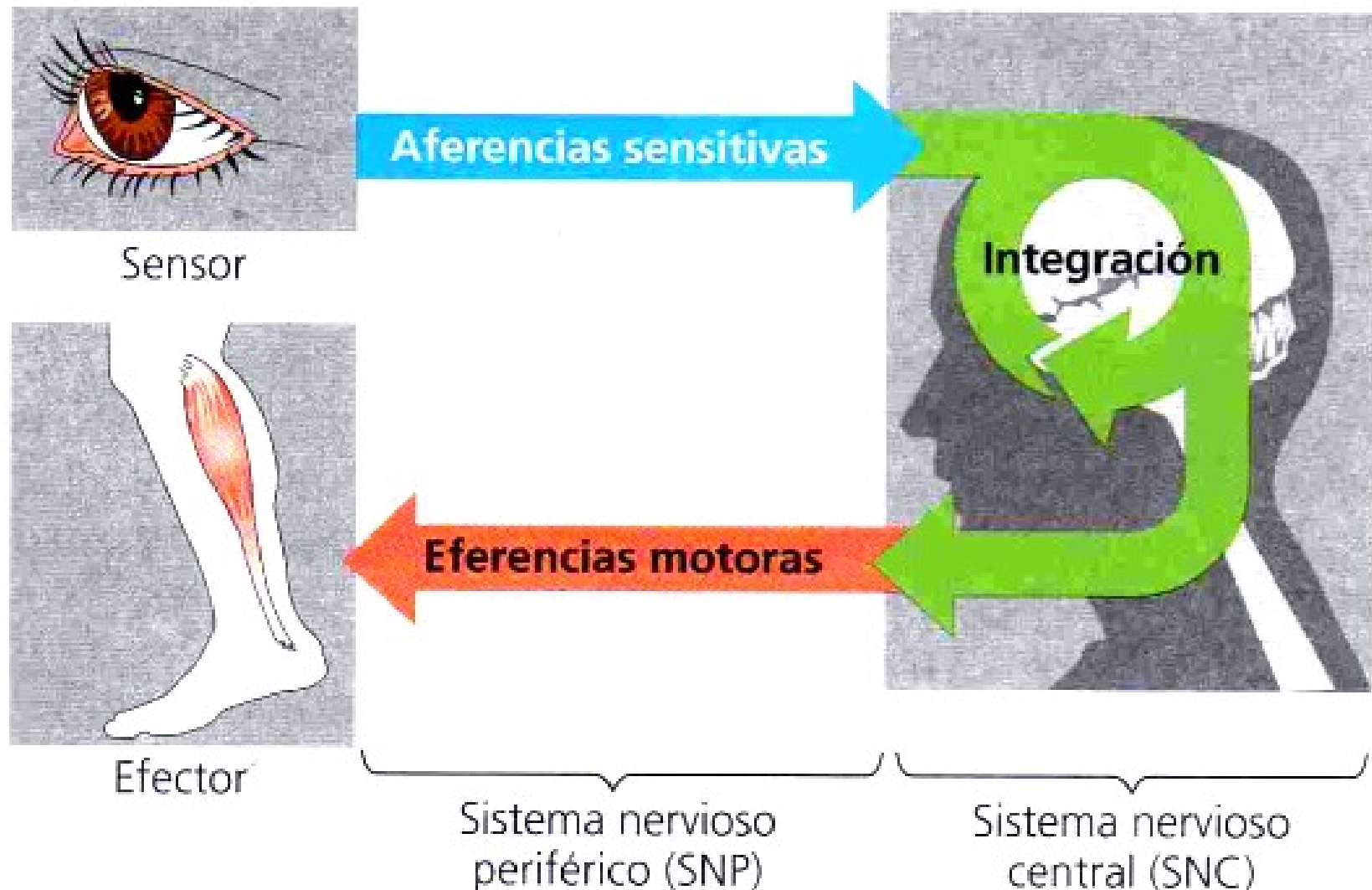


# Reflejos espinales

## Sistema motor somático

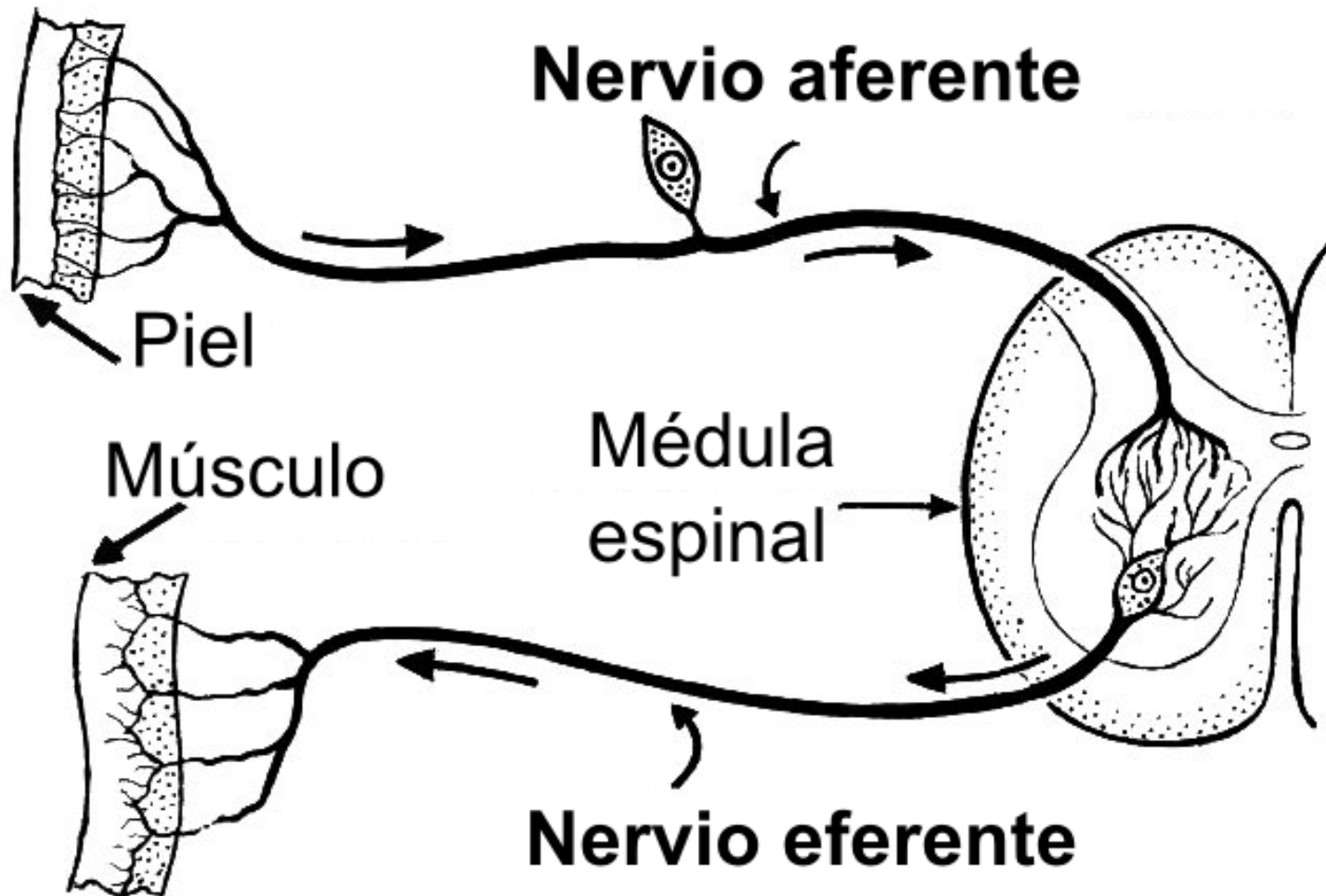


# ¿Cómo funciona el sistema nervioso?



# Actos Reflejos

El nivel más simple de integración motora



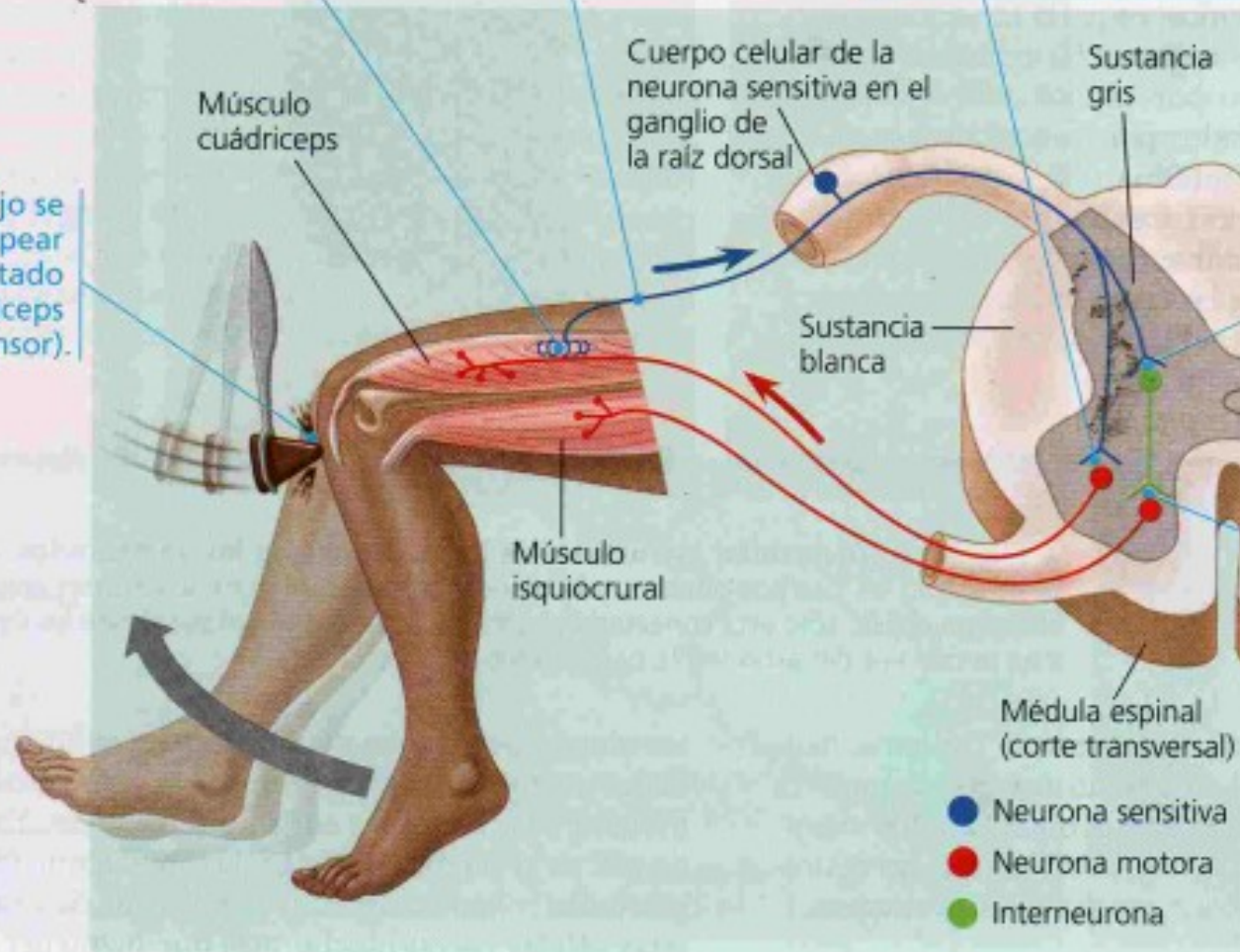
# Un circuito neuronal simple

2 Los sensores detectan un estiramiento súbito en el cuádriceps.

3 Las neuronas sensitivas transmiten la información hasta la médula espinal.

4 Las neuronas sensitivas se comunican con las neuronas motoras que inervan el cuádriceps. Éstas transmiten señales hasta el cuádriceps y determinan que se contraiga y que la pierna se proyecte hacia delante.

1 El reflejo se inicia al golpear el tendón conectado al músculo cuádriceps (extensor).



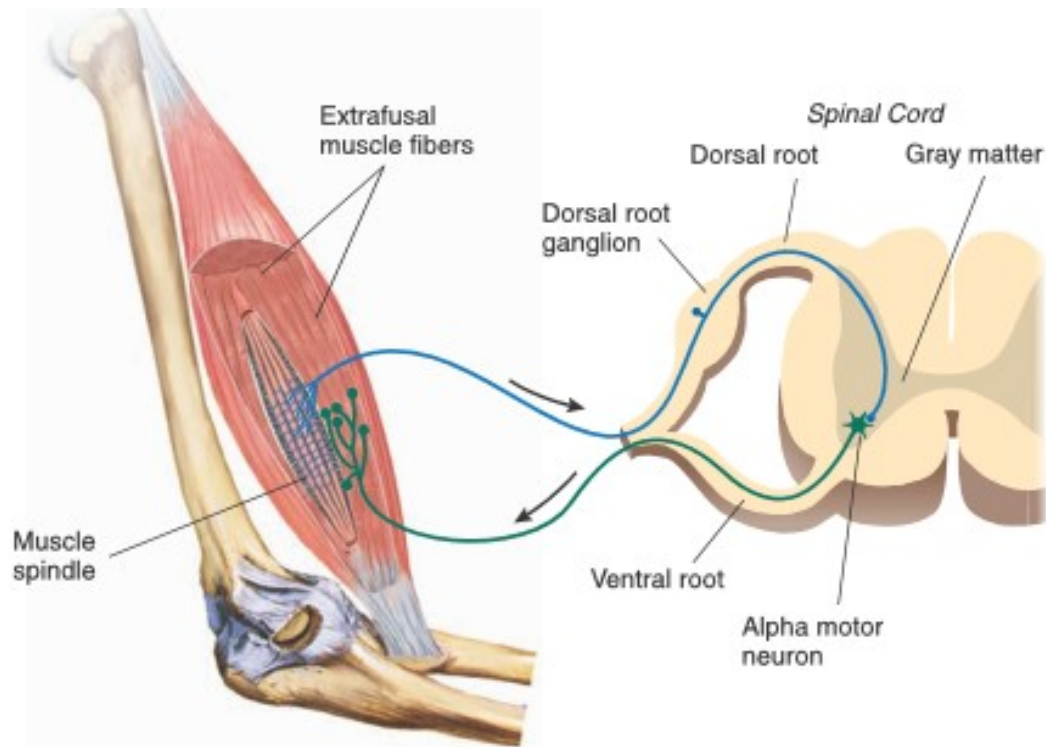
5 Las neuronas sensitivas del cuádriceps también se comunican con interneuronas en la médula espinal.

6 Las interneuronas inhiben a las neuronas motoras que inervan el músculo isquiocrural (flexor). Esta inhibición impide que el músculo se contraiga, lo que resistiría la acción del cuádriceps.

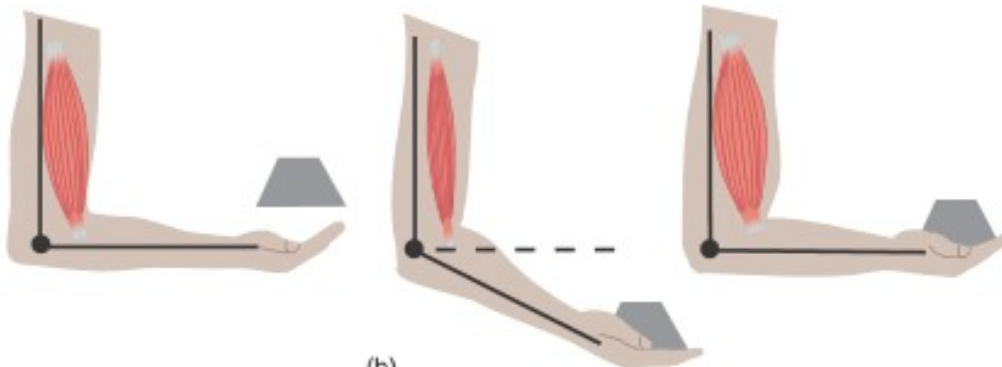
▲ Fig. 48-4. Reflejo patelar. Muchas neuronas participan en el reflejo, pero se muestra sólo una neurona de cada tipo.



# Circuitos – reflejo monosináptico extensor



(a)



(b)

- Sensor de estiramiento en el músculo: axón aferente
- En la médula, el axón aferente hace sinapsis con la motoneurona
- La motoneurona contrae el músculo
- Este tipo de reflejo ayuda a mantener la postura

# Características de los reflejos

- **rápidos**
  - **estereotipados**
  - **involuntarios**
- 
- Son patrones coordinados de contracción y relajación muscular desencadenados por un estímulo periférico.
  - El estímulo sensorial viene de piel, músculos y articulaciones
  - El circuito responsable de la respuesta motora está completamente contenido en la **médula espinal**
  - Son innatos
  - Existe una relación “lineal” entre el estímulo sensorial desencadenante y la salida motora.
  - Son hasta cierto punto flexibles y adaptables, la contracción muscular y la extensión dependen de la intensidad del estímulo.
  - Pueden ser controlables por el cerebro (ej, recipiente con algo caliente).

# Reflejos Espinales

- Conductas más sencillas: las mejor comprendidas a nivel celular y circuital.
- Bloques fundamentales de conductas más complejas como los movimientos voluntarios.
- Desencadenados por la activación de receptores sensoriales del músculo.
- Valor clínico.

