

## 4. Procesadores Intermedios

# Médula espinal

Apuntes de Clase

Conocimiento Corporal II


Por:

Gustavo Ramón S.\*

\* Doctor en *Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* (Universidad de Granada).

Docente – Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia (Colombia).

Correo: gusramon2000@yahoo.es



## **Procesadores Intermedios Médula espinal**

Apuntes de la asignatura Conocimiento Corporal II.  
Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia.  
Medellín, Colombia.  
Actualización: mayo de 2008

Por  
**Gustavo Ramón Suárez**  
gusramon2000@yahoo.es

### Generalidades:

Desde los anélidos a los vertebrados, el sistema nervioso segmentario o médula espinal es el primero en aparecer como una necesidad de integración localizada entre las condiciones del medio ambiente y las funciones a realizar. Existen áreas de piel denominadas dermatomas que se constituyen como segmentos organizados, segmentos que tienen su representación primaria en la médula espinal y que, en función de procesos excitatorios o inhibitorios presentes en la médula espinal, originan respuestas primarias o reflejos medulares, reflejos que se caracterizan por producir siempre la misma respuesta a los mismos estímulos sin que para ello se requieran más procesadores. Un ejemplo de ello es el reflejo del dolor originado por un pinchazo en la piel, reflejo que se caracteriza por retirar rápidamente el órgano pinchado.

La médula es un conjunto de segmentos funcionales con conexiones aferente-eferentes para determinada parte del organismo. Se distinguen ocho segmentos cervicales, doce dorsales, cinco lumbares y seis sacrococcígeos. Los cervicales controlan el diafragma, el cuello y las extremidades superiores; los dorsales el tórax y el abdomen; los lumbares las extremidades inferiores y los sacrococcígeos la pelvis y los esfínteres anal y vesical.

La médula espinal se encuentra protegida por el sistema óseo de la columna vertebral. En su parte posterior, detrás del cuerpo de la vértebra se encuentra el canal medular por donde transcurren los axones nerviosos que conforman la médula espinal (Ver figuras 1, 2 y 3).

### Anatomía macroscópica medular:

La médula posee dos cisuras o plegamientos en la sustancia blanca, cisuras llamadas anterior porque está situada en la parte media anterior y otra posterior menos evidente, localizada en la parte posterior y central. Hacia las partes laterales se encuentran las raíces nerviosas que conforman las comisuras laterales anteriores como posteriores (Figura 2, 3).

### Anatomía microscópica medular:

La médula espinal está dividida en dos regiones principales: la sustancia blanca y la sustancia gris. La sustancia blanca está compuesta por los axones de las diferentes neuronas, que pueden ser aferentes (van hacia el cerebro) o eferentes (vienen del cerebro) (Diagrama 1).

Teniendo como marco de referencia las comisuras y la cisuras, la sustancia blanca de la médula se puede subdividir en **cordones anteriores** (localizados entre las comisuras anterior y

GRamónS

lateral anterior), **cordones laterales** (localizados entre las cisuras laterales tanto anterior como posterior) y **cordones posteriores** (localizados entre las comisuras laterales posteriores y la comisura posterior).

La sustancia gris de la médula debe su nombre a la concentración de los núcleos de las neuronas en la médula espinal. A simple vista, esta sustancia tiene un forma de H, de donde las dos prolongaciones anteriores (mas cortas y gruesas) se llaman **astas anteriores**; las dos posteriores (mas largas y delgadas), **astas posteriores**; **las astas laterales** son un pequeño conjunto de neuronas colocadas en la región media lateral que dan origen a las neuronas del sistema autónomo simpático y la parte central (parte horizontal de la H) se llama **comisura gris**.

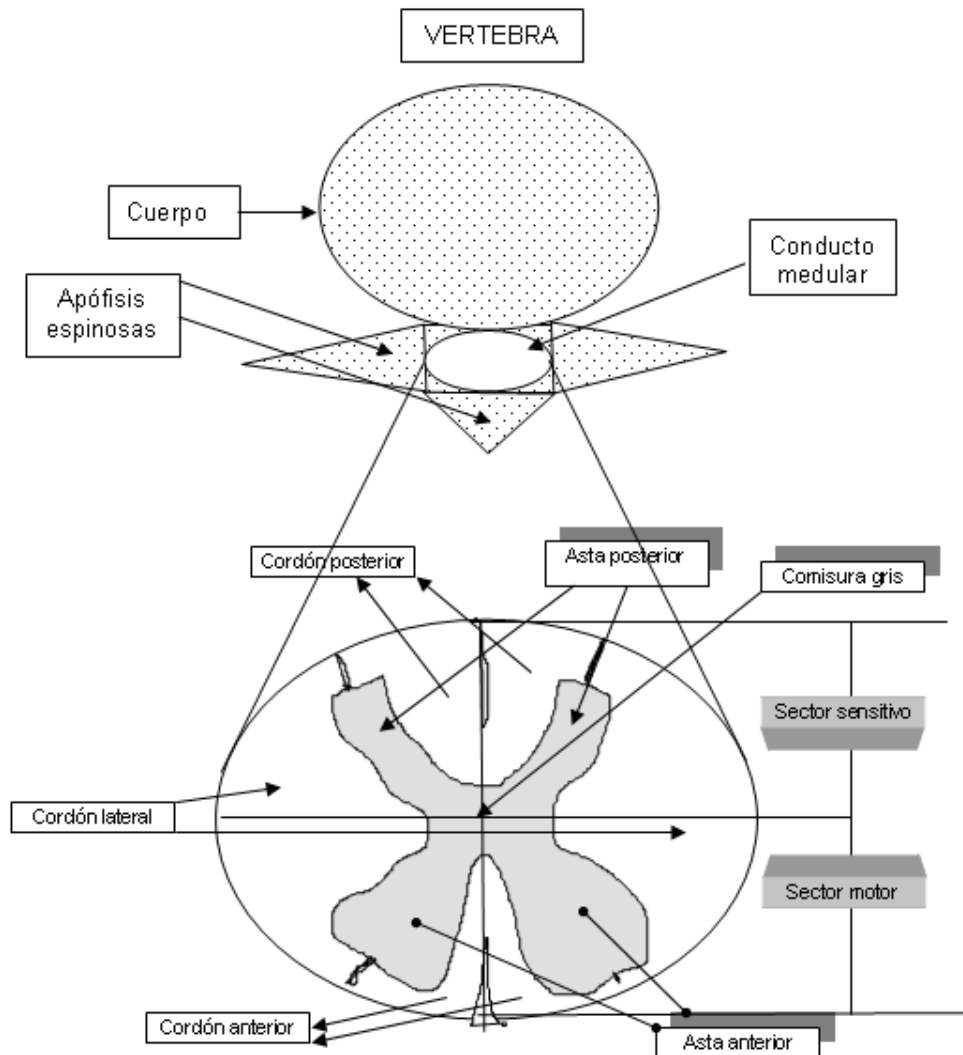


Diagrama 1. División anatómica y funcional de la médula espinal.

GRamónS

Un segmento nervioso tipo está constituido por tres sectores fundamentales: aferente (sensitivo), eferente (motor) e intercalado (de asociación). El sector sensitivo está constituido por la neurona sensitiva que es del tipo monopolar pues tiene su cuerpo en el ganglio espinal y un axón que se bifurca en dos ramas, una de las cuales se une al receptor periférico y la otra va hacia la médula espinal entrando por el comisura lateral posterior. El sector motor lo constituyen las neuronas que controlan los músculos periféricos, por tal motivo llamadas motoneuronas. Estas neuronas poseen sus cuerpos y núcleos celulares en las astas anteriores de la médula espinal y sus axones salen de la médula por las raíces anteriores, terminando en los músculos por medio de las uniones mioneurales. Se las denomina motoneuronas **alpha**, (de gran tamaño) a las que van a las fibras extrafusales (varía desde 6 a 1500), **gamma** (pequeñas) a la que van a los fibras intrafusales y **beta** a las que van a los dos tipos de fibras. El sector intercalar lo constituyen una serie de neuronas pequeñas colocadas entre una neurona sensitiva y una motora. Las neuronas intercalares forman las astas posteriores de la médula, la comisura gris y parte de las astas anteriores. Este sector intercalar es muy complejo pudiendo interconectar segmentos medulares y es un sector reciente en la evolución filogenética.

Un nervio raquídeo está compuesto por las ramas aferentes de los sensores y los axones de las motoneuronas. La raíz dorsal de los nervios es por lo tanto sensitiva y la raíz ventral o anterior es motora. Los nervios se agrupan en la parte cervical y lumbar formando los plexos que llevan su nombre.

#### Fisiología medular: Reflejos medulares (Figuras 5,6, 7 y 8)

El arco reflejo simple es una de las características funcionales de la médula. El arco reflejo lo integran los siguientes elementos: 1) un receptor sensorial, 2) una neurona sensorial, 3) una neurona motora, 4) un efector motor el cual generalmente es un músculo y 5) una interneurona que no siempre está presente. El arco reflejo se caracteriza porque siempre produce respuestas rápidas e iguales ante un mismo estímulo.

Los siguientes son los reflejos medulares más preponderantes:

#### **Arco Reflejo Gamma o Reflejo de Estiramiento (Figura 5):**

Cuando un músculo es estirado bruscamente ya sea pasiva o activamente, los husos neuromusculares se activan enviando estímulos a la médula espinal los cuales se conectan con la motoneurona alfa del mismo músculo produciendo finalmente una contracción pequeña. Es la contracción muscular la que disminuye la elongación muscular y por lo tanto desactiva el huso muscular (feedback negativo). En ocasiones la elongación no voluntaria de un músculo mantiene siempre estimulado al huso muscular pues no se produce contracción a pesar de que el huso envía señales permanentes de contracción muscular. Esta contracción mantenida provoca dolor muscular por la acumulación de lactato, producto del trabajo anaeróbico de la contracción isométrica. Es el caso de las posiciones inadecuadas al dormir, sobre todo en la región cervical, ya sea porque se duerme de lado con una almohada o muy baja o muy alta.

Este reflejo es el que causa la contracción en los ejercicios de estiramiento y de flexibilidad. En la evaluación de la integridad de la médula se encuentra el reflejo del bíceps braquial, el del tendón del tríceps braquial, el del cuádriceps y el del tendón aquiliano. Estos reflejos pueden ser modulados por el sistema nervioso central.

GRamónS

### **Reflejo Miotático Inverso (Figura 6):**

Este reflejo es producido por la activación del órgano tendinoso de golgi, el cual activa una neurona intercalar inhibitoria que termina en la motoneurona del músculo estirado. Como consecuencia se produce una relajación del músculo. Este reflejo es producido cuando se generan contracciones musculares que pueden dañar el tendón.

### **Reflejo de inhibición (o inervación) recíproca (Figura 7 y 8).**

La contracción de un músculo (agonista) va seguida por la activación en la médula de interneuronas inhibitorias homolaterales que están conectadas con los músculos que realizan la acción contraria (antagonistas). De no existir este reflejo, la contracción muscular resultaría ineficiente pues una contracción muscular origina la elongación del músculo antagonista y por reflejo miotático este músculo se contrae no permitiendo un movimiento rápido sino resistido.

