

# FUNCIÓN CEREBRAL Y EJERCICIO



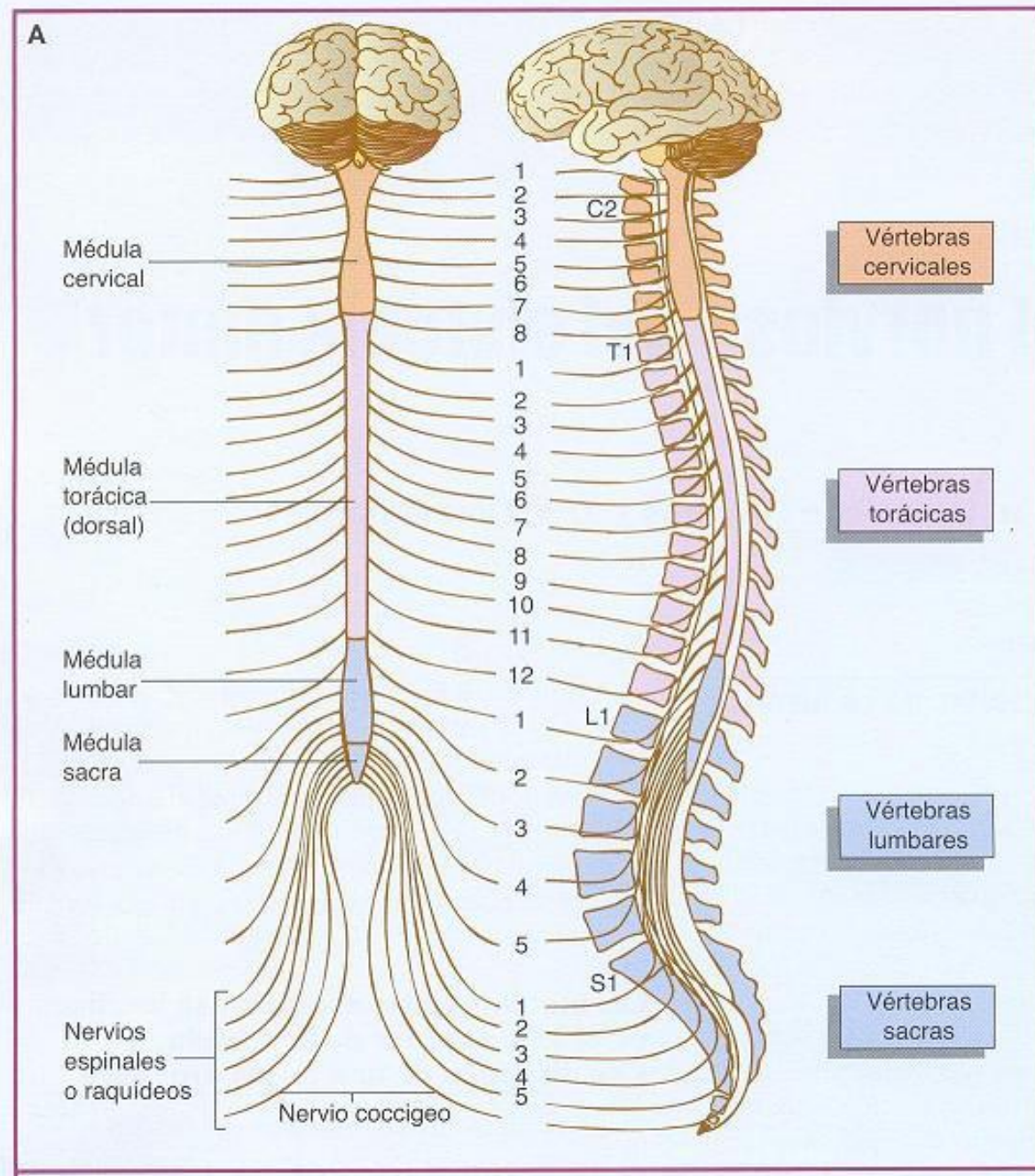
*José Carlos Giraldo T. MD  
Esp. Medicina Deportiva  
Mg en Fisiología*

*Carlos Eduardo Nieto G. MD  
Esp. Medicina Deportiva  
Esp. Salud Ocupacional*

- 1. ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DE LA MÉDULA ESPINAL**
- 2. ACTIVIDAD REFLEJA**
- 3. TRACTOS ESPINALES DESCENDENTES**
- 4. CENTROS MOTORES TRONCOENCEFÁLICOS**
- 5. CONTROL DE LA POSTURA Y LOCOMOCIÓN**
- 6. CONTROL CORTICAL DEL MOVIMIENTO**
- 7. SISTEMA DE LOS GANGLIOS BASALES (SGB)**
- 8. CEREBELO**

1º

**ORGANIZACIÓN  
FUNCIONAL DE LA  
MÉDULA ESPINAL**



**Figura 3.1. A.** Los diferentes segmentos de la médula espinal dan nombre a los nervios espinales que se originan en ellos. (Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience. Exploring the Brain. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)