# Elementos de un reflejo

Estímulo (estiramiento, dolor)



Receptor



Aferente (sensorial)



Sinapsis



Eferente (motor)



Efecto (músculo)

- Estímulos
- Receptores
- Nervios:
  - Fibras sensoriales
  - Fibras motoras
- Ganglios:
- Médula
- Sinapsis
- Músculos esqueléticos
- Funciones: evitar daños, mantener postura



# Control voluntario del movimiento



# Sistema motor

- Se parte de una representación interna del mundo, que se consigue con los sistemas sensoriales, y el propósito del movimiento
- El sistema de control de los movimientos voluntarios es muy complejo
- Los sistemas motores tienen una organización jerárquica, cada nivel toma una decisión diferente.
  - Nivel más alto: propósito del movimiento, involucra a la corteza prefrontal (para qué es el movimiento, ej, alcanzar una botella de refresco)
  - Formación de plan motor: corteza motora primaria, corteza parietal posterior. Características del movimiento integrando información sensorial respecto al entorno y a la posición de nuestro cuerpo (dónde está la botella y dónde estamos respecto a ella)
  - Coordinar los músculos que se necesita contraer en el espacio-tiempo para poder realizar el movimiento deseado: lo hacen la corteza motora primaria, tronco encefálico y médula espinal (estirar el brazo, cerrar los dedos, levantar el brazo con la fuerza justa para levantar la botella).
- Los músculos realizan la acción.

**Tres tipos de movimientos: reflejos, rítmicos y voluntarios**

# Movimientos voluntarios

- Indican intención de actuar- alcanzar un objetivo implica realizar una serie de acciones
- Transformación de la información sensorial del mundo y del estado interno en una serie de comandos motores. Múltiples regiones de la corteza cumplen estas tareas
- Requieren información sensorial del entorno y del cuerpo
- Alcanzar un objeto requiere información de la localización del objeto en el espacio
- **Mejoran con la práctica**
- Se adaptan al contexto
- Requieren representación interna del espacio

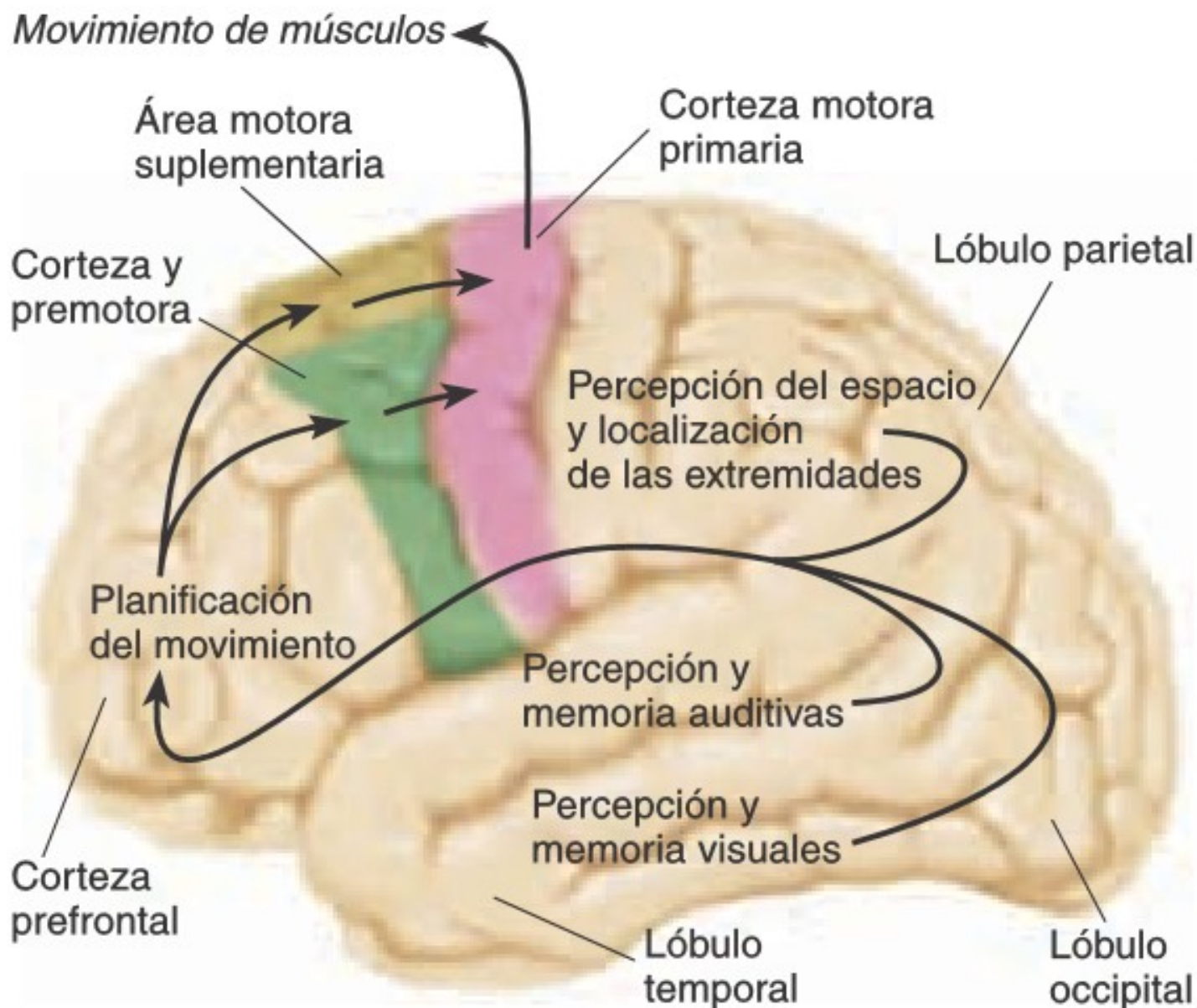


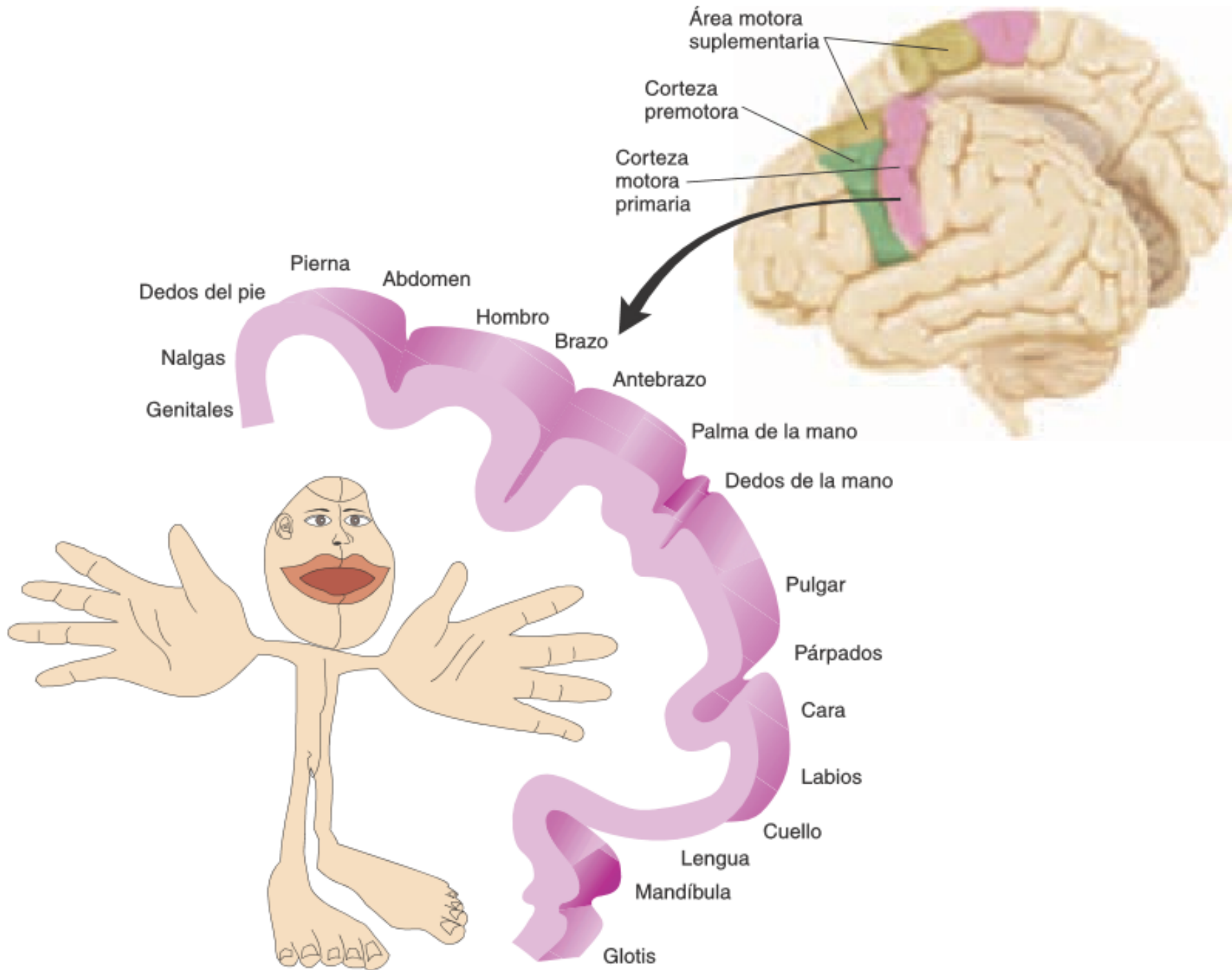


# Video gol



# Control cortical del movimiento

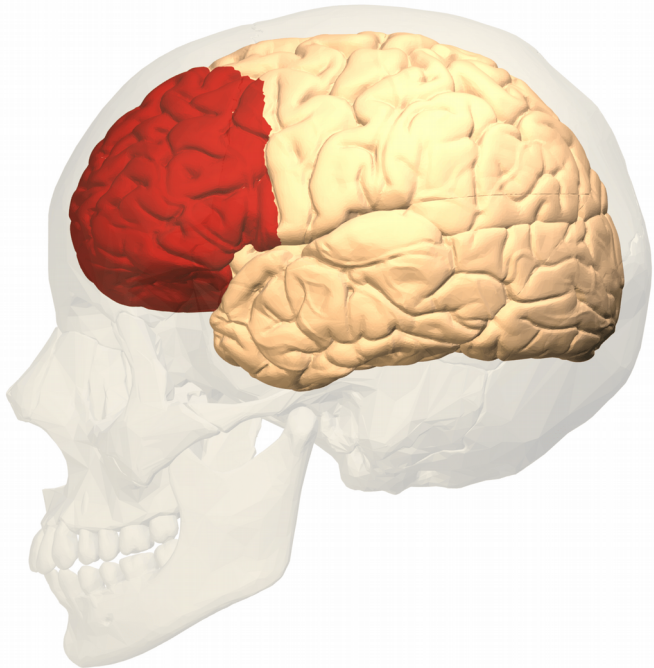






# Corteza prefrontal

- Responsable de la planificación y la organización de los movimientos voluntarios
- Determina el objetivo último de los movimientos
- Evidencias de diversos estudios indican que la decisión de realizar los actos motores se hace en esta área



# Complejo motor suplementario

- Implicada en selección y ejecución de secuencias de movimientos voluntarios

Dos regiones con características diferentes

Corteza motora pre-suplementaria – más rostral

- se activa **antes** de que las personas realicen movimientos espontáneos
- un estudio demostró que la actividad en esta área comienza 3 segundos antes de que la persona sea consciente de decidir realizar un movimiento
- la decisión de realizar un movimiento no se toma en esta área

Corteza motora suplementaria – mas caudal

Asociada con movimientos complejos y coordinados de manos, brazos, cabeza y tronco.

- Hay aspectos por aclarar de las funciones de éstas áreas

# Corteza premotora

- Planificación del movimiento – se activan durante la ejecución de secuencias de movimientos
- Reciben información de áreas de asociación de las cortezas temporal y parietal
- Corteza premotora – implicada en el aprendizaje del control de movimientos en respuesta a estímulos arbitrarios.
- Contiene representación del espacio alrededor del cuerpo (peripersonal).
  - Contribuye a las decisiones perceptuales que guían los comportamientos motores, elige la respuesta motora más apropiada basada en información sensorial
- Implicada en aprendizaje motor
- Se han identificado circuitos de neuronas espejo en esta área.

# Neuronas espejo

- Se encuentran en la corteza premotora ventral y en la corteza parietal posterior.
- Se activan cuando el sujeto ve a otros realizar manipulaciones de objetos, y cuando las realiza él mismo.
- Estudios mostraron que estas neuronas se activan más cuando alguien observa a otro ejecutando movimientos en los que el sujeto es experto. Estos circuitos desarrollan sensibilidad a los movimientos que la persona realiza.
- Cuando vemos a otros hacer movimientos que conocemos, se tensan los músculos que usaríamos para hacer lo mismo.
- Responden también a sonidos asociados con acciones- neuronas audiovisuales
- Estos circuitos nos hacen copiar expresiones faciales de emociones de otros y nos hacen sentir esas emociones
- Codifican no sólo la acción sino la intención de la acción



# Interacción con objetos: alcanzar y agarrar

- Asociada con corteza visual, vía dorsal del dónde, se activa cuando apuntamos a un objeto y tratamos de alcanzarlo – corteza parietal.
- Se necesita conocer la localización del objeto para poder alcanzarlo.

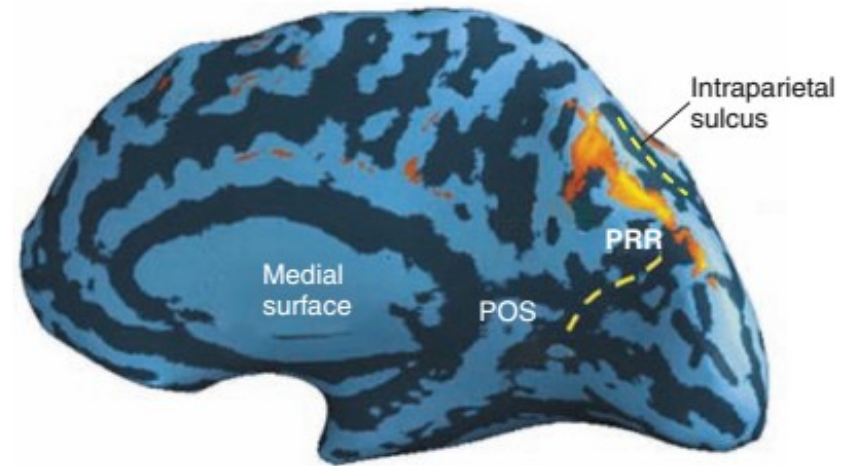


FIGURE 8.19 The Parietal Reach Region



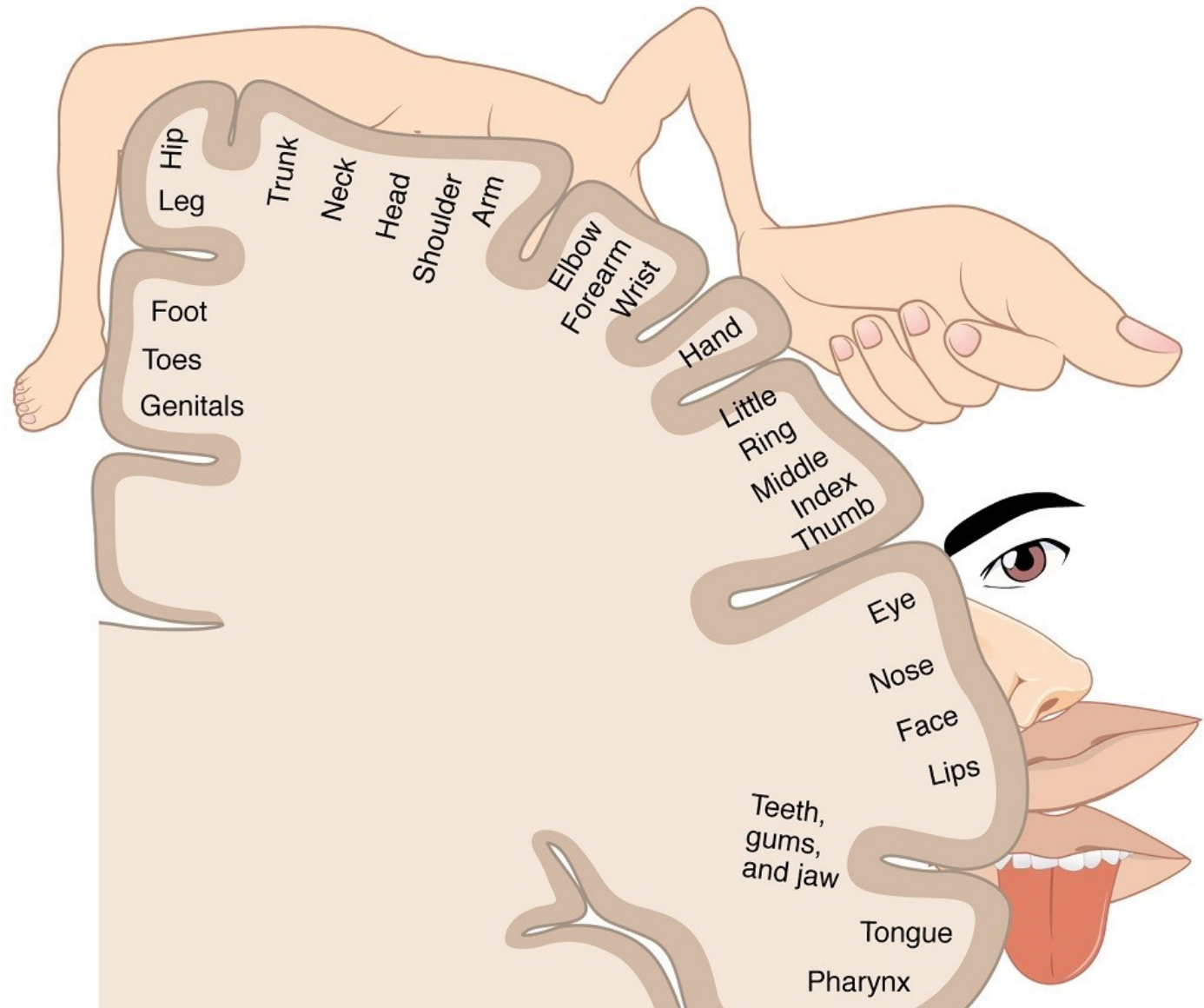
FIGURE 8.20 Activation of the Anterior Intraparietal Sulcus

