

CEREBELO

Luciana D'Alessandro, Andrea Sinagra.

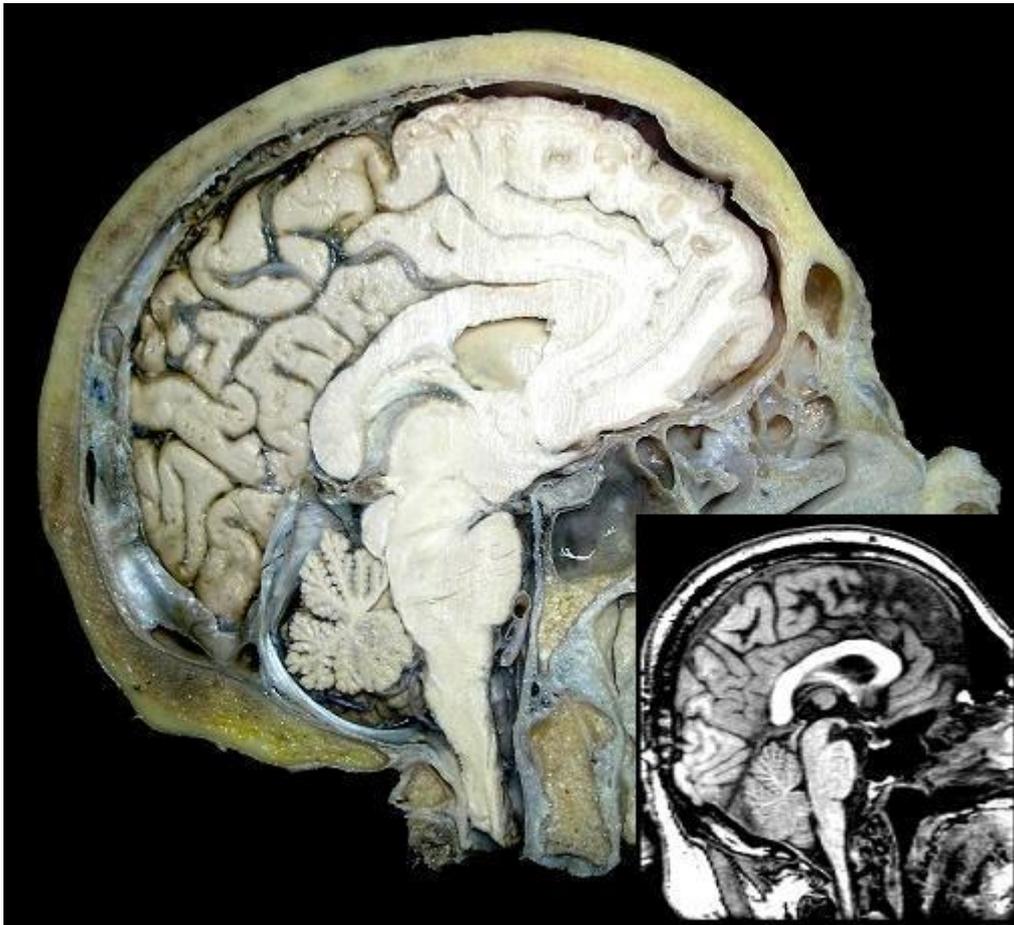
Laboratorio de Neuroanatomía.

Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires.

Introducción

El cerebelo está situado en la base del cráneo, en la denominada fosa cerebelosa del hueso occipital, detrás de la protuberancia y el bulbo, y debajo de la tienda del cerebelo o tentorio, que lo separa de los hemisferios cerebrales. Consta de una corteza cerebelosa y una parte central de sustancia blanca, que contiene los núcleos cerebelosos o profundos.

El cerebelo es considerado parte del sistema motor, siendo su función más importante la **regulación** de la actividad motora.



Organización general

El cerebelo puede ser estudiado desde tres puntos de vista: anatómico, filogenético y fisiológico.

Estudio anatómico

En el cerebelo se distingue el vermis en la línea media y dos hemisferios cerebelosos lateralmente. Además, esta dividido en los *lóbulos anterior, posterior y floculonodular* mediante surcos transversales, estos son, el surco primario y el surco posterolateral respectivamente.

