciones **límbicas** y **motoras** (Haines, 2018).

Complejo Amigdalino

Conjunto nuclear ubicado en el polo rostromedial del lóbulo temporal, está cubierto por una corteza rudimentaria, se relacionado con el rinencéfalo y el sistema límbico. Sus límites son:

- Medialmente el área olfatoria.
- Lateralmente el claustro.
- Dorsalmente el núcleo lenticular.
- Caudalmente la cola del núcleo caudado.

Organización nuclear

Consta de 12 subnúcleos agrupados en: Grupo Corticomedial y Basolateral.

Grupo Corticomedial

- Núcleo amigdalino cortical
- Núcleo amigdalino medial
- Núcleo amigdalino central

Grupo Basolateral

- Núcleo lateral
- Núcleo basal

- Núcleo basal accesorio

Aferencias

- Estría olfatoria medial
- Fibras de la corteza prepiriforme
- Fibras de la cintilla diagonal o banda diagonal de Broca
- Fibras de la formación reticular mesencefálica
- Fibras de la corteza temporal inferior

Eferencias

- Estría terminal
- Proyecciones amigdalofugas ventrales

Función

Interviene en funciones límbicas: conducta emocional, motivación y recompensa (Nolte, 2019).

Área septal.

Ubicada bajo la región subcallosa, se halla en relación rostral con la comisura blanca anterior, el área preóptica lateral y de la lámina terminal del hipotálamo. Consta de dos estructuras anatómicas:

- Circunvolución subcallosa
- Circunvolución paraterminal

En su interior contiene dos estructuras corticales:

- Núcleo septal medial
- Núcleo septal lateral

Aferencias:

- Fórnix

- Fibras amigdalofugas ventrales
- Formación reticular mesencefálica.
- Estría olfatoria medial.

Eferencias:

- Banda diagonal de Broca
- Estría medular, fascículo septotalamico o rienda de la epífisis.
- Fascículo prosencefálico medial o basal del cerebro anterior.

Función

Interviene en funciones límbicas: conducta emocional, motivación y recompensa (Nolte, 2019).

Claustrum o Antemuro

Delgada lámina de sustancia gris situada entre la cápsula externa y la cápsula extrema. Aunque su función es aún incierta, se ha sugerido un rol en la integración multisensorial y la conciencia, presenta dos porciones: insular y temporal (entre (Standring, 2021).

Aferencias

- Fibras corticoclaustrales
- Fibras del hipocampo lateral

Eferencias

- Fibras claustrocorticales

Cápsula interna

La cápsula interna es una densa lámina de sustancia blanca situada profundamente en los hemisferios cerebrales. Su función principal es servir como vía de paso para fibras aferentes y eferentes que conectan la corteza cerebral con estructuras subcorticales, el tronco encefálico y la médula espinal. Anatómicamente, separa medialmente al tálamo y al núcleo caudado, de la superficie lateral del núcleo lenticular (Standring, 2021; Nolte, 2019).

La cápsula interna se divide en tres porciones fundamentales:

- **Brazo anterior**
- Separado medialmente por la cabeza del núcleo caudado y lateralmente por el núcleo lenticular.
- **Rodilla (genu)**
- Zona de transición entre los brazos anterior y posterior, ubicada profundamente en el surco optoestriado.
- **Brazo posterior**
- Situado entre el tálamo (medial) y el globo pálido (lateral); se subdivide en:
  - Porción lenticulotalámica
  - Porción retrolenticular
  - Porción sublenticular

Brazo Anterior de la Cápsula Interna

Ubicación: entre el núcleo caudado (medial) y el núcleo lenticular (lateral).

Aferencias

- Radiación talámica anterior (pedúnculo talámico anterior), que proyecta desde los núcleos talámicos anteriores hacia la corteza prefrontal.

Eferencias

- Haz frontopontino (corticoprotuberancial) hacia los núcleos pontinos.
- Proyecciones corticales orbitarias dirigidas hacia regiones del hipotálamo.

Estas fibras participan en funciones ejecutivas, motivacionales y autonómicas (Haines, 2018).

Rodilla (Genu) de la Cápsula Interna

Ubicación: porción angulada entre los brazos anterior y posterior, situada en la profundidad del surco optoestriado.

Eferencias

- Fascículo corticobulbar (corticonuclear), que inerva los núcleos motores de los nervios craneales.
- Fascículo corticoreticular, proyectado hacia la formación reticular pontina y bulbar.

Una lesión en esta región ocasiona hemiparesia facial contralateral (Snell, 2019).

Brazo Posterior de la Cápsula Interna

Porción Lenticulotalámica

Ubicación: entre el núcleo lenticular (lateral) y el tálamo (medial).

Aferencias

- Radiación talámica superior (pedúnculo talámico superior), que transporta información somatosensorial del sistema lemniscal hacia la corteza parietal.

Eferencias

Incluye numerosos tractos motores y sensitivos:

- Fascículo corticoespinal
- Fascículo corticorrúbrico
- Fascículo corticotectal
- Fibras corticonigras
- Fascículo corticoreticular
- Proyecciones corticopontinas

Esta región constituye la vía motora mayor del sistema nervioso central (Carpenter & Sutin, 2012).

Porción Retrolenticular

Ubicación: posterior al núcleo lenticular.

Aferencias

- Radiación óptica (fascículo geniculocalcarino) desde el núcleo geniculado lateral hacia la corteza calcarina.

Eferencias

- Fibras corticopontinas parietales y occipitales hacia el área pretectal.
- Fibras de la corteza occipital dirigidas hacia el colículo superior.

Porción Sublenticular

Ubicación: fibras que discurren por debajo del núcleo lenticular.

Aferencias

- Radiación auditiva (fascículo geniculotemporal) desde el núcleo geniculado medial hacia la corteza auditiva primaria.

Eferencias

- Fibras corticopontinas provenientes de la corteza temporal.

Corteza cerebral

La corteza cerebral constituye la delgada capa de sustancia gris que recubre la superficie de los hemisferios cerebrales. Se origina a partir de las vesículas telencefálicas y posee una superficie aproximada de 2.200 cm^2, gran parte de la cual se encuentra oculta en el fondo de surcos y cisuras profundas. Esta complejidad estructural permite un notable incremento del área cortical y, por consiguiente, una mayor capacidad funcional, situando al ser humano en el nivel más alto de la escala filogenética gracias al desarrollo de funciones superiores como el lenguaje, el razonamiento y la inteligencia (Standring, 2021; Nolte, 2019).

La corteza está compuesta por alrededor de 14 mil millones de neuronas, además de células gliales, fibras nerviosas y vasos sanguíneos. Su arquitectura macroscópica se manifiesta en circunvoluciones delimitadas por surcos que aumentan la superficie cortical y la especialización funcional (Snell, 2019).

División Filogenética y Funcional de la Corteza Cerebral

Filogenéticamente, la corteza cerebral se divide en tres tipos principales:

- **Neocorteza o isocorteza (corteza homogenética)**

Representa aproximadamente el 90% de la corteza y constituye la porción más reciente en la evolución. Posee seis capas bien definidas.

- **Paleocorteza (corteza olfatoria)**

Asociada al rinencéfalo y a funciones olfatorias primarias.

- **Arquicorteza (corteza límbica)**

Es la más antigua y se relaciona principalmente con la formación hipocampal.

La paleocorteza y la arquicorteza conforman la **alocorteza**, caracterizada por la presencia de tres capas. Entre ambas regiones se encuentra la **mesocorteza o yuxtacorteza**, considerada un territorio de transición con un número intermedio de capas (Haines, 2018)

Organización General de la Corteza Cerebral

La corteza contiene tres grandes grupos de elementos funcionales:

- **Fibras aferentes**, entre ellas las radiaciones talámicas.
- **Neuronas de asociación y comisurales**, cuyas proyecciones interconectan diferentes áreas corticales y ambos hemisferios.
- **Neuronas de proyección**, cuyos axones se dirigen a estructuras subcorticales, tronco encefálico y médula espinal, como ocurre en la vía piramidal.

Citología Cortical

En la corteza, pese a su elevada densidad neuronal, se reconocen tipos celulares bien diferenciados:

- **Neuronas piramidales**

Se encuentran en todas las capas corticales, excepto en la capa molecular, predominan en las capas III y V. Tienen tamaño variable: pequeñas, medianas, grandes, y gigantes. Presentan una

gran dendrita apical que se dirige a la primera capa y un axón descendente que forma fibras de asociación, comisurales o de proyección. Entre ellas destacan las neuronas gigantopiramidales de Betz, localizadas en la corteza motora primaria (Carpenter & Sutin, 2012).

- **Neuronas piramidales dobles**: abundantes en la segunda capa del hipocampo (Asta de Amón).

- **Neuronas estrelladas (granulares)**

Abundan en las capas III y IV. Poseen múltiples dendritas y axones cortos que pueden proyectarse hacia la sustancia blanca o hacia capas superficiales.

- **Neuronas horizontales de Cajal**

Localizadas principalmente en la capa I, tienen forma triangular o fusiforme, sus axones discurren en dirección tangencial conformando el plexo de Exner.

- **Neuronas fusiformes**

Se sitúan en las capas profundas. Envían dendritas hacia la superficie y axones descendentes hacia la sustancia blanca.

- **Neuronas de Martinotti**

Presentes en las capas III y V. Sus axones ascienden hacia la capa I y participan en circuitos de retroalimentación intracortical.

Clasificación de las Fibras Corticales

Las fibras de la corteza se clasifican según distintas características:

Según su estructura

- Mielínicas
- Amielínicas

Según la dirección del impulso

- **Corticopetas**: ascienden hacia la corteza.

- **Corticofugas**: descienden desde la corteza.

Según su función

- **Fibras de proyección**: conectan la corteza con estructuras subcorticales.
- **Fibras de asociación**: conectan áreas dentro del mismo hemisferio.
- **Fibras comisurales**: conectan ambos hemisferios.