- Área que se activa cuando se agarra un objeto- surco intraparietal anterior.
- Se activa la parte ventral de la vía visual “qué”. Se necesita conocer información sobre el objeto para realizar los movimientos apropiados



# Corteza motora primaria

- Organización topográfica: en esta área hay una representación del cuerpo.
- Las áreas más representadas son las que realizan más y más precisos movimientos.
- Se coordinan los movimientos específicos de músculos para ejecutar el movimiento deseado





# Ganglios basales

Núcleos subcorticales importantes para el control de los movimientos voluntarios. Su destrucción causa severos déficit motores

Núcleos motores

- Núcleo caudado
- Putamen
- Globo pálido

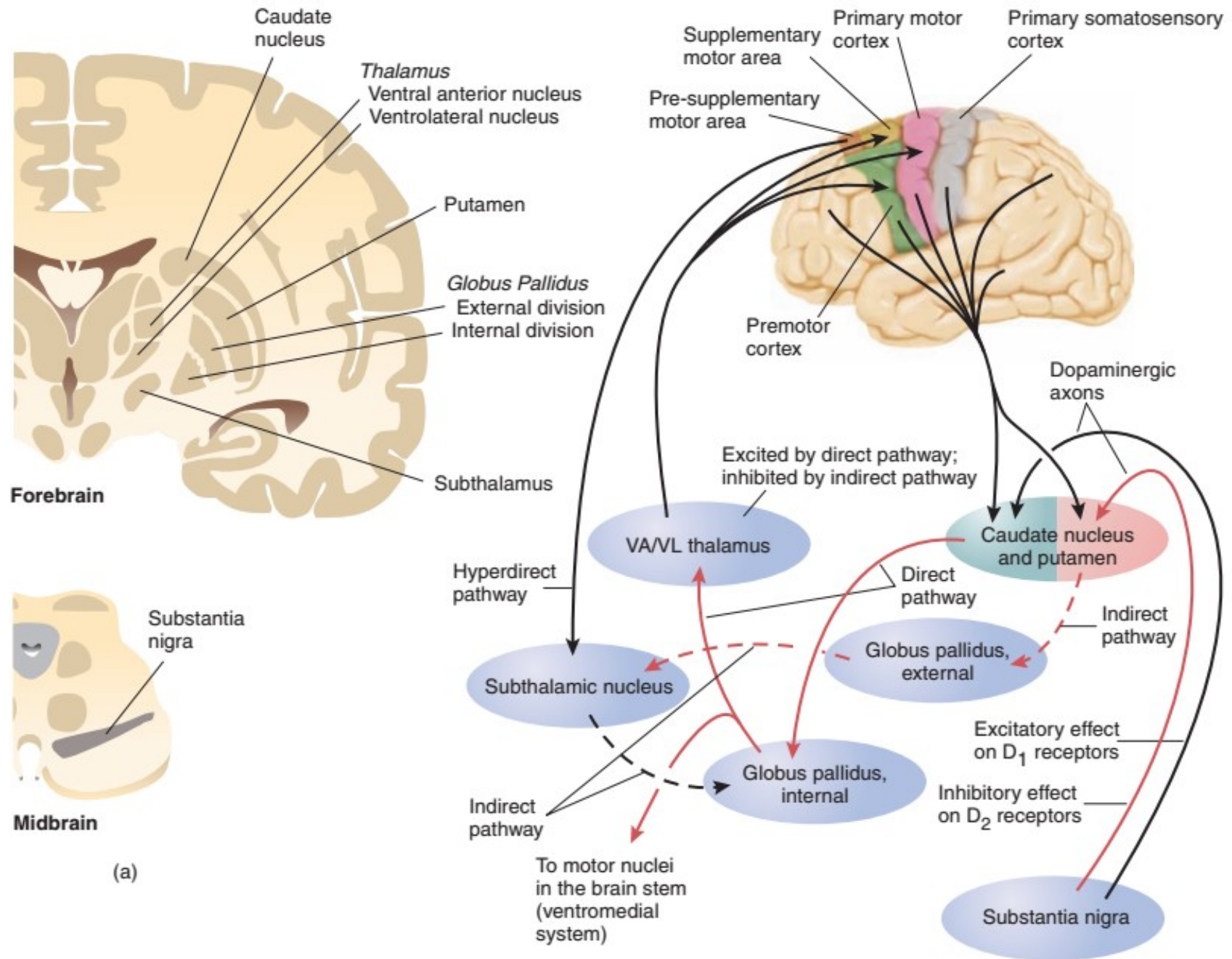
Son núcleos teleencefálicos involucrados en el control de los movimientos voluntarios. Integran los circuitos que controlan estos movimientos.

Reciben la mayoría de las entradas de la corteza motora primaria y la corteza somato sensorial primaria, y de la sustancia nigra. Tienen dos salidas principales: a) la corteza motora primaria, la corteza motora suplementaria y la corteza premotora (pasa por el tálamo).

b) núcleos motores del tronco encefálico.

- Otros núcleos talámicos están implicados en el control de los movimientos voluntarios

# Circuitos de los ganglios basales



# Control cortical del movimiento

Vías descendentes: son de dos categorías, o grupos

## Grupo lateral:

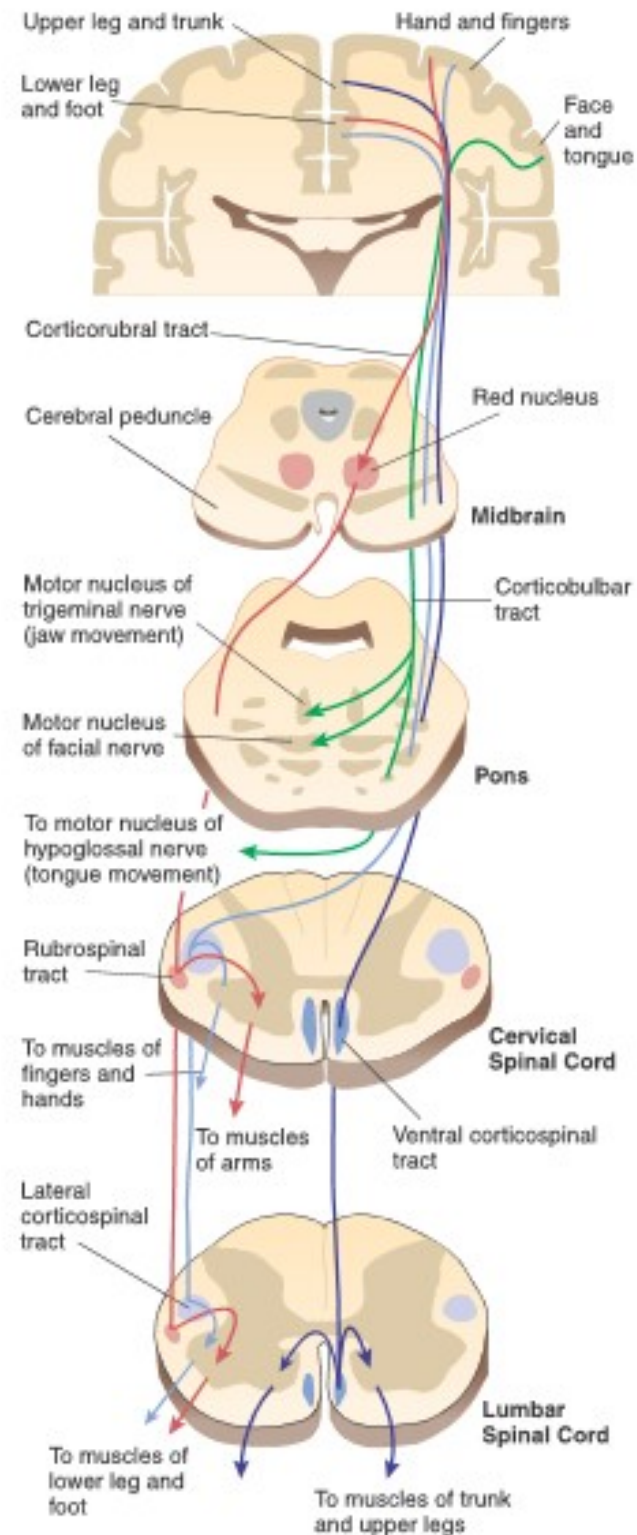
- Implicado en el movimiento independiente de extremidades, especialmente manos y dedos.

### - Tracto córtico espinal

(celeste), músculos de brazos, manos y dedos; parte distal de la pierna, pies y dedos.

- **Tracto córtico bulbar** (verde), músculos de cara, cuello, lengua, músculos extra-oculares.

- **Tracto rubro espinal (rojo):** movimiento de manos y brazos independientes del tronco.



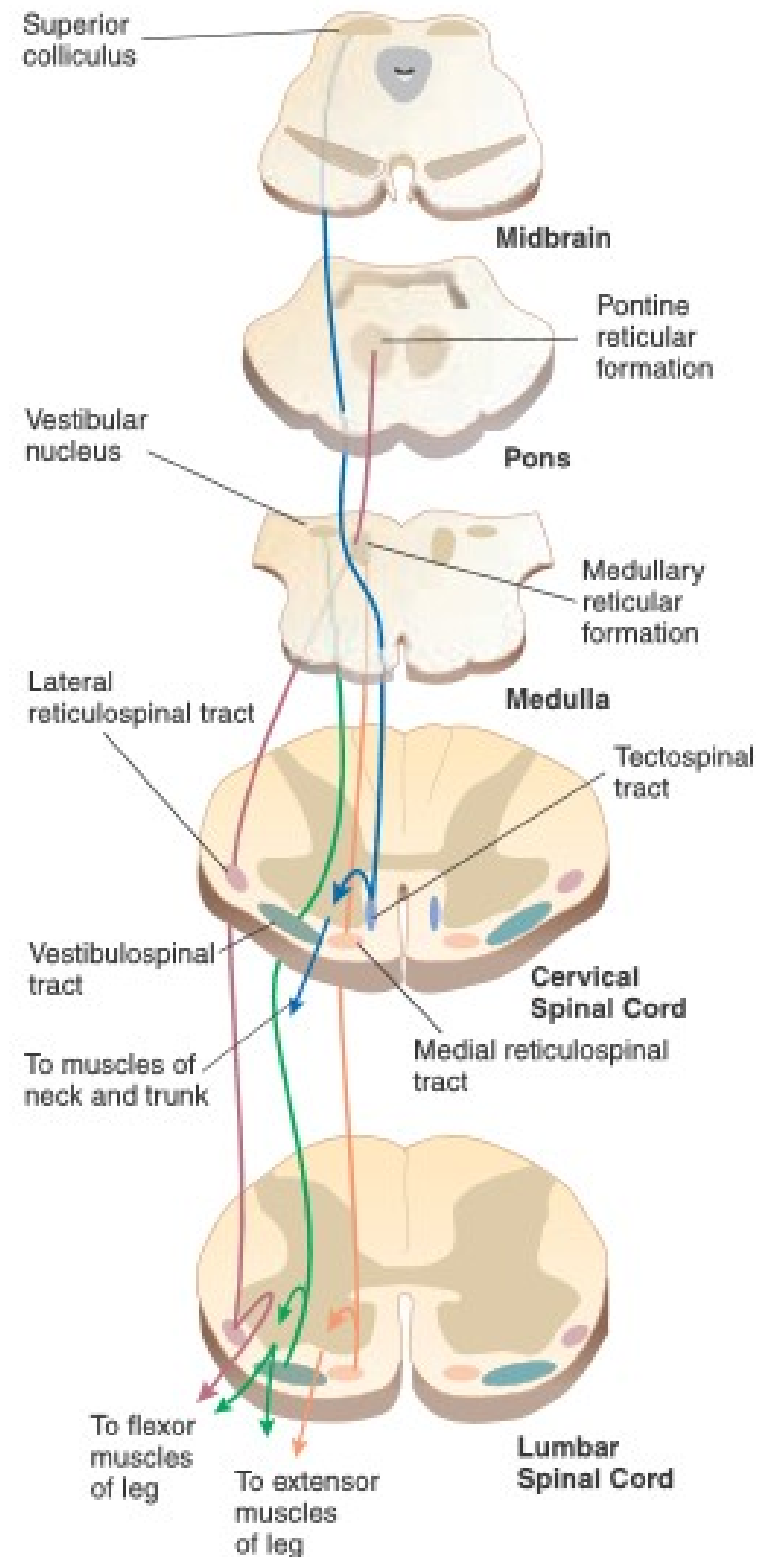
Grupo ventromedial:

- **Tracto vestibulo espinal:** va de los núcleos vestibulares a la médula espinal, controla los movimientos posturales en respuesta a la información del sistema vestibular.

- **Tracto tecto espinal:** axones que van del tectum a la médula, coordina movimientos de cabeza y tronco con movimientos oculares

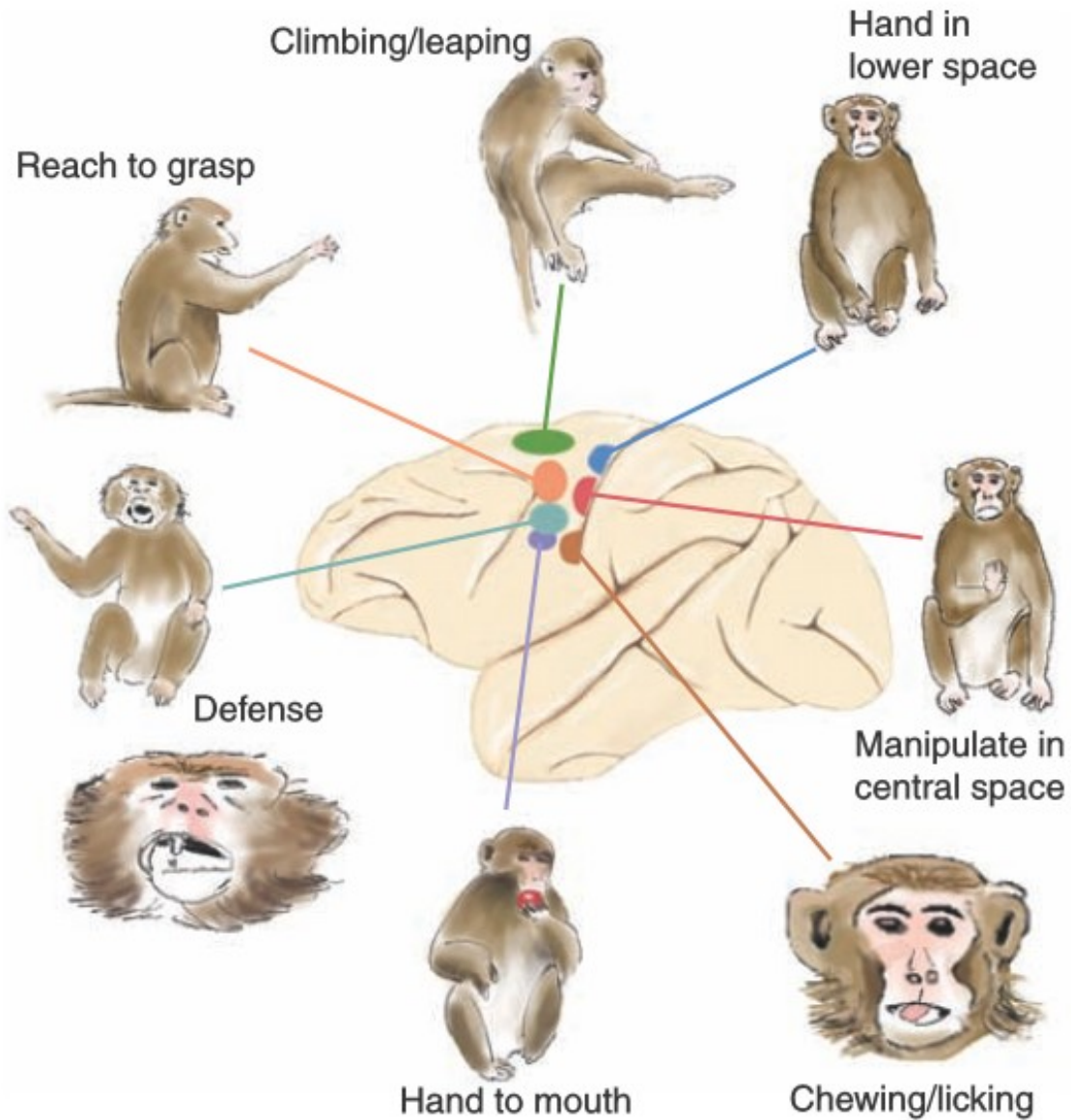
- **Tracto retículo espinal:** axones que van desde la formación reticulada a la sustancia gris de la médula espinal, controla los músculos responsables de movimientos posturales.

- **Tracto córtico espinal ventral** (azul en figura anterior) los axones se originan en la corteza motora y terminan en la sustancia gris ipsilateral ventral de la médula espinal; controla los movimientos del tronco y la parte superior de las piernas.