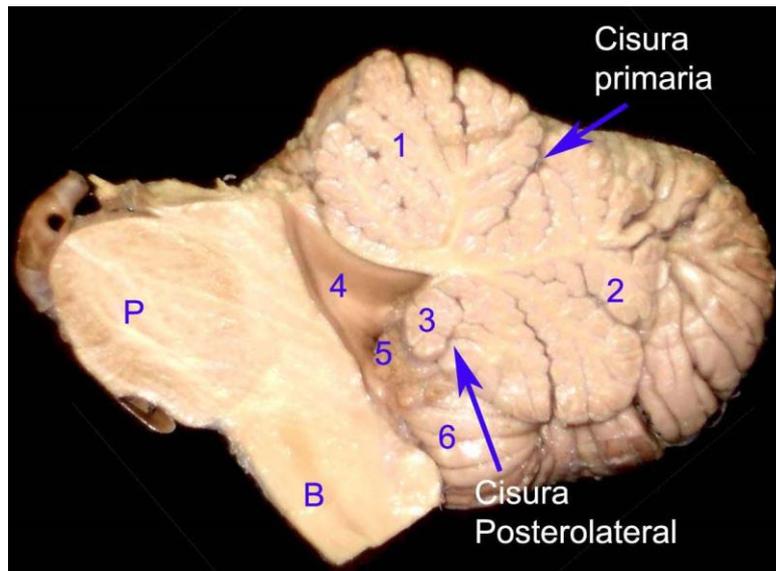
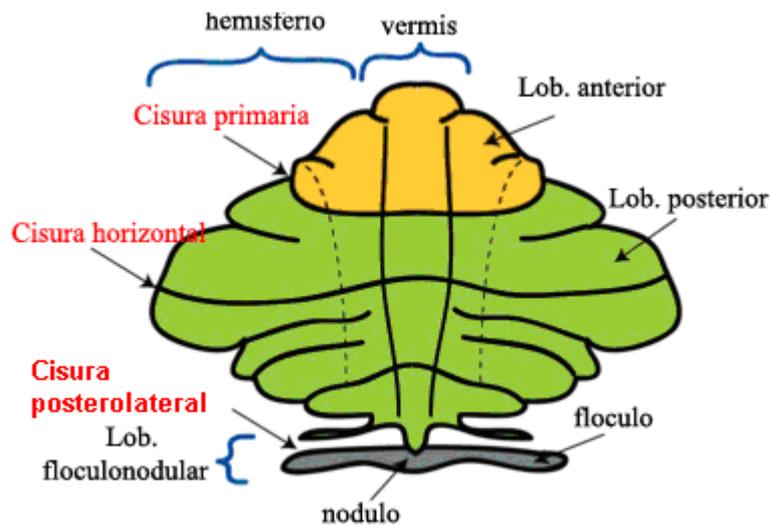


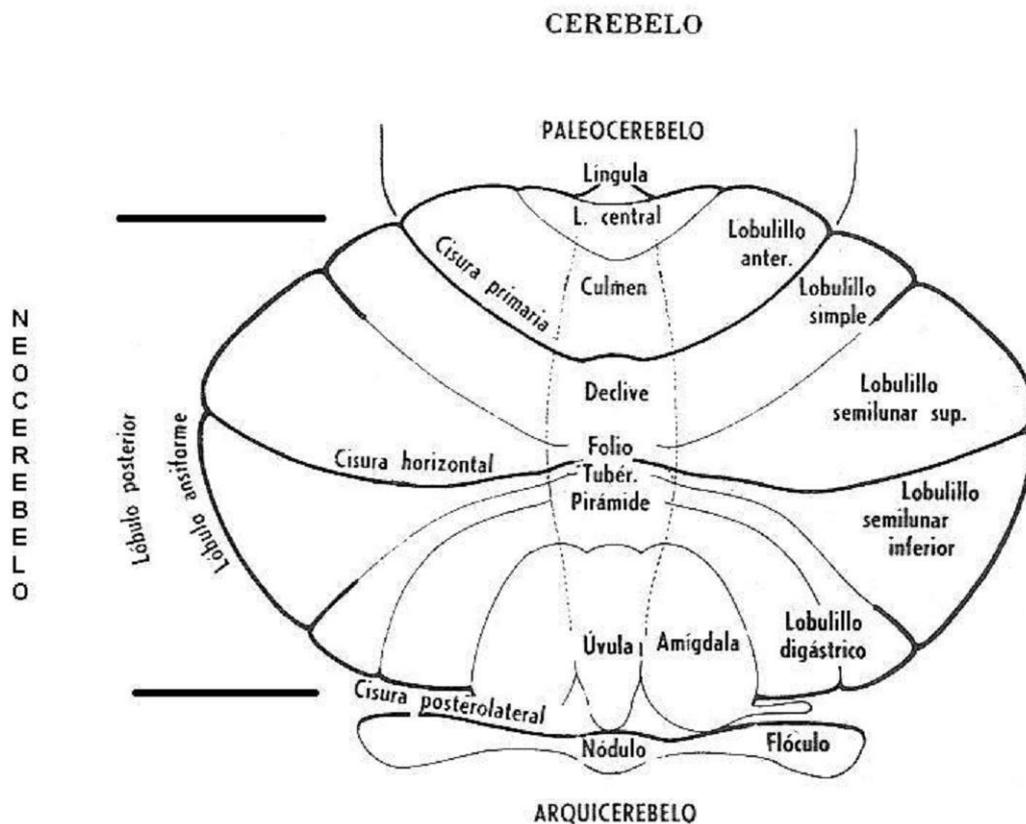
Figura 1. Vista mediosagital del cerebelo y tronco encefálico. P: Protuberancia, B: bulbo raquídeo, 1- lóbulo anterior, 2- lóbulo posterior o medio, 3- nódulo, 4- cuarto ventrículo, 5-plexo coroideo, 6- amígdala.

Los lóbulos se dividen en porciones más pequeñas denominadas lobulillos. Es importante destacar que cada sección transversal del cerebelo tiene una porción vermiana y otra del hemisferio que le corresponde.

El **lóbulo anterior**, se aprecia en la cara superior de cerebelo. Comprende la mayor parte de la porción rostral de la masa cerebelosa. Esta integrado a nivel de la cara superior del vermis por la línula, el lobulillo central y el culmen, y en los hemisferios por el lobulillo anterior y la amígdala. La línula no tiene equivalente hemisférico en el ser humano.



El **lóbulo posterior** (medio), es el más grande. Situado entre los surcos primario y el uvulonodular o posterolateral. Esta constituido a nivel del plano medio por el declive, el folium o lamina, el tuber o tubérculo posterior del vermis, la pirámide y la úvula, y en plano lateral en su mayor parte, por el lóbulo ansiforme (lóbulo semilunar superior e inferior) y el lobulillo digástrico.