**1. Motoneuronas**

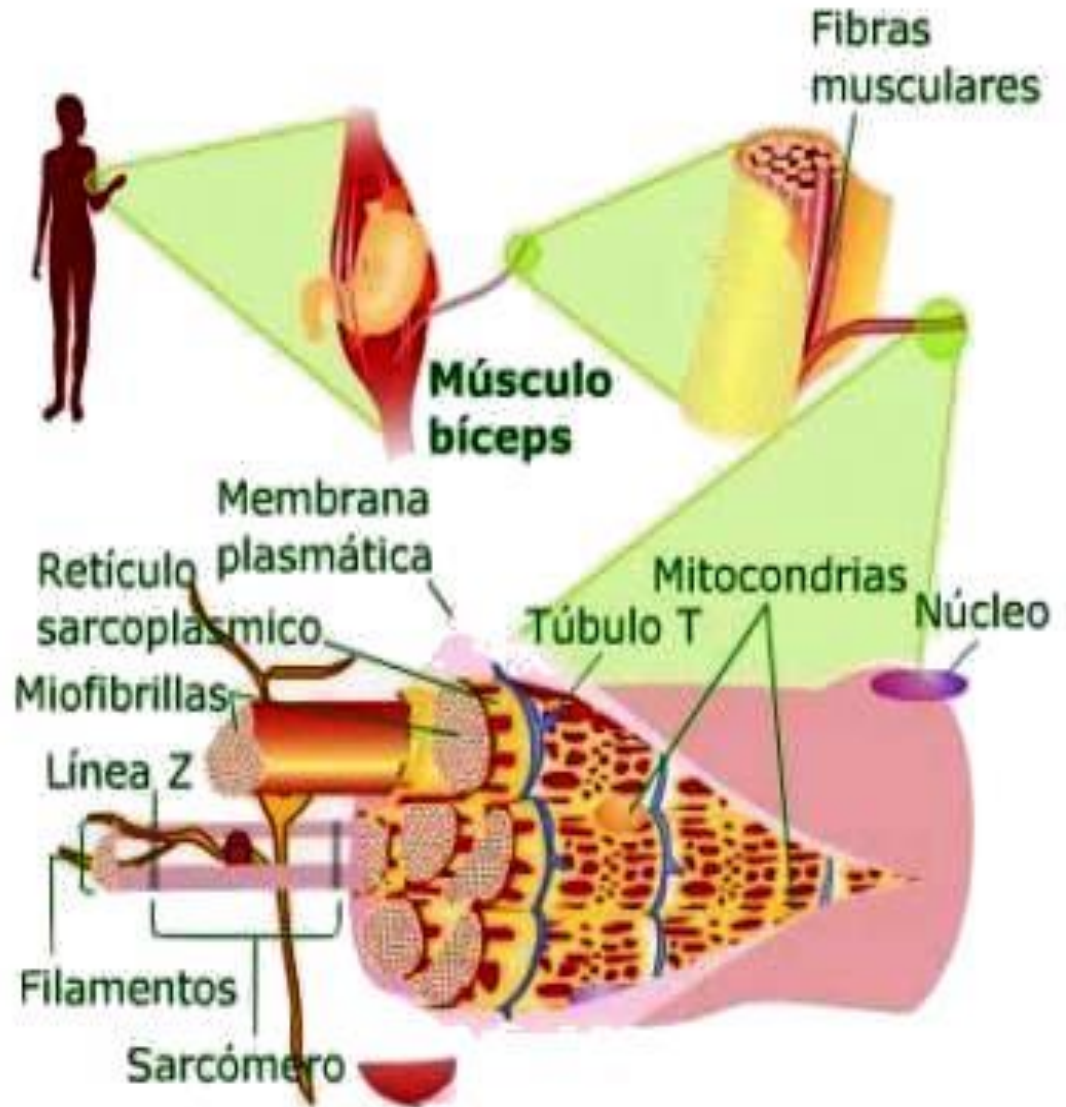
**2. Neuronas corticales.**

**3. neuronas vestibulares.**

**4. Interneuronas.**

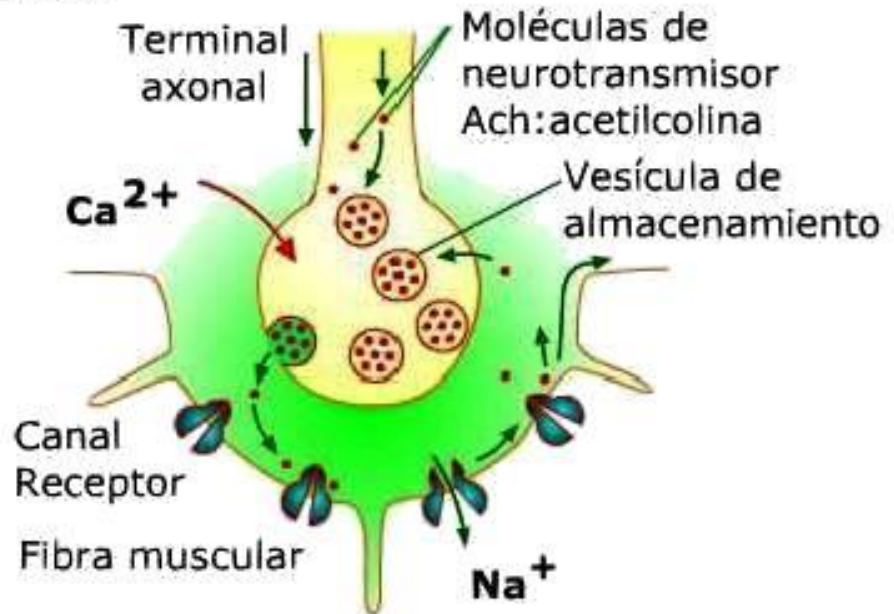
**Las motoneuronas alfa integran abundante información aferente**

**Gobiernan el trabajo de los músculos esqueléticos, son de gran tamaño y alta velocidad de conducción.**



Cada motoneuron a recibe del orden de 5.000-10.000 botones sinápticos en su zona de recepción.

- Forma de comunicación entre neuronas a través de sustancias químicas llamadas **Neurotransmisores**.
- En la zona terminal de las neuronas existe el **Botón Sináptico**.
- **Espacio Sináptico** separa una neurona de otra.