# Corteza motora



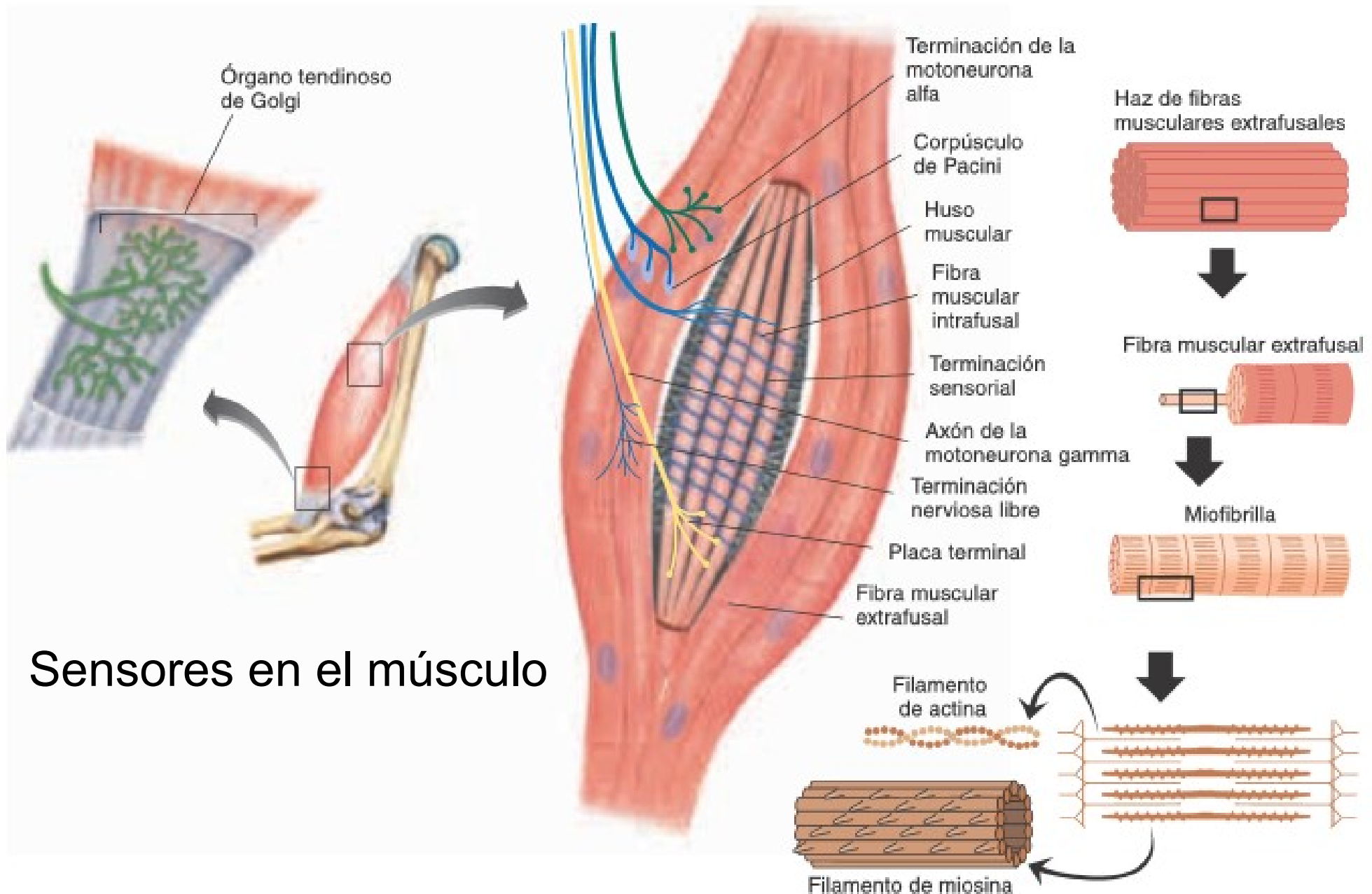
La estimulación de la corteza motora produce distintos tipos de movimientos según el lugar que se estimule

# Músculos

- Los músculos son el nivel más bajo de la jerarquía, son los que realizan la acción final.
- Tenemos aproximadamente 650 músculos esqueléticos o estriados
- Ejecutan movimientos voluntarios
- Se llaman esqueléticos porque se conectan con los huesos mediante tendones.
- Se llaman estriados por cómo se ven al microscopio, por su estructura
- Un músculo está formado por un conjunto de fibras musculares
- La fibra muscular es la célula del tejido muscular
- La fibra muscular está formada por miofibrillas, que son las que permiten la contracción de la fibra.
- Miofibrillas: filamentos de actina y miosina.

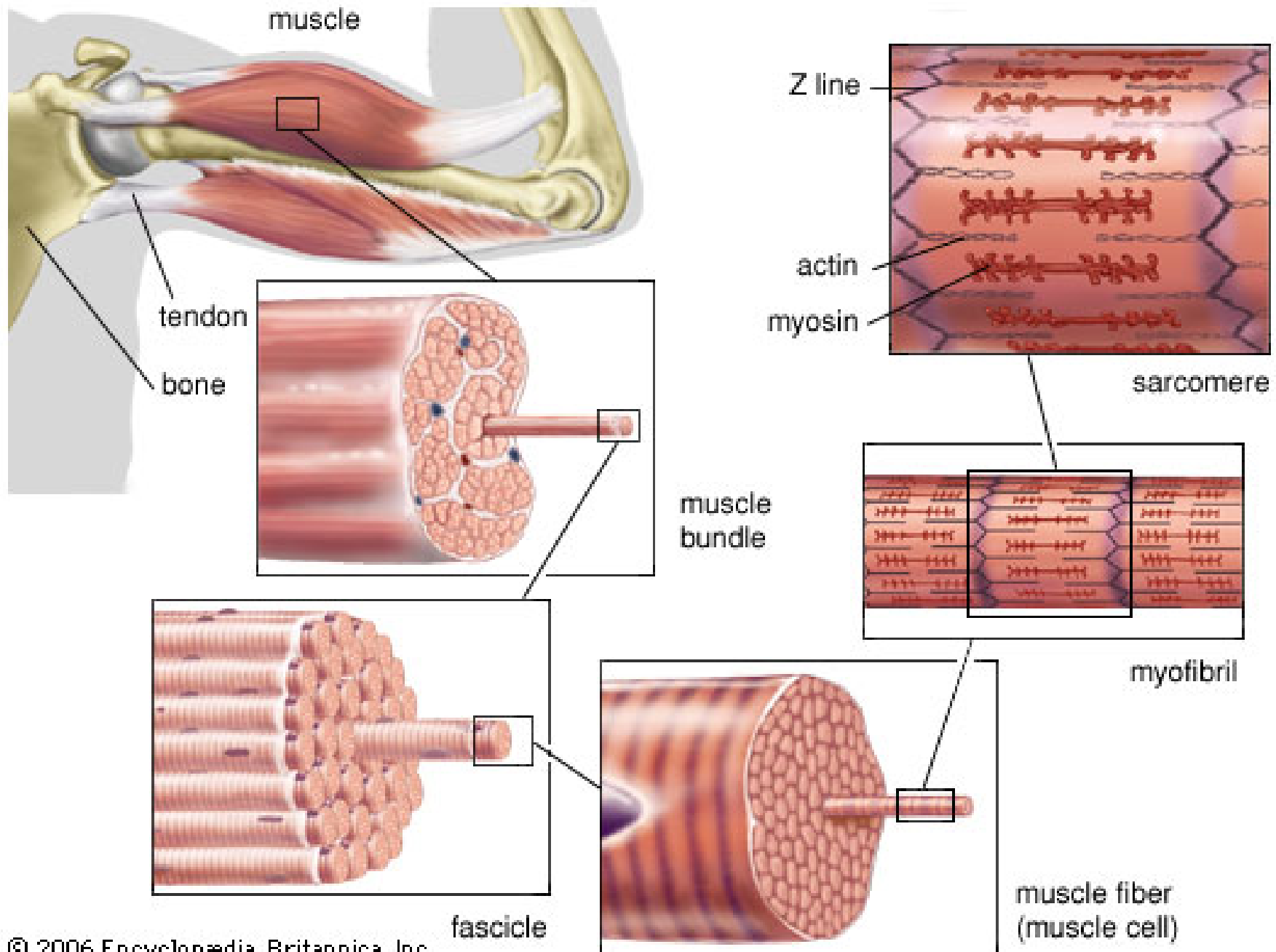


# Anatomía del músculo esquelético

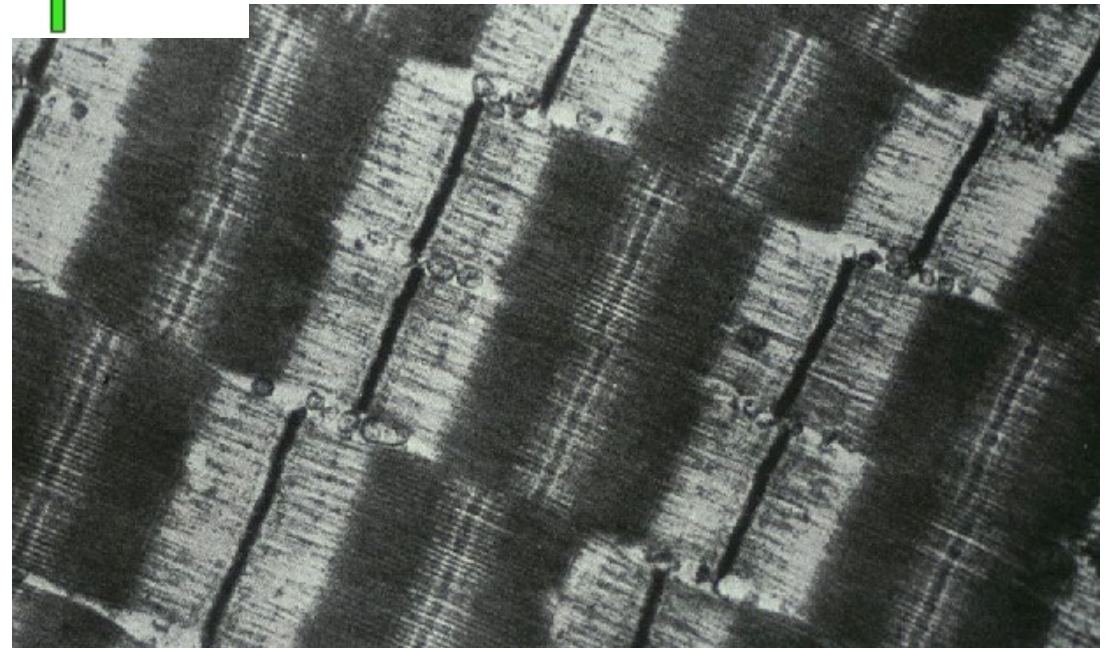
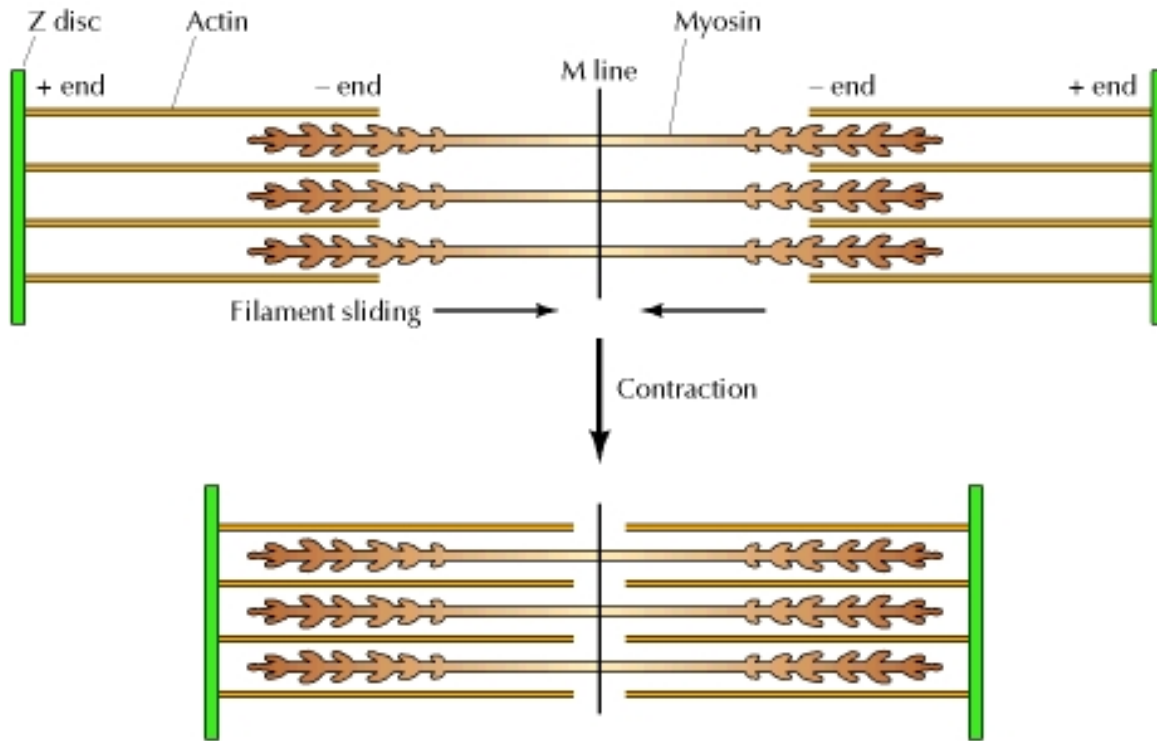


Sensores en el músculo

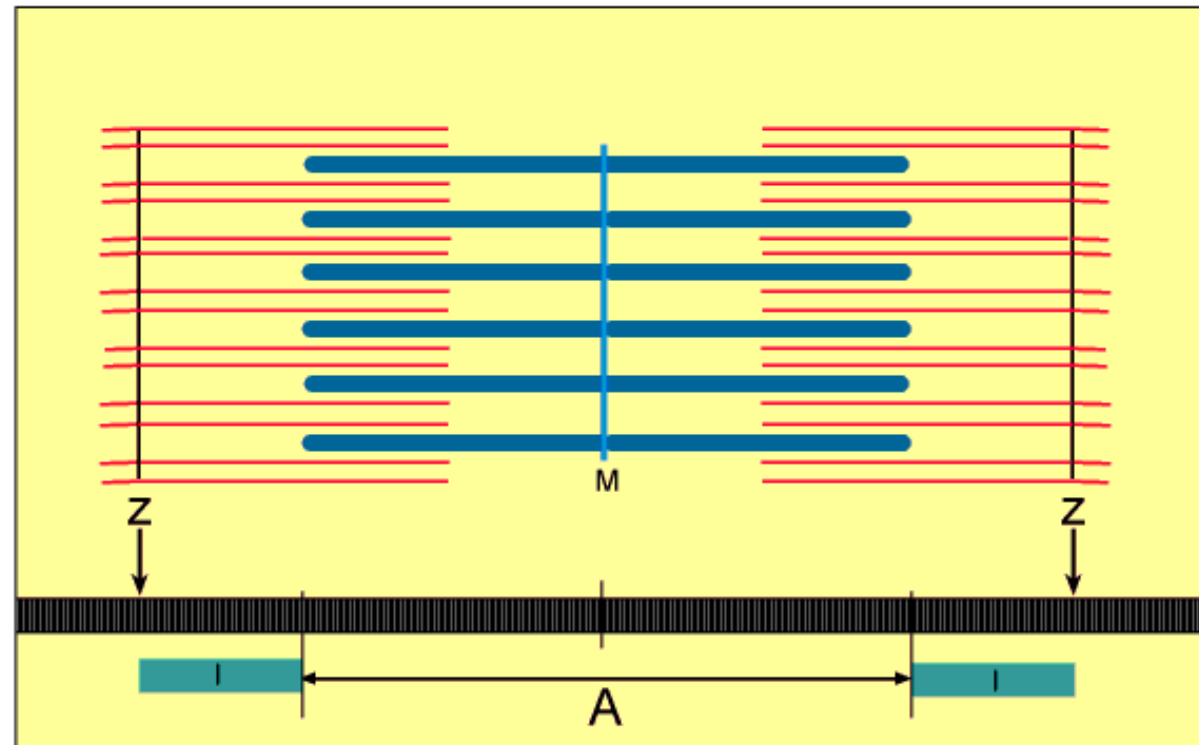
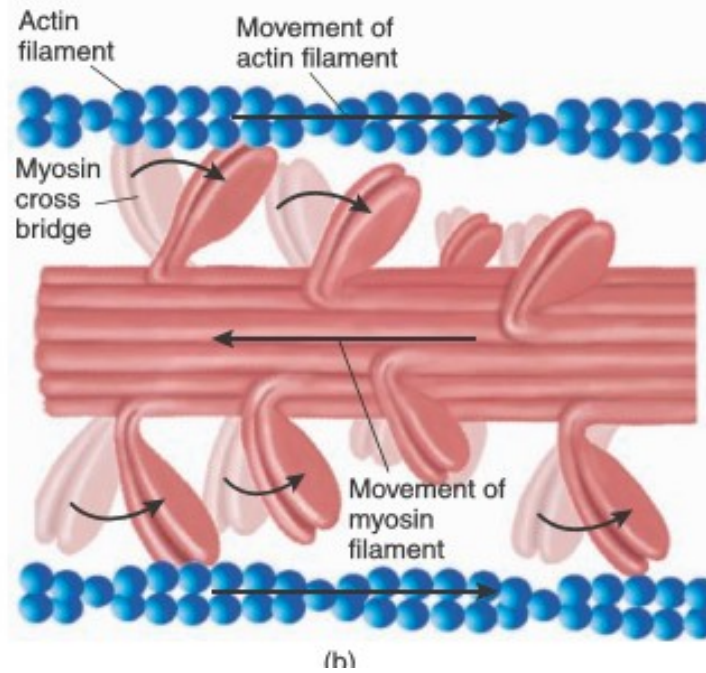
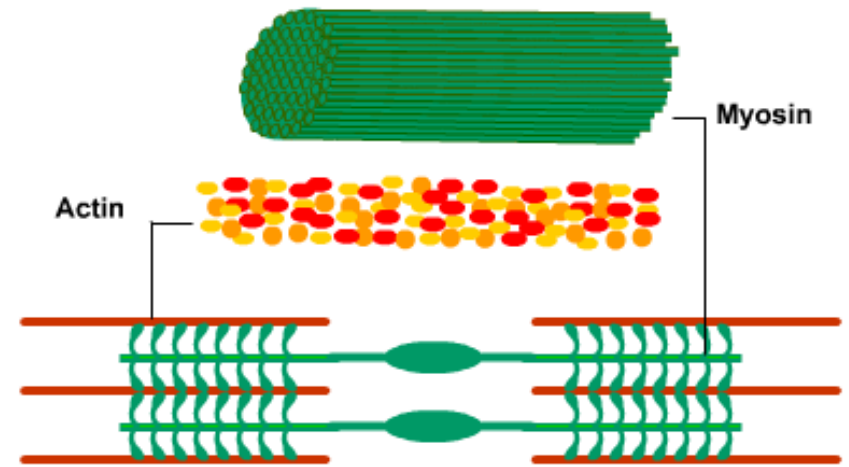
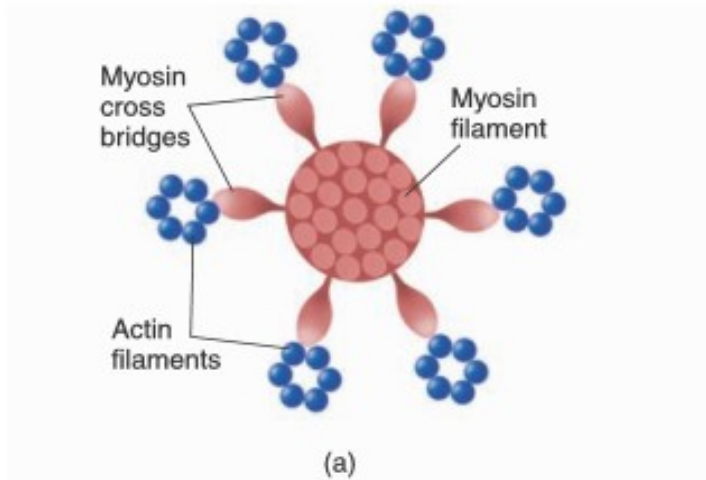
# Anatomía del músculo esquelético