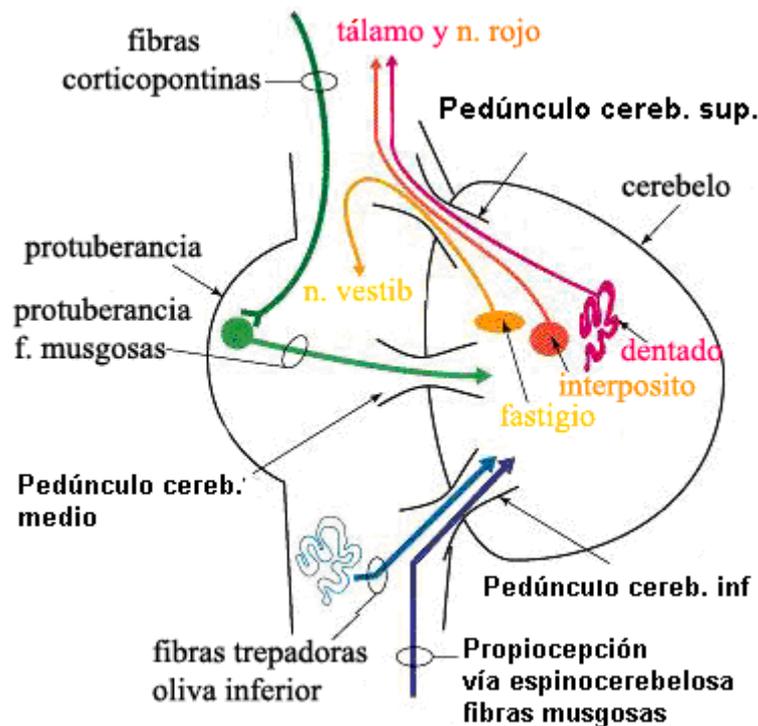


Sistematización del cerebelo (según LARSELL).

El **lóbulo floculonodular**, corresponde a la parte inferior de la cara anterior del cerebelo, rostral al surco posterolateral. Consta del nódulo en el plano medio y el flóculo a los lados.

El cerebelo se encuentra unido al tronco encefálico a través de los pedúnculos cerebelosos, que son 3 estructuras pares:

- El pedúnculo cerebeloso superior lo une con el mesencéfalo. Esta formado predominantemente por **fibras cerebelosas eferentes**, que nacen de las neuronas de los núcleos profundos y llegan al diencefalo y el tronco del encéfalo.
- El pedúnculo cerebeloso medio lo une con la protuberancia. Se considera como limite entre ambas estructuras al origen aparente del V par. Es el pedúnculo más voluminoso, y a través de él recibe aferencias desde los núcleos de la protuberancia.
- El pedúnculo cerebeloso inferior lo une con el bulbo. Esta formado por los cuerpos restiforme y yuxtarestiforme. El primero es un grueso cordón situado en la zona dorsolateral del bulbo y contiene básicamente fibras procedentes de la medula espinal o el bulbo. El segundo se encuentra en la pared del cuarto ventrículo. Sus fibras formaran conexiones reciprocas entre las estructuras vestibulares y el cerebelo.



Otro modo de denominar las regiones cerebelosas es nombrar los lobulillos del vermis con números romanos del I al X; y la porción lateral (hemisferio) correspondiente a

cada lobulillo vermiano se identifica con el mismo número romano, agregando el prefijo "H". Quedando de la siguiente manera:

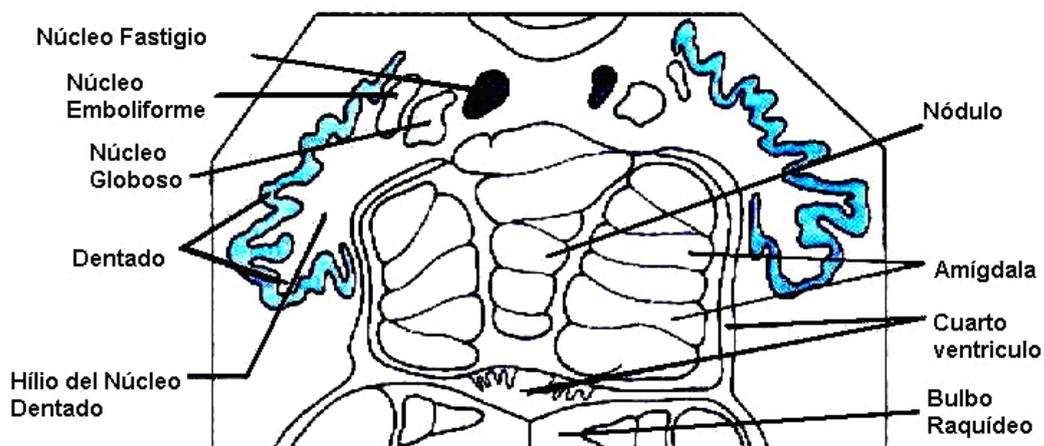
El lóbulo anterior: comprende los lobulillos I a V y HII a HV. El lobulillo I no tiene equivalente hemisférico en el ser humano.

El lóbulo posterior o medio: formado por los lobulillos VI a IX y HVI a HIX.