### **Reflejo Flexor (Figura 7):**

Cuando un estímulo nocivo (un pinchazo) lesiona una parte del cuerpo como lo es la planta del pie, el miembro inferior tiende a flexionarse para evitar el contacto. El circuito comprende receptores cutáneos, neuronas aferentes, interneuronas medulares y neuronas motoras alfa que estimulan la contracción de los músculos flexores. Este reflejo puede ser monosináptico, disináptico o polisináptico, según la cantidad de sinápsis que requiera.

### **Reflejo de Extensión:**

El reflejo de extensión simple se produce cuando se estimula la planta del pie al apoyar el pie en el piso. La respuesta es una extensión del tobillo. En este caso, los sensores de presión de la planta del pie activan los músculos extensores del tobillo. En el reflejo de extensión polisináptico, el mismo estímulo ocasiona no solo la contracción de los músculos extensores del tobillo sino también de la rodilla y la cadera. Estos reflejos son producto de neuronas intercalares intersegmentarias.

El reflejo de extensión cruzada va unido al reflejo de flexión en una extremidad. Para el ejemplo del pinchazo en un pie derecho, el reflejo flexor produce una separación entre el agente nocivo y el miembro afectado al flexionarse el miembro derecho. El reflejo de extensión cruzado produce la extensión de las articulaciones del miembro inferior izquierdo, que contribuye aún mas a separarse del agente nocivo.

**Reflejo de doble inervación recíproca**, es decir, existen neuronas intercalares que se encargan de activar los músculos antagonistas del miembro contralateral y otras que se encarga de inhibir los antagonistas del mismo segmento.

### Vías de conducción medular

A parte de coordinar toda esta serie de reflejos, la médula es una vía de conducción de estímulos sensitivos ascendentes (aferentes) o de respuesta motoras descendentes (eferentes).

#### Las vías ascendentes:

GRamónS

Las fibras que conducen la propiocepción consciente, el tacto fino y la presión (Figuras 9 y 11) ascienden por los cordones posteriores de la médula hasta el bulbo raquídeo donde hacen sinápsis con los *núcleos de Goll y de Burdach*. A partir de estos núcleos ascienden hasta el tálamo haciendo sinápsis con el núcleo ventrolateral. Desde ahí, la tercera neurona conduce los estímulos hasta la corteza cerebral del lóbulo parietal, en el área 3-1-2 de Brodman.

Otras fibras que conducen las sensaciones de dolor y temperatura (Figura 12) hacen sinápsis con neuronas del asta posterior en la substancia gelatinosa de Rolando. Desde allí pasan al lado contrario de la médula y ascienden por los cordones antero-laterales constituyendo los *fascículos espinotalámicos lateral y ventral*.

En general, el tacto está asociado con el fascículo ventral mientras que el dolor y la temperatura lo están con el lateral. Estos fascículos suben directamente hasta el tálamo haciendo sinápsis con el núcleo ventral-potero-lateral. Desde allí un nuevo contingente de neuronas se dirige hacia la corteza del lóbulo parietal, en el área 3-1-2 de Brodman.

La propiocepción inconsciente (receptores de la cinestesia) (Figura 10) asciende por los cordones laterales hasta el cerebelo donde es integrada en el arquicerebelo y el paleocerebelo.

#### Vías Descendentes:

Las neuronas que se originan en la corteza y que se dirigen hacia la médula constituyen el *fascículo corticoespinal o vía piramidal* (Figura 13) el cual baja por la médula por los cordones laterales y anteriores, controlan tanto las motoneuronas alfa como las gama. Otro fascículo no originado en la corteza cerebral sino en los núcleos basales, denominado el *fascículo extrapiramidal* (Figura 15), baja hasta la médula por los cordones laterales. Este fascículo controla fundamentalmente las motoneuronas gamma.