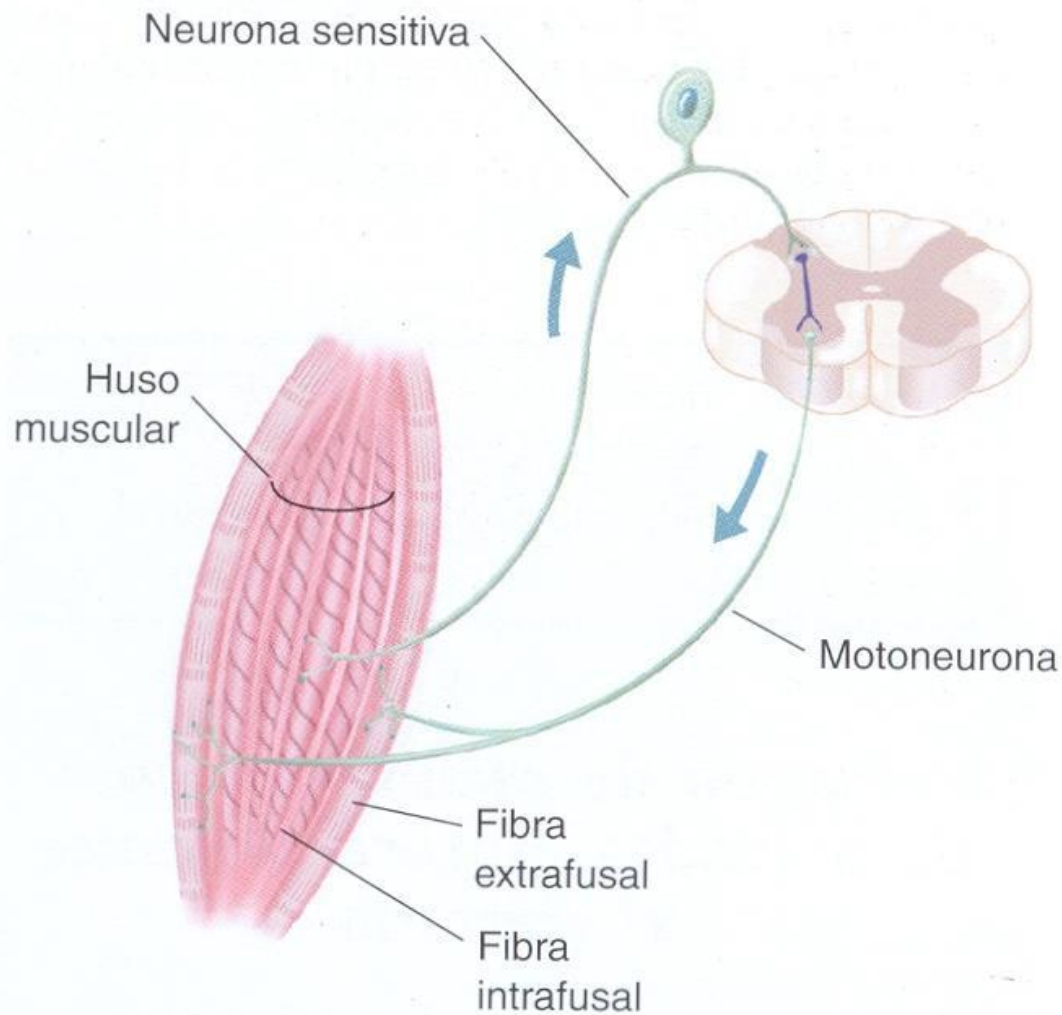
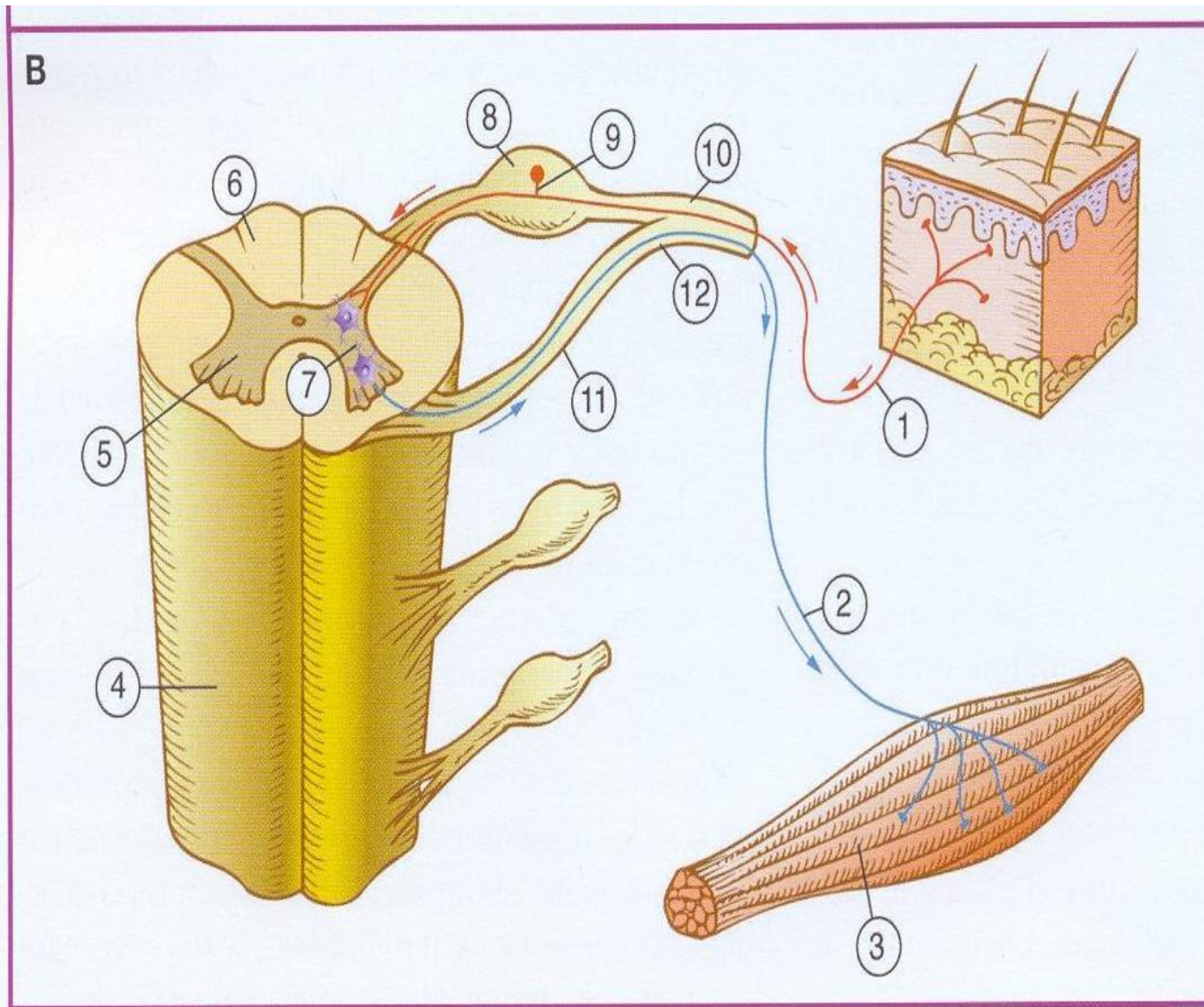


Figura 2.2 Huso muscular. Cuando un músculo se estira, la deformación del huso muscular activa la neurona sensitiva, la cual envía un impulso a la médula espinal, donde establece una sinapsis con la motoneurona y causa la contracción del músculo.



Las fibras aferentes primarias de los receptores cutáneos, articulares y musculares **tienen sus cuerpos celulares en los ganglios raquídeos**, entran en la médula espinal por las raíces posteriores y se ramifican antes de terminar **haciendo sinapsis** sobre los cuatro tipos de neuronas de la sustancia gris:



**Figura 3.1. B.** Los nervios espinales están formados por fibras sensitivas y motoras. (Modificada de una figura del CD soporte en imágenes del libro de S. Ira Fox, *Fisiología humana*. Interamericana-McGraw-Hill, 2003.)