El lóbulo floculonodular: lobulillo X, y el lobulillo HX. (Haines. Principios de Neurociencia)

Núcleos cerebelosos profundos. Son cuatro y están dispuestos en forma bilateral, en la profundidad de la sustancia blanca.

- **Núcleo del fastigio** (cerebeloso medial): situado en la parte más dorsal del techo del cuarto ventrículo, adyacente a la línea media. Está relacionado funcionalmente con la zona vermiana.
- **Núcleo Interpósito:** ubicado lateral al núcleo fastigio. Se encuentra formado por el **núcleo globoso** (interpósito posterior) y el **emboliforme** (interpósito anterior). Se relacionan funcionalmente con la zona paravermiana.



Los núcleos cerebelosos profundos en un corte esquemático transversal

- **Núcleo dentado** (cerebeloso lateral): es el más lateral y de mayor dimensión. Se relaciona funcionalmente con los hemisferios.

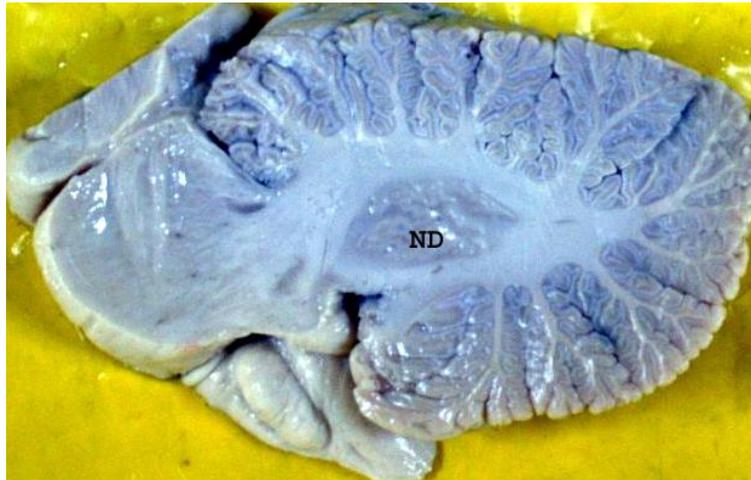


Figura 3. Corte mediosagital. ND. Núcleo dentado.

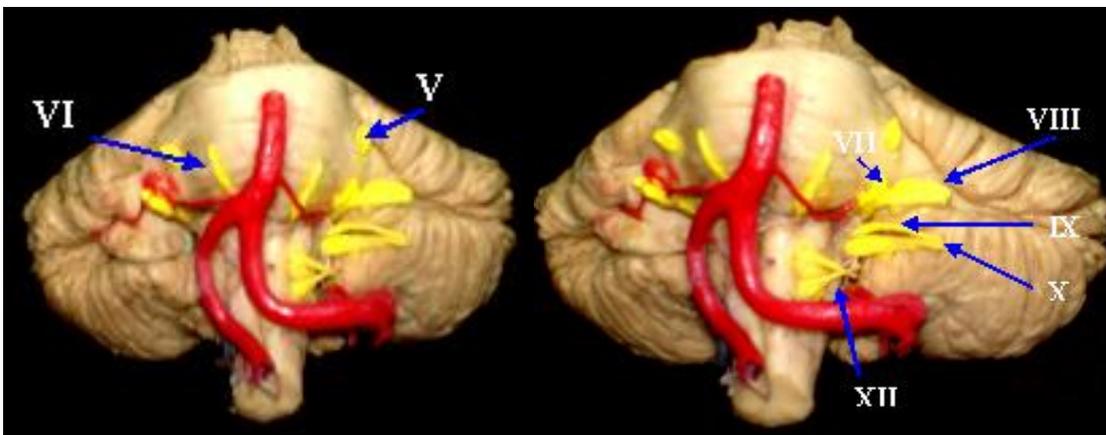


Figura 4. Vista anterior. Se aprecian las arterias vertebrales, basilar. Los pares craneales han sido pintados de color amarillo

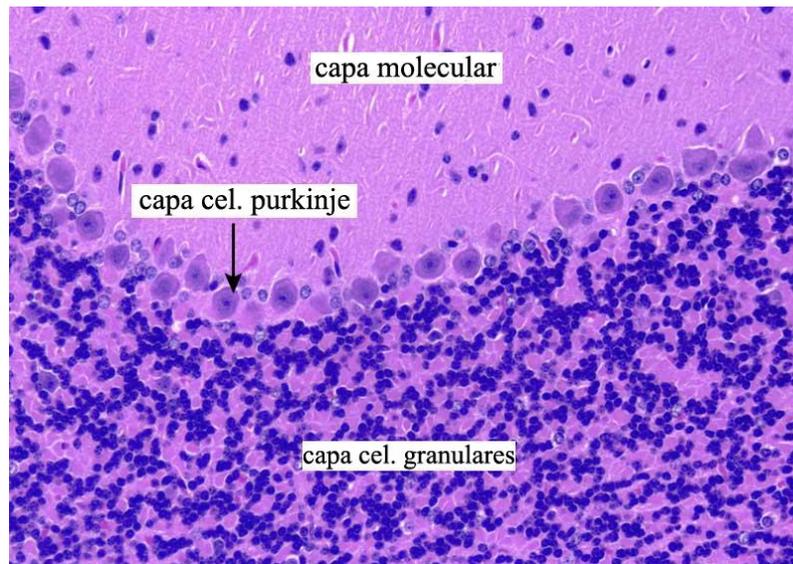
Corteza cerebelosa

Se encuentra constituida por tres capas que se presentan de manera uniforme en toda su extensión:

Capa molecular o superficial. Representada por células en cesto (internas) y estrelladas (externas), dendritas de las células de Purkinje y Golgi tipo II, fibras paralelas (axones transversales) de las células granulosas y fibras trepadoras.