Según su orientación

- **Fibras radiales o verticales**: corresponden a axones y dendritas que discurren perpendicularmente a la superficie cortical.
- **Fibras tangenciales o transversales**: dispuestas en varias capas horizontales, destacándose:

- Plexo tangencial de Exner
- Lámina disfibrosa
- Estría supraestriada de Kaes-Bechterew
- Estría externa de Baillarger (línea de Gennari en la corteza visual)
- Estría interna de Baillarger
- Hoja infraestriada

Neocorteza (Corteza Homogénica).

Según Brodmann la neocorteza presenta seis capas bien definidas:

- Capa molecular o plexiforme
- Capa granular externa
- Capa piramidal externa
- Capa granular interna
- Capa ganglionar o piramidal interna
- Capa multiforme o fusiforme

Estas capas pueden organizarse funcionalmente en:

- **Capas de recepción:** II granulosa externa y IV granulosa interna
- **Capas efectoras:** III piramidal externa y V ganglionar interna
- **Capas de asociación:** I molecular y VI fusiforme

(Nolte, 2019; Standring, 2021).

Alocorteza (Corteza Heterogénica).

También llamada corteza heterogénica presenta únicamente tres capas y se divide en: Paleocorteza y Arquicorteza.

Paleocorteza (corteza olfatoria)

Representa alrededor del 5% de la corteza y participa en la percepción olfatoria primaria. Comprende estructuras como:

- Bulbo olfatorio
- Cintilla olfatoria
- Tubérculo olfatorio
- Estrías olfatorias
- Núcleo olfatorio anterior
- Región periamigdalina
- Uncus y circunvolución parahipocámpica

la paleocorteza está compuesta por tres capas corticales: capa molecular, capa piramidal doble y capa multiforme o fusiforme.

Arquicorteza

Corresponde a la corteza de la formación hipocampal y está representada por:

- Presubiculum

- Subiculum
- Postsubiculum
- Hipocampo (Asta de Amón)
- Fascia dentada

Estas regiones cumplen funciones esenciales en la memoria y en el sistema límbico (Haines, 2018; Snell, 2019).

FORMACIÓN DEL HIPOCAMPO

La formación del hipocampo constituye una compleja estructura del lóbulo temporal medial, derivada de la invaginación del surco hipocampal dentro del cuerno inferior del ventrículo lateral. Este proceso produce una protrusión hacia la cavidad ventricular denominada **hipocampo**, mientras que los labios del surco originan la **fascia dentada** y la **circunvolución parahipocampal**. El surco hipocampal, por tanto, delimita la fascia dentada de la circunvolución parahipocampal, configurando las principales unidades de la formación hipocampal (Standring, 2021; Nolte, 2019).

La **formación del hipocampo** está constituida por dos estructuras fundamentales:

1. **Hipocampo o asta de Amón**
2. **Fascia dentada o circunvolución abollonada**

Todas estas estructuras forman parte de la circunvolución parahipocampal desde el punto de vista macroscópico.

Hipocampo o Asta de Amón

El hipocampo corresponde a un espesor de arquicorteza que ha sido desplazado hacia la cavidad ventricular por la cisura hipocampal. Su superficie está recubierta por una delgada lámina de sustancia blanca denominada **alveus**, formada por los axones de las neuronas piramidales dobles. El alveus se continúa, a lo largo del borde medial del hipocampo, con un haz longitudinal denominado **fimbria del hipocampo**, la cual se prolonga hacia atrás para constituir los **pilares posteriores del fórnix** (Haines, 2018).

En el borde superior del hipocampo se ubica el **subiculum**, que actúa como una zona de transición entre la arquicorteza del asta de Amón y la neocorteza parahipocampal. Rostralmente al subiculum se encuentra el **presubiculum**, mientras que caudalmente se extiende el **postsubiculum**, vinculado anatómicamente con áreas olfatorias y límbicas (Nolte, 2019).

Fascia Dentada o Circunvolución Abollonada

La fascia dentada, localizada por encima del surco hipocampal, acompaña a la fimbria en dirección posterior hasta alcanzar el esplenio del cuerpo calloso. En esta región, ambas estructuras se separan y la fascia dentada da origen a una delgada banda gris denominada **fasciola cinérea** o **circunvolución fasciolada**. Esta se prolonga sobre la cara dorsal del esplenio formando la **circunvolución supracallosa** o **indusium griseum**, la cual se desplaza hacia adelante sobre el cuerpo calloso flanqueada por dos cordones blanquecinos:

- **Estría longitudinal medial de Lancisi**
- **Estría longitudinal lateral de Lancisi**

Ambas estrías prosiguen hacia la circunvolución subcallosa de la región septal y la **banda diagonal de Broca** (Carpenter & Sutin, 2012).

Hacia adelante, la fascia dentada se introduce profundamente entre el uncus y la circunvolución parahipocampal, describiendo un giro abrupto que genera una prolongación lisa conocida como **cintilla de Giacomini**. La porción del uncus situada por detrás recibe la denominación de **circunvolución intralímbica**.

Capas de la Arquicorteza

La organización histológica del hipocampo mantiene la estructura típica de la arquicorteza, constituida por tres capas:

Capas del Hipocampo

1. Capa molecular

Continuación directa de la capa molecular de la fascia dentada. Contiene fibras tangenciales provenientes del subiculum y colaterales de las neuronas piramidales (estratum lacunosum).

2. Capa piramidal

Compuesta por neuronas piramidales dobles dispuestas en un estrato compacto denominado **estratum lucidum**. Sus dendritas apicales ascienden hacia la capa molecular formando el **estratum radiatum**, mientras que sus axones contribuyen al **alveus**.

3. Capa polimorfa (stratum oriens)

Situada por debajo de la capa piramidal. Contiene células de Martinotti y otras interneuronas cuyos axones alcanzan el alveus o las capas superiores (Haines, 2018).

Capas de la Fascia Dentada

1. Capa molecular

En continuidad con la del hipocampo.

2. Capa granulosa

Constituida por numerosas neuronas granulosas pequeñas, cuyas dendritas se proyectan hacia la capa molecular. Sus axones forman las fibras musgosas que terminan en la capa piramidal del hipocampo.

3. Capa polimorfa

Aloja interneuronas, entre ellas células en cesto, implicadas en la modulación inhibitoria local (Snell, 2019).

Conexiones de la Formación Hipocampal

Aferencias

El hipocampo recibe múltiples vías de entrada:

- **Del cíngulo** (circuito límbico) mediante fibras de asociación límbica.
- **De la circunvolución supracallosa (indusium griseum)**.
- **De la corteza entorrinal (área 28)** a través de dos fascículos principales:
  - *Fascículo alveolar*
  - *Fascículo perforante de Cajal*

- **Del área septal** mediante la *banda diagonal de Broca*
- **Aferencias límbicas y corticales asociativas adicionales** (Nolte, 2019).

Eferencias

Las eferencias principales se originan en los axones de las neuronas piramidales que forman:

1. **Alveus → fimbria → pilares posteriores del fórnix**
2. El fórnix constituye la vía principal de salida del hipocampo hacia:
   - Cuerpos mamilares del hipotálamo
   - Áreas septales
   - Núcleo anterior del tálamo
3. **Estrías longitudinales medial y lateral de Lancisi**, que establecen conexiones con la región septal y la banda diagonal (Standring, 2021).

Función de la Formación del Hipocampo

La formación hipocampal constituye la estructura fundamental del sistema límbico, desempeñando un papel esencial en:

- Consolidación de la memoria episódica y declarativa
- Regulación de la conducta emocional
- Control de la motivación, alimentación y conducta sexual
- Integración olfatoria y viscerosensorial

Su integridad es indispensable para la formación de nuevos recuerdos y su lesión produce amnesia anterógrada característica (Haines, 2018; Nolte, 2019).

CITOARQUITECTURA DE LA CORTEZA CEREBRAL

La organización citoarquitectónica de la corteza cerebral constituye un elemento fundamental para comprender su especialización funcional. Con base en el análisis morfológico de la distribución de neuronas piramidales y granulares, **Constantin von Economo** desarrolló una

clasificación que distingue dos grandes tipos de corteza: **corteza homotípica** y **corteza heterotípica** (Nolte, 2019; Standring, 2021).

Corteza Homotípica

La corteza homotípica posee **seis capas bien definidas**, aunque una de ellas suele adquirir un desarrollo predominante. De acuerdo con ello, von Economo la subdividió en tres variantes:

a) Tipo II o frontal

Predominan las capas **piramidales** (III y V).

Es característica de zonas motoras y prefrontales.

b) Tipo III o parietal

Predominan las capas **granulares** (II y IV).

Se asocia a corteza sensitiva somática heteromodal.

c) Tipo IV o polar

Las seis capas son delgadas, pero existe una elevada densidad neuronal.

Aparece en regiones cercanas a los polos frontal y occipital.

Corteza Heterotípica

En este tipo, algunas capas corticales se adelgazan o incluso desaparecen por el desarrollo excesivo de otras. Se divide en:

a) Tipo I o agranular

Predominan de forma marcada las capas piramidales III y V.

Corresponde a corteza motora primaria y áreas relacionadas.

b) Tipo V o granular (conicorteza)

Predominan las capas granulares II y IV.

Representada por la corteza sensitiva primaria y la corteza visual primaria.

Corteza heterotípica tipo I (agranular)

Caracterizada por el predominio de células piramidales y típica de la corteza motora primaria y premotora, presenta distribución tanto en la cara dorsolateral como en la cara medial.

Cara dorsolateral

- Circunvolución frontal ascendente (área 4).
- Porción posterior de las circunvoluciones frontal superior y media (áreas 6 y 8).
- Regiones del opérculo frontal y área orbitaria.
- Región anterior de la circunvolución temporal superior.

Cara medial

- Porción anterior del lóbulo paracentral (áreas 4 y 3-1-2).
- Parte anterior de la circunvolución del cíngulo (áreas 24, 33 y 25).
- Área septal (área 25).
- Uncus (área 34).
- Región anterior de la circunvolución parahipocampal.

Corteza homotípica tipo II (frontal)

Con seis capas definidas y predominio de las capas piramidales III y V.