GRamónS

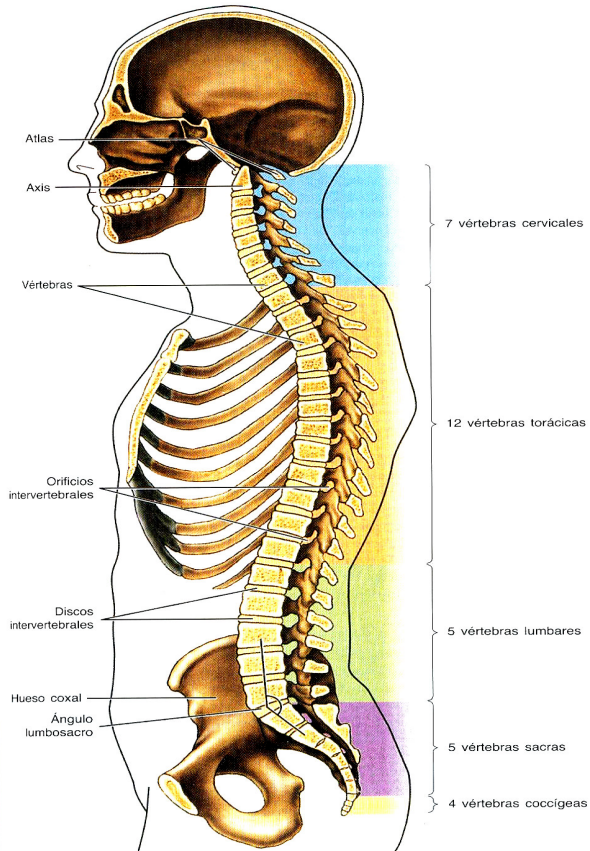


Figura 1. Columna vertebral

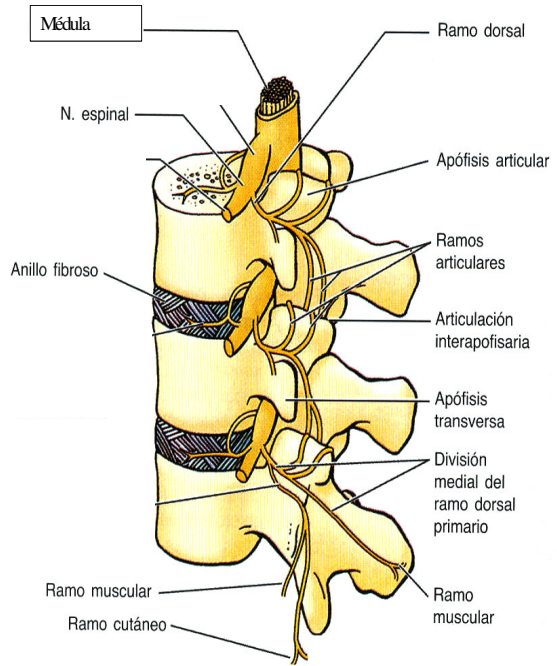


Figura 2. Relación entre columna vertebral y nervios raquídeos

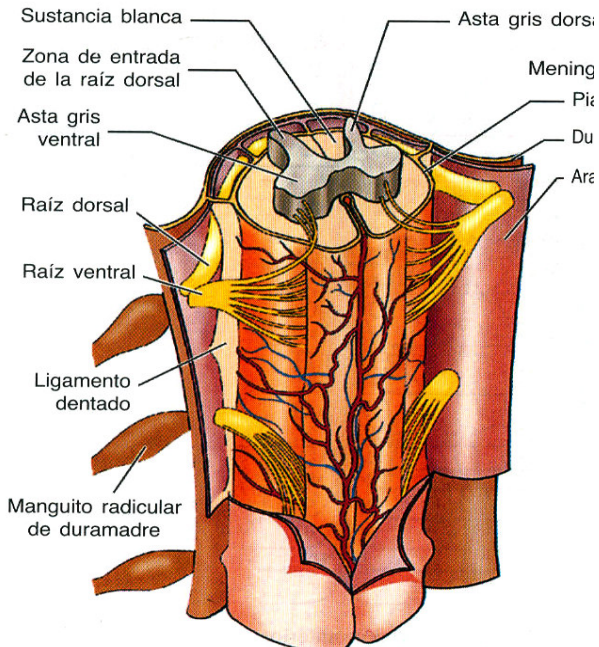


Figura 3. Médula espinal y nervios raquídeos

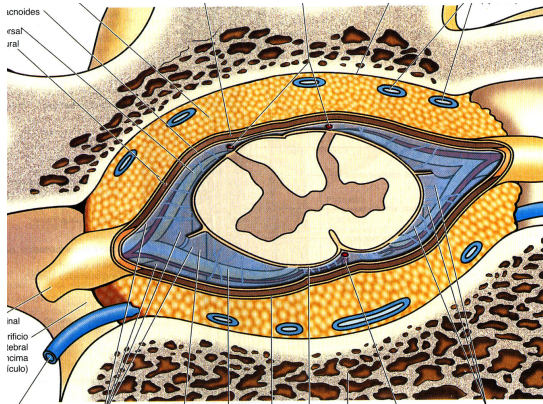


Figura 4. Relación entre canal medular y médula espinal

GRamónS

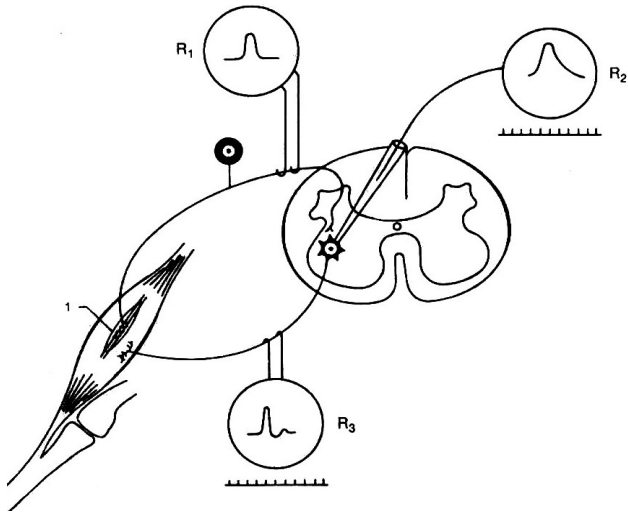


Figura 5. Reflejo de estiramiento o Miotático

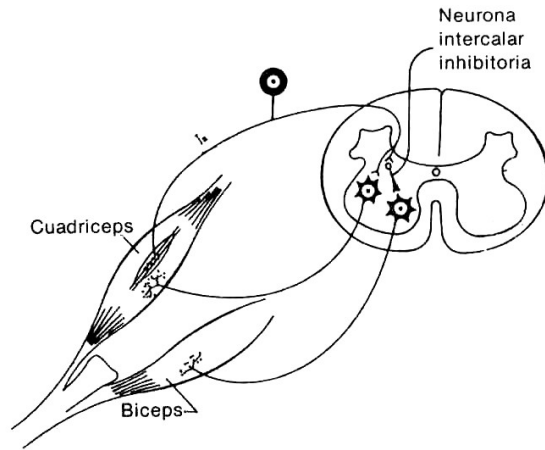


Figura 6. Reflejo Miotático Inverso

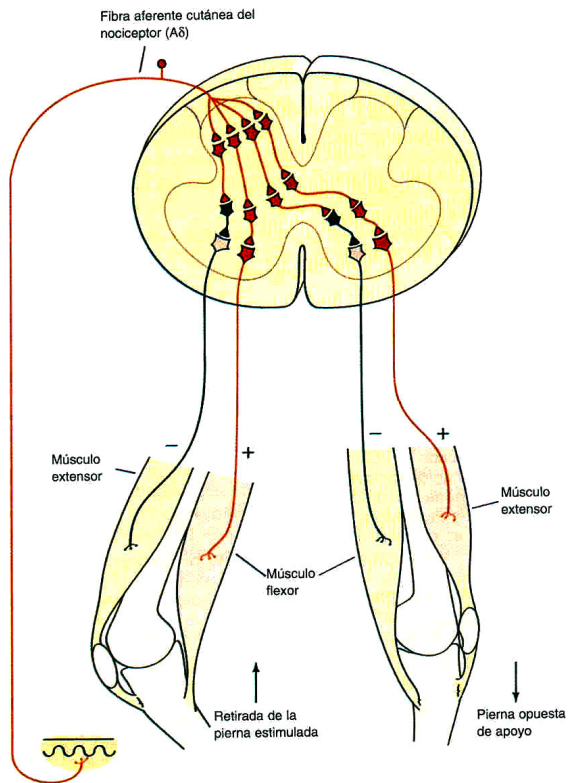


Figura 7. Reflejo flexor

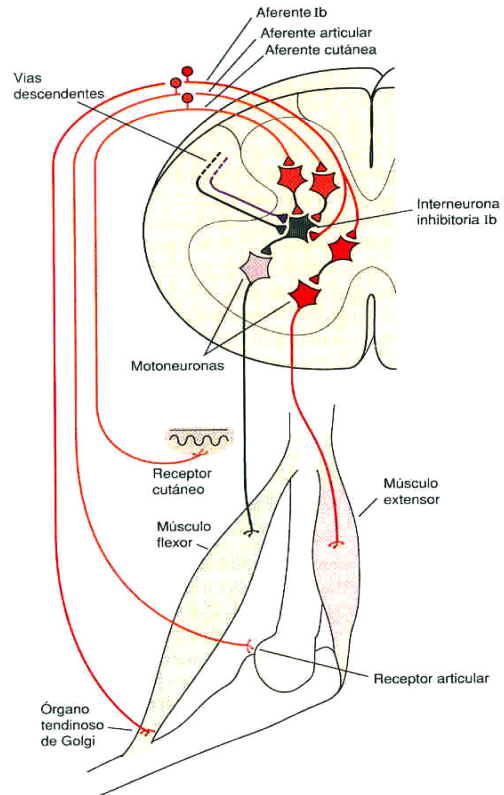


Figura 8. Reflejos medulares



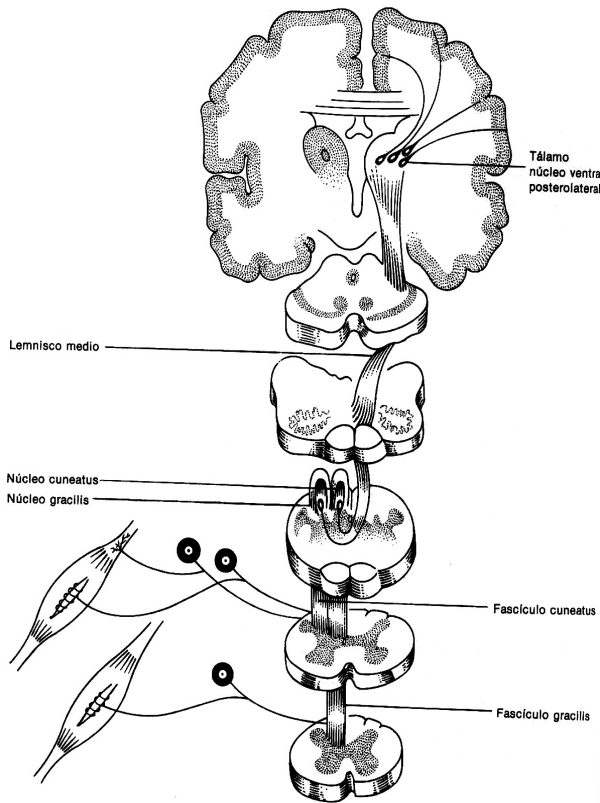


Figura 9. Vía de la propiocepción consciente

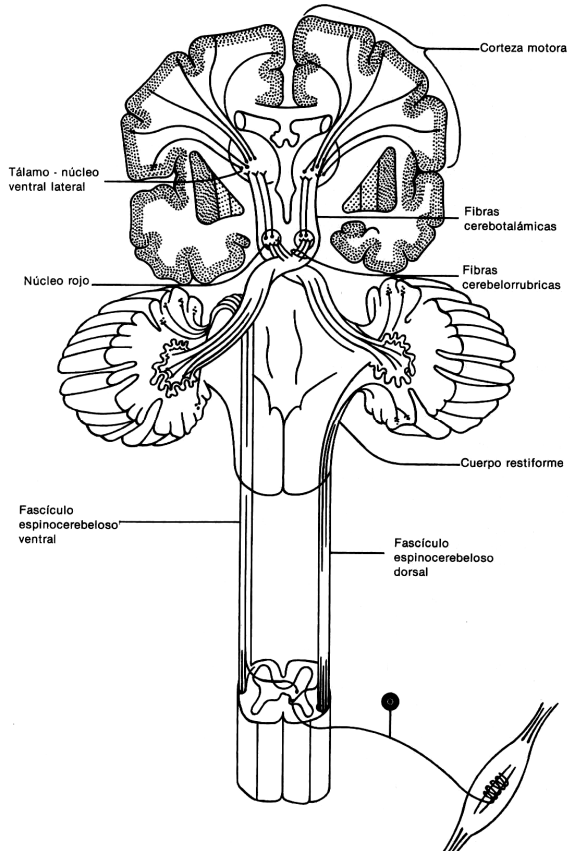


Figura 10. Vía de la propiocepción

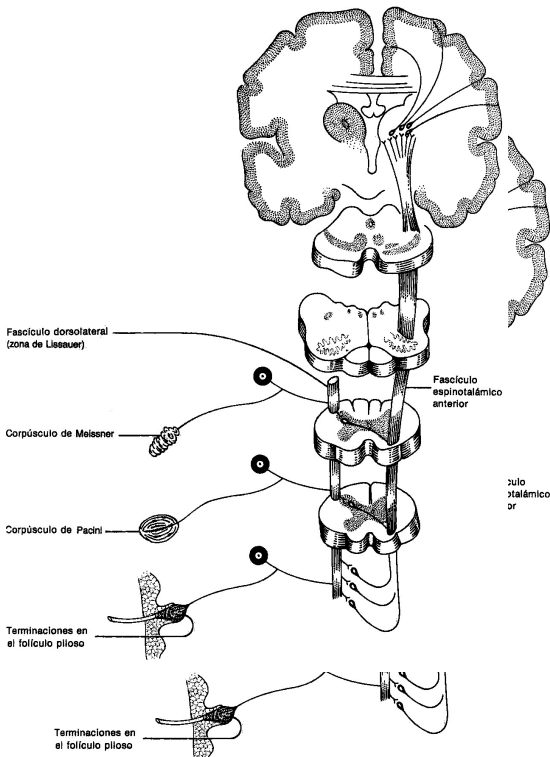


Figura 11. Vía del Tacto y presión

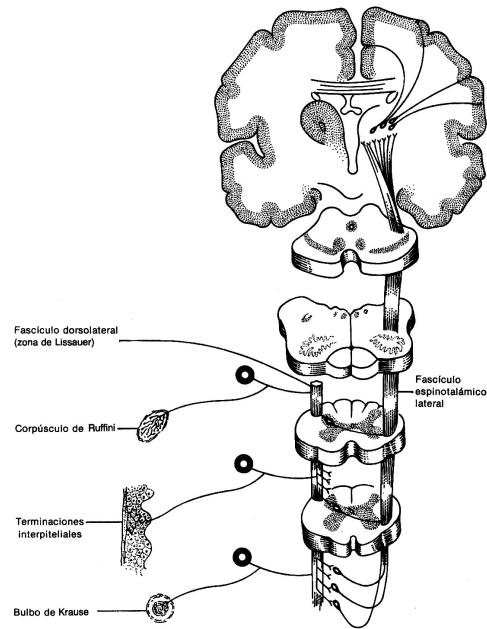


Figura 12. Vía del Dolor y Temperatura

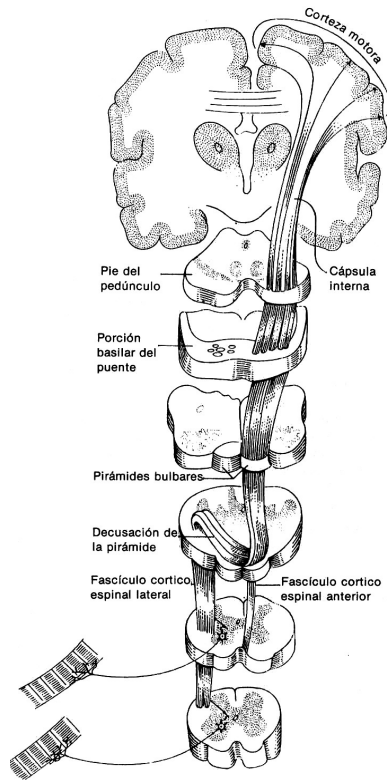
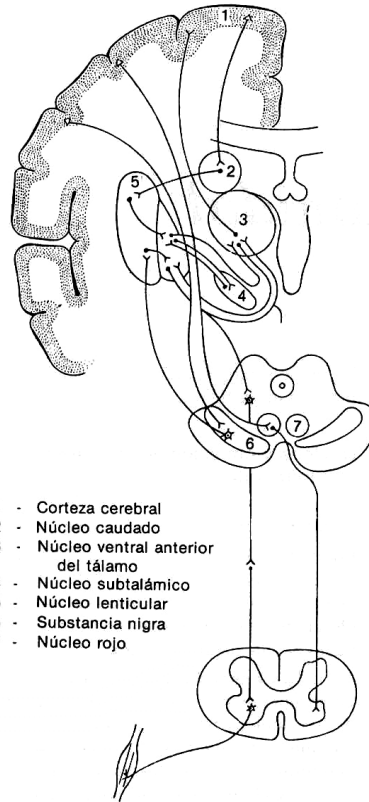


Figura 13. Via motora principal o Piramidal

Figura 14. Via Extrapiramidal



- 1 - Corteza cerebral
- 2 - Núcleo caudado
- 3 - Núcleo ventral anterior del tálamo
- 4 - Núcleo subtalámico
- 5 - Núcleo lenticular
- 6 - Substancia nigra
- 7 - Núcleo rojo

### 2.3.2. Tallo cerebral:

El tallo cerebral está constituido por cuatro áreas: el bulbo raquídeo, la protuberancia anular o puente de Varolio, el mesencéfalo y el cerebelo (Ver Figura 1 y 2)) que se continúan a partir de la médula espinal y que se conectan con el diencéfalo. A continuación se detallará la función de cada una de ellas.

En la parte anterior del tallo cerebral se pueden observar dos surcos importantes: el protuberancial (superior) y el bulboprotuberancial (inferior). En la parte posterior se puede apreciar una estructura en forma de rombo, denominada el cuarto ventrículo. Estos accidentes anatómicos permiten delimitar las cuatro estructuras del tallo cerebral.

#### **Bulbo raquídeo** (Figura 2):

El bulbo raquídeo se inicia luego de la emergencia del primer nervio espinal y termina por delante en el surco bulboprotuberancial y por detrás una línea imaginaria que une los dos extremos laterales del IV ventrículo. En el bulbo se continúan la anatomía de la médula. Los cordones anteriores con muy prominentes constituyendo las *pirámides bulbares* unidas entre sí por finos axones que se denominan la *decruzación de las pirámides*. Los cordones laterales conforman otro centro de neuronas denominado la *oliva bulbar*, estación de relevo de la vía auditiva. En la parte posterior, los cordones de Goll y de Burdach forman los núcleos del mismo nombre; mas lateralmente se encuentran los tubérculos acústicos que contienen los núcleos cocleares dorsal y ventral, estaciones de relevo de la vía acústica.