- 1. Neuronas sensoriales de proyección**, con axones que forman las vías sensoriales hacia la corteza.
- 2. Neuronas propioespinales** con axones que acaban sobre interneuronas y motoneuronas de varios segmentos por encima y por debajo de su soma.
- 3. Interneuronas** con axones que acaban en su mismo segmento o segmentos adyacentes sobre otras interneuronas o sobre motoneuronas.
- 4. Motoneuronas** cuyos axones abandonan la médula por las raíces anteriores y se incorporan al nervio espinal correspondiente para dirigirse hacia los músculos esqueléticos a los que inervan.

# 1 Las motoneuronas

Espinales se localizan en el asta anterior de la médula y se disponen de una forma ordenada

El conjunto de motoneuronas que forman las unidades motoras de cada músculo se disponen formando columnas que se denominan núcleos motores.

Hay uno por cada músculo, y suelen ocupar entre uno y cuatro segmentos medulares.

**Los núcleos motores que inervan los músculos de las extremidades se encuentran en la parte lateral del asta anterior a nivel de los engrosamientos cervical y lumbosacro.**

**Las relaciones de inervación de estos músculos son menores para los músculos distales y mayores para los proximales.**

**La organización espacial sigue una  
regla proximal-distal:**

**los núcleos motores de los  
músculos**

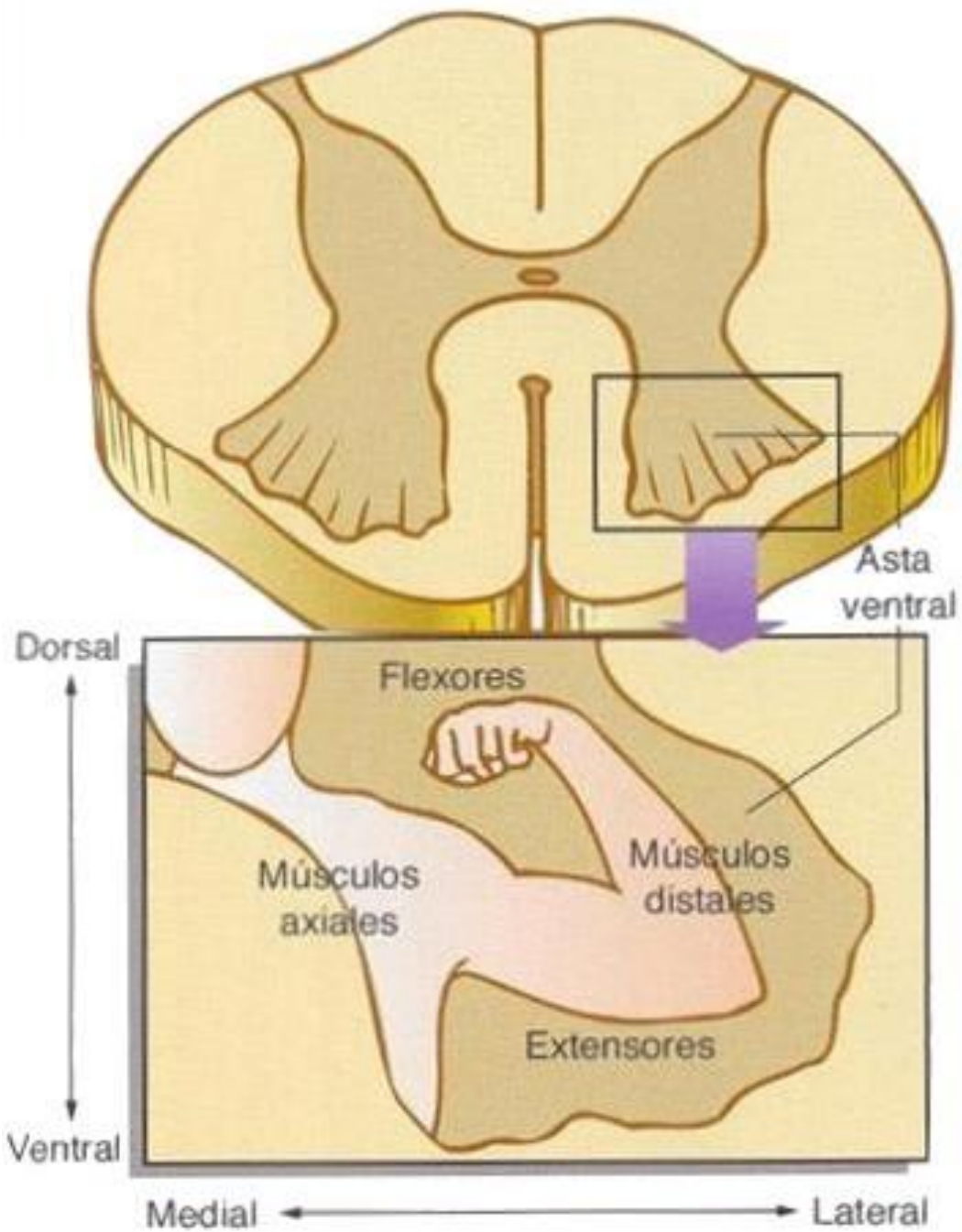
- ✓ **Proximales se sitúan medialmente.**
- ✓ **Distales se sitúan progresivamente más laterales en el seno de la médula.**

## La organización espacial

los núcleos motores que inervan

- **Músculos flexores se sitúan dorsalmente**
- **Músculos extensores ventralmente** (Fig. 3.2).

**Dentro de cada núcleo y según su tamaño se distinguen motoneuronas alfa y motoneuronas gamma**



**Figura 3.2.** Disposición somatotópica de las motoneuronas espinales. Las motoneuronas que inervan los músculos axiales se encuentran en posición medial respecto a las de los músculos proximales y distales. Las motoneuronas que inervan los músculos flexores se sitúan dorsalmente a las de los músculos extensores. (Modificada de Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience. Exploring the Brain. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)



## **2) Neuronas corticales:**

**Se trata de aferencias excitadoras que derivan de la corteza motora y acaban directamente sobre las motoneuronas que inervan los músculos más distales.**

### **3)Neuronas vestibulares:**

**Algunos axones de los fascículos vestibuloespinales acaban directamente sobre las motoneuronas que controlan los músculos axiales.**