Capa de células de Purkinje. Compuesta por el soma de las células de Golgi tipo I o de Purkinje. Son grandes, con forma de botella, dispuesta en una sola hilera de modo central, en la unión entre las capas granulosa y molecular. Las dendritas de estas células se ramifican en la capa molecular. El axón atraviesa la capa granulosa y hace sinapsis con los núcleos cerebelosos y vestibulares (de Deiters).

Las células de Purkinje son el elemento alrededor del cual gira toda la organización de la corteza cerebelosa. Son las únicas neuronas eferentes de la corteza.



Capa Granulosa. Es la más profunda. Está formada por células granulosas, células de Golgi tipo II, fibras musgosas y glomérulos sinápticos. Esta capa es atravesada por las fibras trepadoras que se dirigen a la capa molecular, y por los axones de las células de Purkinje que salen de la corteza cerebelosa.

Las células granulosas son las más abundantes en esta capa. Sus dendritas terminan en el glomérulo cerebeloso y sus axones ascienden a la capa molecular donde se bifurcan en forma de “T”, formando las fibras paralelas (paralelas al eje longitudinal de la lámina), que hacen sinapsis con las células de Purkinje, además de las células intrínsecas de la capa molecular.

Otro tipo celular es la célula de Golgi tipo II. Es una interneurona inhibitoria de la corteza cerebelosa, con un soma mayor al de las células granulosas, y suelen encontrarse en esta capa próximas a las células de Purkinje. Sus dendritas se ramifican en todas las capas, pero se extienden principalmente hacia la capa molecular. Su axon se ramifica en la capa granulosa y hace sinapsis con las dendritas de las células granulosas.

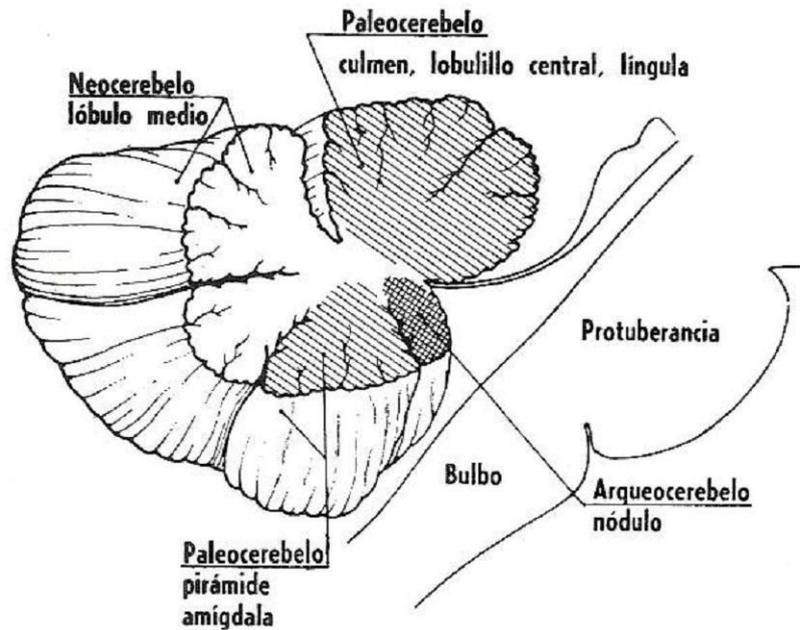
Glomérulo Cerebeloso: se encuentra en la capa granulosa. Está formado por la roseta de una fibra musgosa, dendritas de células granulosas, axones de células de Golgi tipo II y recubierto por una lamina glial.

Estudio filogenético

Considera el desarrollo evolutivo a lo largo del tiempo, desde la estructura mas antigua a la mas nueva.

- Arquicerebelo → Floclonódulo

- Paleocerebelo → Lóbulo anterior, úvula y pirámide.
- Neocerebelo → Lóbulo posterior (sin la úvula y pirámide).



– División funcional de las diferentes partes del cerebelo.

Estudio fisiológico

La corteza cerebelosa presenta tres zonas funcionales definidas por sus conexiones y que sirven para clasificar los circuitos cerebelosos. Estas son la zona medial (vermiana), intermedia (paravermiana) y lateral (hemisférica).

- **Cerebrocerebelo:** se corresponde con la *parte lateral del hemisferio cerebeloso*, que realiza el *control automático de los movimientos voluntarios y semivoluntarios*.
- **Espinocerebelo:** esta representado por el *vermis y el paravermis*, encargado de mantener el *tono postural*.
- **Vestibulocerebelo:** constituido por el *lóbulo floclonodular*, cuya función es el *control del equilibrio*.

Corteza cerebelosa

Presenta tres capas, ya descritas, que de superficial a profundo se detalla:

En la capa molecular las células en cesto y estrelladas son interneuronas gabaérgicas, es decir que liberan ácido gamma aminobutírico (GABA) como neurotransmisor, e

inhiben a sus neuronas destino. Llegan a distintas estructuras de la capa molecular, siendo la célula de Purkinje su más importante sinapsis.