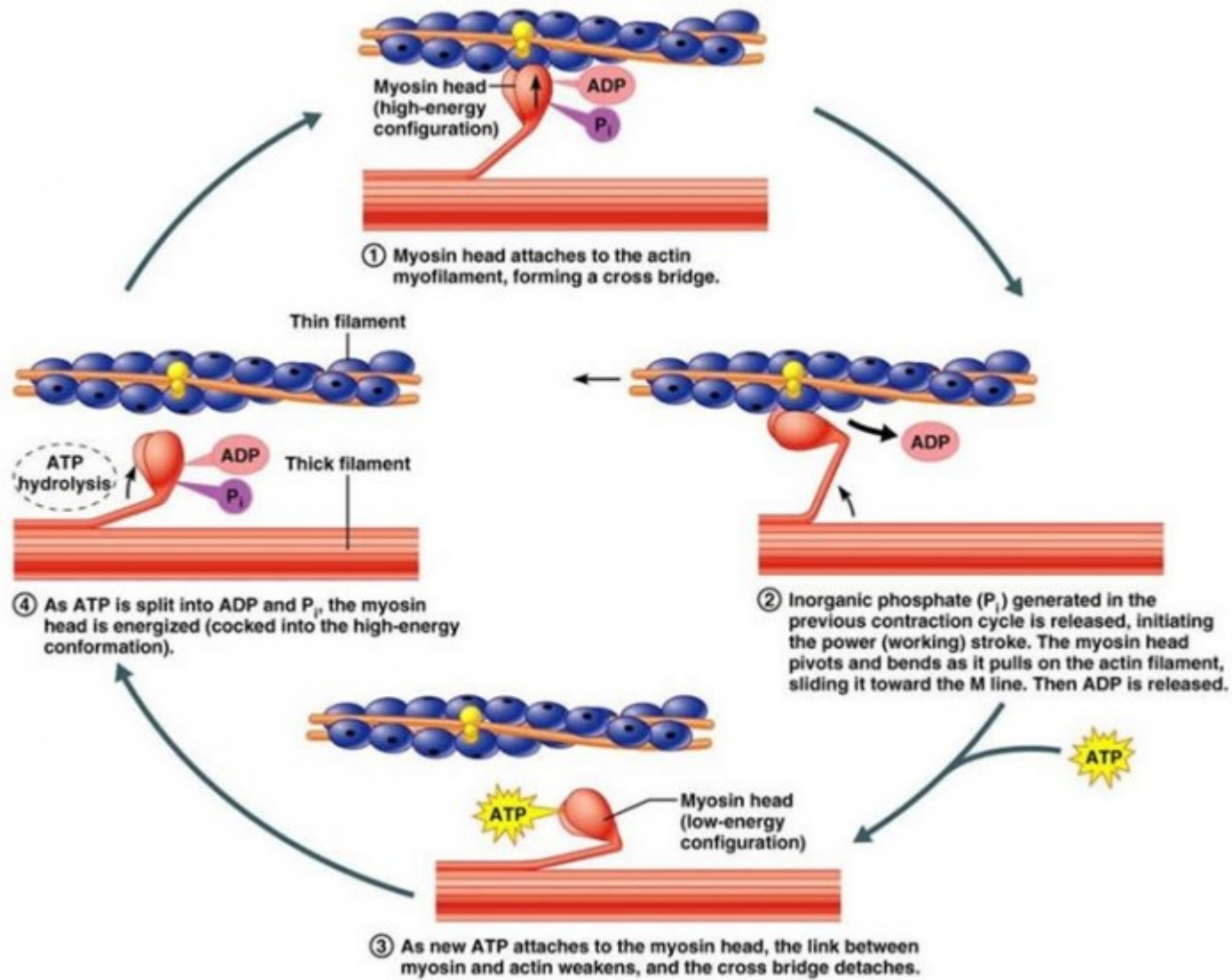


# Sarcómero: unidad funcional del músculo esquelético



# Mecanismo molecular de la contracción muscular





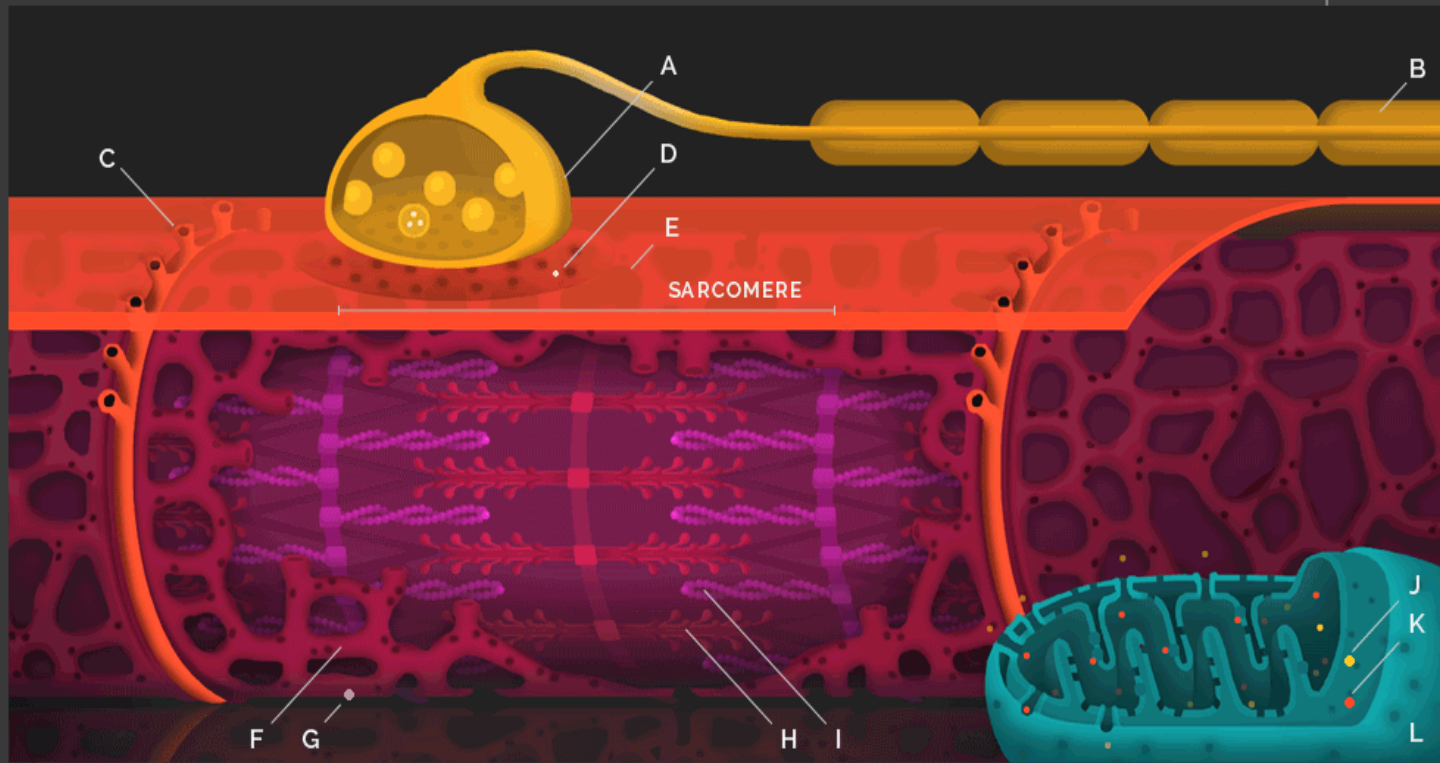
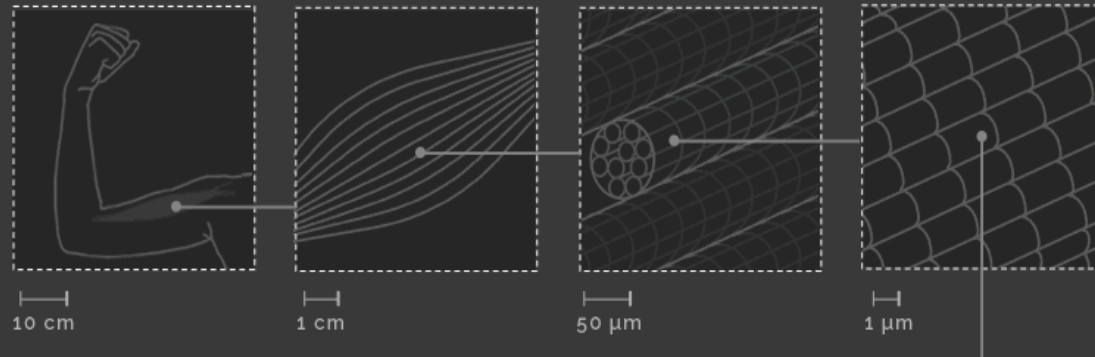


# A USER'S GUIDE TO THE HUMAN BODY: THE MUSCLE EDITION



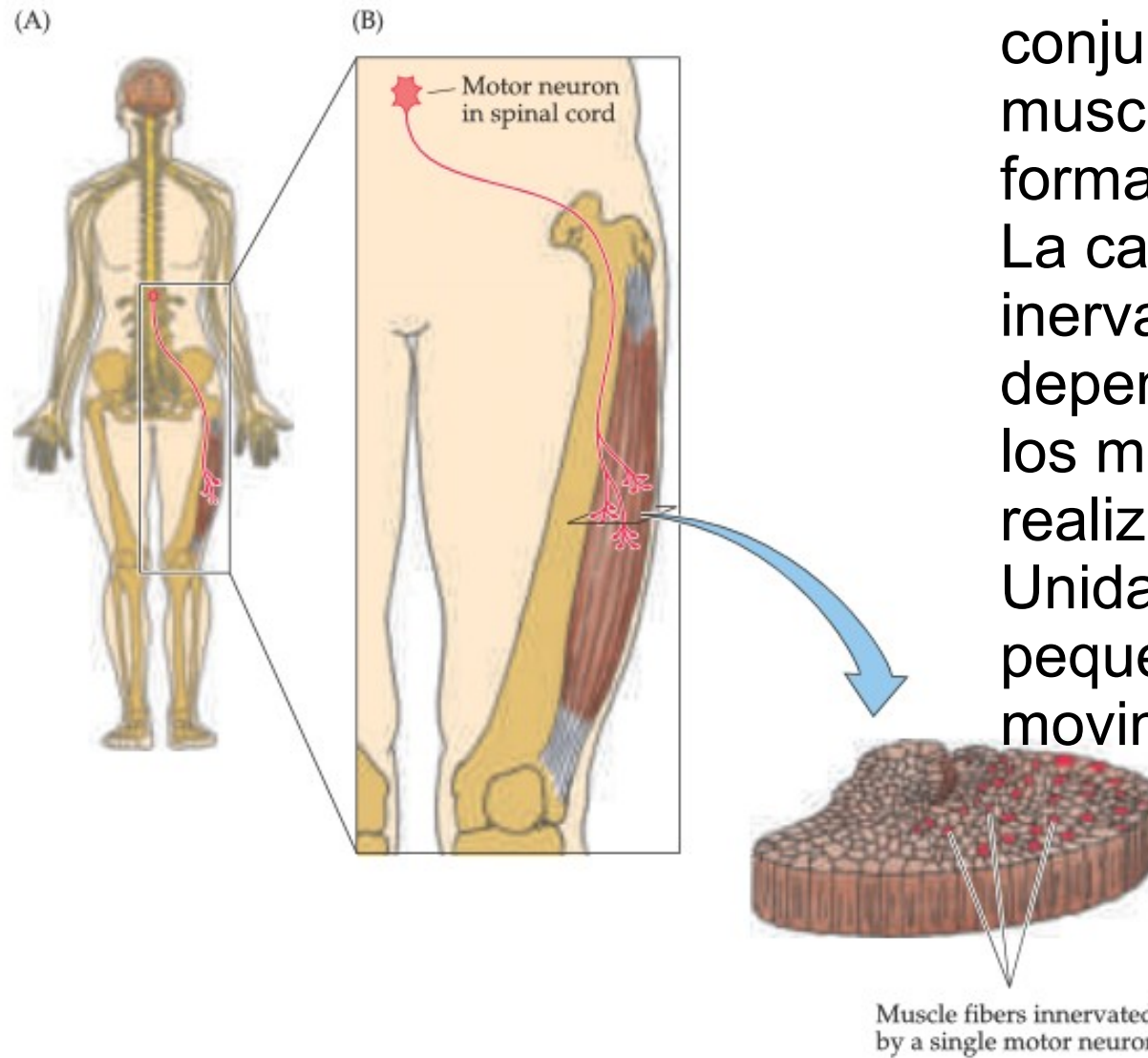
## SKELETAL MUSCLE

This infographic describes skeletal muscles, which are structurally different from heart muscle and the smooth muscle that controls digestion. Unlike heart and smooth muscle, skeletal muscle can be voluntarily controlled. Skeletal muscle is also called striated muscle because of its striped appearance.





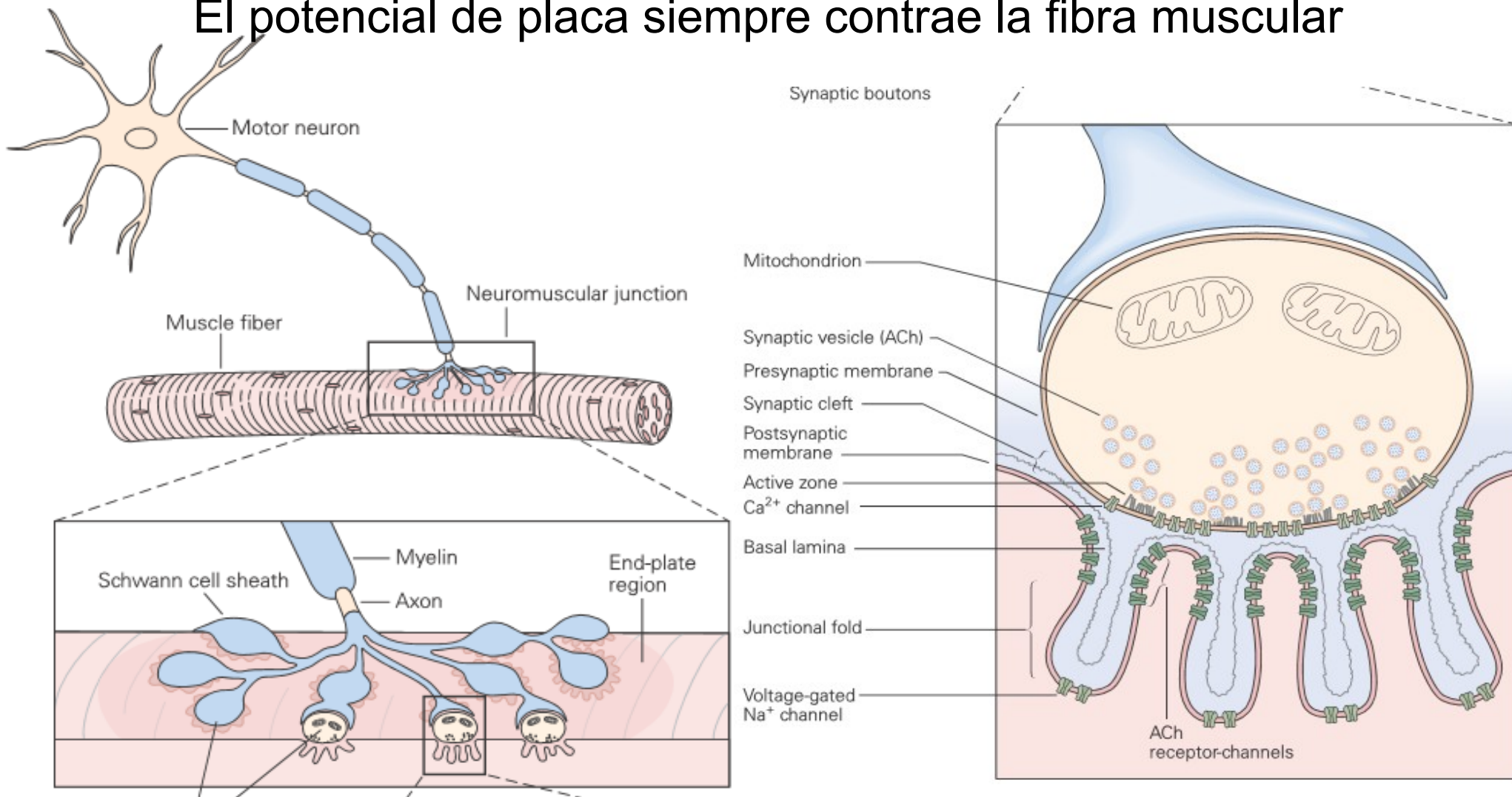
# Unidad motora



Una motoneurona y el conjunto de las fibras musculares que inerva forman una unidad motora. La cantidad de fibras que inerva cada motoneurona depende de la precisión de los movimientos que realizan los músculos. Unidades motoras más pequeñas para movimientos más precisos.