Al interior del bulbo raquídeo se encuentran una serie importante de núcleos grises que controlan: 1) el ritmo respiratorio o centro respiratorio, 2) el ritmo cardíaco o centro cardíaco, 3) el reflejo de deglución, 4) el reflejo de la tos, 5) el reflejo de la náusea y del vómito. Por otra parte allí se encuentran los núcleos neuronales que controlan el VI par craneano (nervio motor ocular común), el VII par (nervio facial), el VIII par (estatoacústico), IX par (glossofaríngeo), X par (nervio vago), XI par (nervio espinal) y el XII par (nervio hipogloso). Todos estos núcleos son del tipo motor.

Como se puede analizar, el bulbo raquídeo es una estructura muy especializada e importante desde el punto de vista funcional porque participa en un gran número de funciones relacionadas con la nutrición (segmento nutricional). Su sector afente conduce información sobre al aparato digestivo, circulatorio y respiratorio; su sector eferente también es predominantemente visceral.

#### **Protuberancia anular** (Figura 2):

El *segmento inferior o centinela* tiene como límite inferior, el surco bulboprotuberancial y como superior, la emergencia del V par (nervio trigémino). En este segmento se encuentran los núcleos motores del VII par (nervio facial) y VI par (nervio motor ocular externo). Este segmento controla la audición, el equilibrio y el gusto. Controla la musculatura del cuello, de la cara y del ojo, estructuras que en el animal lo capacitan para indagar o investigar los cambios del medio ambiente, de donde deriva su nombre de centinela.

El *segmento superior o masticador* tiene como límite superior la emergencia del IV par craneano (nervio troclear). Su actividad fundamental está constituida por el control que posee sobre la masticación así como sobre la prehensión, mordida y desgarrar de la presa, acciones mediadas por el V par (Nervio trigémino). En la parte sensitiva, su función es muy amplia, pues comprende toda

GRamónS

la sensibilidad de la cabeza, los ojos, los oídos y la nariz. En muchos animales (mamíferos) la presencia de pelo en la cara y nariz, con abundantes terminaciones nerviosas, lo capacita para generar reflejos protectores anticipados. El reflejo corneano es uno de ellos y consiste en que un leve contacto de un objeto con la córnea del ojo determina un cierre inmediato del párpado.

### **Mesencéfalo** (Figura 2):

El mesencéfalo es la parte que se une al diencefalo (tálamo e hipotálamo). No posee límite superior definido. En su parte anterior se encuentran dos gruesas columnas denominadas pedúnculos cerebrales. Por la parte posterior se encuentran cuatro pequeñas masas colocadas por pares, dos superiores y dos inferiores, que constituyen la *lámina cuadrigémina o tubérculos cuadrigéminos superiores e inferiores*. De estos tubérculos emergen paquetes de neuronas llamadas los brazos cuadrigéminos que terminan en los cuerpos geniculados del tálamo.

Al interior se encuentran dos núcleos muy importantes relacionados con los movimientos automáticos como lo son el núcleo rojo y la sustancia nigra (locus niger). Aunque sus funciones no han sido muy definidas, forman parte del sistema extrapiramidal que controla la motricidad involuntaria, refleja y automatizada. La alteración del locus niger produce la enfermedad del Parkinson.

La actividad refleja de este segmento se encuentra relacionada con los mecanismos de ajuste motor-ocular (tubérculos cuadrigéminos superiores). En este segmento se encuentran los núcleos que controlan el reflejo pupilar a la luz (con la luz, la pupila se contrae y con la obscuridad se dilata), el reflejo de acomodación (cambio de curvatura del cristalino por cambio súbito de la mirada).

En general, en todo el tronco cerebral se generan los siguientes reflejos incondicionados:

- **los reflejos vestibulo-óculo-céfalo-giro:** movimientos de la cabeza y del cuello, principalmente de rotación, para seguir los objetos en el campo visual
- **los reflejos tónico-labérinticos:** la inclinación lateral de la cabeza aumenta el tono extensor del mismo lado y lo disminuye en el lado opuesto
- **los reflejos tónico-cervicales:** la extensión de la cabeza aumenta el tono extensor de las extremidades anteriores y disminuye el tono de las inferiores; la flexión de la cabeza disminuye el tono extensor de las extremidades anteriores y lo aumenta en las inferiores; la rotación de la cabeza provoca un aumento en el tono de los extensores del mismo lado del cuerpo hacia donde se dirige el mentón y una disminución en el lado opuesto
- **reflejos de enderezamiento o de control de la postura** como son: los labérinticos: extensión de cabeza mientras se encuentra sostenido en el aire, no importando la posición del resto del cuerpo), los propioceptivos cervicales (la activación de los propioceptores de la musculatura del cuello, cuando se está en el aire, tienden a preparar el resto del cuerpo para el enderezamiento de sus partes), receptores cutáneos del cuello (la presión asimétrica sobre la superficie del cuerpo provoca el enderezamiento de la cabeza), las reacciones de salto (cuando se está apoyado sobre un solo pie y se mueve el cuerpo, la respuesta es de salto para recuperar el equilibrio).

GRamónS

- **Reflejos vestibulo-oculares:** la flexión de la cabeza contrae el músculo recto superior e inhibe el inferior, manteniendo la mirada; la extensión de cabeza realiza una respuesta opuesta a la anterior; la rotación de la cabeza hace contraer el recto interno del lado hacia el que se rota al cara y el recto externo del lado contrario.
- **Reflejos cócleo-oculares:** un estímulo sonoro hace rotar el ojo hacia el lado donde se origina el sonido
- **Reflejos visuo-oculares:** reflejo de fijación visual (los ojos se dirigen siempre hacia donde se mueve el objeto, de manera que los rayos provenientes se enfoquen sobre la fóvea), reflejo de acomodación.

## Cerebelo

### Generalidades:

En el hombre, el cerebelo es una parte bastante voluminosa del sistema nervioso, con una apariencia laminar característica distintiva, situada en la parte posterior del tronco cerebral. Los peces constituyen el primer paso evolutivo de su desarrollo, encontrándose en ellos un receptor vestibular codificado por la aurícula cerebelosa o archicerebelo y un esbozo de cuerpo cerebeloso (paleocerebelo). Los anfibios constituyen la segunda fase de la evolución, caracterizado por un aumento del cuerpo del cerebelo y complejización de las vías vestibulares. Es en los reptiles donde el cerebelo alcanza mayor evolución, al parecer por la aparición de extremidades. En las serpientes, el cuerpo cerebeloso es central mientras que en los lagartos aparecen dos masas laterales. En las aves hay un desarrollo masivo del cuerpo cerebeloso con una distinción precisa entre los lóbulos anterior y medio, lo mismo que una definición de núcleos centrales al interior. Es finalmente en los mamíferos donde el cerebelo alcanza la tercera etapa o de mayor desarrollo. Esta etapa se caracteriza por el desarrollo progresivo de las porciones laterales del lóbulo medio del cuerpo cerebeloso, lo que determina la formación de los hemisferios. Como consecuencia, aparece la neocorteza y el neocerebelo.

### Anatomía externa:

Clásicamente el cerebelo ha sido dividido horizontalmente en dos grandes porciones laterales, los hemisferios, y una parte central media, el vermis. Esta zona media comprende la corteza del vermis y el núcleo fastigial. La zona intermedia comprende el paravermis y los núcleos globoso y emboliforme (o núcleo interpuesto o interpósito). La zona lateral comprende la mayor parte de los hemisferios laterales y el núcleo dentado. Una división transversa divide al cerebelo en tres áreas: el archicerebelo (vestibulocerebelo), el paleocerebelo (espinocerebelo) y el neocerebelo (cerebrocerebelo) áreas que no han sido muy bien definidas por los diferentes investigadores. El vestibulocerebelo (el más antiguo filogenéticamente) consta del flóculo y del nódulo del vermis. El espinocerebelo abarca la mayor parte del vermis y de la cara superior de los hemisferios cerebelares. El cerebrocerebelo abarca la mayor parte de los hemisferios cerebelares y parte del vermis.

### Anatomía interna:

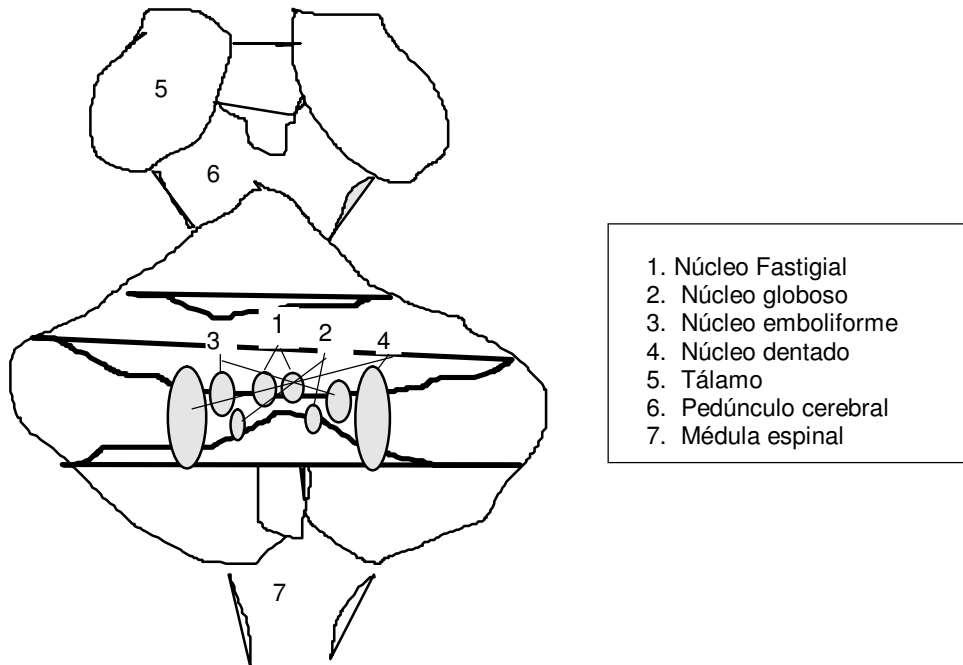
GRamónS

El número de neuronas en la corteza cerebelar es mayor que las de la corteza cerebral. En el hombre se han estimado en 100 mil millones de células granulares, 200 millones de células en cesto y 30 millones de células de Purkinje.

La corteza cerebelosa es la parte mas externa del cerebello compuesta por tres capas que desde afuera hacia adentro se denominan: capa externa, media e interna. Su peso es el 10 % pero su superficie es de aproximadamente el 75% de la corteza cerebral.

*La capa externa o molecular* está compuesta por las células estrelladas y las células en cesto. La *capa media* está constituida por las células de Purkinje y la *capa interna o granular* por las células en grano y por las glomérulos.

Al interior del cerebello se pueden diferenciar los siguientes **núcleos centrales: el fastigial (mas interno), el globoso y emboliforme (intermedios), y el dentado** mas externo con respecto al eje medio del tallo cerebral.