# 4) Interneuronas:

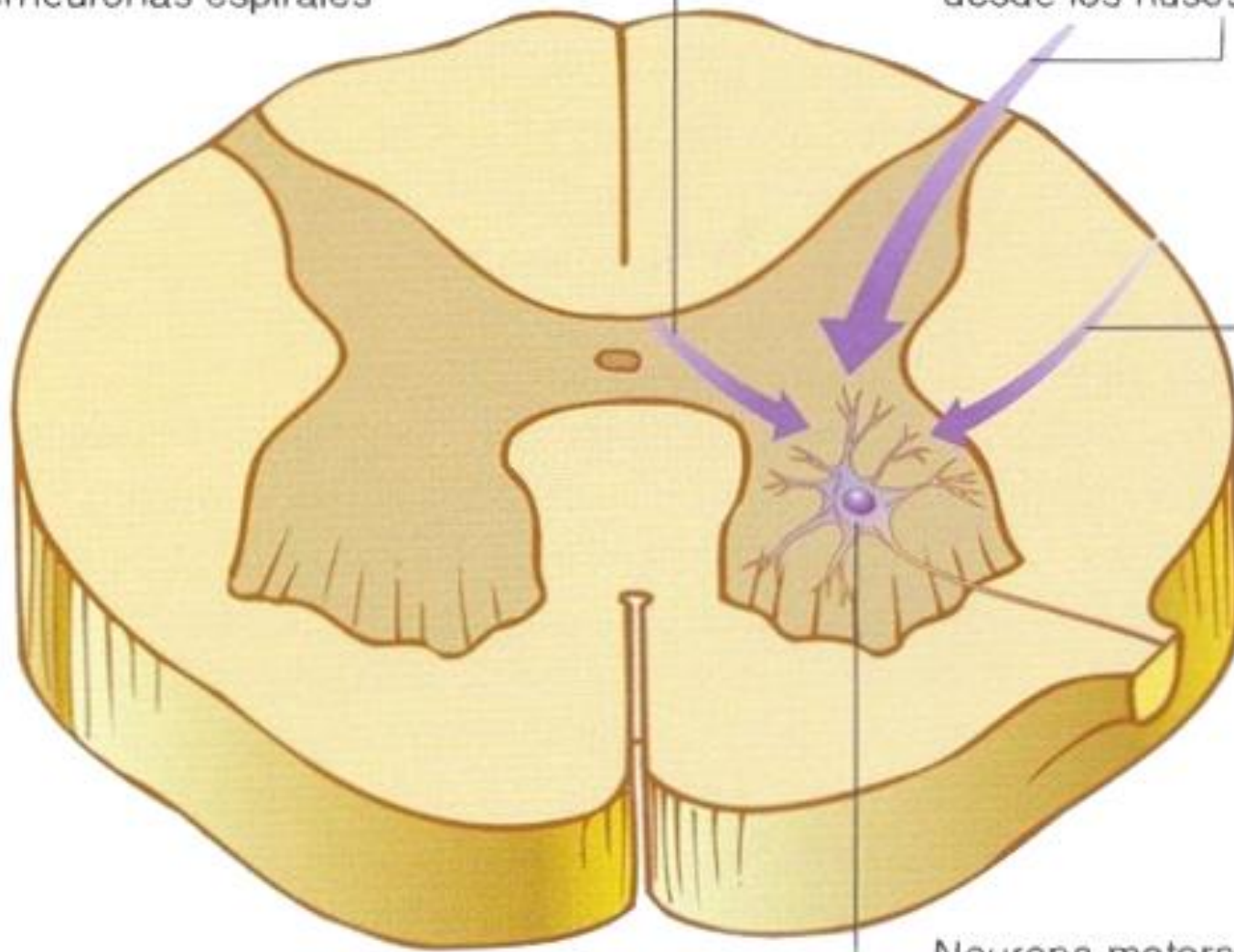
**Son las más abundantes** - través de ellas las motoneuronas reciben información del resto de aferencias cutáneas, musculares y articulares, y de las vías descendentes, pero no de forma directa sino a través de circuitos di, tri o polisinápticos, con interneuronas interpuestas.

Estas aferencias pueden **ser excitadoras o inhibitoras** (Fig. 3.3).