# Sinapsis neuromuscular

El potencial postsináptico se llama potencial de placa.  
El potencial de placa siempre contrae la fibra muscular



Acetilcolina (ACh): neurotransmisor de la sinapsis neuro-muscular  
- Placa motora: lugar donde están los receptores de ACh.

# Movimientos rítmicos: locomoción

- Fundamental para supervivencia
- Movimientos alternados y repetitivos de las extremidades
- Controlados automáticamente por niveles bajos del SNC, con poca intervención de centros superiores (médula espinal y tronco encefálico)
- Se adapta a los alrededores
- Secuencia de contracción y relajación de ciertos músculos
- Generador central de patrones: red neuronal dentro del SNC capaz de generar patrones rítmicos de actividad motora sin entradas sensoriales de receptores periféricos
- se analizaron muchos sistemas rítmicos, como caminar, nadar, alimentarse, respirar y volar

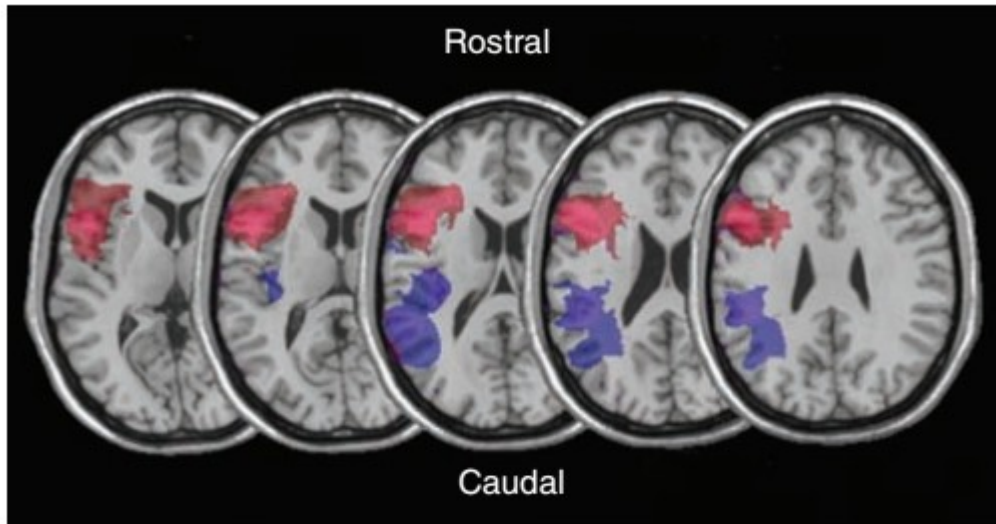


# Patologías del sistema motor

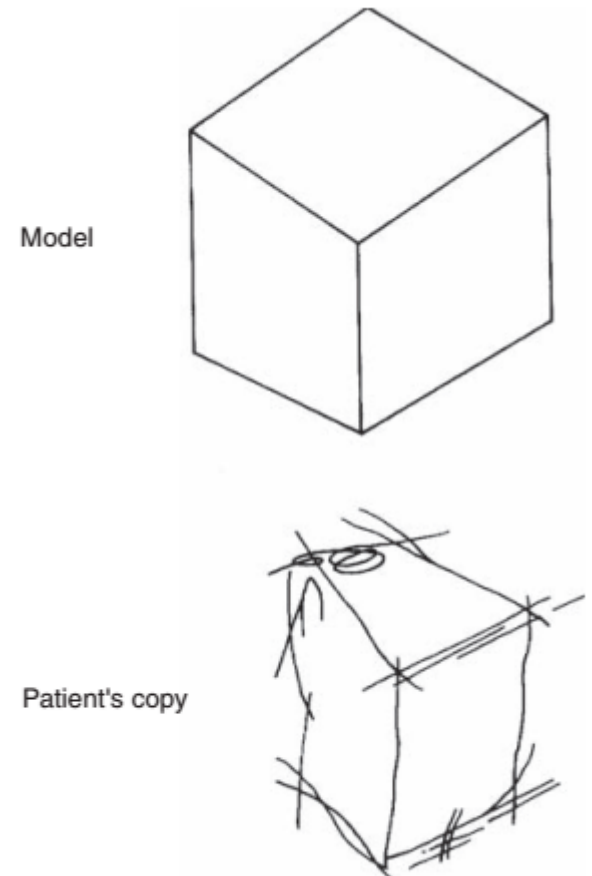
Apraxias: “no acción”

4 tipos:

- apraxia de extremidades (brazos, piernas, manos)
- apraxia oral (músculos del habla)
- agrafia (escribir)
- apraxia constructiva (dibujar, construir)



**FIGURE 8.21** Lesions Causing Limb Apraxia



**FIGURE 8.22** Constructive Apraxia



# Enfermedad de Parkinson

Dos siglos de investigación

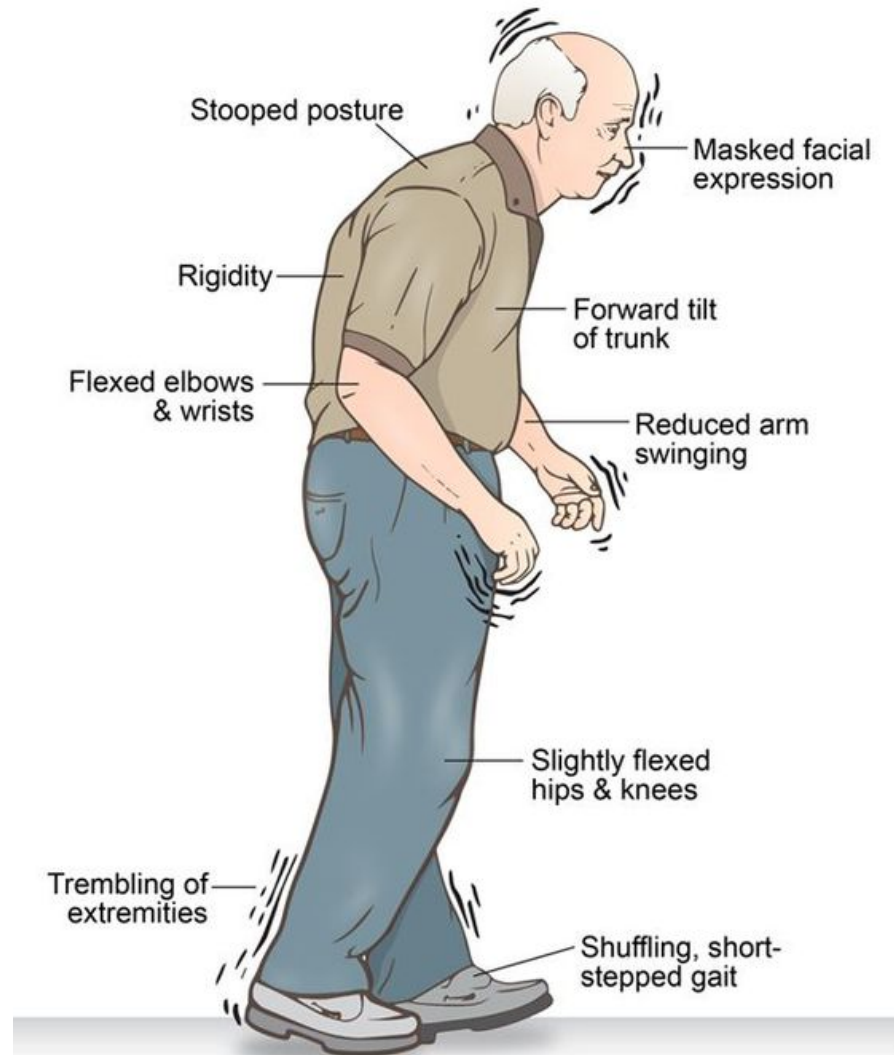
Primera descripción de la enfermedad como condición neurológica- James Parkinson- 1817

Segunda enfermedad neurodegenerativa más común

- 30 tipos de condiciones con esas características, se llaman parkinsonismos

Presentan bradiquinesia (disminución de movimientos voluntarios), akinesia (inmovilidad), y al menos uno de estos signos: temblor en reposo, rigidez muscular y postura inestable.

Typical appearance of Parkinson's disease



# Enfermedad de Huntington

Degeneración de ganglios basales:  
núcleo caudado y putamen



(a) Normal



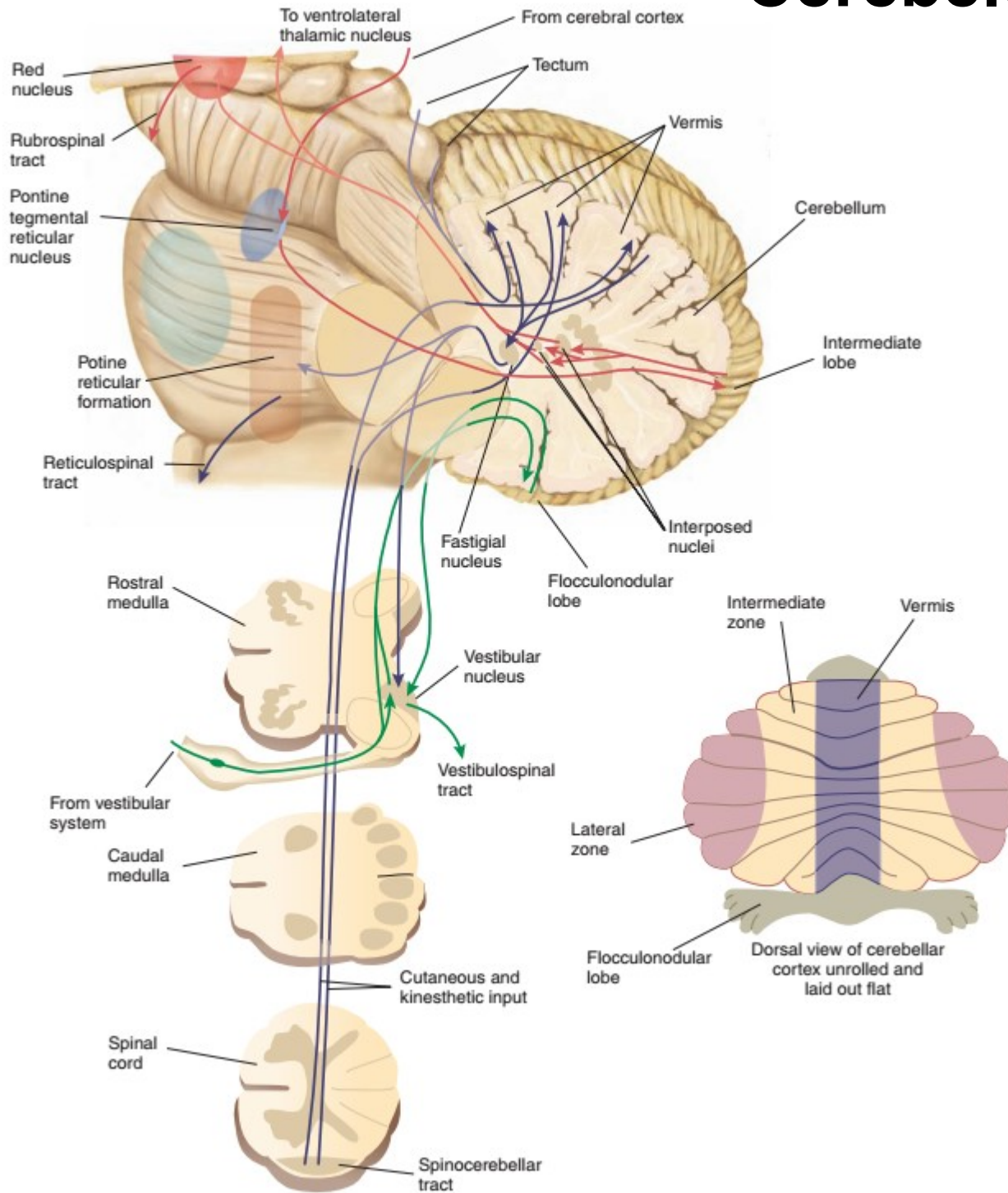
(b) Huntington's disease

**FIGURE 8.24** Huntington's Disease

Movimientos incontrolables, demencia



# Cerebello



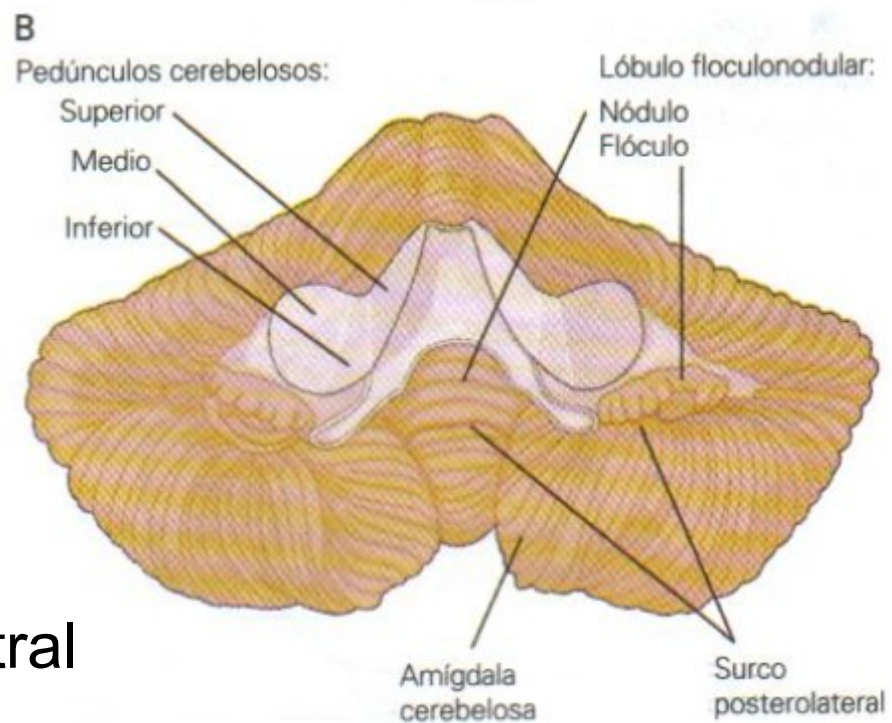
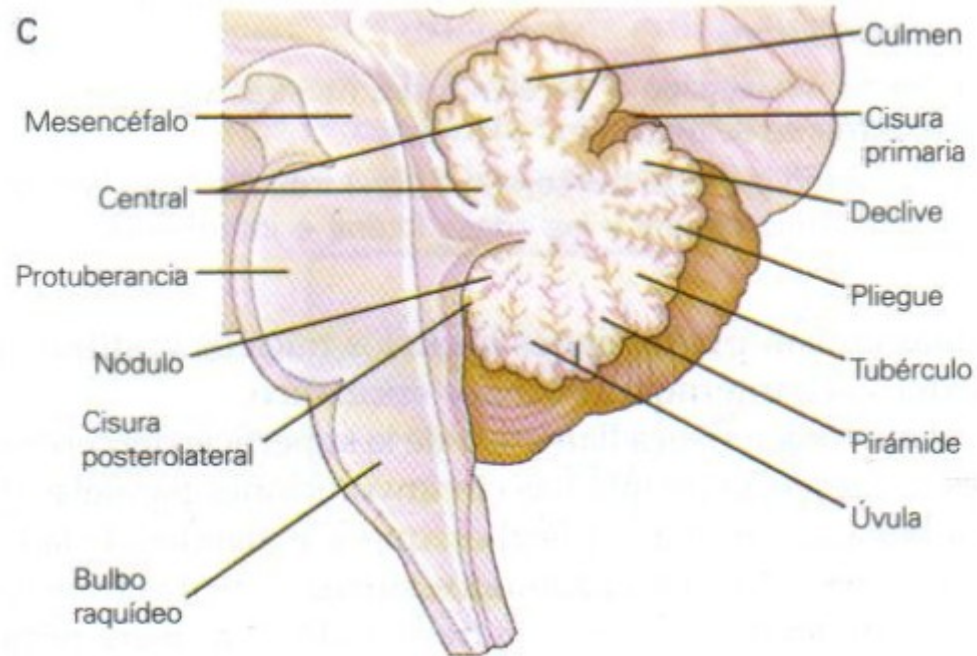
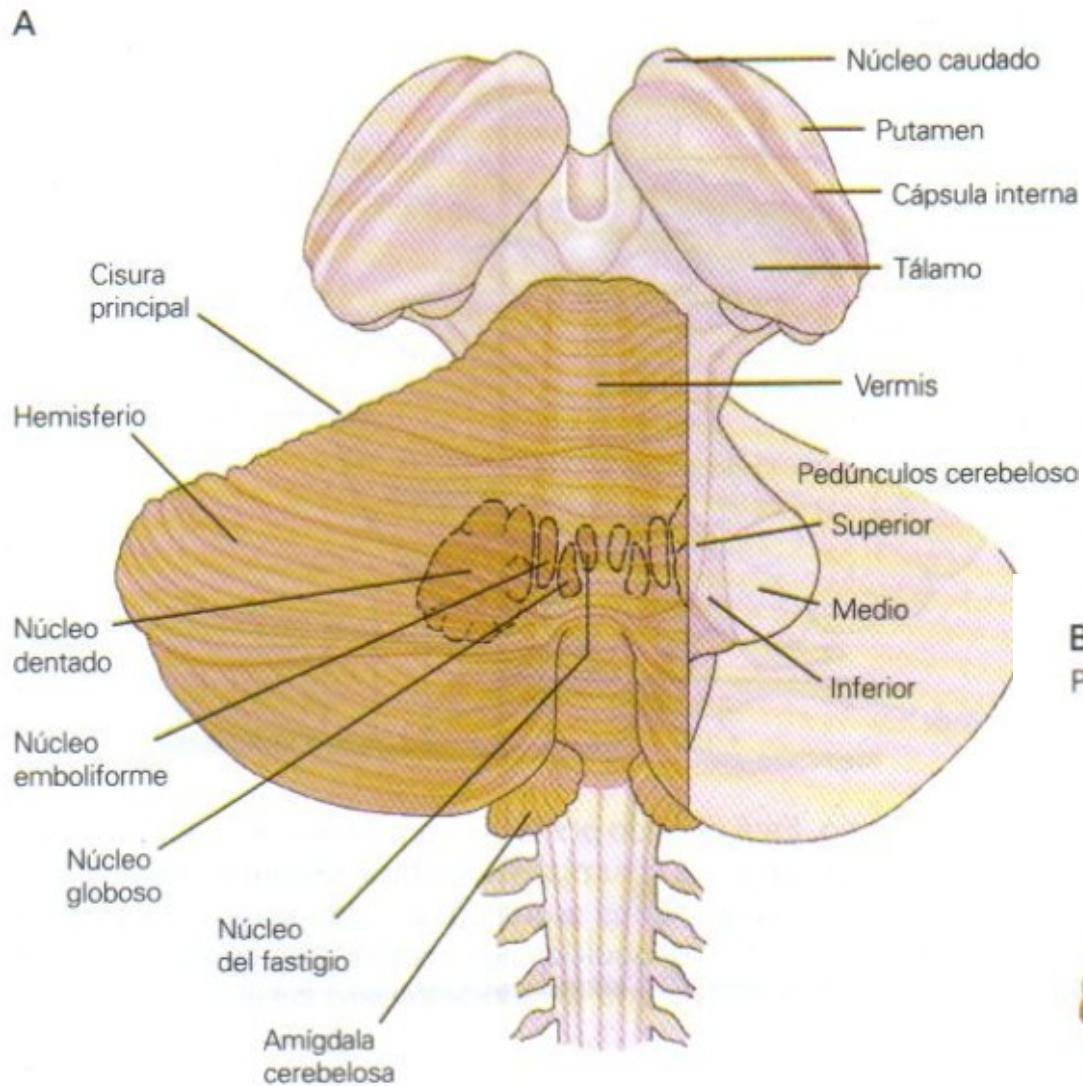
# Cerebelo