Cara dorsolateral

- Región anterior de la circunvolución frontal superior.
- Porciones medias de las circunvoluciones frontal media e inferior.
- Parte posterior del opérculo frontal y región triangular.
- Parte posterior de la circunvolución parietal ascendente.
- Circunvolución parietal superior.
- Segmentos anteriores de las circunvoluciones temporal superior, media e inferior.

Cara medial

- Circunvolución frontal interna (áreas 6, 8, 9, 10).
- Parte posterior del lóbulo paracentral.
- Precuña o lóbulo cuadrilátero.
- Regiones anteriores de las circunvoluciones temporal media e inferior.

Corteza homotípica tipo III (parietal)

Predominan las células granulares; corresponde a áreas sensitivas y de asociación parietal.

Cara dorsolateral

- Porción anterior de la circunvolución frontal media.
- Giro supramarginal (área 40).
- Giro angular (área 39).
- Partes posteriores de las circunvoluciones temporal superior, media e inferior.
- Región anterior del lóbulo occipital.

Cara medial

- Circunvolución fusiforme.
- Porciones de la cuña próximas a la cisura parietooccipital.

Corteza homotípica tipo IV (polar)

De seis capas muy delgadas y con alta densidad neuronal. Predomina en regiones cercanas a los polos cerebrales.

Cara dorsolateral

- Corteza orbitaria del polo frontal.
- Zonas del lóbulo occipital entre regiones tipo III y V.

Cara medial

- Cuña y giro lingual cercanos a la región pericalcarina.

- Porciones del área orbitaria

Corteza heterotípica tipo V (granular o conicorteza)

Predominan las células granulares; es el prototipo de la corteza sensitiva primaria.

Cara dorsolateral

- Polo occipital (área 17).
- Región adyacente a la cisura de Rolando, en la corteza somatosensitiva primaria.
- Pie de la circunvolución postrolándica (área 43).
- Circunvoluciones transversas de Heschl (áreas 41 y 42).

Cara medial

- Región pericalcarina (área 17).
- Porción media del lóbulo paracentral.
- Parte posterior de la circunvolución del cíngulo.
- Segmentos de la circunvolución parahipocampal.

Sistematización de la sustancia blanca cortical

La sustancia blanca del cerebro está constituida por una compleja red de fibras mielínicas que conectan la corteza cerebral con otras regiones del sistema nervioso central. Tradicionalmente, estas fibras se clasifican en **fibras de proyección**, **fibras de asociación** y **fibras comisurales** (Standring, 2021; Nolte, 2019). La sustancia blanca cortical presenta tres grandes grupos de fibras:

- Fibras de proyección.
- Fibras de asociación.
- Fibras comisurales.

Fibras de Proyección

Las fibras de proyección establecen la comunicación entre la corteza cerebral y estructuras subcorticales, incluyendo el tálamo, los núcleos de la base, el tronco encefálico y la médula

espinal. Estas fibras forman parte fundamental de la **cápsula interna**, la cual separa al núcleo caudado, el tálamo y el núcleo lenticular (Haines, 2018; Standring, 2021).

Las fibras de proyección se dividen en dos grupos:

Fibras Corticopetas (Aferentes)

Transportan hacia la corteza información sensorial y de asociación que ha sido previamente retransmitida en los núcleos talámicos. Este flujo informativo se proyecta principalmente hacia las **capas corticales II y IV**, que constituyen las zonas de recepción aferente (Nolte, 2019).

Los principales pedúnculos talámicos son:

- **Pedúnculo talámico anterior**: lleva información límbica desde núcleos anteriores del tálamo.
- **Pedúnculo talámico superior o centroparietal**: transmite información somatosensitiva.
- **Pedúnculo talámico inferior**: conduce información auditiva desde el cuerpo geniculado medial.
- **Pedúnculo talámico posterior**: transmite información visual desde el cuerpo geniculado lateral.

Fibras Corticofugas (Eferentes)

Conducen impulsos desde la corteza hacia estructuras subcorticales. Comprenden dos sistemas:

Fibras piramidales

Constituyen el sistema motor voluntario:

- **Fascículo corticobulbar**: inerva motoneuronas de los pares craneales.
- **Fascículo corticoespinal**: proyecta hacia motoneuronas espinales para el control somático del tronco y extremidades.

Fibras extrapiramidales

Intervienen en la modulación motora involuntaria y en circuitos de control subcortical:

- Fibras corticotalámicas
- Fibras corticoestriadas
- Fibras corticorrúbricas
- Fibras corticonigras
- Fibras corticopontinas
- Fibras corticoolivares
- Fibras corticoarcuatas

Estas vías participan en la coordinación motora, ajustes posturales y regulación de la actividad de los núcleos de la base (Carpenter & Sutin, 2012).

Fibras de Asociación

Conectan distintas áreas corticales dentro de **un mismo hemisferio**, ya sea regiones adyacentes o áreas separadas por varios lóbulos. Estas fibras son de dos tipos:

Fibras de Asociación Cortas

También llamadas **fibras arcuatas**, conectan circunvoluciones contiguas.

Se agrupan en:

- **Fibras subcorticales**: discurren inmediatamente bajo la corteza.
- **Fibras intracorticales**: transitan dentro de la sustancia blanca más profunda del hemisferio.

Fibras de Asociación Largas

Conectan áreas distantes de un mismo hemisferio y constituyen grandes fascículos:

- **Fascículo longitudinal superior**: comunica regiones frontales con áreas parietales y occipitales.

- **Fascículo longitudinal inferior**: vincula lóbulos temporal y occipital.
- **Fascículo occipitofrontal superior**: une cortezas frontales y occipitales por la porción dorsal.
- **Fascículo fronto-occipital inferior**: vincula las mismas regiones por la parte ventrolateral.
- **Fascículo uncinado**: conecta el lóbulo frontal orbitario con el polo temporal.
- **Cíngulo**: integra regiones del sistema límbico, conectando la corteza del cíngulo, el istmo, el área septal y la circunvolución parahipocampal (Nolte, 2019).

Fibras Comisurales

Relacionan áreas correspondientes de ambos hemisferios atravesando la línea media.

Se organizan en tres grandes estructuras:

- **Comisura blanca anterior**
- **Fornix**
- **Cuerpo calloso**

Comisura Blanca Anterior

Estructura diencefálica con dos regiones funcionales:

- **Porción anterior**: comunica las estrías olfatorias mediales.
- **Porción posterior**: conecta regiones de la circunvolución temporal media de ambos hemisferios.

El Fornix

(Fascículo hipocampo-hipotalámico, trígono cerebral o bóveda de los cuatro pilares)

Es la principal vía eferente del hipocampo y contiene tres tipos de fibras:

1. Fibras de proyección

Provenientes de la formación hipocampal, proyectan hacia:

- Núcleo anterior del tálamo
- Cuerpos mamilares del hipotálamo
- Núcleo habenular del epitálamo

2. Fibras de asociación

Conectan el hipocampo con el área septal ipsilateral.

3. Fibras comisurales

Vinculan ambos hipocampos mediante la **comisura del fórnix** o **lómina o salterium** (Haines, 2018).

Cuerpo Calloso

Es la mayor comisura interhemisférica y se divide anatómicamente en: **rostrum**, **genu**, **cuerpo** y **rodete**. Cada porción genera fibras comisurales características:

- **Forceps minor**: fibras anteriores que conectan lóbulos frontales.
- **Fibras del cuerpo calloso**: conectan lóbulos parietales y temporales.
- **Fibras del rodete**:
  - **Forceps major**: conecta lóbulos occipitales, formando el *bulbus cornus* en el cuerno posterior del ventrículo lateral.
  - **Tapetum**: fibras que cubren parcialmente los cuernos temporal y occipital del ventrículo lateral.

Áreas de Brodmann

La corteza cerebral constituye el principal centro integrador de las funciones superiores del sistema nervioso. Su estructura no es homogénea; por el contrario, presenta variaciones regionales en cuanto al grosor cortical, la densidad y disposición de las células nerviosas, así como en la organización de sus conexiones y funciones. Por esta razón, su estudio ha requerido clasificaciones basadas en la citoarquitectura cortical.

Entre los aportes más relevantes se encuentra el trabajo de **Korbinian Brodmann**, quien a inicios del siglo XX realizó un detallado análisis histológico de la corteza y estableció **52 áreas**

con características celulares y funcionales distintivas (Brodmann, 1909; Nolte, 2019). Estas áreas se utilizan en la actualidad como referencia fundamental en neuroanatomía y neurofisiología.

A continuación se presentan las áreas más relevantes y su organización funcional.

Áreas Somestésicas Primarias (Áreas 3, 1 y 2 de Brodmann)

Las áreas 3, 1 y 2 constituyen la **corteza somatosensitiva primaria**, situada en la circunvolución poscentral y extendida hacia la porción medial del lóbulo paracentral (Haines, 2021).

Localización

- Circunvolución poscentral (giro posrolándico).
- Proyección medial hacia el lóbulo paracentral.

Función

Es la región cortical encargada de recibir, procesar y hacer consciente la sensibilidad somática proveniente del tálamo, especialmente del **núcleo ventral posterior**, mediante fibras del sistema lemniscal y del tracto espinotalámico (Snell, 2019).

Incluye la percepción de:

- Tacto fino
- Dolor
- Presión
- Propiocepción
- Temperatura

Somatotopía

La información se dispone de forma organizada formando el **homúnculo sensitivo**:

- Pie de la circunvolución: gusto (conexión con área 43).
- Parte inferior: sensibilidad de la cabeza.
- Parte media: miembros torácicos.

- Parte superior: tronco.
- Cara medial: miembros pélvicos (Nolte, 2019).

Estimulación y lesiones

- **Estimulación**: sensaciones parestésicas (hormigueo, entumecimiento).
- **Lesión**: parestesias, pérdida o alteración de la sensibilidad contralateral.

Áreas Sensitivas Secundarias (Áreas 5 y 7 de Brodmann)

Localización

- Región posterior al giro poscentral.
- Lóbulo parietal superior.