Aferencias desde las interneuronas espirales

Aferencias sensoriales desde los husos musculares

Aferencias desde las neuronas motoras superiores del cerebro



Neurona motora alfa

**Figura 3.3.**

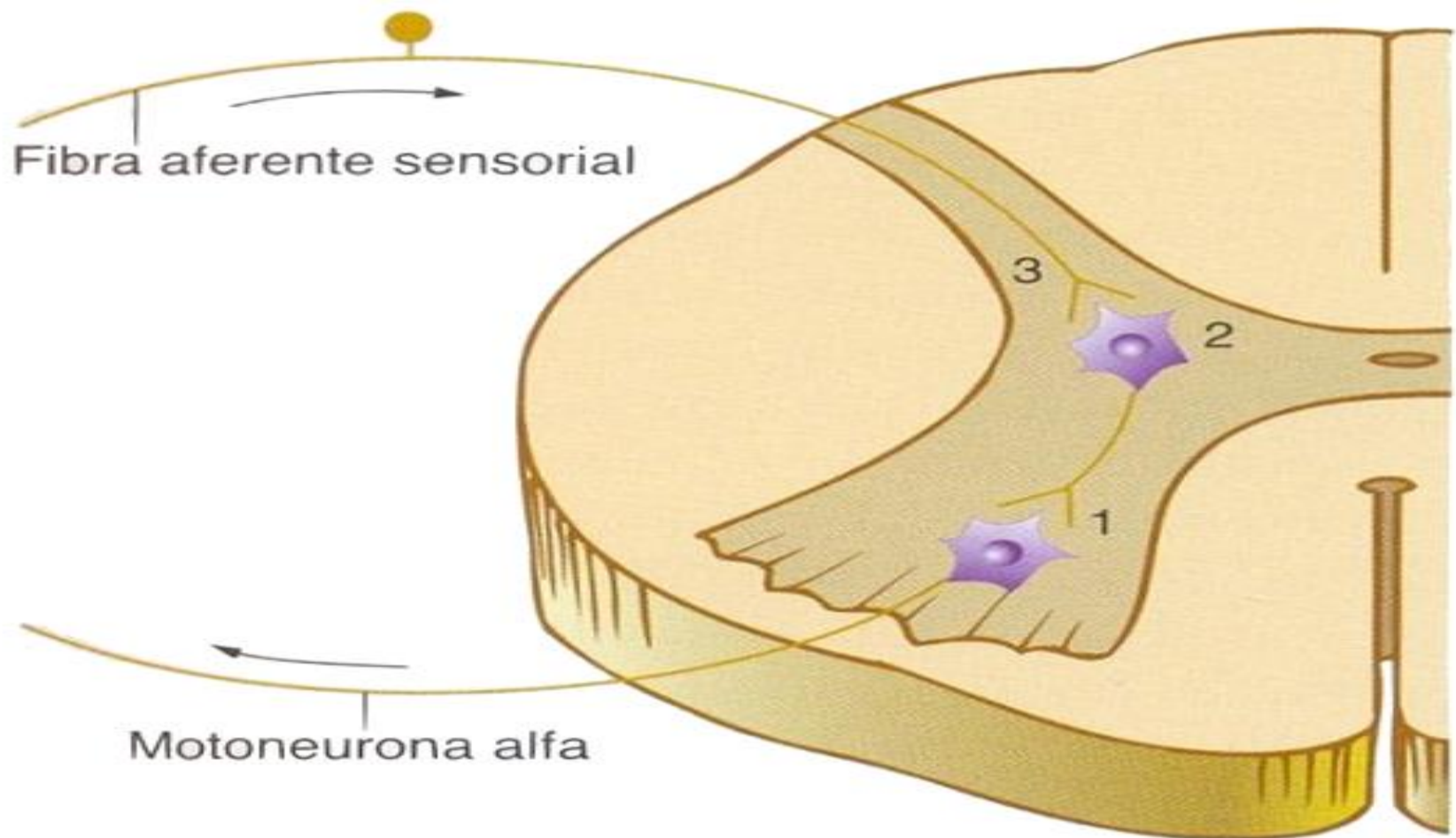
# **ACTIVIDAD REFLEJA**

**Los reflejos medulares sirven de base a las respuestas motoras.**

**Los circuitos que se localizan en la médula espinal constituyen el soporte de la mayoría de las actividades motoras.**

**Un reflejo es una respuesta motora estereotipada a una información sensitiva determinada.**

**Los reflejos espinales son las actividades motoras más elementales y se originan por los circuitos que establecen las aferencias sensoriales sobre las motoneuronas.**



**Figura 3.10.** Lugares de modulación de una vía refleja: 1. Motoneuronas alfa. 2. Interneuronas. 3. Terminales de aferentes primarias. (Modificada de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principios de Neurociencia*. McGraw-Hill, 2000.)

En condiciones normales, **los centros supraespinales modulan** el estado funcional de estos circuitos.



**La actividad de los mecanorreceptores musculares sirve como señal de retroalimentación en el control motor**

Estos propioceptores son **los husos neuromusculares y los órganos tendinosos de Golgi.**

Su actividad genera sensaciones cinestésicas y son de importancia funcional en el control motor.

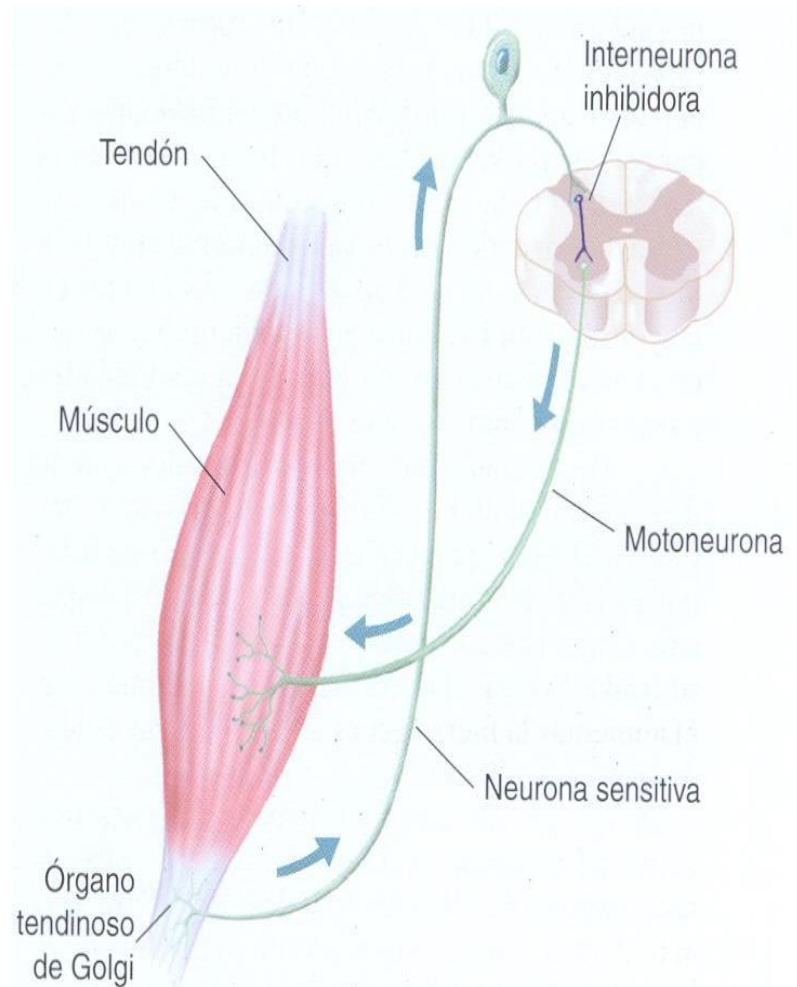
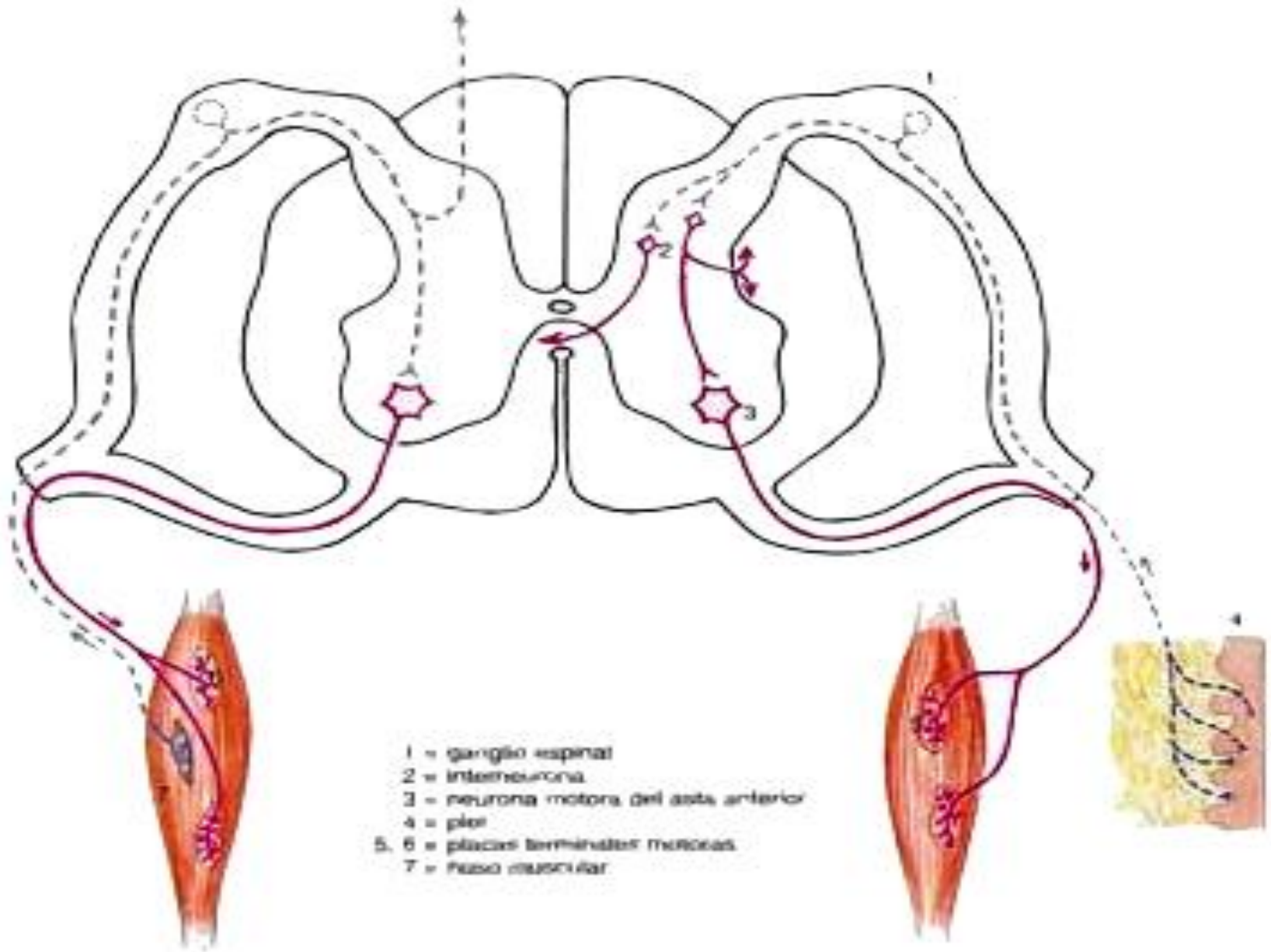