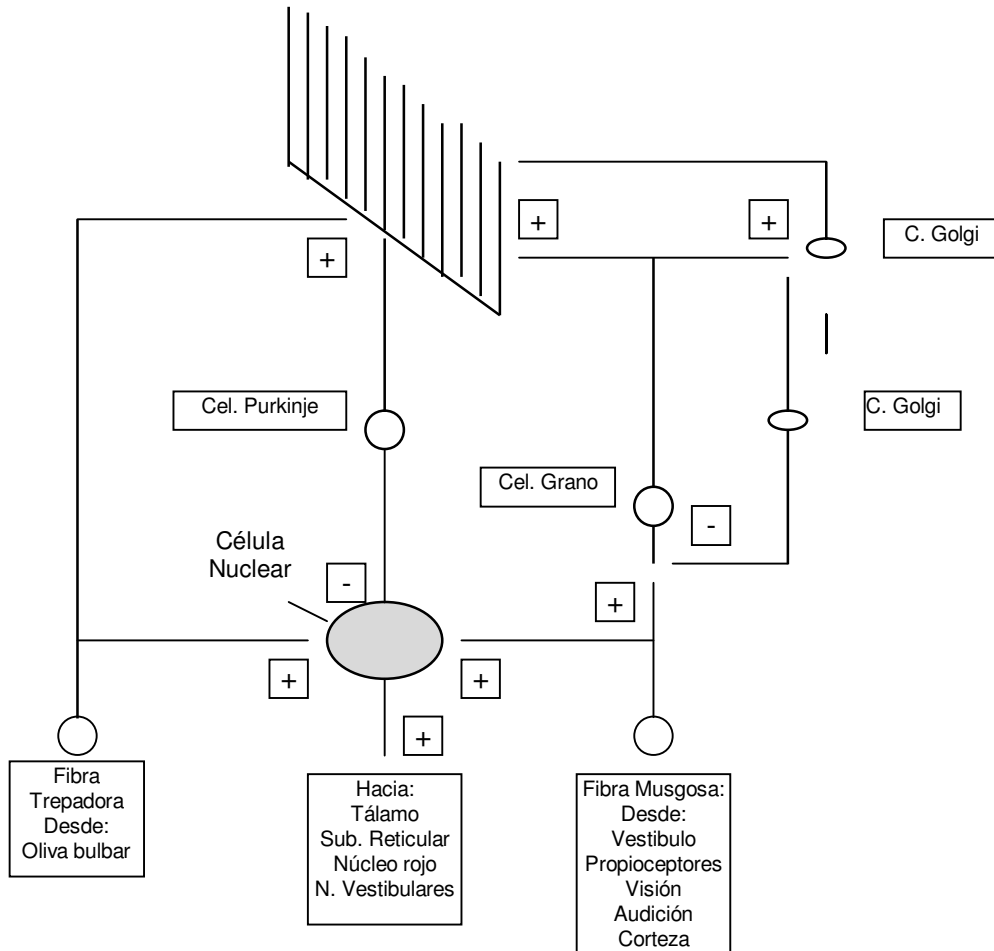


Las conexiones aferentes a la corteza del cerebello se originan en dos sitios: 1) células del núcleo olivar inferior del bulbo raquídeo (fibras olivocerebelosas) denominadas *fibras trepadoras* por cuanto semejan una fibra “trepando” por las células de purkinje, aunque también hacen contacto con las demás células del cerebello, y 2) células del tallo cerebral y de la médula espinal, fibras denominadas “*musgosas*” que llegan al cerebello formando los tractos espinocerebelosos, cuneocerebeloso, vestibulocerebeloso y pontocerebeloso. Las fibras musgosas hacen sinapsis con los glomérulos cerebelosos compuestos por las células granulares, terminaciones de fibras musgosas y células de Golgi. Todas estas interconexiones terminan haciendo sinápsis con las células de Purkinje.

Las células en cesto, de golgi y las de Purkinje son inhibitorias mientras que las células en grano son excitatorias.

GRamónS

Las eferencias de la corteza del cerebelo sólo la constituyen los axones de las células de Purkinje. Estas células a su vez, hacen sinápsis con los núcleos centrales del cerebelo (fastigial, emboliforme, globoso y dentado). Las células de Purkinje inhiben a los núcleos centrales. Finalmente, los axones de estos núcleos centrales son las eferencias o salidas del cerebelo que pueden excitar a los núcleos centrales del cerebro.



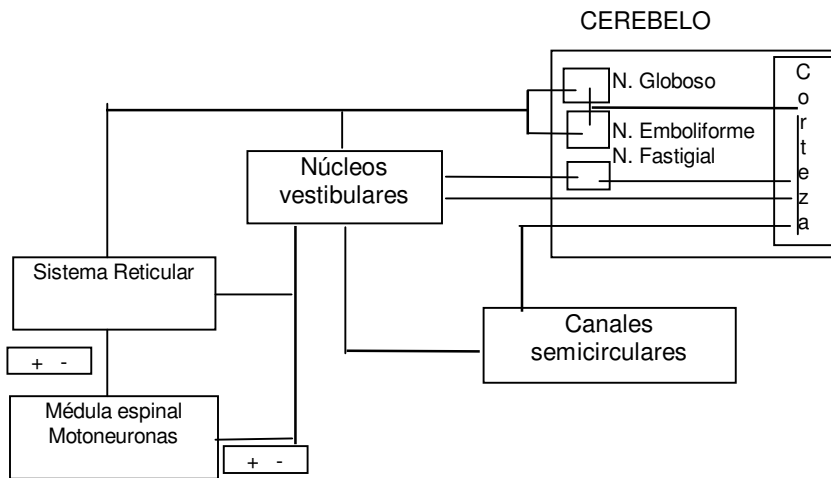
### División funcional:

El cerebelo participa en el equilibrio, en el tono muscular y en el control postural, así como en la coordinación de los movimientos voluntarios; por lo tanto, sería razonable que recibiera aferencias vestibulares, espinales y de la corteza cerebral.

El vestíbulo-cerebelo o Arquicerebelo (según la evolución filogenética): recibe conexiones desde el vestíbulo que llegan hasta el flóculo, nódulo y la úvula como fibras musgosas; por otra parte recibe aferencias del núcleo olivar las cuales constituyen fibras trepadoras. El núcleo olivar recibe información de la médula espinal, del núcleo rojo, de la corteza cerebral y del propio cerebelo desde los núcleos dentado, emboliforme y globoso. La destrucción de la oliva en animales de

experimentación produce efectos equivalentes a la destrucción de la mitad del cerebelo contralateral. Este tipo de lesión es extremadamente rara en los humanos.

Las conexiones eferentes del vestibulocerebelo parten ya sea desde la corteza cerebelosa o del centro fastigial para conectarse con los núcleos vestibulares del bulbo raquídeo, en la mayoría de los casos del mismo lado. Este contingente de fibras constituye el pedúnculo cerebeloso inferior. Este tracto influye sobre las motoneuronas de la médula espinal. Dado que esta parte del cerebelo no influye sobre los niveles superiores del sistema nervioso, parece lógico que se ocupe más de la regulación de la postura y de los movimientos estereotipados programados en el tronco del encéfalo y de la médula espinal. Se ha demostrado que la vía cerebelo-vestíbulo espinal es parcialmente responsable de la modulación rítmica del patrón básico de los movimientos de la marcha generados en la médula espinal.



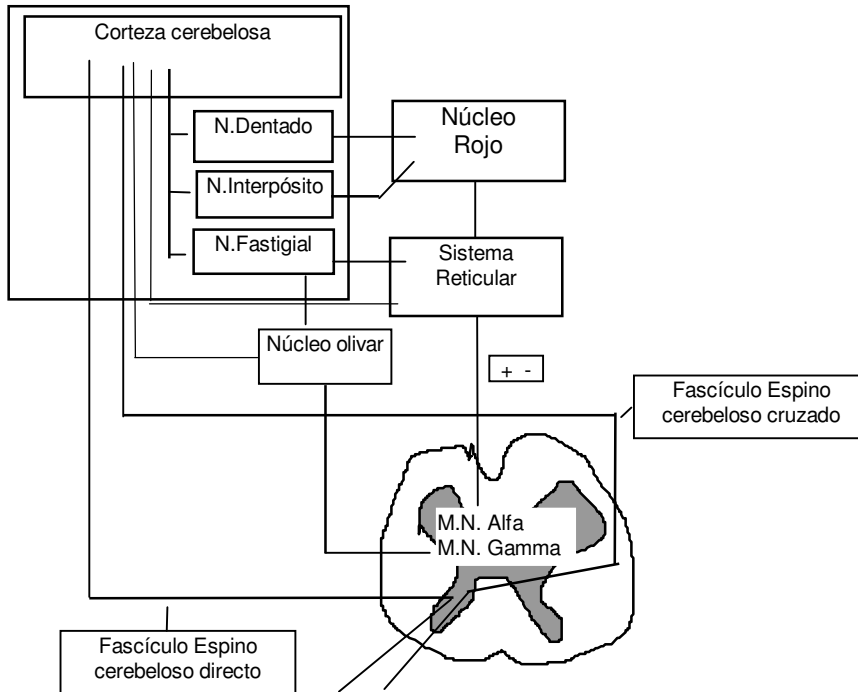
El espino-cerebelo o Paleocerebelo (según la evolución filogenética): las conexiones aferentes provienen de la médula espinal (fascículos espinocerebeloso directo e indirecto) que conducen toda la propiocepción inconsciente tanto de las extremidades inferiores, y del núcleo de Burdach (Cuneatus) que conducen la propiocepción inconsciente de las extremidades superiores. De otros centros como del núcleo olivar, del núcleo del trigémino y del sistema reticular también llegan aferencias al paleocerebelo. Todas estas aferencias terminan en el cerebelo como fibras musgosas distribuyéndose ampliamente por el lóbulo anterior y en menor proporción por el área paramediana. Las conexiones eferentes más centrales se proyectan sobre el núcleo fastigial mientras las más laterales se proyectan sobre los núcleos globoso y emboliforme. Toda esta serie de conexiones salen del cerebelo por el pedúnculo cerebeloso superior haciendo conexiones con el sistema reticular del bulbo y la protuberancia y con el núcleo rojo del mesencéfalo.

Se ha demostrado por estudios electrofisiológicos que estas proyecciones hacen que en el cerebelo se formen tres imágenes del cuerpo en la corteza cerebelosa; una vez ipsilateralmente, formando un patrón contenido en el lóbulo anterior y de nuevo cierta representación bilateral en el lóbulo posterior. Por toda esta serie de conexiones se ha planteado la hipótesis de que esta parte del cerebelo compara las órdenes que nacen de la corteza motora (información que recibe a través de los núcleos púnticos) con la posición actual y la velocidad de la parte del movimiento (tracto espinocerebeloso y similares) y a continuación, mediante el núcleo interpuesto, produce señales



GRamónS

correctoras. Este tipo de conexiones hace que el paleocerebelo sea la estructura que controla la propiocepción inconsciente del cuerpo.



El cerebro-cerebelo o Neocerebelo: sus aferencias pueden ser de tres orígenes: de la protuberancia (fibras pontocerebelosas), del núcleo olivar (olivocerebelosas) y del sistema reticular (reticulocerebelosas). Las fibras de la protuberancia reciben conexiones de la corteza premotora y motora (fibras corticopónticas), del lóbulo temporal y del bulbo raquídeo. Desde la protuberancia se dirigen hacia el lado contralateral constituyendo el fascículo pontocerebeloso o pedúnculo cerebeloso medio terminando como fibras musgosas en la corteza cerebelosa. Todas las eferencias de este contingente de fibras se dirigen hacia el núcleo dentado y desde allí por medio del pedúnculo cerebeloso superior hacia el núcleo rojo del mesencéfalo. Desde este núcleo parten nuevas neuronas hacia el tálamo (núcleo ventral lateral) y de allí a la corteza parietal.