En la capa de las células de Purkinje, estas células llegan a los núcleos cerebelosos (como fibras cerebelosas corticonucleares) que tienen origen en todas las áreas de la corteza, mientras que las que proyectan hacia los núcleos vestibulares (como fibras cerebelosas corticovestibulares) solo nacen en algunos sectores del vermis y el lóbulo floculonodular. Las células de Purkinje utilizan GABA como neurotransmisor e inhiben las neuronas de los núcleos cerebelosos y vestibulares. Son las *únicas neuronas eferentes* de la corteza cerebelosa.

En la capa granulosa la célula de Golgi tipo II es una interneurona gabaérgica cuya acción es inhibitoria sobre la corteza cerebelosa. Las células granulosas utilizan glutamato o aspartato como neurotransmisor, ejerciendo una acción excitatoria sobre las células. De aquí que, *las células de la granulosa son las únicas neuronas de la corteza cerebelosa cuya activación provoca una respuesta excitatoria (a diferencia del resto que son inhibitorias)*.

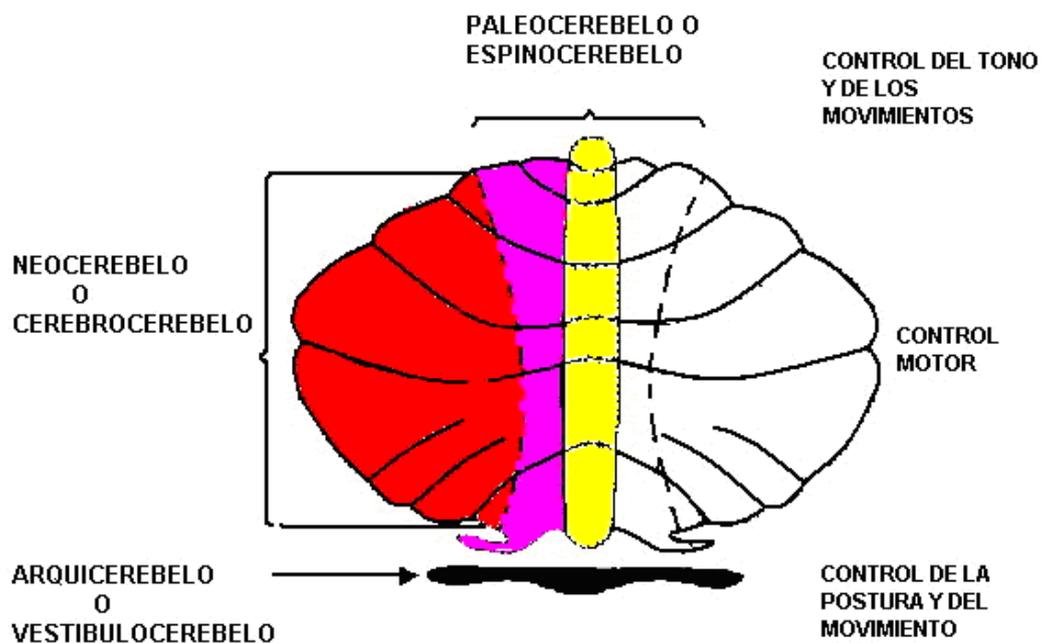
Aferencias cerebelosas

Ingresa principalmente por los pedúnculos cerebelosos medio e inferior.

1. Fibras trepadoras: se originan en la oliva inferior contralateral (que recibe información periférica desde la médula y de la corteza motora a través de los núcleos pontinos). **Terminan directamente sobre una célula de Purkinje**, provocando espigas complejas o potenciales de acción complejos. Estas fibras se relacionan con el aprendizaje motor.
2. Fibras musgosas: corresponde al resto de las aferencias central y periférica de la corteza cerebelosa. Se originan en los somas de las células de los núcleos cerebelosos (fibras nucleocorticales) y de una serie de núcleos provenientes de la protuberancia, bulbo y médula espinal. Estas aferencias terminan sobre las dendritas de las células granulosas, formando una vía indirecta hacia las células de Purkinje. Las fibras musgosas producen espigas simples o potenciales de acción simple. En sus terminaciones aparecen ensanchamientos (rosetas) que forman el centro de un glomérulo cerebeloso.
3. Aferencias que se originan en el locus coeruleus y núcleo del rafe, ambas son inhibitorias.

Es importante destacar, por último, que cada territorio cerebeloso cortical conforma un centro funcional y que cada uno de ellos se corresponde con un núcleo profundo. La sistematización es la siguiente:

- El lóbulo floculonodular proyecta a los núcleos vestibulares. Forma parte del circuito vestibulocerebeloso, cuya función es el mantenimiento de la postura y el equilibrio. Filogenéticamente el más antiguo o arquicerebelo.
- El vermis proyecta al núcleo fastigio, y la porción intermedia del hemisferio cerebeloso al núcleo interpósito. Ambos sectores forman parte del circuito espinocerebeloso, cuya función es regular el tono muscular. Filogenéticamente el paleocerebelo.



Esquema de la división filogenética del cerebelo y de las principales funciones de cada sector

- La porción lateral del hemisferio proyecta al núcleo dentado. Forma parte del circuito cerebelo-cerebro, cuya función es la coordinación de la actividad motora o memoria motora. Filogenéticamente el más nuevo o neocerebeloso.

Irrigación

La irrigación del cerebelo esta dada por tres arterias denominadas arteria cerebelosa posteroinferior o PICA, arteria cerebelosa anteroinferior o AICA, y la arteria cerebelosa superior.