Figura 2.3 Órgano tendinoso de Golgi (GTO). Cuando se somete a un músculo a una carga muy grande, el GTO se activa. La neurona sensitiva del GTO activa la interneurona inhibidora en la médula espinal, la cual a su vez establece una sinapsis con la motoneurona que inerva el mismo músculo.



# **Husos neuromusculares.**

**Están formados por haces alargados de fibras musculares finas llamadas fibras intrafusales, contenidas dentro de una cápsula de tejido conjuntivo y dispuestas en paralelo respecto a las fibras musculares extrafusales.**

# **Husos neuromusculares.**

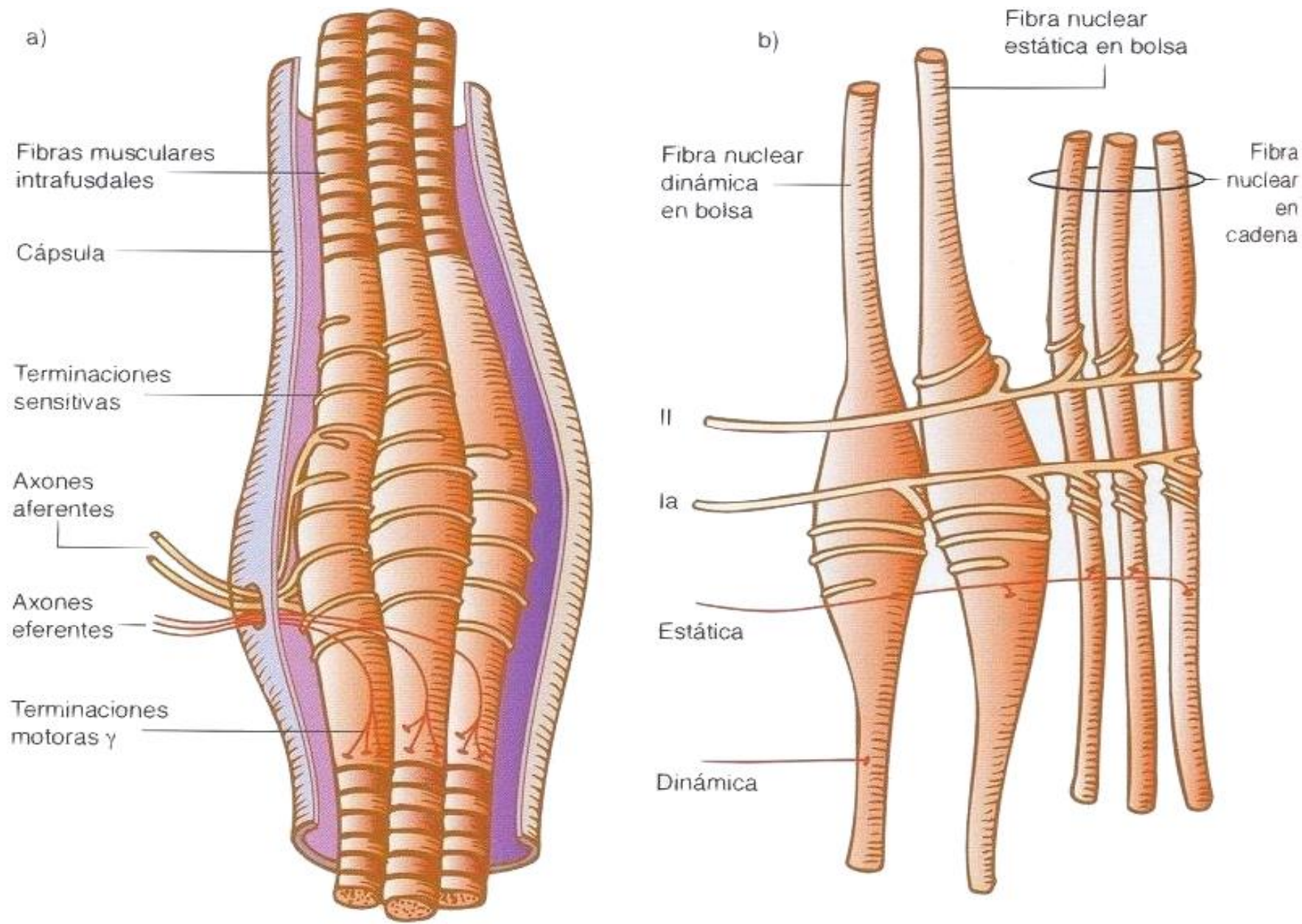
**Estos husos están inervados por terminaciones tanto sensitivas como motoras.**