Hay que recordar que los pedúnculos cerebrales son considerablemente mayores que las pirámides bulbares. Cada pie del pedúnculo posee alrededor de 21 millones de fibras, de los cuales solo 1 millón continúa hasta la pirámides. Las restantes 20 millones de fibras en su mayoría se dirigen hacia los núcleos pontinos del mismo lado. Los núcleos pontinos contienen alrededor de 12 millones de células que se proyectan a través del pedúnculo cerebeloso medio sobre prácticamente toda la corteza cerebelosa. La vía corticopontocerebelosa es gigantesca, y en comparación con el tracto corticoespinal, este parece sumamente pequeño.

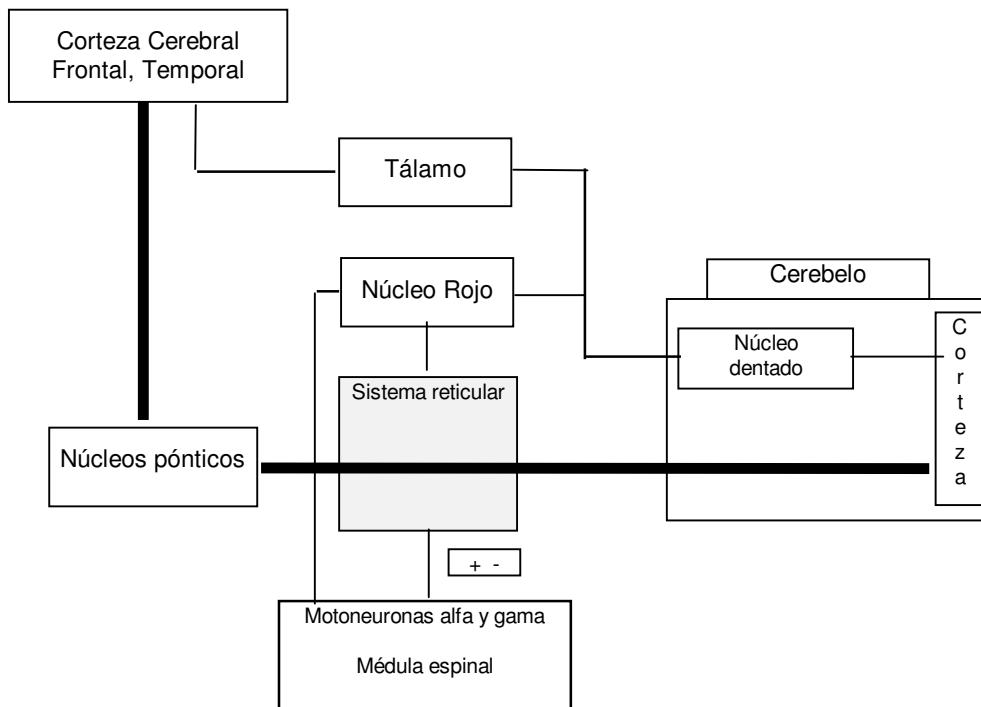
El vermis y la zona intermedia reciben preferentemente aferencias corticales de la corteza motora de la circonvolución precentral, vía que está organizada somatotópicamente de forma que las fibras pontocerebelosas terminan siguiendo el mismo patrón que las que aportan información de la médula espinal. Las partes laterales de los hemisferios, por el contrario, reciben la mayor parte de

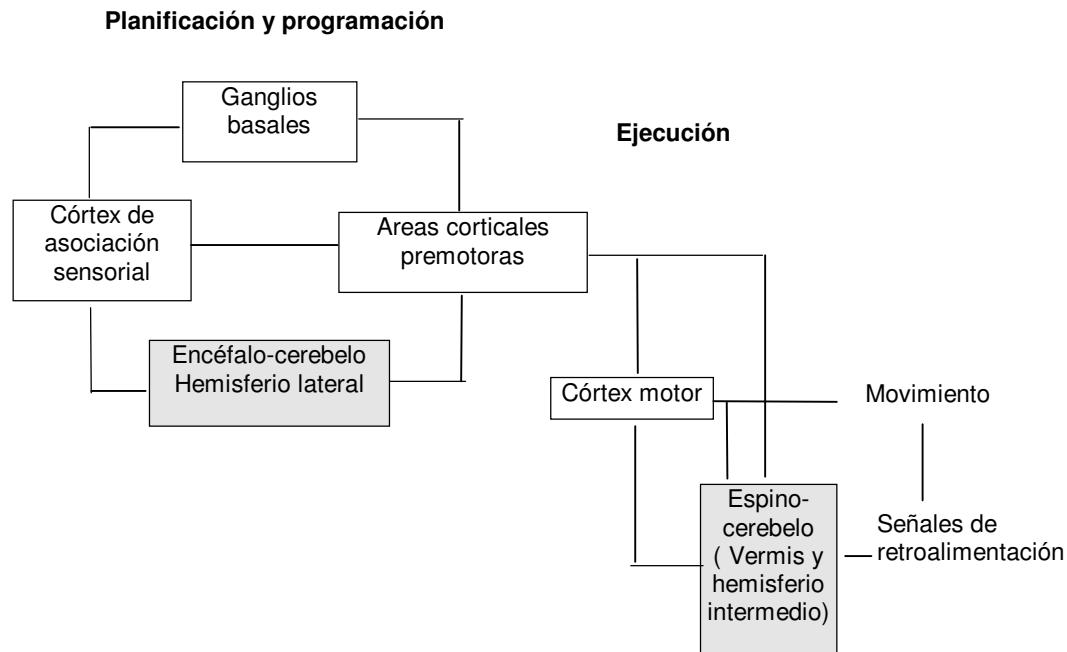
GRamónS

sus aferencias corticales de las áreas premotora, somatosensoriales y de asociación de la corteza cerebral.

Se ha observado que la mayoría de las neuronas del núcleo dentado modifican su frecuencia de descarga antes de que se produzcan movimientos voluntarios y, en realidad, muchas de ellas modifican la frecuencia de descarga incluso antes de producirse actividad en la corteza motora. Debido a esto, las teorías actuales aceptan que la conexión corteza cerebral-núcleo dentado está encargada de la planeación y programación de los movimientos voluntarios, sobre todo de los movimientos complejos aprendidos que se hacen mas rápidos, precisos y automáticos con la práctica.

Este paquete de fibras interconectas son las que capacitan al sujeto para pensar en los movimientos y poder corregirlos, aprenderlos o crear nuevos movimientos. Esta parte del cerebelo es la gran diferencia entre la motricidad del hombre y las especies inferiores.





### Aprendizaje motriz y Cerebelo:

Cada vez hay mas datos que indican que el cerebelo desempeña un papel especial en el aprendizaje motriz. A continuación se exponen dos ejemplos bien estudiados.

El reflejo vestibuloocular se produce durante los movimientos de la cabeza pero conservando la mirada en la misma posición, es decir, fija en un punto del campos visual. Es decir, el objetivo del reflejo es que cada grado de movimiento cefálico produzca un movimiento contralateral compensador. El resultado es que la mirada permanece constante y el mundo visual estable. El circuito del reflejo está constituido por aferencias vestibulares primarias que hacen sinápsis con núcleos vestibulares los cuales controlan los músculos extrínsecos del ojo. Cuando se modifica la óptica del ojo, como por ejemplo cuando se usan gafas, una ganancia del reflejo ya no sería adecuada, pero se ha observado que el arco reflejo vestibuloocular es muy adaptable a los cambios en la aferencia visual. Se ha probado con lentes inversores, de modo que el movimiento de la cabeza o del ojo en una dirección produce un movimiento en la dirección opuesta y así, el reflejo inalterado sería contraproducente. Sin embargo si se usan los prismas permanentemente, la ganancia del reflejo se invierte lentamente. Al eliminar los prismas, el reflejo vuelve a invertirse. En animales de experimentación, al eliminar el núcleo olivar o del flóculo impide que se produzcan estos cambios adaptativos.

Al soplar la córnea de un conejo se produce un parpadeo reflejo. Si el soplo es precedido regularmente por un sonido, después de un tiempo el sonido produce el parpadeo reflejo. La eliminación de una pequeña parte del núcleo interpuesto (globoso y emboliforme en el hombre) anula la respuesta condicionada del ojo del mismo lado, aunque no afecta la respuesta del aire ni la respuesta del otro ojo. Las lesiones del núcleo olivar inferior impiden que un animal no condicionado adquiera la respuesta condicionada del ojo contralateral o si la respuesta ya había sido condicionada, esta va desapareciendo lentamente, indicando que el núcleo olivar inferior puede ser necesario para establecer y mantener la respuesta condicionada.

GRamónS

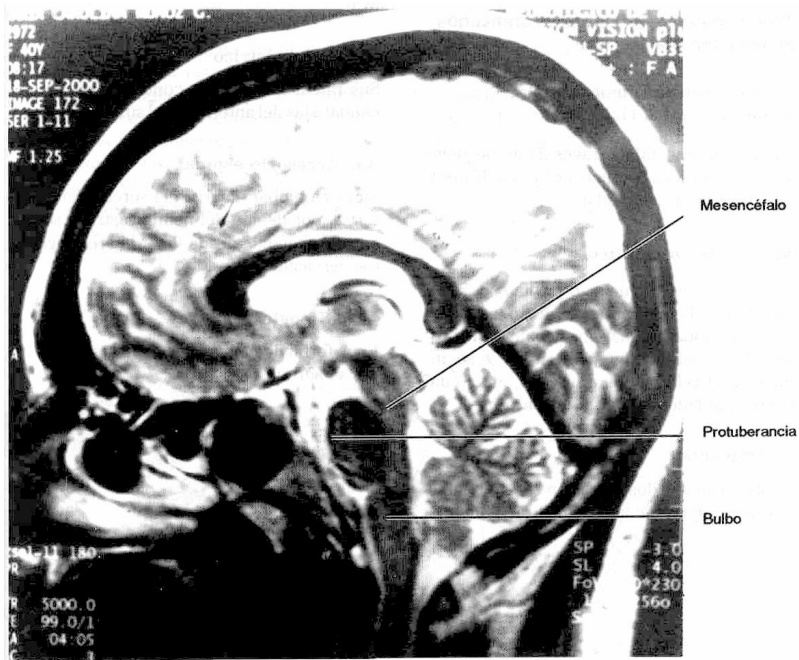
El papel de las fibras musgosas y trepadoras se examinó en monos entrenados para mover una mano utilizando los músculos flexores o extensores. Los resultados mostraron que la actividad de las fibras trepadoras se modifica durante el aprendizaje motor, y sugiere que esta modificación podría a su vez, mediante inhibición heterosináptica, reducir la fuerza de los inputs de las fibras musgosas sobre las neuronas de Purkinje. Esta reducción de la entrada, provocaría a su vez una disminución de las descargas de las células de Purkinje y un aumento (debido a la desinhibición) de los outputs de las neuronas de los núcleos profundos.