- La arteria cerebelosa posteroinferior (PICA), rama de la arteria vertebral. Irriga la superficie inferior del vermis (úvula y nódulo), la superficie posteroinferior del hemisferio y los núcleos centrales, el bulbo y plexo coroideo del IV ventrículo.

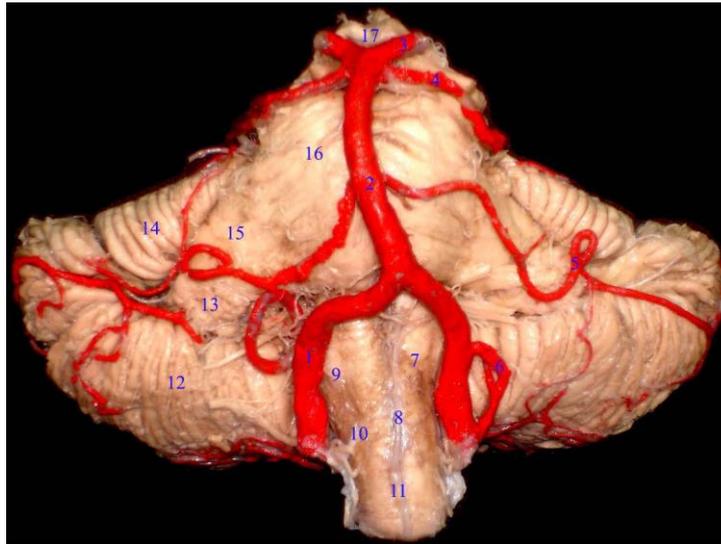


Figura 4. Vascularización del cerebelo. Vista anterior. 1- Arteria vertebral, 2- tronco basilar, 3- arteria cerebelosa posterior, 4- ACS, 5- AICA, 6- PICA, 7- pirámide, 8- surco medio anterior, 9- surco preolivar, 10- oliva inferior, 11- bulbo raquídeo, 12- lóbulo posterior, 13- floculo, 14- lóbulo anterior, 15- pedúnculo cerebeloso medio, 16- protuberancia, 17- mesencéfalo.

- La arteria cerebelosa anteroinferior (AICA), rama del tronco basilar. Irriga la porción anteroinferior del cerebelo, el núcleo dentado y sustancia blanca, incluso la protuberancia y la parte superior del bulbo.

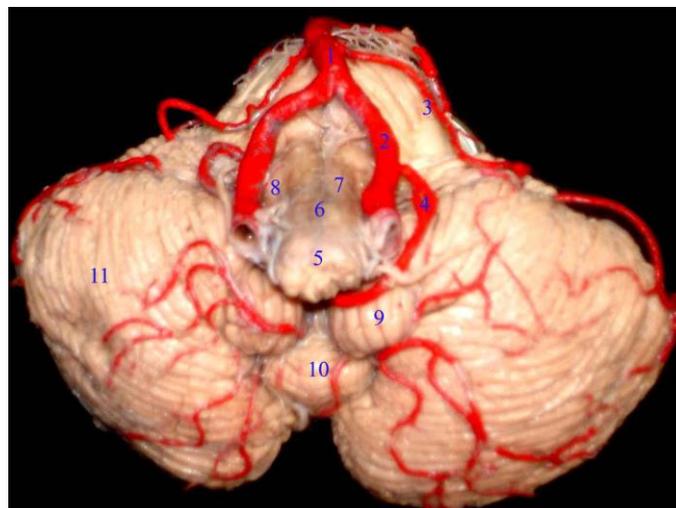


Figura 5. Vascularización del cerebelo. Vista inferior. 1- Tronco basilar, 2- arteria vertebral, 3- AICA, 4- PICA, 5- bulbo raquídeo, 6- surco medio anterior, 7- pirámide, 8- oliva bulbar, 9- amígdala, 10- úvula, 11- lóbulo posterior, 12- floculo.

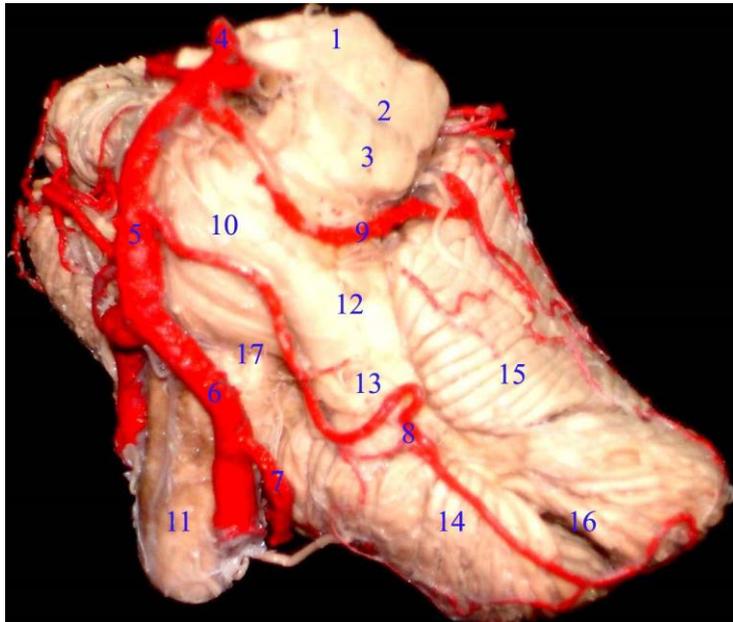


Figura 6. Vascularización del cerebelo. Vista lateral. 1- mesencéfalo, 2- sustancia negra, 3- pedúnculos cerebrales, 4- arteria cerebelosa posterior, 5- tronco basilar, 6- arteria vertebral, 7- PICA, 8- AICA, 9- ACS, 10- protuberancia, 11- bulbo raquídeo, 12- pedúnculo cerebeloso medio, 13- flóculo, 14- lóbulo posterior, 15- lóbulo anterior, 16- surco horizontal, 17- surco bulboprotuberancial.