Función

Corresponden a la **corteza somatosensitiva de asociación**, donde se integran estímulos somáticos con información visual y motora para guiar movimientos voluntarios orientados hacia un objetivo (Carpenter & Sutin, 2018).

Lesiones

- **Ataxia óptica**: incapacidad de coordinar movimientos dirigidos hacia un objeto visible, a pesar de conservarse la función visual y motora primaria.

Área Sensitiva Terciaria (Área 40 de Brodmann)

Localización

- Giro supramarginal del lóbulo parietal inferior.

Función

Se integra la información somática compleja que permite reconocer objetos mediante el tacto (estereognosia), su forma, textura y tamaño. Forma parte, junto con el área 39, del **esquema corporal** (Haines, 2021).

Lesiones

- **Agnosia táctil**.

- Alteraciones en el reconocimiento de partes del propio cuerpo (autotopagnosia).

Corteza Motora Primaria (Área 4 de Brodmann)

Localización

- Circunvolución precentral (giro prerrolándico).
- Extensión medial hacia el lóbulo paracentral.

Función

Es la principal área cortical encargada del control de la **motricidad voluntaria**, especialmente de movimientos finos y precisos de las extremidades contralaterales (Snell, 2019).

Presenta una marcada **organización somatotópica**, donde cada región del cuerpo ocupa un territorio proporcional al grado de control motor requerido:

- Pie del giro: musculatura de la cara.
- Parte media: miembro superior.
- Parte superior: tronco.
- Cara medial: miembro inferior.

Estimulación

La estimulación eléctrica provoca movimientos contralaterales discretos y bien definidos.

Lesiones

Provocan el **síndrome piramidal**, caracterizado por:

- Paresia o hemiparesia contralateral.
- Hiperreflexia.
- Espasticidad.
- Signo de Babinski.

En algunos casos pueden desencadenarse **crisis jacksonianas** o parálisis permanente si la lesión es amplia.

Área premotora (Área 6 de Brodmann)

La **corteza premotora**, correspondiente al área 6 de Brodmann, se sitúa en la porción anterior a la corteza motora primaria en la circunvolución frontal superior y media (Nolte, 2019). También se denomina **área motora suplementaria** cuando comprende la región situada en la superficie medial del hemisferio, o **corteza premotora lateral** cuando ocupa la convexidad dorsolateral del lóbulo frontal.

Función

Esta área participa en la **planificación, programación y coordinación de los movimientos voluntarios**, especialmente aquellos que requieren secuencias motoras complejas o la integración de estímulos visuales, somáticos o auditivos (Haines, 2021).

Su actividad precede al inicio del movimiento y contribuye al aprendizaje motor y a la anticipación de patrones motores.

Lesiones

El daño en el área 6 produce:

- **Apraxia**: dificultad para ejecutar movimientos voluntarios secuenciales o dirigidos a un propósito, aun cuando la fuerza y la sensibilidad están conservadas (Snell, 2019).
- Esto se manifiesta en actividades como vestirse, peinarse o manipular herramientas.

Corteza prefrontal (Áreas 9, 10, 11 y 12 de Brodmann)

La **corteza prefrontal** abarca la región anterior del lóbulo frontal, comprendiendo la circunvolución frontal superior, media e inferior. Es una de las regiones corticales más desarrolladas en el ser humano (Carpenter & Sutin, 2018).

Función

Se relaciona con los **procesos cognitivos superiores**, tales como:

- Toma de decisiones
- Razonamiento y juicio
- Control ejecutivo

- Regulación emocional
- Planeación y conducta social

Esta región integra información proveniente de áreas sensoriales, de asociación, estructuras límbicas y del tálamo, particularmente del **núcleo dorsomediano** (Nolte, 2019).

Lesiones

Las lesiones prefrontales bilaterales producen:

- Cambios de personalidad
- Pérdida de la iniciativa y creatividad
- Desinhibición conductual
- Dificultad para planear y tomar decisiones

Históricamente, patologías severas llevaron al uso de la lobotomía frontal, procedimiento posteriormente abandonado por sus efectos devastadores sobre la personalidad y las funciones ejecutivas (Haines, 2021).

ÁREAS LÍMBICAS (Áreas 23 a 38 de Brodmann)

Las áreas límbicas comprenden regiones de la corteza ubicadas alrededor del **hilio del hemisferio cerebral**, incluyendo la circunvolución del cíngulo, el istmo, la circunvolución parahipocámpica, el área septal y el uncus.

Función

Corresponden a corteza de transición (mesocorteza), relacionada con:

- Regulación emocional
- Comportamientos instintivos
- Motivación
- Memoria
- Integración visceral y autonómica

Conforman la porción cortical del **sistema límbico**, el cual se integra con estructuras subcorticales como la amígdala, el hipotálamo y el hipocampo (Snell, 2019).

Áreas corticales relacionadas con el lenguaje

Áreas de Broca

Centro Cortical del Lenguaje articulado (Áreas 44 y 45 de Brodmann)

Localización

- Área 44: opérculo frontal.
- Área 45: región triangular de la circunvolución frontal inferior.
- Predominantemente en el hemisferio dominante para el lenguaje (generalmente el izquierdo).

Función

Interviene en la **programación y articulación del lenguaje hablado**, coordinando los movimientos musculares necesarios para la fonación (Haines, 2021).

Lesiones

Produce **afasia motora o de Broca**, caracterizada por:

- Lenguaje no fluido
- Dificultad para articular palabras
- Comprensión relativamente preservada

Centro cortical del lenguaje escrito (Área 8 de Brodmann)

Localización

- Porción inferior de la circunvolución frontal media.

Función

Participa en la **expresión escrita del lenguaje** mediante la coordinación lingüística y motora.

Lesiones

Provoca **agrafia**, con incapacidad para escribir pese a la integridad sensorial y motora.

Áreas de Wernicke

Centro cortical del lenguaje auditivo (Área 22 de Brodmann)

Localización

- Porción media de la circunvolución temporal superior.

Función

Es la **corteza auditiva asociativa especializada en comprensión del lenguaje hablado**. Permite asignar significado a las palabras y la elaboración de discurso coherente.

Conexiones

Se comunica con el área de Broca mediante el **fascículo arqueado**, componente del fascículo longitudinal superior.

Lesiones

Produce sordera verbal, **afasia sensitiva o de Wernicke**:

- Lenguaje fluido pero sin significado
- Dificultad para comprender el lenguaje verbal

Centro cortical del lenguaje óptico (Área 39 de Brodmann)

Localización

- Giro angular del lóbulo parietal inferior.

Función

Asociación visual-lingüística, esencial para:

- Comprensión de la lectura
- Integración de símbolos escritos

Conexiones

Se Conecta con el área de Broca por medio del Fascículo Longitudinal Superior.

Lesiones

Causa **ceguera verbal**:

- Incapacidad para comprender palabras escritas
- Dificultad para leer y escribir adecuadamente

Clasificación general de afasias

Afasias motoras

- **Anartria/disartria**: dificultad para articular palabras.
- **Agrafia**: incapacidad de escribir.

Afasias sensitivas

- **Sordera verbal**: incapacidad para comprender el lenguaje hablado.
- **Ceguera verbal**: incapacidad para comprender el lenguaje escrito.

Corteza visual primaria (Área 17 de Brodmann)

Localización

- Región pericalcarina del lóbulo occipital.

Aferencia

Recibe la **radiación óptica** proveniente del cuerpo geniculado lateral. Posee organización retinotópica precisa (Nolte, 2019).

Función

- Procesamiento visual primario.
- Integración de información binocular.
- Detección de orientación y contraste.

Lesiones

Pueden producir:

- Amaurosis cortical
- Hemianopsias homónimas
- Cuadrantanopsias
- Según la extensión y localización del daño.

Corteza visual secundaria (Áreas 18 y 19 de Brodmann)

Localización

Zonas adyacentes al área 17 en el lóbulo occipital y parte del lóbulo temporal (áreas 20 y 21).

Función

Procesamiento visual de mayor complejidad:

- Reconocimiento de formas y colores
- Percepción espacial
- Integración visual-semántica

Lesiones

- **Prosopagnosia** (incapacidad para reconocer rostros).
- Pérdida focal de la percepción del color.
- Alteraciones en la interpretación de imágenes visuales.
- La lesión del giro angular en el hemisferio dominante compromete la capacidad para comprender símbolos y expresarse mediante ellos.

Corteza auditiva primaria (Área 41 de Brodmann)

La **corteza auditiva primaria**, correspondiente al área 41 de Brodmann, se localiza en las **circunvoluciones transversales de Heschl**, situadas en la porción superior del lóbulo temporal, dentro de la cisura lateral (Haines, 2021; Nolte, 2019).

Aferencia

En esta región terminan las fibras de la **radiación auditiva**, procedentes del **núcleo geniculado medial del tálamo**, las cuales mantienen una organización **tonotópica** altamente precisa:

- Los **tonos agudos** se representan en la región **medial**.
- Los **tonos graves** se representan en la región **lateral**.

Esta disposición retiene la organización coclear inicial (Snell, 2019).

Función

La corteza auditiva primaria participa en:

- La detección básica de **frecuencias**.
- La localización espacial del sonido.
- El análisis inicial de la intensidad y ritmo auditivo.

La información procesada aquí se proyecta posteriormente hacia áreas auditivas de asociación (áreas 22 y 42) para una interpretación más compleja (Nolte, 2019).

Respuesta a la estimulación

La estimulación eléctrica de esta región puede generar **sensaciones auditivas simples**, como zumbidos, golpeteos o acúfenos.

Lesiones

El daño en el área 41 puede causar:

- Dificultad para localizar el origen del sonido.
- Disminución de la audición (hipoacusia).
- En casos bilaterales, puede presentarse acusia cortical.

Área auditiva secundaria (Áreas 22 y 42 de Brodmann)

Las áreas 22 y 42 constituyen la **corteza auditiva de asociación**.

Localización

- **Área 22**: parte media de la circunvolución temporal superior.
- **Área 42**: región adyacente a la corteza auditiva primaria en las circunvoluciones transversales de Heschl (Haines, 2021).