- 10 % del volumen del encéfalo, pero tiene más de la mitad de las neuronas, 50,000 millones.
- La estructura consiste en muchas unidades repetidas, todas con el mismo microcircuito básico
- Proyecta sobre todo a las cortezas premotora y motora.
- Tiene dos hemisferios, una corteza y núcleos interiores, es como el cerebro en miniatura.
- Recibe información de muchas zonas de la corteza cerebral y proyecta a varias regiones del sistema nervioso central.
- Fundamental en el control de los movimientos voluntarios
- Realiza los cálculos de las complejas secuencias de contracciones musculares que son necesarias para ejecutar tareas complejas aprendidas.
- Modifica y ajusta los movimientos planeados por la corteza frontal.
- Compara diferencias entre intención y acción
- Fundamental en el aprendizaje motor
- Lesiones en el cerebelo causan diferentes síntomas según el lugar afectado.

# Vista dorsal

# Anatomía del cerebelo

# Corte sagital

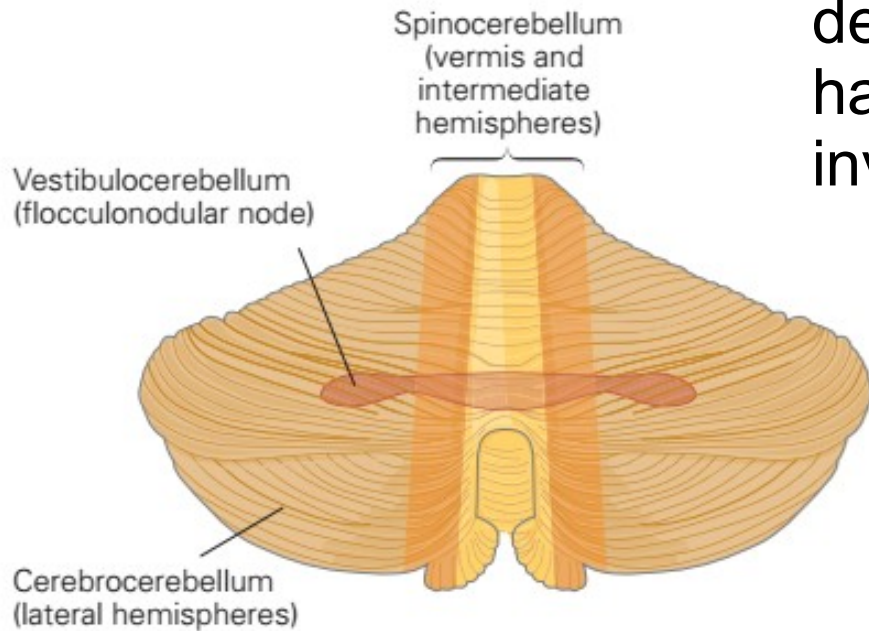


# Vista ventral



# Divisiones funcionales del cerebelo

**Nódulo Floculonodular o vestibulocerebelo:** recibe entradas desde el sistema vestibular y proyecta hacia los núcleos vestibulares. Está involucrado en reflejos posturales.



**Espinocerebelo: Vermis y parte intermedia de hemisferios.**

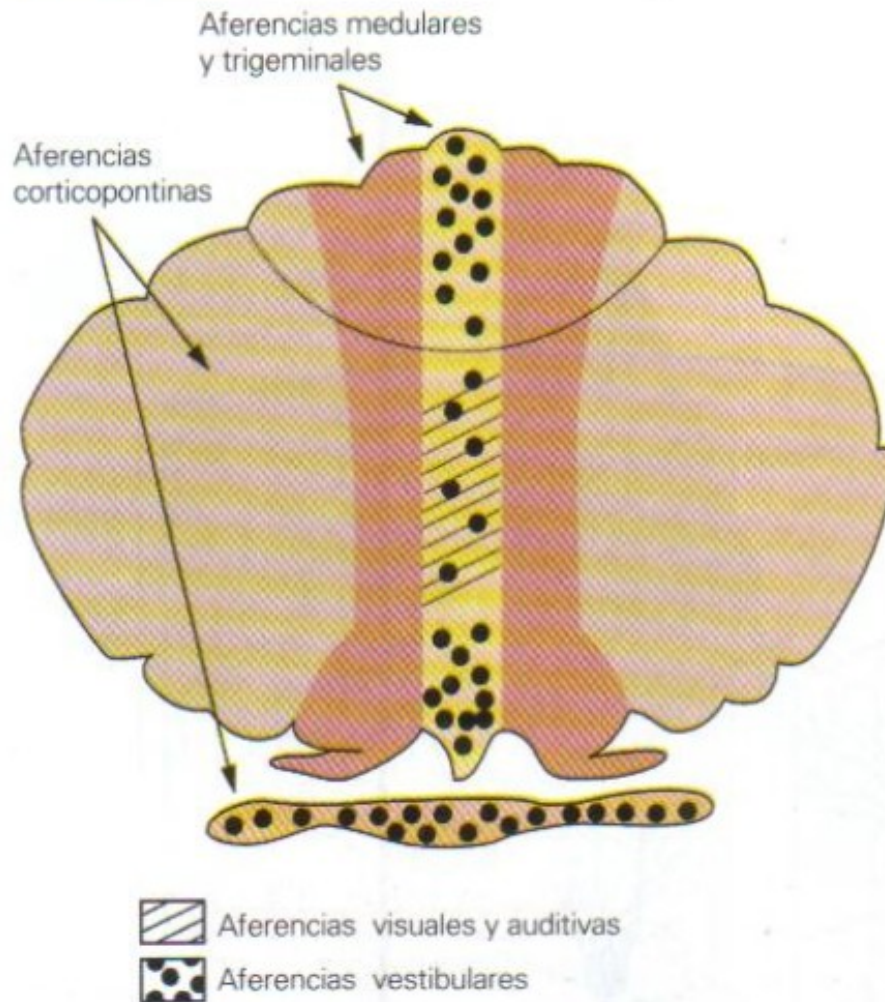
**Vermis** recibe información auditiva y visual del tectum. Recibe información de la piel y cinestésica de la médula espinal. Proyecta al núcleo fastigio (núcleo interno del cerebelo), y los axones de esas neuronas proyectan hacia núcleos vestibulares y núcleos motores de la formación reticular (vías vestibulo espinal y retículo espinal). Músculos proximales de tronco y extremidades. Control de la postura y locomoción

**La zona intermedia** de los hemisferios cerebelosos recibe información sensorial y controla los sistemas descendientes dorsolateral (trato rubrospinal y corticospinal). Proyecta a los núcleos interpuestos, que envían información al núcleo rojo. Controla los músculos distales de las extremidades. La información vuelve a la corteza cerebral por el tálamo.

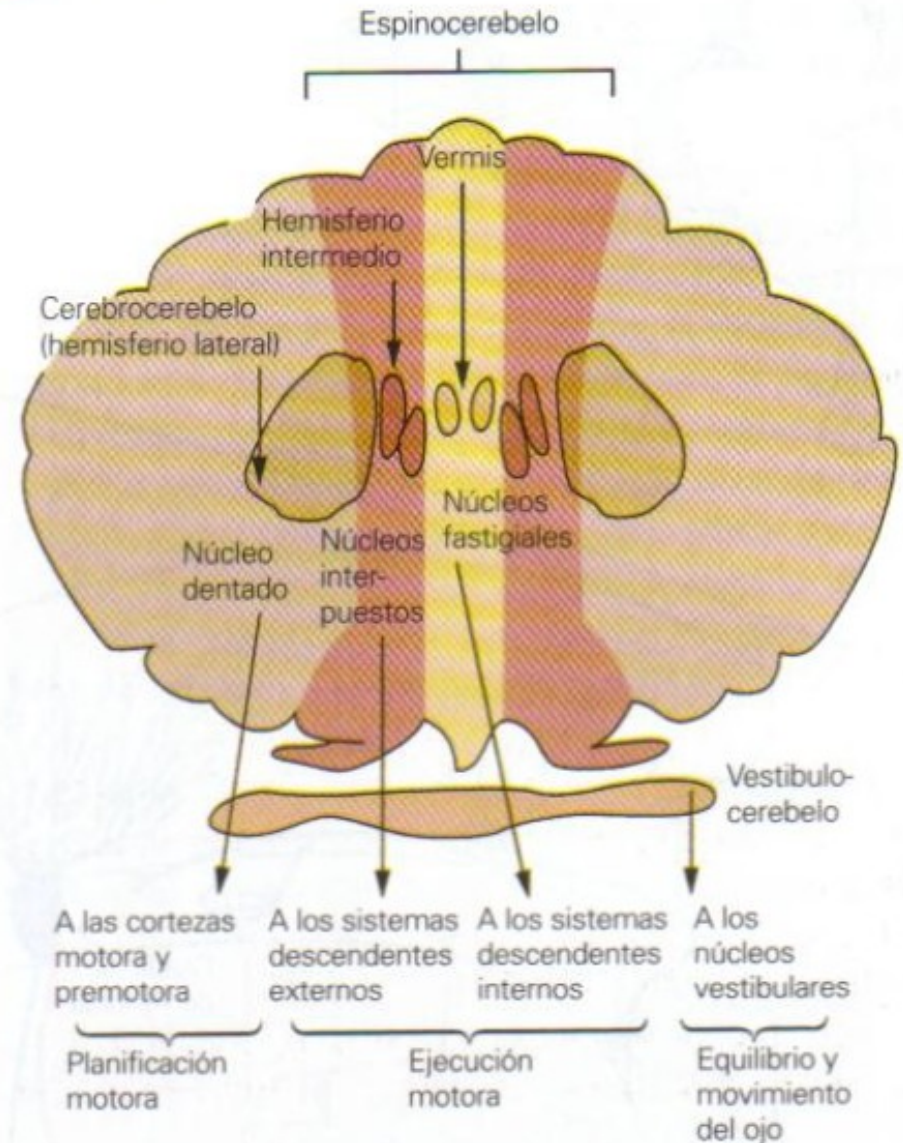
**Hemisferios laterales:** recibe información de la corteza cerebral. La salida es a través del núcleo dentado, que proyecta a las cortezas frontal, motora y premotora. Control de los movimientos independientes de las extremidades, especialmente las destrezas aprendidas. Controla movimientos rápidos de precisión que planifican las cortezas frontal y premotoras . Realiza los cálculos para las complejas secuencias de contracciones musculares necesarias para los movimientos complejos y rápidos.

# Aferencias y eferencias

## A Aferencias



## B Eferencias

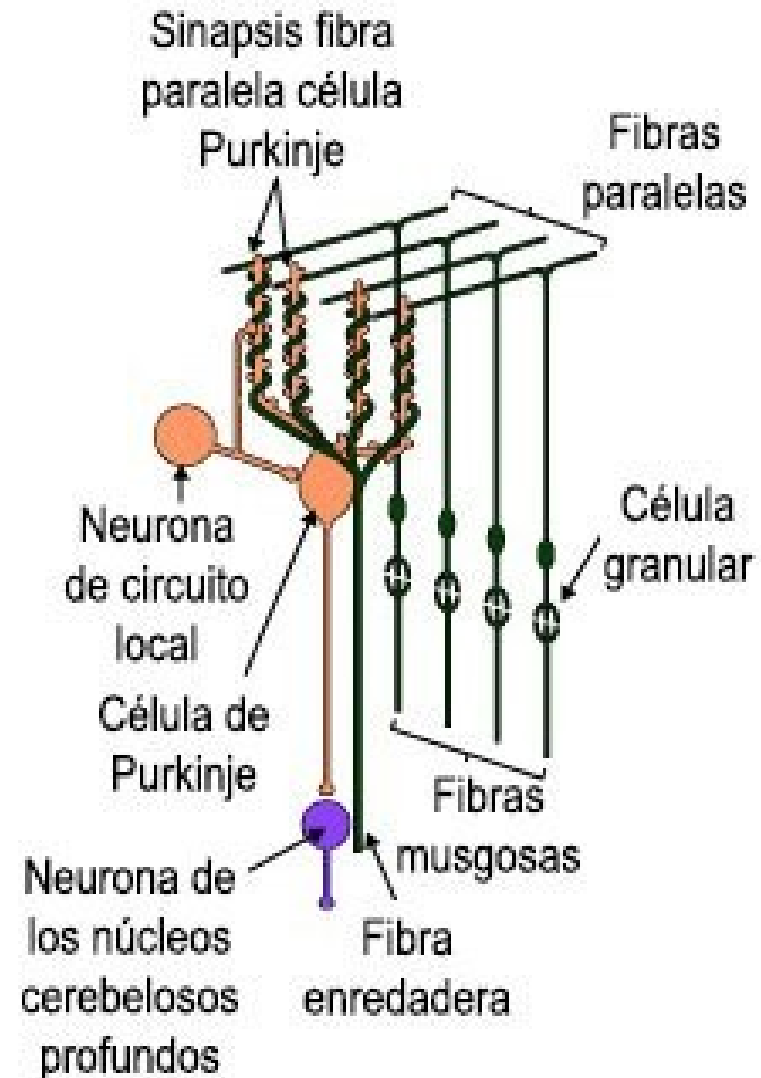
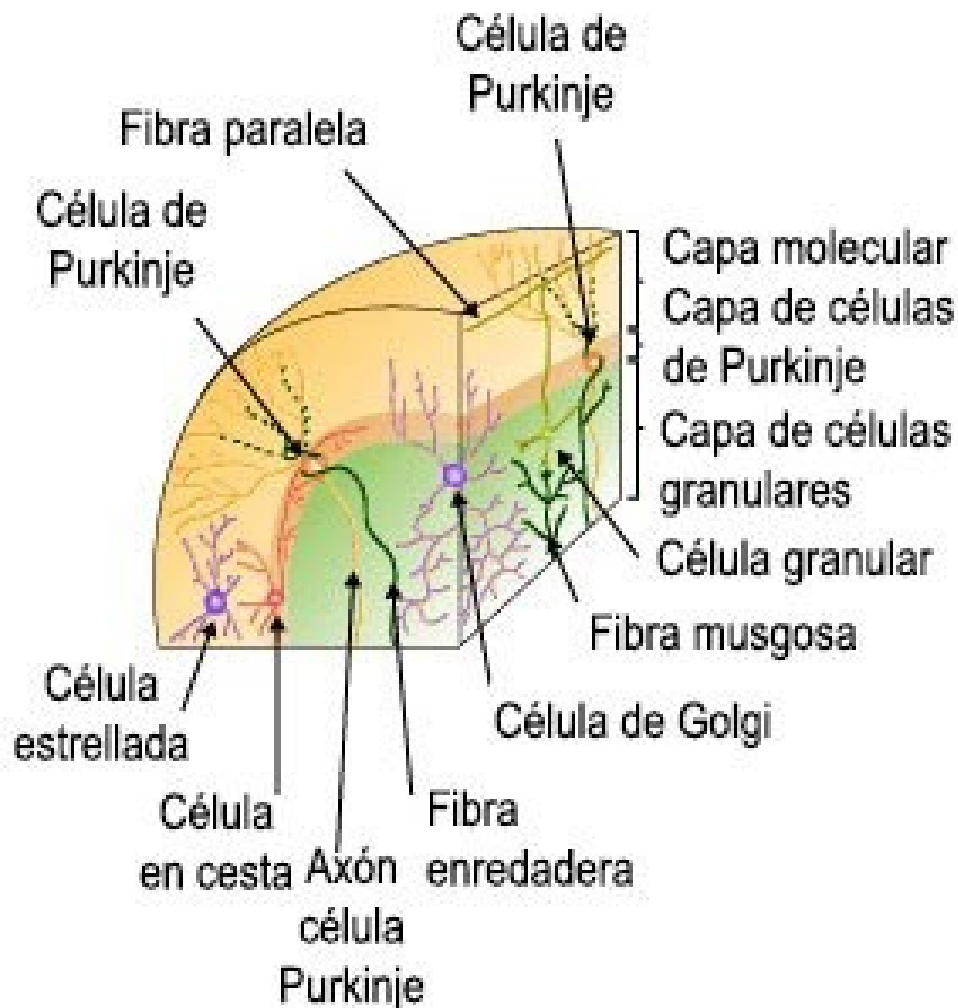