La inactivación de la corteza cerebelosa mediante fármacos impide la adaptación conductual. Los resultados de los estudios celulares sobre el papel del cerebelo en las tareas motoras apoyan la teoría de James Albus de que el cerebelo corrige las diferencias entre los movimientos proyectados y los movimientos en curso, mediante la inhibición heterosináptica de las fibras musgosas por las fibras trepadoras.

#### BIBLIOGRAFÍA:

Nolte, J. (1994). El Cerebro Humano : introducción a la anatomía funcional. 3 ed. Mosby, Doyma Libros.

Jessel, T..M., Kandel, E.R., y Schwartz, J.H. (1996). Neurociencia y Conducta. Prentice Hall, Madrid.



Relaciones del tallo cerebral. Imagen por resonancia magnética.

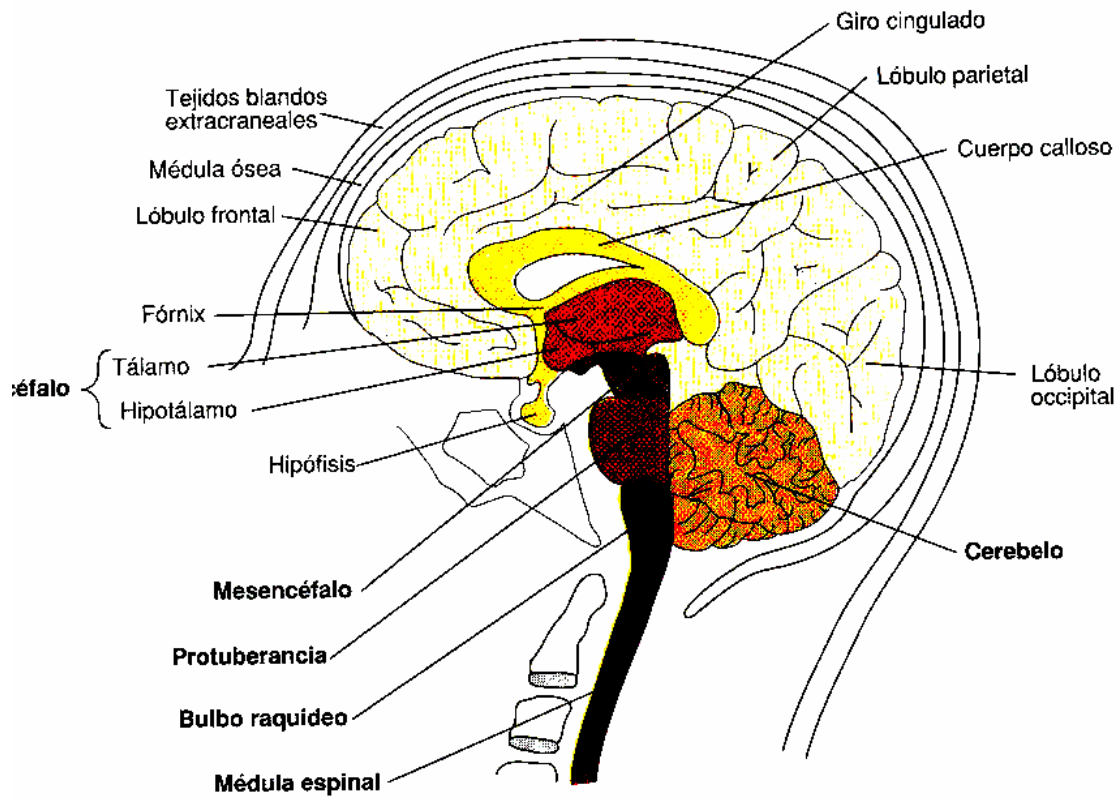


Figura 1. Relaciones del tallo cerebral y el sistema nervioso central

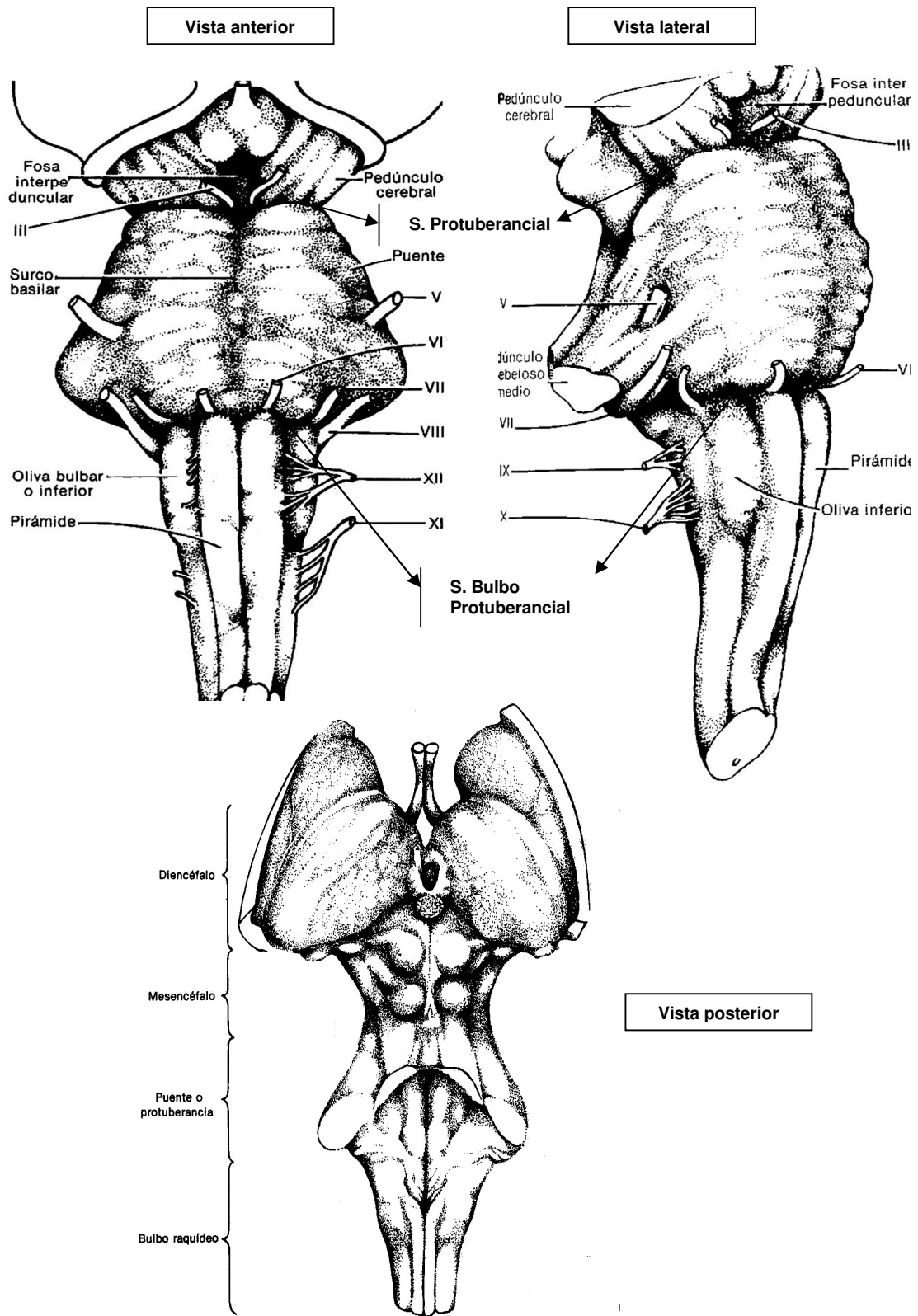
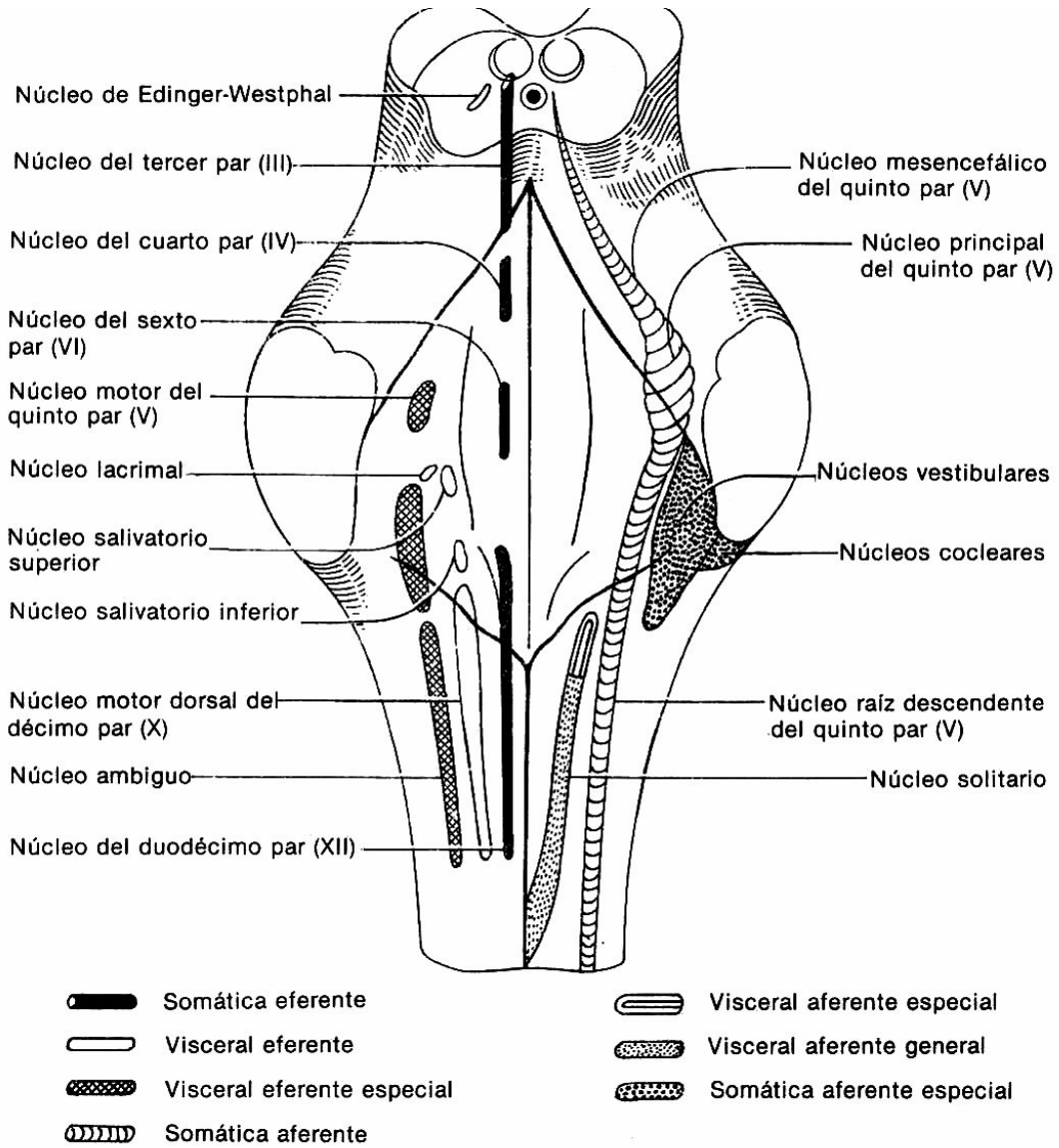


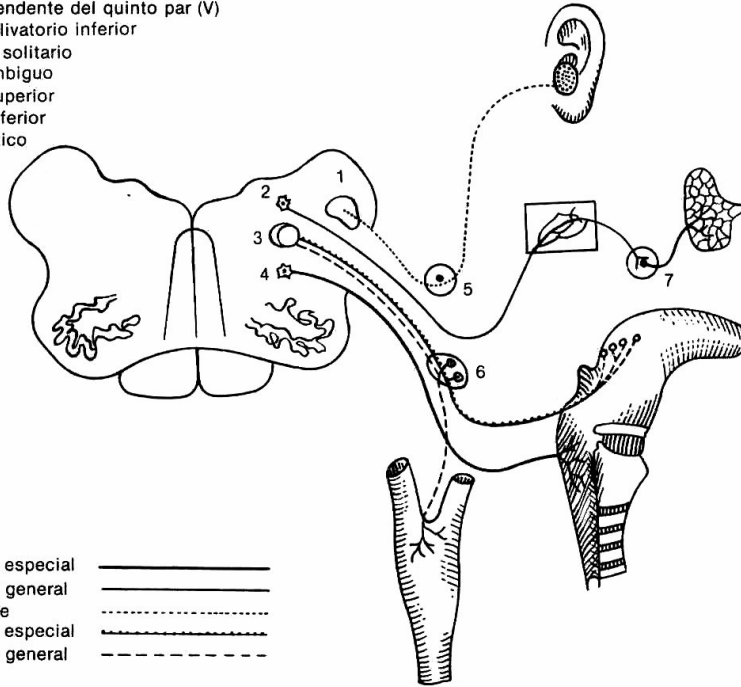
Figura 2. Anatomía externa del tallo cerebral.