Función

Estas regiones integran y procesan la información auditiva proveniente del área 41, permitiendo:

- La **interpretación del lenguaje hablado**.
- El reconocimiento de patrones sonoros complejos.
- La asociación auditiva con contenido lingüístico y emocional.

El área 22 forma parte del **área de Wernicke**, fundamental para la comprensión del lenguaje (Nolte, 2019).

Lesiones

El daño en el área 22 del hemisferio dominante produce **sordera verbal** o **afasia sensorial**, donde el individuo:

- Escucha sonidos y conversaciones.
- Pero **no comprende** el significado de las palabras.

Área olfatoria primaria

La corteza olfatoria primaria se localiza en el **rinencéfalo**, especialmente en la punta del lóbulo temporal, y guarda estrecha relación funcional con el sistema límbico (Snell, 2019).

Estructuras constituyentes

Incluye dos componentes principales:

1. Lóbulo piriforme

- Uncus
- Cuerpo de la circunvolución parahipocámpica
- Corteza entorrinal (área 28 de Brodmann)

2. Corteza piriforme

- Corteza prepiriforme
- Región periamigdalina
- Área entorrinal

Funciones

- Procesamiento primario del olfato.
- Asociación olfativa con memoria y emociones.
- Integración olfatoria-límbica.

La estimulación o irritación de esta región puede provocar:

- **Alucinaciones olfatorias desagradables** (uncinadas).
- Evocación de recuerdos auditivos, visuales o afectivos, especialmente en lesiones o tumores temporales. Este fenómeno es característico de las **crisis temporales parciales** (Haines, 2021).

Área del gusto (Área 43 de Brodmann)

El área gustativa primaria se sitúa en el **opérculo parietal**, específicamente en la porción inferior de la circunvolución poscentral (Snell, 2019).

Función

Es el **centro cortical del gusto**, donde se hace consciente la sensibilidad gustativa.

Aferencia

Recibe fibras del **núcleo ventral posterior del tálamo**, que transmiten la información gustativa previamente relevada en el **fascículo solitario**.

Estimulación

Su activación genera **alucinaciones gustativas**.

Lesiones

El daño en esta región puede producir:

- **Disgeusia** (alteración del gusto).
- **Ageusia** (pérdida completa del gusto).

Corteza vestibular

Los estudios neurofuncionales sugieren que la corteza vestibular se ubica principalmente en la **porción posterior de la ínsula** o **ínsula de Reil**, y en áreas adyacentes del opérculo parietal (Nolte, 2019).

Función

Participa en:

- La **percepción del equilibrio**.
- La integración vestibular somatosensorial.
- La orientación espacial del cuerpo.

Aunque su delimitación exacta continúa en estudio, se reconoce su participación en la integración multisensorial para mantener la postura y la coordinación motora.

Dominancia cerebral

La dominancia cerebral —también denominada lateralización funcional— se refiere a la especialización asimétrica de los hemisferios cerebrales en determinadas funciones cognitivas y motoras. Aunque morfológicamente los hemisferios izquierdo y derecho son muy semejantes, existen asimetrías funcionales bien establecidas: un hemisferio suele asumir el

control preferente de funciones como el lenguaje o la percepción espacial (Nolte, 2019; Haines, 2021).

Relación entre lateralidad manual y hemisferio dominante

La **lateralidad manual** (diestra / zurda) guarda una correlación, pero no una identidad absoluta, con la dominancia cerebral. En la mayoría de los adultos (aproximadamente el 90 %) la mano preferida es la derecha; en estos individuos el hemisferio **izquierdo** suele ser el dominante para la producción y comprensión del lenguaje. En sujetos zurdos la lateralización del lenguaje es más variable y puede localizarse en el hemisferio izquierdo, en el derecho o ser bilateral (Nolte, 2019; Snell, 2019).

Esta asociación parcial se explica en parte por la organización contralateral de muchas vías motoras: los tractos corticoespinales nacen en la corteza motora de un hemisferio y, tras su decusación, controlan el hemicuerpo opuesto. No obstante, la simple contralateralidad motora no determina por sí misma la localización del lenguaje, que resulta de una compleja interacción entre factores genéticos, ontogenéticos y de desarrollo (Haines, 2021).

Lateralización del lenguaje y examen morfológico

Los **centros corticales del lenguaje** (por ejemplo, áreas de Broca y Wernicke y sus áreas de asociación) suelen localizarse predominantemente en el hemisferio dominante. Macroscópicamente, ciertas estructuras asociadas al lenguaje —como el giro angular (área 39 de Brodmann) y otros componentes perisilvianos— tienden a presentar asimetrías mayores en el hemisferio dominante (Standring, 2021). Estudios anatómicos y por imagen muestran que, en promedio, las regiones perisilvianas del hemisferio izquierdo son algo más voluminosas en sujetos con lateralización del lenguaje hacia la izquierda (Nolte, 2019).

Ontogenia y plasticidad

La lateralización funcional se desarrolla durante la infancia. En neonatos ambos hemisferios muestran capacidades similares; con el crecimiento y la experiencia, uno de los hemisferios suele predominar para funciones específicas (por ejemplo, el lenguaje). La **plasticidad cerebral** en edades tempranas permite que, tras una lesión hemisférica precoz (p. ej., antes de los 5 años), el hemisferio contralateral pueda asumir funciones que normalmente se localizan en el hemisferio lesionado (por ejemplo, el lenguaje o la destreza manual). Esa

sustitución funcional es mucho más limitada cuando la lesión ocurre en la edad adulta (Haines, 2021; Snell, 2019).

Evidencia neuroanatómica y neurofisiológica

- Estudios morfológicos y tractográficos han documentado una mayor densidad de axones en algunos tractos corticoespinales del lado izquierdo en neonatos, lo que podría contribuir a la posterior asimetría funcional observada en adultos diestros.

- Investigaciones de neuroimagen funcional muestran que, en la población general, la **lateralización del lenguaje** es predominantemente izquierda en la mayoría de los diestros y en una proporción considerable de zurdos, si bien la variabilidad interindividual es significativa (Nolte, 2019; Haines, 2021).

Implicaciones clínicas

La lateralización tiene relevancia clínica: la localización del lenguaje es determinante en la planificación de cirugías cerebrales (p. ej., resecciones temporales) y en el pronóstico de recuperación tras lesiones focales. La evaluación de la dominancia hemisférica (por ejemplo, mediante técnicas como la resonancia funcional o el procedimiento de Wada) informa decisiones terapéuticas y rehabilitadoras (Standring, 2021).

Rasgos característicos asociados (resumen funcional)

A continuación se presentan, de forma sintética, las características clásicamente atribuidas al **hemisferio dominante** y al **hemisferio no dominante**. Estas descripciones son generales y existen muchas excepciones individuales.

Hemisferio dominante (típicamente izquierdo en la mayoría de los individuos diestras):

- Conexión con la consciencia y el lenguaje articulado (centros perisilvianos).
- Dominio verbal y lingüístico (producción y comprensión).
- Procesos ideativos y secuenciación temporal.
- Análisis detallado y procesamiento lógico, aritmético y computacional.
- Representaciones conceptuales y categoriales.
- *(Nolte, 2019; Haines, 2021)*

Hemisferio no dominante (típicamente derecho):

- Participación en procesos no verbales y visuo-espaciales.
- Percepción espacial, reconocimiento de rostros y evaluación de la prosodia y la música.
- Procesamiento holístico, sintético y pictórico.
- Reconocimiento de formas, relaciones geométricas y orientación espacial.
- *(Nolte, 2019; Snell, 2019)*

Estas descripciones son esquemáticas: la mayoría de las funciones cognitivas implican redes bilaterales y cooperación interhemisférica a través del cuerpo calloso; la lateralización es mejor entenderla como una *preferencia funcional* más que una exclusión absoluta de un hemisferio (Haines, 2021).

Polígono de Grasset

El **polígono de Grasset** es un sistema funcional cortical que integra los principales centros superiores del lenguaje junto con la **corteza prefrontal** (área 10 de Brodmann). Esta red cortical coordina la recepción, procesamiento y emisión del lenguaje en sus modalidades motoras y sensitivas, articulando la comunicación entre los centros de Broca, de Wernicke y la corteza prefrontal (Nolte, 2019; Haines, 2021).

Centros corticales del lenguaje

Los centros superiores del lenguaje se clasifican según su función en **lenguaje motor** (escrito y articulado) y **lenguaje sensitivo** (auditivo y óptico), cada uno de los cuales depende de áreas corticales especializadas (Standring, 2021; Snell, 2019).

Lenguaje motor

Incluye las áreas encargadas de la producción del lenguaje, tanto oral como escrito.

a) Centro cortical del lenguaje articulado (Áreas 44 y 45 de Brodmann)

- **Localización:** Operculo frontal (área 44) y región triangular (área 45).
- **Función:** Producción del lenguaje hablado; participa en la programación motora del habla.

- **Lesiones:** Originan **afasia motora o de Broca**, caracterizada por dificultad para articular palabras con preservación relativa de la comprensión (Nolte, 2019).

b) Centro cortical del lenguaje escrito (Área 8 de Brodmann)

- **Localización:** Pie de la circunvolución frontal media.
- **Función:** Coordinación motora de la escritura.
- **Lesiones:** Producen **agrafia**, con incapacidad para escribir pese a la conservación de la visión y audición (Haines, 2021).

Ambos constituyen los **centros motores del lenguaje**, tradicionalmente agrupados bajo el nombre de "centros de Broca".

Lenguaje sensitivo

Incluye los centros responsables de la percepción auditiva y visual del lenguaje.

a) Centro cortical del lenguaje auditivo (Área 22 de Brodmann)

- **Localización:** Región media de la circunvolución temporal superior.
- **Función:** Comprensión del lenguaje hablado; constituye el núcleo de la **área de Wernicke**.
- **Conexiones:** Se comunica con el área de Broca mediante el **fascículo longitudinal superior** (arcuato).
- **Lesiones:** Producen **afasia sensitiva o de Wernicke**, caracterizada por discurso fluido pero sin significado y ausencia de comprensión verbal (Snell, 2019).

b) Centro cortical del lenguaje óptico (Área 39 de Brodmann)

- **Localización:** Giro angular del lóbulo parietal inferior.
- **Función:** Comprensión del lenguaje escrito.
- **Conexiones:** Se articula con el área de Broca a través del fascículo longitudinal superior.
- **Lesiones:** Producen **ceguera verbal**, con incapacidad para interpretar lo leído y deterioro en la producción escrita (Nolte, 2019).