**Figura 42-3.** Las tres regiones funcionales del cerebelo tienen aferencias y eferencias diferentes.

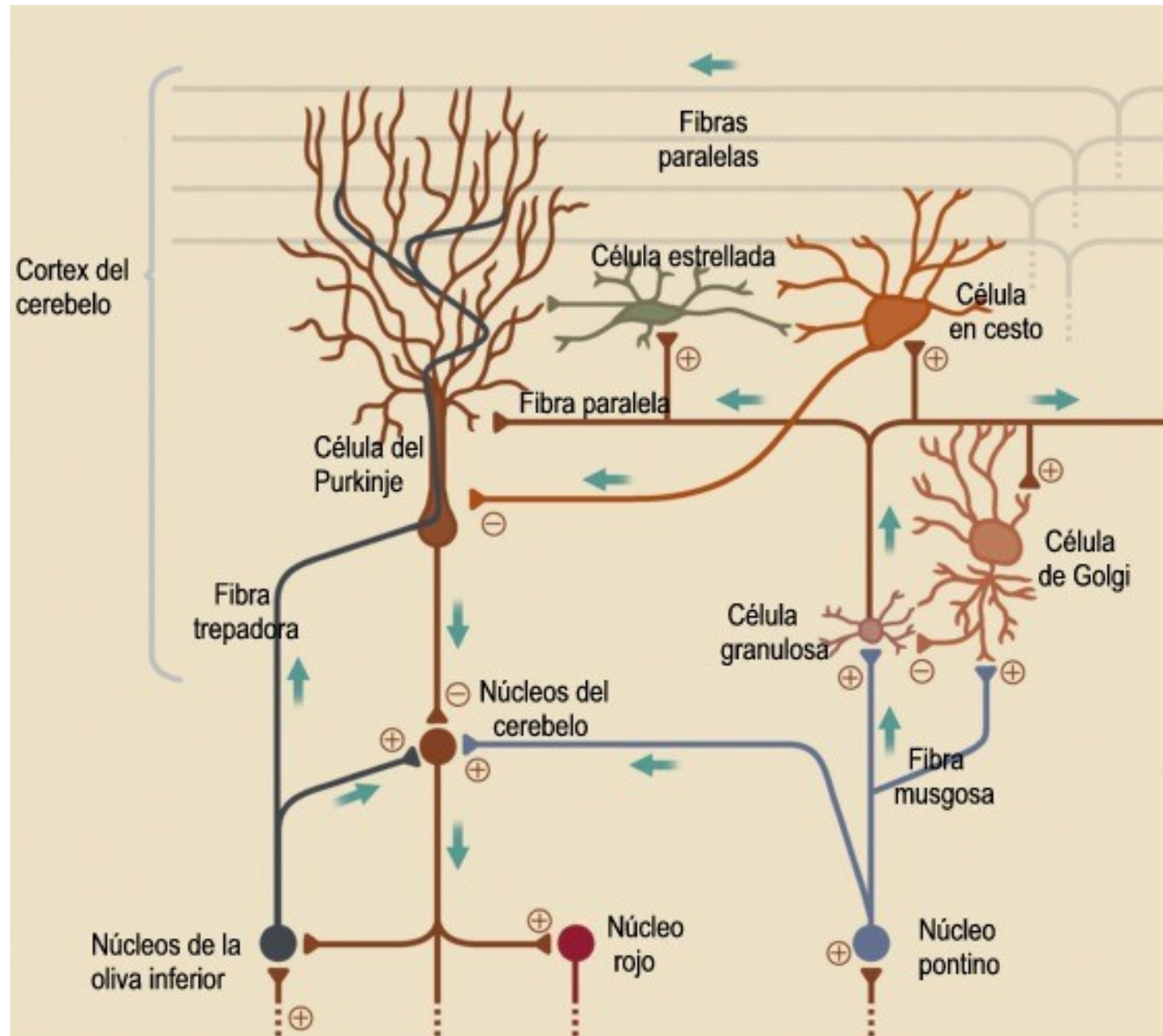


# Corteza cerebelosa

- Organizada en 3 capas
- Cinco tipos de neuronas
- Arco excitador principal y arco inhibitorio secundario



# Circuito básico del cerebelo

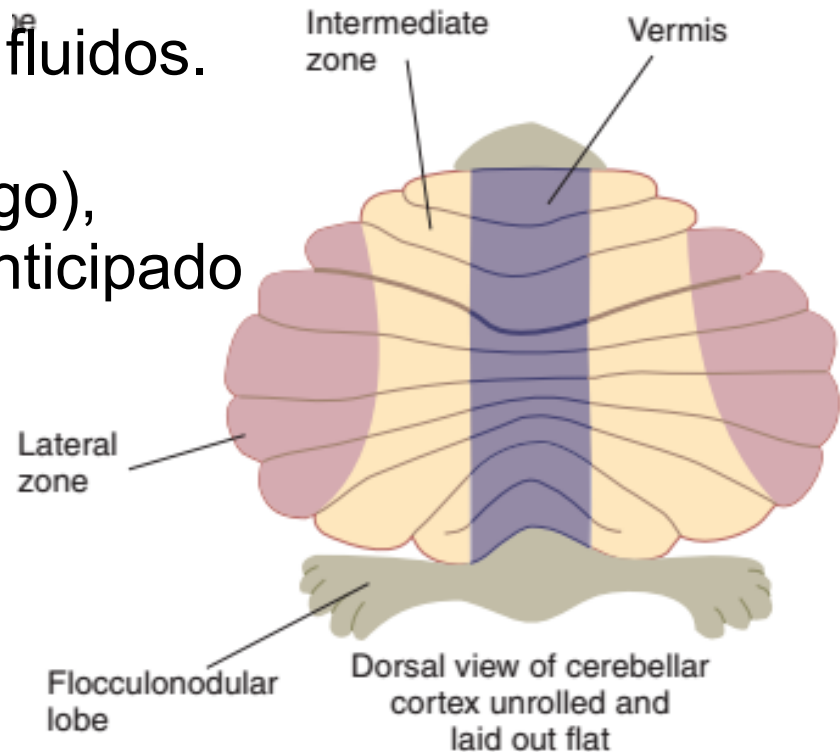


# Daños en el cerebelo - síntomas

- Daño en el nódulo flóculonodular: problemas en la postura y el equilibrio. No se coordinan los movimientos de los ojos para compensar los de la cabeza.
- Daño en la zona intermedia: déficits en movimientos controlados por el sistema rubroespinal.

El síntoma principal es la rigidez de extremidades

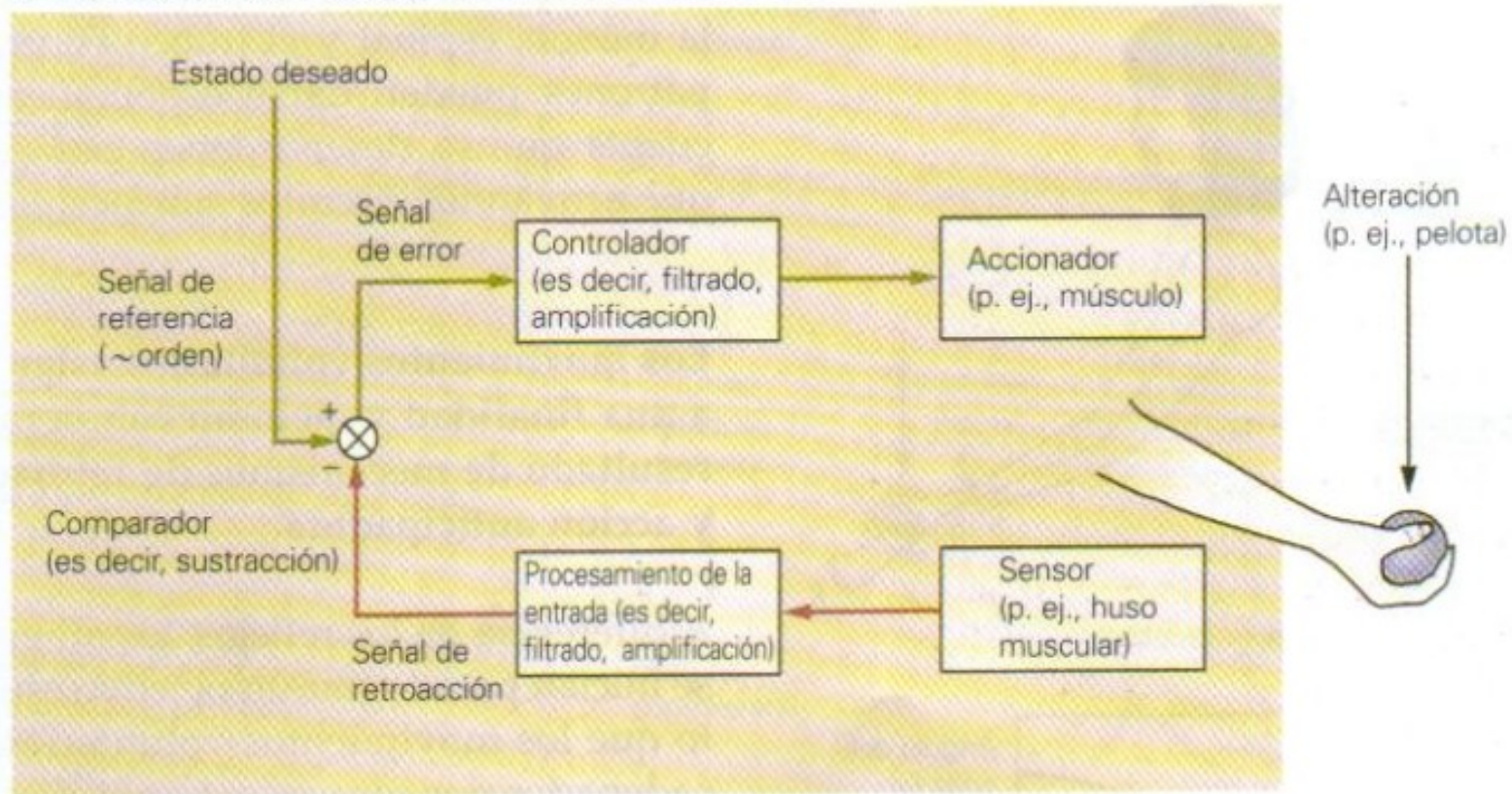
- Daño en zona lateral:
  - descomposición del movimiento, muchos movimientos separados, no fluidos.
  - Movimientos balísticos alterados: los movimientos balísticos (lanzar algo), deben ser rápidos, se planean por anticipado. No se basan en feedback, sino en el patrón temporal de activación de cada músculo.





# Organización de los movimientos voluntarios

A Control por retroacción: la orden especifica el estado deseado



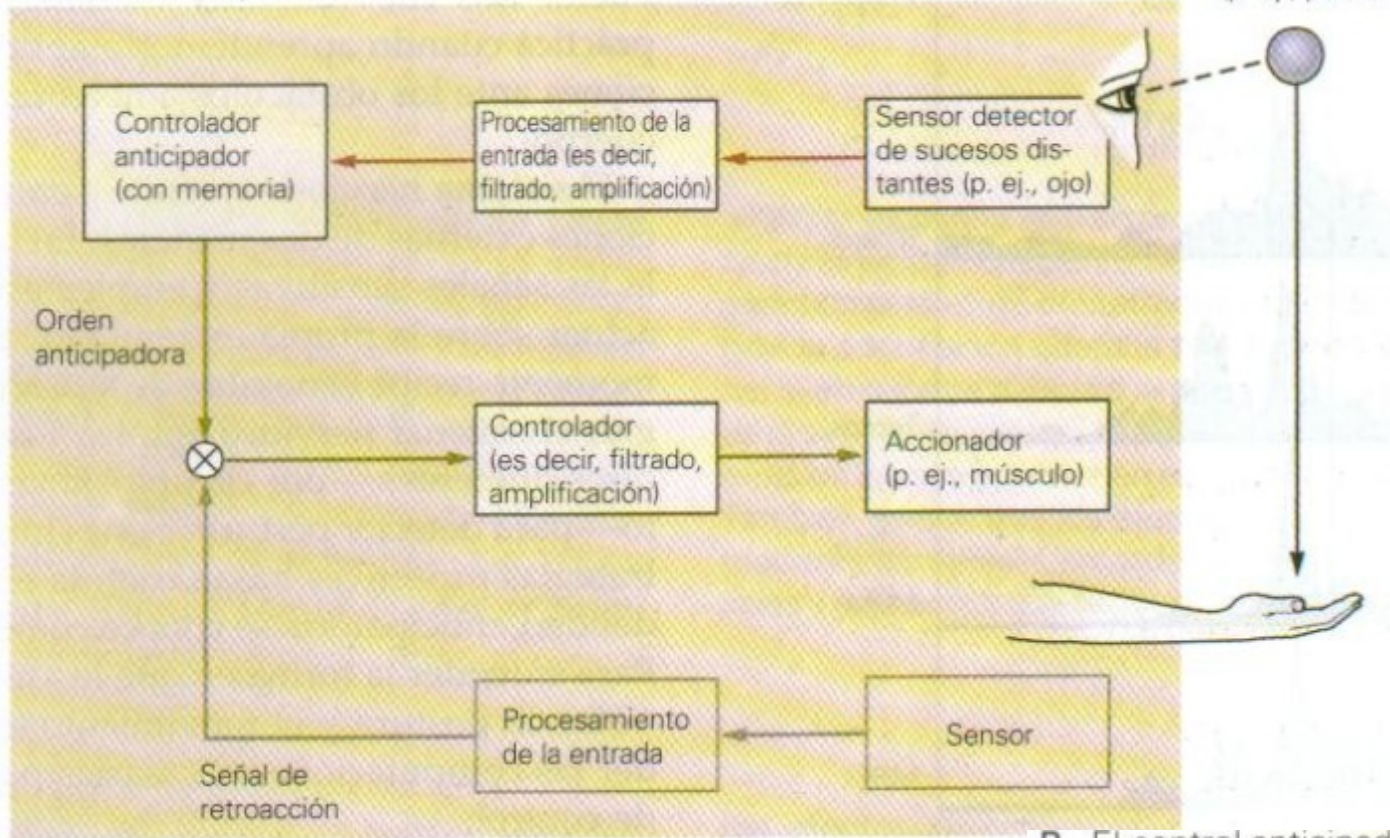
Representación  
Referencia interna  
Comparación  
Ajuste

A. En un sistema de retroacción un comparador compara la señal procedente de un sensor con una señal de referencia. La diferencia, la señal de error, es enviada a un controlador y causa una variación proporcional en la salida del accionador. Por ejemplo, si la tarea es mantener el codo en un ángulo determinado, los músculos son los accionadores y el sistema controlador es el codo. La señal de referencia especifica la contracción muscular requerida para mantener la articulación en el ángulo deseado. La información propioceptiva o visual sobre el ángulo real del codo proporciona la retroacción. La diferencia entre el ángulo actual y el ángulo de referencia determina el grado en que se actúa sobre los extensores y los flexores.



# Movimientos rápidos, anticipatorios

B Control anticipador: la orden especifica la respuesta



B. El control anticipador se basa en la información adquirida antes de activar el sensor de retroacción; este mecanismo es esencial para los movimientos rápidos. Por ejemplo, una persona que coge una pelota emplea información visual sobre la dirección inicial de la pelota para anticipar la trayectoria del balón, con el fin de iniciar la respuesta correcta para interceptarla. La precisión requiere el conocimiento inicial de la trayectoria de las pelotas arrojadas y de los factores que la modifican, como el efecto transmitido por quien la lanza. En el diagrama una respuesta de retroacción influye directamente en la propia alteración captada por el sensor. Esto no siempre ocurre en el control anterógrado.