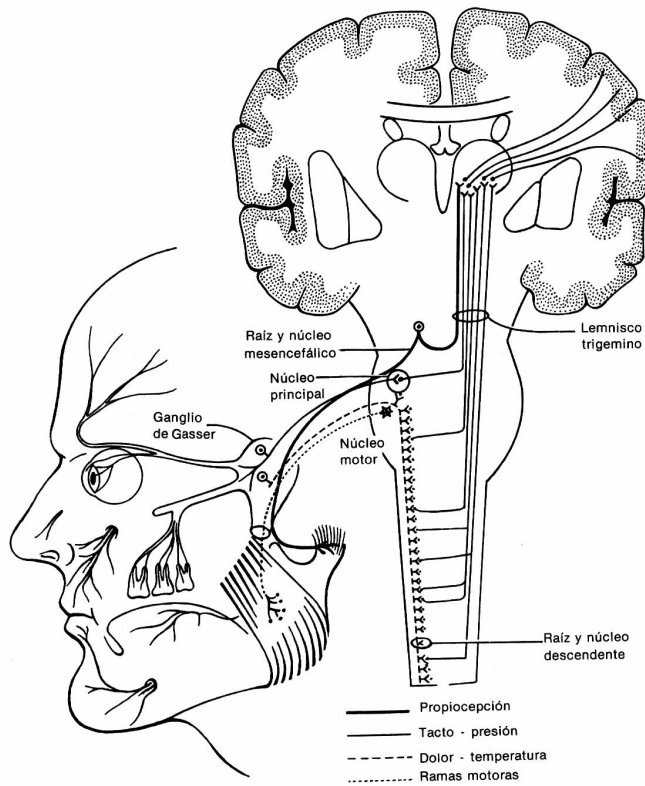
Organización topográfica y funcional de los núcleos del tallo cerebral.

Figura 3. Pares craneanos que se originan en el tallo cerebral.

- 1 - Raíz descendente del quinto par (V)
- 2 - Núcleo salivatorio inferior
- 3 - Fascículo solitario
- 4 - Núcleo ambiguo
- 5 - Ganglio superior
- 6 - Ganglio inferior
- 7 - Ganglio ótico



Composición funcional del nervio glossofaríngeo.

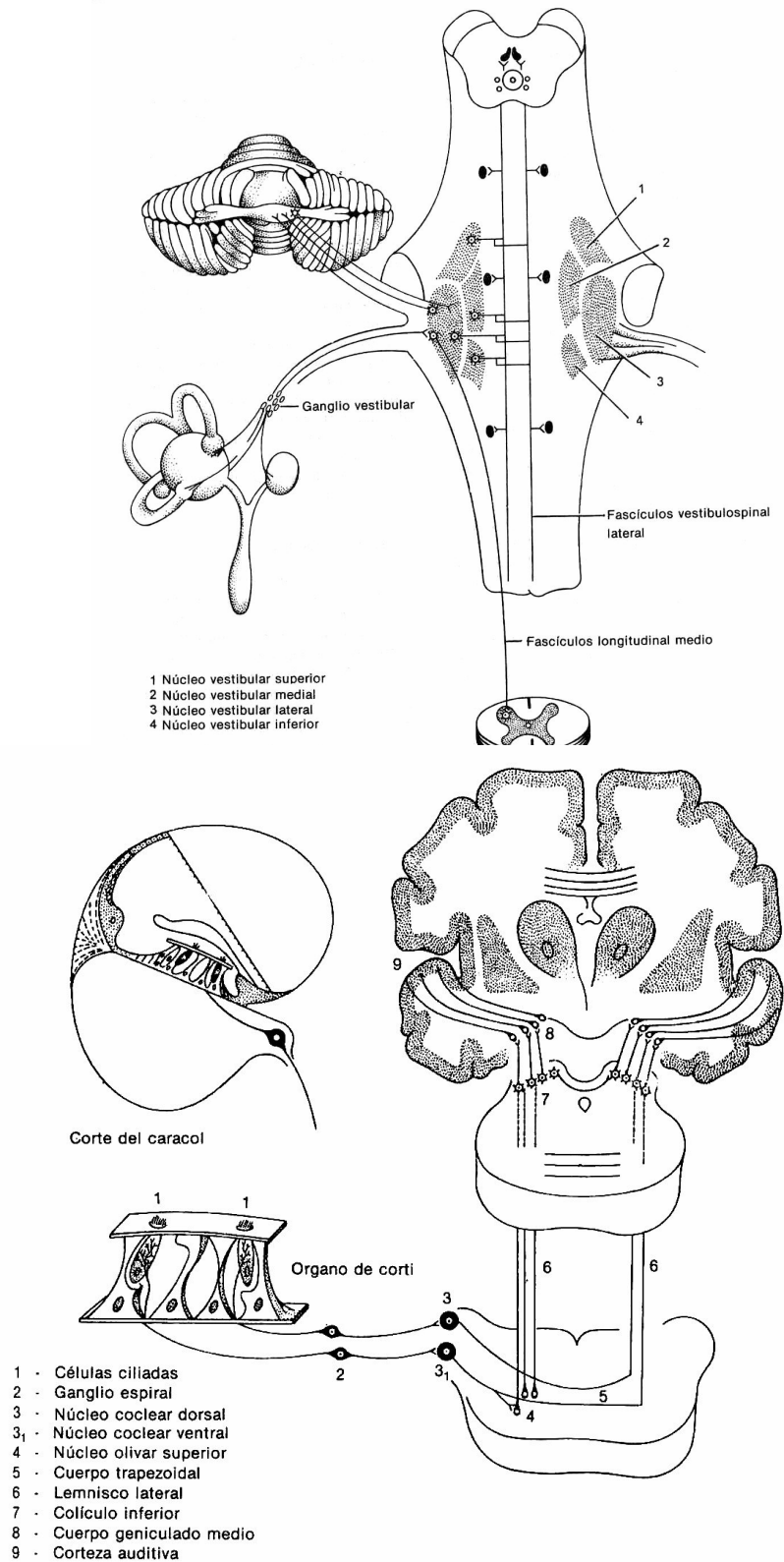


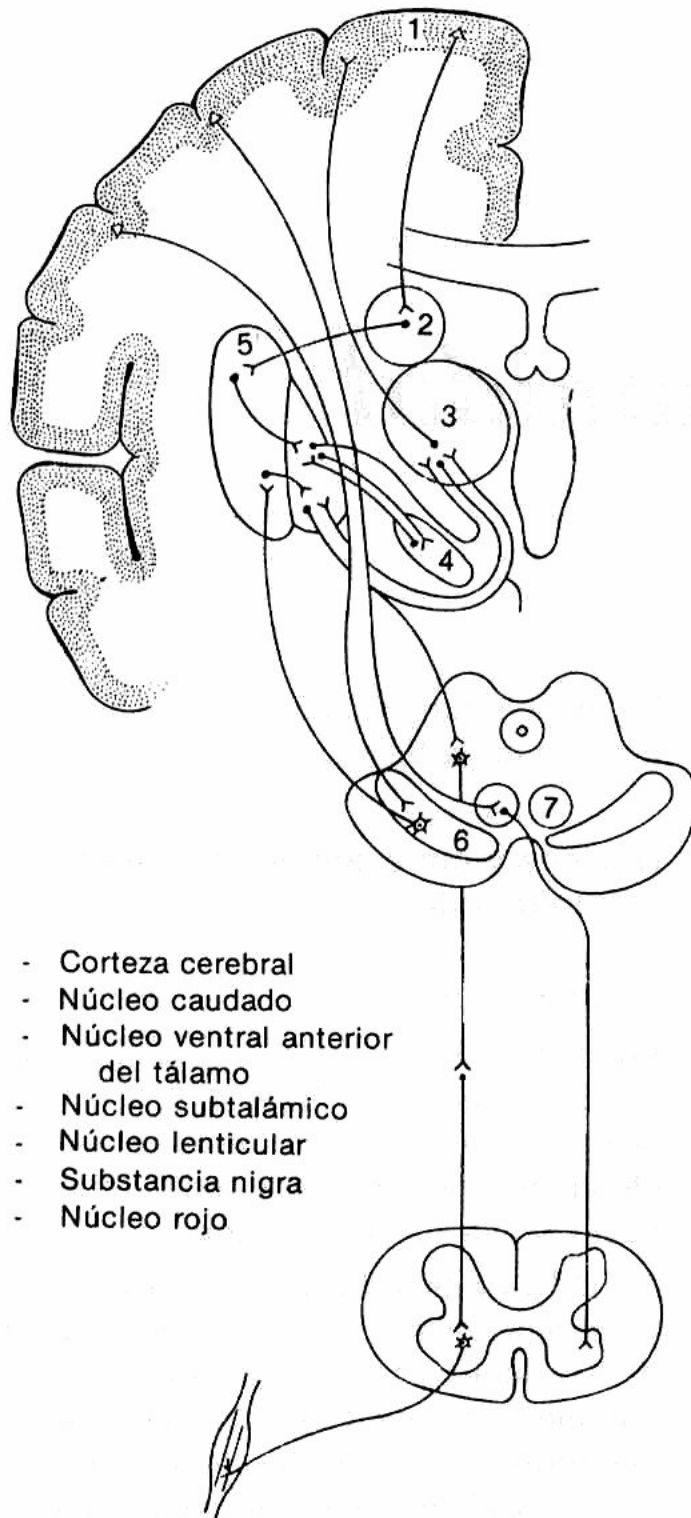
Distribución periférica y conexiones centrales del trigémino.



# Tallo Cerebral

GRamónS





- 1 - Corteza cerebral
- 2 - Núcleo caudado
- 3 - Núcleo ventral anterior del tálamo
- 4 - Núcleo subtalámico
- 5 - Núcleo lenticular
- 6 - Substancia nigra
- 7 - Núcleo rojo