Estos dos centros conforman los **centros sensitivos del lenguaje** o **centros de Wernicke**.

Tipos de afasia

- **Afasias motoras:**
  - Anartria / disartria: alteración en la emisión verbal.
  - Agrafia: imposibilidad de escribir.
- **Afasias sensitivas:**
  - Sordera verbal: incapacidad para comprender el lenguaje hablado.
  - Ceguera verbal: incapacidad para comprender el lenguaje escrito.
  - (Haines, 2021; Snell, 2019)

Corteza prefrontal (Área 10 de Brodmann): Centro integrador del polígono

La **corteza prefrontal**, especialmente el área 10, actúa como centro regulador y modulador del polígono de Grasset. Es responsable de integrar la información sensorial proveniente de los centros sensitivos y dirigirla hacia los centros motores del lenguaje según la necesidad comunicativa (Standring, 2021).

Su papel esencial radica en:

- La **planificación lingüística**,
- La toma de decisiones comunicativas,
- El control voluntario o automático del habla y la escritura,
- La integración multimodal del lenguaje.

Mecanismo funcional (ejemplo didáctico)

1. La información escrita es captada por la vía óptica y transmitida al **centro cortical del lenguaje óptico** (área 39).
2. Desde allí, la información pasa a la **corteza prefrontal (área 10)**, donde se integra y se decide la respuesta lingüística.
3. La corteza prefrontal envía la orden al centro motor correspondiente:

- **Área 44–45** si la respuesta es hablada,
- **Área 8** si la respuesta es escrita.

4. Finalmente, se activa la producción articulada o gráfica del lenguaje.

Este sistema jerárquico explica por qué lesiones prefrontales afectan la organización del lenguaje incluso cuando los centros motores y sensitivos permanecen indemnes.

Vía Óptica

La **vía óptica** constituye el conjunto de estructuras neuronales que permiten transformar la energía lumínica en una percepción visual consciente. Este sistema inicia en la retina y culmina en la corteza visual primaria, ubicada en la región pericalcarina del lóbulo occipital (Nolte, 2019; Haines, 2021).

Organización general de la vía óptica

El estímulo visual es captado por los **fotorreceptores retinianos** (conos y bastones). Estas células establecen sinapsis con las **neuronas bipolares**, que constituyen la primera estación de procesamiento sináptico. Posteriormente, las bipolares sinaptan con las **neuronas ganglionares**, configurando la segunda estación de la vía visual (Snell, 2019).

Los axones de las células ganglionares convergen hacia la papila óptica, formando el **nervio óptico (II par craneal)**. Al llegar al nivel del hipotálamo, los nervios ópticos se decusan parcialmente en el **quiasma óptico**, donde las fibras procedentes de las hemirretinas nasales cruzan hacia el lado opuesto. Desde el quiasma emergen las **cintillas ópticas**, que conducen la información hacia:

- El **cuerpo geniculado lateral (CGL)** del tálamo, principal relevo visual, y
- El **colículo superior**, a través del **brazo conjuntival superior**, en menor proporción (Haines, 2021; Standring, 2021).

Estas estructuras constituyen la **tercera estación** de la vía óptica.

Desde el CGL se originan las fibras del **fascículo geniculocalcarino**, conocido también como **radiación óptica de Gratiolet**, que se proyectan hacia la corteza visual primaria (área 17 de

Brodmann) situada alrededor de la cisura calcarina. En esta región se hace consciente el estímulo visual y se inicia el análisis detallado de la información (Nolte, 2019).

Campos ópticos

El sistema visual funciona mediante la interacción de dos tipos de campos:

Campos visuales

- Nasal (interno)
- Temporal (externo)

Campos retinianos

- Nasal (interno)
- Temporal (externo)

Entre ambos se interpone el **cristalino**, el cual invierte la imagen. Por ello:

- La **retina nasal** percibe el **campo visual temporal**.
- La **retina temporal** percibe el **campo visual nasal** (Haines, 2021).

Función de cada hemirretina

A. Campo retiniano temporal

- Percibe el campo visual nasal ipsilateral.
- Sus fibras **no decusan**.
- Transcurren por el nervio óptico, el quiasma (sin cruzar) y la cintilla óptica del mismo lado.
- Proyectan al CGL y colículo superior ipsilaterales, desde donde alcanzan el área 17 a través de la radiación óptica homolateral.

B. Campo retiniano nasal

- Percibe el campo visual temporal contralateral.
- Sus fibras **decusan completamente en el quiasma óptico**.

- Emergen por la cintilla óptica contralateral.
- Alcanzan el CGL y colículo superior del lado opuesto y, posteriormente, el área 17 del hemisferio contralateral.

La **única porción que se entrecruza en el quiasma óptico** corresponde a las fibras de las hemirretinas nasales (Nolte, 2019).

Lesiones de la vía óptica

La localización de la lesión determina el tipo de defecto campimétrico:

- **Lesión:** Nervio óptico.

Resultado: Ceguera total ipsilateral

- **Lesión:** Rodilla de Willbrand

Resultado: Escotoma ipsilateral + cuadrantanopsia superior contralateral

- **Lesión:** Centro del quiasma óptico

Resultado: Hemianopsia heterónima bitemporal

- **Lesión:** Cintilla óptica

Resultado: Hemianopsia homónima contralateral

- **Lesión:** Radiación óptica (porción externa)

Resultado: Cuadrantanopsia superior contralateral

- **Lesión:** Radiación óptica (porción interna)

Resultado: Cuadrantanopsia inferior contralateral

- **Lesión:** Corteza occipital

Resultado: Hemianopsia homónima contralateral

- **Lesión:** Área 17 (lesión parcial respetando polo occipital)

Resultado: Hemianopsia con preservación macular

Vía Olfatoria

La **vía olfatoria** constituye un sistema sensorial particular, ya que es el único que alcanza directamente la corteza cerebral sin relevo talámico previo. Su organización estructural permite la detección, integración y percepción consciente de los estímulos odoríferos, vinculándose estrechamente con circuitos emocionales y mnésicos del sistema límbico (Haines, 2021; Nolte, 2019).

Receptores olfatorios y primera neurona

El proceso inicia en los **quimiorreceptores olfatorios**, también llamados **neuronas bipolares de Schulze**, ubicados en la **mucosa olfatoria** o *pituitaria amarilla*, localizada en la porción posterosuperior de las fosas nasales. Estas neuronas poseen:

- Un extremo periférico dotado de **3 a 6 cilios delgados**, esenciales para la transducción química.
- Un extremo central cuyos axones, delgados y **amielínicos**, se agrupan formando pequeños fascículos que constituyen el **nervio olfatorio (I par craneal)** (Snell, 2019).

Los filetes olfatorios atraviesan la **lámina cribosa del etmoides**, alcanzando el **bulbo olfatorio**, donde forman la primera sinapsis.

Bulbo olfatorio y glomérulos olfatorios

En el bulbo olfatorio, las fibras del nervio olfatorio sinaptan con las dendritas de:

- **Células mitrales**
- **Células en penacho**

Estas conexiones, junto con interneuronas granulares y periglomerulares, conforman los **glomérulos olfatorios**, primera estructura integradora del estímulo (Standring, 2021).

Los **axones de las células mitrales y en penacho** convergen para formar la **cintilla olfatoria**. En su trayecto, esta cintilla contiene neuronas del **núcleo olfatorio anterior**, con el cual sinapta. Desde aquí parte una proyección comisural que cruza la **comisura blanca anterior**, alcanzando el bulbo olfatorio contralateral. Este circuito constituye el denominado **"arco olfatorio"**, que permite la modulación bilateral del olfato (Nolte, 2019).

División de la cintilla olfatoria

Al llegar al **trígono olfatorio**, en el extremo posterior del surco olfatorio, la cintilla se divide en:

1. **Estría olfatoria medial**
2. **Estría olfatoria lateral**
3. **Estría olfatoria intermedia**

Estría olfatoria medial

Se dirige hacia la **área septal**, integrada anatómicamente por: Circunvolución subcallosa, paraterminal. Mediante estas conexiones, la estría medial participa en la integración olfativa con el **sistema límbico**, generando respuestas emocionales asociadas al placer, la motivación o la aversión (Haines, 2021).

Aferencias del área septal

- Fornix (desde el hipocampo)
- Estría terminal (desde la amígdala)
- Formación reticular mesencefálica

Eferencias del área septal

- Banda diagonal de Broca → amígdala
- Estría medular → epitálamo
- Fascículo prosencefálico medial → hipotálamo

La **comisura blanca anterior** refuerza este circuito al permitir la integración bilateral entre los bulbos olfatorios.

Estría olfatoria intermedia

Se proyecta hacia la **sustancia perforada anterior**, donde se encuentra el **tubérculo olfatorio**, más prominente en vertebrados inferiores y relacionado con funciones motivacionales y de recompensa.

Estría olfatoria lateral

Es la vía principal de la percepción olfatoria consciente. Sus fibras se dirigen hacia la **corteza olfatoria primaria**, formada por:

- **Área prepiriforme**
- **Área periamigdalina**

Desde aquí, las proyecciones alcanzan la **región entorrinal (área 28 de Brodmann)**, considerada la **corteza olfatoria secundaria**, situada en la **circunvolución parahipocampal** (Nolte, 2019). La región entorrinal no recibe fibras directas de la estría lateral; su activación depende de las proyecciones de las áreas primarias.