- La arteria cerebelosa superior, rama del tronco basilar. Irriga la cara superior del cerebelo, la mayor parte de los núcleos cerebelosos, protuberancia, glándula pineal, y velo medular superior.

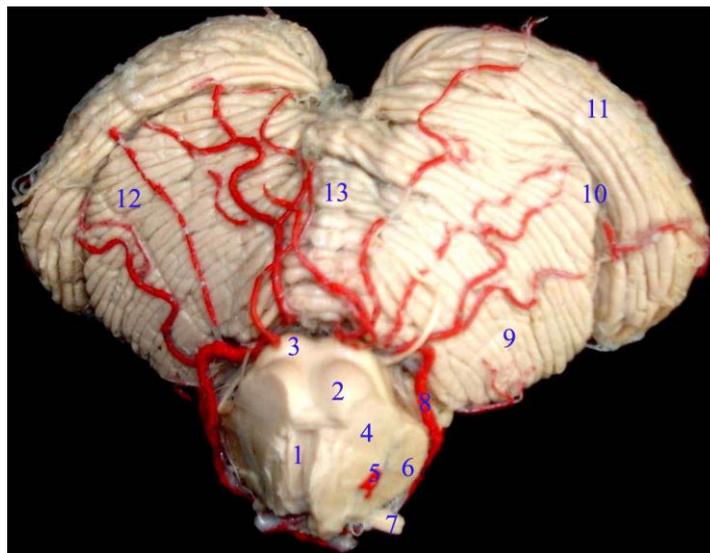


Figura 7. Vascularización del cerebelo. Vista superior. 1- Mesencéfalo, 2- tubérculo cuadrigémino superior e 3- inferior, 4- calota mesencefálica, 5- Sustancia negra, 6- pedúnculos cerebrales, 7- motor ocular común (III par). 8. ACS, 9- lóbulo anterior, 10- surco primario, 11- lóbulo posterior o medio, 12- hemisferio cerebeloso derecho, 13- vermis.

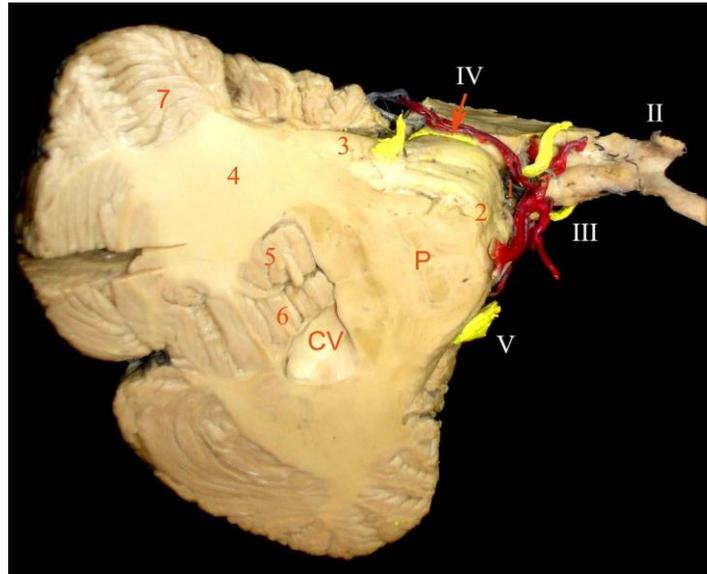


Figura 2. Corte transversal a nivel de la protuberancia. 1-Sustancia perforada posterior, 2-surco basilar, 3- pedúnculo cerebeloso medio, 4- sustancia blanca del cerebelo, 5- amígdala, 6-nódulo, 7-sustancia gris del cerebelo, P: protuberancia, CV: cuarto ventrículo.

Glosario

Potencial de acción: Es una descarga eléctrica transitoria que se produce una vez alcanzado un límite llamado umbral, y se propaga a lo largo del axón como una onda de amplitud constante (sin atenuación). Originado solo por células con capacidad de excitabilidad como son las neuronas y las fibras musculares.

Neurotransmisor: sustancia bioquímica que actúa como mediador en las sinapsis químicas. Es sintetizado y liberado por la neurona presináptica al espacio sináptico para interactuar (excita o inhibe) con su receptor específico en el terminal postsináptico.

Sinapsis: sitio de unión entre dos neuronas o entre una neurona y un receptor o efector. Consta de un terminal presináptico, un espacio o brecha sináptica y un terminal postsináptico. Las sinapsis pueden ser químicas, eléctricas o mixtas.

Bibliografía

Carpenter MB. Neuroanatomía Fundamentos. 4ª ed. Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana, 1998.

Haines DE. Principios de Neurociencia. 2ª ed. Madrid, Elsevier Science España, 2003: pp 423 - 434.

Cingolani HE, Houssay AB y colaboradores. Fisiología Humana de Houssay. Buenos Aires, El Ateneo, 2006: pp 966 -972.

Williams PL. Anatomía de Gray. 38^a ed. Madrid, Harcourt Brace de España, S.A. 1998: pp 1048-1065.