Lóbulo piriforme

El **lóbulo piriforme** recibe este nombre por su forma similar a una pera en vertebrados inferiores. Está compuesto por:

- Estría olfatoria lateral
- Uncus
- Cuerpo de la circunvolución parahipocampal

Se divide en tres porciones funcionales:

- **Área prepiriforme**
  - Zona receptora directa de la estría olfatoria lateral
  - Forma la circunvolución olfatoria externa
- **Área periamigdalina**
  - Parte dorsorrostal del complejo amigdalino
  - Relacionada con la vía olfatoria externa
- **Área entorrinal (área 28 de Brodmann)**
  - Ubicada detrás del cuerpo de la circunvolución parahipocampal
  - Integración olfativa con memoria y emociones

- Puerta de entrada esencial al hipocampo

El sistema límbico

El sistema límbico, históricamente denominado *cerebro emocional* o *sistema visceral*, constituye un conjunto de estructuras corticales y subcorticales interconectadas que modulan la conducta emocional, los instintos, la memoria, la motivación y diversas funciones homeostáticas esenciales para la supervivencia del individuo y de la especie (Nolte, 2020; Haines, 2019). Lejos de ser una unidad anatómica homogénea, se trata de una red funcional que integra áreas telencefálicas, diencefálicas y del tronco encefálico.

Desde el punto de vista anatómico, su representación macroscópica principal es el **lóbulo límbico**, cuya corteza —denominada *yuxtacorteza* o *mesocorteza*— constituye una región de transición entre la neocorteza y la alocorteza. Esta corteza transicional comprende un grupo extenso de áreas de Brodmann: 23–25, 26–28, 29–33 y 34–38 (Afifi & Bergman, 2005). Su función se expresa gracias a un conjunto de vías de asociación que integran las principales estructuras del sistema límbico, entre las que destacan el **cíngulo**, el **fornix**, la **estría terminal** y la **estría medular del tálamo**.

En conjunto, estas estructuras regulan funciones esenciales como:

- La conducta emocional y afectiva.
- La motivación y los impulsos instintivos.
- El miedo, la agresión y la respuesta de supervivencia.
- El comportamiento sexual y reproductivo.
- La alimentación y la ingesta.
- La memoria y el aprendizaje.
- La integración autonómica y endocrina (Blumenfeld, 2022).

Estructuras que conforman el sistema límbico.

Lóbulo Límbico

El lóbulo límbico incluye la circunvolución del cíngulo, el istmo, la circunvolución parahipocampal y el uncus. Su corteza mantiene una relación estrecha con la neocorteza, lo

que permite modular y, en cierta medida, controlar las respuestas emocionales ante situaciones sociales o ambientales (Snell, 2019).

La **corteza prefrontal** principalmente las áreas 9, 12 y 10 de Brodmann, no se considera formalmente parte del sistema límbico, pero posee abundantes conexiones recíprocas con estructuras límbicas, lo que la convierte en un modulador esencial de la conducta emocional y ejecutiva (Blumenfeld, 2022). Este rol integrador le ha otorgado el calificativo funcional de *regulador* o "gestor" emocional. Asimismo, la **región entorrinal** (área 28 de Brodmann), estrechamente vinculada al rinencéfalo, constituye la principal puerta de entrada cortical hacia la formación hipocampal.

Área Septal

El área septal, ubicada por debajo de la región subcallosa, presenta conexiones directas con la comisura blanca anterior, el área preóptica lateral y la lámina terminal del hipotálamo. Comprende:

- **Circunvolución subcallosa**.
- **Circunvolución paraterminal**.

En su interior se localizan el **núcleo septal medial** y el **núcleo septal lateral**, conectados respectivamente con la banda diagonal de Broca y con la comisura blanca anterior. Esta región participa en la modulación del tono emocional, la recompensa y ciertas conductas motivacionales gracias a su interacción con el hipotálamo, el hipocampo y la amígdala (Nolte, 2020).

Tálamo

Los núcleos talámicos con función límbica destacan por su participación en el procesamiento emocional y en los circuitos de memoria.

- **Núcleo anterior del tálamo**: clave en el circuito de Papez, recibe aferencias del fornix y proyecta hacia la circunvolución del cíngulo (Haines, 2019).
- **Núcleo dorsomedial**: mantiene conexiones recíprocas con la corteza prefrontal y participa en funciones afectivas y cognitivas superiores.

Epitálamo

- **Núcleo Habenular**

El núcleo habenular, compuesto por grupos medial y lateral, actúa como un centro integrador para respuestas emocionales y viscerales. Recibe fibras de la estría medular del tálamo y proyecta al núcleo interpeduncular mediante el fascículo retroflejo de Meynert (Afifi & Bergman, 2005).

- **Glándula Pineal**

La glándula pineal es una estructura endocrina que secreta melatonina y participa en la regulación de los ritmos circadianos. Se ubica entre los colículos superiores y se fija al techo del tercer ventrículo por las comisuras habenular y posterior (Haines, 2019). Su disfunción puede producir pinealomas que cursan con síndrome de Parinaud.

Hipotálamo

El hipotálamo es uno de los centros más importantes del sistema límbico. Regula la ingesta, la sed, la conducta sexual, la termorregulación, la respuesta al estrés y la actividad autonómica y endocrina. Se comunica con estructuras límbicas a través del fornix, la estría terminal, el fascículo prosencefálico medial, el pedúnculo mamilar y múltiples conexiones corticales (Blumenfeld, 2022).

Núcleo Accumbens

El núcleo accumbens, situado en la región ventral del cuerpo estriado, forma parte del sistema dopaminérgico mesolímbico. Participa en la motivación, la recompensa, la adicción y la conducta asociada al placer. Se relaciona estrechamente con la amígdala, el hipotálamo y la corteza prefrontal (Nolte, 2020).

Formación del Hipocampo

La formación hipocampal incluye:

- **Hipocampo o asta de Amón**.
- **Fascia dentada**.
- **Subículo** (añadido según la literatura actual, no mencionado originalmente).

Es fundamental para la memoria declarativa, la consolidación mnésica, la orientación espacial y ciertos aspectos de la conducta motivacional. Sus principales eferencias viajan a través del **fornix** hacia los cuerpos mamilares y el septum, integrando el circuito clásico de Papez (Haines, 2019).

Complejo Amigdalino

La amígdala es un conjunto de núcleos ubicado en el polo temporal medial. Está organizado en grupos **corticomedial** y **basolateral**, vinculados respectivamente al olfato y a la evaluación emocional de los estímulos sensoriales. Participa en el miedo, la agresión, la memoria emocional y la conducta social (Blumenfeld, 2022; Nolte, 2020).

Formación Reticular

La formación reticular del tronco encefálico es una red de núcleos filogenéticamente antigua responsable de regular el nivel de conciencia, el ciclo sueño–vigilia, la atención y la modulación del dolor.

Dos sistemas destacan en relación con el sistema límbico:

- **Fascículo retículotalámico**: vía sensorial inespecífica que modula el ingreso de la información somatosensorial.
- **Sistema Activador Reticular Ascendente (SARA)**: estructura clave para mantener el estado de vigilia, mediante neurotransmisores como la dopamina y la serotonina (Blumenfeld, 2022).

Circulación encefálica

La irrigación del encéfalo está asegurada por dos grandes sistemas arteriales: el **sistema vertebrobasilar** y el **sistema carotídeo interno**, los cuales penetran la cavidad craneal y se distribuyen mediante ramas colaterales y terminales que garantizan la perfusión de todas las estructuras encefálicas. La interacción entre ambos sistemas da lugar al **polígono arterial de Willis**, una red anastomótica crítica para la autorregulación y la suplencia vascular encefálica (Haines, 2019; Blumenfeld, 2022).

1. Arterias Vertebrales

Las arterias vertebrales tienen su origen en la primera porción de la arteria subclavia a nivel de la sexta vértebra cervical. Ascienden a través de los forámenes transversos de las vértebras cervicales y, tras emerger en el atlas, perforan la duramadre para ingresar a la cavidad craneal mediante el foramen magno. En la cara ventral del bulbo raquídeo, a nivel del foramen cecum, ambas arterias se fusionan para formar la **arteria basilar**, su rama terminal (Nolte, 2020).

1.1. Ramas colaterales de la arteria vertebral

- **Rama meníngea posterior**.
- **Arterias espinales anterior y posterior**, que contribuyen a la irrigación de la médula espinal.
- **Arteria cerebelosa posteroinferior (PICA)**: una de las ramas más relevantes por su distribución sobre la cara inferior del cerebelo, el flóculo, el plexo coroideo del cuarto ventrículo y la superficie lateral del bulbo. Su oclusión produce el **síndrome bulbar lateral de Wallenberg** (Haines, 2019).

2. Arteria Basilar

La arteria basilar discurre por el surco basilar de la cara anterior de la protuberancia. Asciende hasta alcanzar el surco pontino superior, donde se bifurca en sus dos ramas terminales: las **arterias cerebrales posteriores**.

2.1. Ramas colaterales de la arteria basilar

- **Ramas pontinas**: irrigan la protuberancia.
- **Arteria laberíntica (auditiva interna)**: penetra el conducto auditivo interno e irriga el oído interno.
- **Arteria cerebelosa anteroinferior (AICA)**: irriga la región anteroinferior del cerebelo y parte del puente.
- **Arteria cerebelosa superior**: rodea el mesencéfalo y perfunde la cara superior del cerebelo.

- Ramas perforantes que atraviesan la **sustancia perforada posterior** e irrigan el diencéfalo ventrolateral (Snell, 2019).

3. Arteria Cerebral Posterior

La arteria cerebral posterior (ACP), rama terminal de la basilar, rodea los pedúnculos cerebrales y alcanza la cara medial del hemisferio cerebral, ubicándose en la cisura calcarina del lóbulo occipital. Emite como ramas terminales la **arteria parietooccipital** y la **arteria calcarina**, encargadas de irrigar la corteza visual primaria (área 17 de Brodmann) (Blumenfeld, 2022).

Durante su trayecto, la ACP proporciona ramas que irrigan:

- La cara medial y basal del lóbulo occipital.
- La corteza visual.
- La cara medial del lóbulo temporal (excepto el polo temporal).

La anastomosis entre la ACP y la arteria comunicante posterior contribuye a la conformación del Polígono de Willis.

4. Arteria Carótida Interna

La arteria carótida interna (ACI) nace de la bifurcación de la carótida primitiva en el cuello. Tras ascender, penetra el conducto carotídeo y se sitúa en el seno cavernoso, donde emite ramas meníngeas, hipofisiarias inferiores y ramas para los nervios craneales III, IV, V y VI. Posteriormente atraviesa el foramen lacerum (agujero rasgado anterior) y, antes de entrar a la cavidad craneal, desprende la **arteria oftálmica**, que origina la **arteria central de la retina**.

Al llegar al espacio perforado anterior, la ACI se divide en **tres ramas colaterales** y **dos terminales** (Nolte, 2020; Haines, 2019).

4.1. Ramas colaterales de la carótida interna

a) Arteria comunicante posterior

Conecta la ACI con la arteria cerebral posterior. Sus ramas perforantes irrigan:

- Quiasma óptico.

- Región hipotalámica.
- Tuber cinereum.
- Núcleo lateral del tálamo.
- Porción anterior de los pedúnculos cerebrales.
- Núcleo subtalámico (cuerpo de Luys).
- Campos de Forel.
- Parte del brazo posterior de la cápsula interna.

b) Arteria coroidea anterior

Penetra el cuerno esfenoidal del ventrículo lateral e irriga:

- Plexo coroideo.
- Hipocampo (Asta de Amón).
- Complejo amigdalino.
- Parte del núcleo lenticular.
- Cintilla óptica.
- Porción inicial de la radiación óptica.
- Parte del brazo posterior de la cápsula interna (Haines, 2019).

c) Arteria hipofisiaria superior

Irriga el tallo hipofisario y el lóbulo anterior de la hipófisis.

5. Ramas terminales de la carótida interna

5.1. Arteria Cerebral Anterior (ACA)

Es la menor de las dos ramas terminales. Avanza en sentido medial y rostral hacia la cisura longitudinal del cerebro, rodea la rodilla del cuerpo calloso y continúa como **arteria pericallosa**, que irriga la cara medial de los lóbulos frontal y parietal.

Entre sus ramas colaterales más importantes se encuentran:

- **Arteria orbitaria**: irriga el lóbulo orbitario.
- **Arteria frontopolar**: irriga el polo frontal.
- **Arteria callosomarginal**: irriga la precuña.
- **Arteria paracentral**: irriga el lobulillo paracentral.
- Ramas basales que irrigan el núcleo caudado anterior, parte del putamen y del brazo anterior de la cápsula interna, así como el cuerpo calloso y estructuras olfatorias (Snell, 2019).

Polígono arterial de Willis

El **polígono arterial de Willis**, también denominado *círculo arterial del cerebro*, es una importante red anastomótica localizada en la base del encéfalo. Está constituido por las ramas principales de los sistemas **carotídeo interno** y **vertebrobasilar**, junto con sus arterias comunicantes. Su disposición geométrica cerrada —descrita como un pentágono o hexágono arterial— permite mantener una circulación colateral efectiva en caso de obstrucción de alguno de sus componentes, preservando así la perfusión cerebral (Haines, 2019; Snell, 2019).

El polígono está formado por:

- Arterias cerebrales anteriores derechas e izquierdas.
- Arteria comunicante anterior.
- Arterias carótidas internas.
- Arterias comunicantes posteriores.
- Arterias cerebrales posteriores.

Esta disposición favorece la redistribución del flujo sanguíneo y constituye una de las principales vías compensatorias ante fenómenos de estenosis u oclusión arterial (Nolte, 2020; Blumenfeld, 2022).

Arteria cerebral media (ACM) o arteria Silviana

La **arteria cerebral media** es la **rama terminal mayor** de la arteria carótida interna. Tras su origen, describe un trayecto lateral hacia el polo temporal e ingresa en la cisura lateral (cisura de Silvio), discurriendo entre los lóbulos frontal, parietal y temporal. Durante su recorrido

emite **ramas centrales (profundas)** y **ramas corticales (superficiales)**, las cuales irrigan zonas funcionalmente críticas del encéfalo (Gray et al., 2022).

En la región del *gyrus angular*, la ACM emite su **rama terminal**, la **arteria angular**, encargada de irrigar el área 39 de Brodmann.

1. Ramas centrales o perforantes (basales)

Las ramas centrales nacen cerca del origen de la ACM y penetran a través de la **sustancia perforada anterior**. Irrigan estructuras profundas como el **cuerpo estriado**, la **cápsula interna** y porciones del **tálamo**. Estas ramas son:

- **Arterias lenticulares**.
- **Arterias lenticuloópticas**.
- **Arterias lenticuloestriadas**.

Estas arterias son clínicamente conocidas como **"arterias de la hemorragia cerebral"**, dado que su ruptura —frecuentemente asociada a hipertensión arterial— origina hemorragias o infartos lacunares (Snell, 2019; Haines, 2019).

Irrigan:

- Núcleo lenticular.
- Parte del brazo anterior y posterior de la cápsula interna.
- Cabeza del núcleo caudado.
- Regiones del tálamo.

2. Ramas corticales

Discurren en la piamadre, siguiendo ambos labios de la cisura de Silvio. Irrigan áreas relacionadas con el **lenguaje**, la **audición**, la **función motora** y las **áreas somatosensitivas primarias y secundarias**:

- **Arteria orbitofrontal**: para la base del lóbulo frontal.
- **Arteria frontal inferior**: para la cara lateral del lóbulo frontal.
- **Arteria prerrolándica**: localizada en el surco prerrolándico.

- **Arteria rolándica**: situada a nivel de la cisura central.
- **Arteria postrolándica o parietal anterior**: en el surco postcentral.
- **Arteria parietal posterior**: en el surco intraparietal.
- **Arteria temporal anterior**.
- **Arteria temporal posterior**: irriga el área 22 de Brodmann (área auditiva secundaria).

Drenaje venoso del encéfalo

Las venas cerebrales se caracterizan por poseer **paredes delgadas**, un **diámetro amplio** y un patrón de drenaje altamente anastomótico. A diferencia de las arterias, se localizan en la **superficie de las circunvoluciones cerebrales**. El drenaje venoso se organiza en dos sistemas: **venas superficiales** y **venas profundas** (Afifi & Bergman, 2005).

Venas superficiales

Drenan la corteza cerebral y se dividen en dorsolaterales, mediales y basales.

1. Venas superficiales dorsolaterales

Ubicadas en la superficie dorsolateral del hemisferio cerebral.

- **Venas ascendentes** → drenan en el seno longitudinal superior.
- **Venas descendentes** → drenan en senos venosos de la base del cráneo.

Vena cerebral media superficial

Discurre por la cisura de Silvio y desemboca en el seno cavernoso o esfenopalatino.

Sus tributarias son:

- **Vena anastomótica superior (de Trolard)**: comunica la vena cerebral media superficial con el seno longitudinal superior.
- **Vena anastomótica inferior (de Labbé)**: conecta la vena cerebral media superficial con el seno transverso.

2. Venas superficiales mediales

También se organizan en:

- **Ascendentes** → drenan en el seno longitudinal superior.
- **Descendentes** → drenan en el seno longitudinal inferior o en la vena de Galeno.

3. Venas superficiales basales

Incluyen un grupo anterior que drena el lóbulo orbitario y desemboca en el seno longitudinal superior, y un grupo posterior que drena hacia el seno lateral.

- **Vena occipital**: drena la cara medial y basal del lóbulo occipital hacia la vena de Galeno.
- **Vena cerebral media profunda**: ubicada en profundidad de la cisura de Silvio, drena la ínsula hacia la vena basal.
- **Vena cerebral anterior**: sigue el trayecto de la arteria homónima y desemboca en la vena basal.

Venas profundas

1. Vena cerebral interna

Es la vena profunda más relevante. Dos venas cerebrales internas discurren entre las hojas de la tela coroidea superior y se unen por debajo del rodete del cuerpo calloso para formar la **gran vena cerebral de Galeno**.

Cada vena cerebral interna se origina a partir de la unión de:

- **Vena terminal**.
- **Vena estriada (o del septum pellucidum)**.
- **Vena coroidea**.

2. Vena basal de Rosenthal

Se extiende desde la sustancia perforada anterior hasta converger con la vena de Galeno. Se forma mediante la unión de:

- **Vena cerebral media profunda**.
- **Vena cerebral anterior**.

Su trayecto continúa por debajo del rodete del cuerpo calloso. Antes de unirse a la gran vena cerebral de Galeno, recibe con frecuencia afluentes de la vena cerebral interna.

Las dos venas basales se comunican mediante venas transversales anterior y posterior, configurando un **polígono venoso** que guarda relación funcional con el polígono arterial de Willis (Haines, 2019).

REFERENCIAS

Afifi, A. K., & Bergman, R. A. (2005). *Neuroanatomía funcional: Texto y atlas* (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Blumenfeld, H. (2022). *Neuroanatomy through clinical cases* (3rd ed.). Oxford University Press.

Carpenter, M. B., & Sutin, J. (2012). *Human neuroanatomy* (9th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Gray, H., Drake, R., Vogl, W., & Mitchell, A. (2022). *Gray's anatomy for students* (5th ed.). Elsevier.

Haines, D. E. (2019). *Fundamental neuroscience for basic and clinical applications* (6th ed.). Elsevier.

Haines, D. E. (2021). *Neuroanatomy: An atlas of structures, sections, and systems* (10th ed.). Wolters Kluwer.

Nolte, J. (2019). *Nolte's the human brain: An introduction to its functional anatomy* (8th ed.). Elsevier.

Snell, R. S. (2019). *Neuroanatomía clínica* (8.ª ed.). Wolters Kluwer.

Standring, S. (Ed.). (2021). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (42nd ed.). Elsevier.

Enero 2026 - CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright © - CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright del texto © 2026 de Autores
Formato: PDF
Tamaño: A4 210 x 297 mm
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acceso: World Wide Web
biblioteca.ciencialatina.org
editorial@ciencialatina.org
Atención por WhatsApp al +52 1 55 9435 7573