**El huso neuromuscular se dispone dentro del espacio existente entre las fibras musculares extrafusales o de trabajo; esta disposición en paralelo es importante para sus funciones** (Fig. 3.4).

# Husos neuromusculares.

**Las fibras intrafusales son de dos tipos:**

- 1. Fibras nucleares en bolsa** (dos-tres en cada huso), **las hay dinámicas y estáticas.**
- 2. Fibras nucleares en cadena** (unas cinco en cada huso), **denominadas así por la disposición de sus núcleos.**



**Figura 3.4.** Estructura del huso neuromuscular. **A.** Huso muscular. **B.** Fibras intrafusales del huso muscular. (Modificada de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Principios de Neurociencia. McGraw-Hill, 2000.)

Las terminaciones sensitivas de un huso neuromuscular son de dos tipos:

**1. La terminación principal** es la fibra tipo **la** o primaria, única, de diámetro grande y velocidad de conducción elevada.

Acaba en la zona central de todas las fibras del huso y es un mecanorreceptor sensible al **estiramiento y a la velocidad** con la que éste se produce.

## 2. Terminaciones secundarias

Se presentan en número variable, son fibras **tipo II** y acaban cerca de la zona central de las fibras en bolsa y de las fibras en cadena.

Son mecanorreceptores sensibles al **estiramiento**, pero **más en estado estacionario** que en la fase dinámica de cambio de longitud del músculo.



**Cuando el músculo se estira, también lo hacen las fibras intrafusales, y las terminaciones Ia y II aumentan su descarga.**

**Al acortarse el músculo la descarga de las aferentes sensoriales disminuye.**

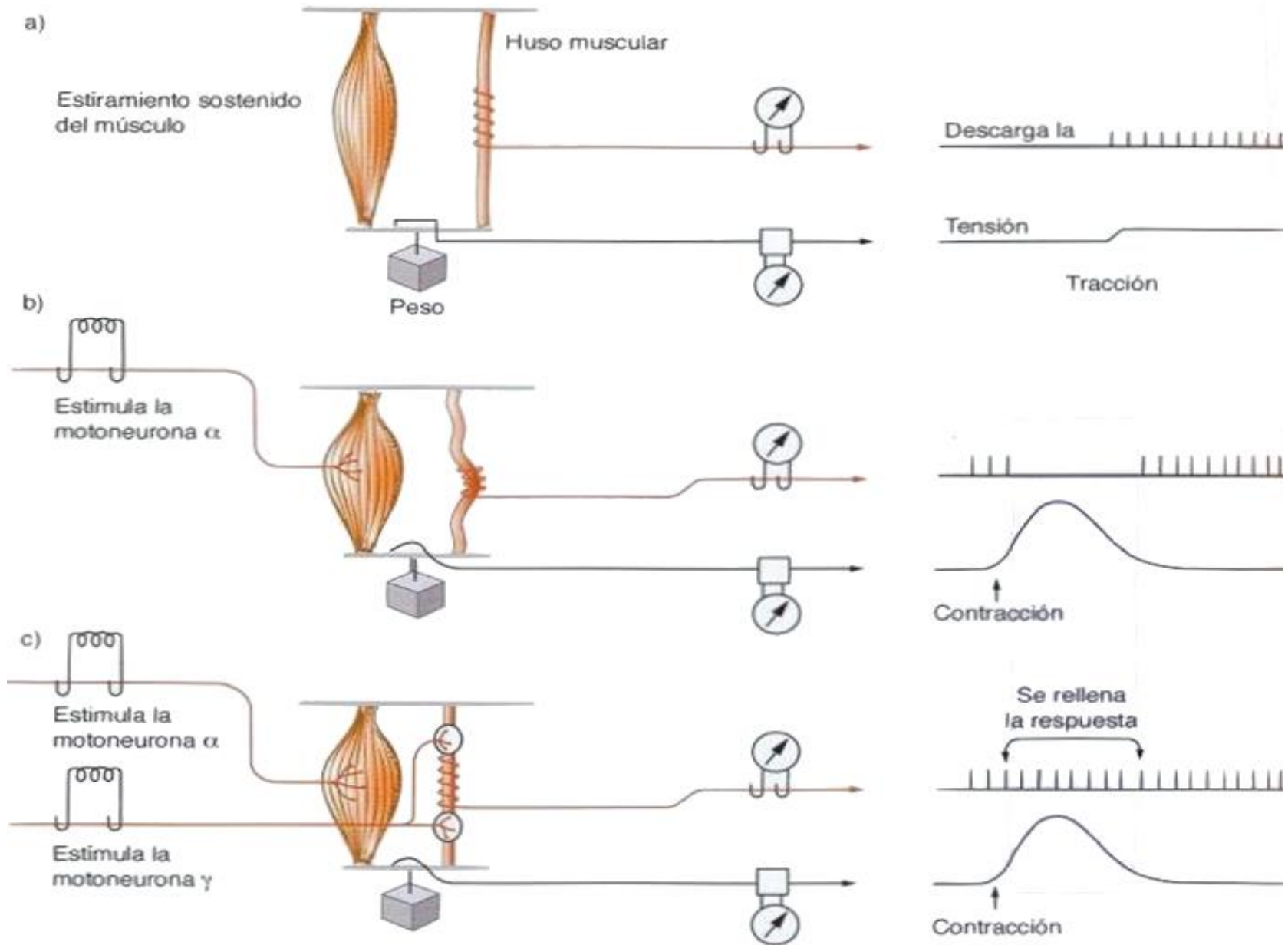
**=> los husos detectan los cambios en la longitud muscular y en la velocidad del cambio.**

Las **motoneuronas** gamma **suministran la inervación motora a los husos neuromusculares.**

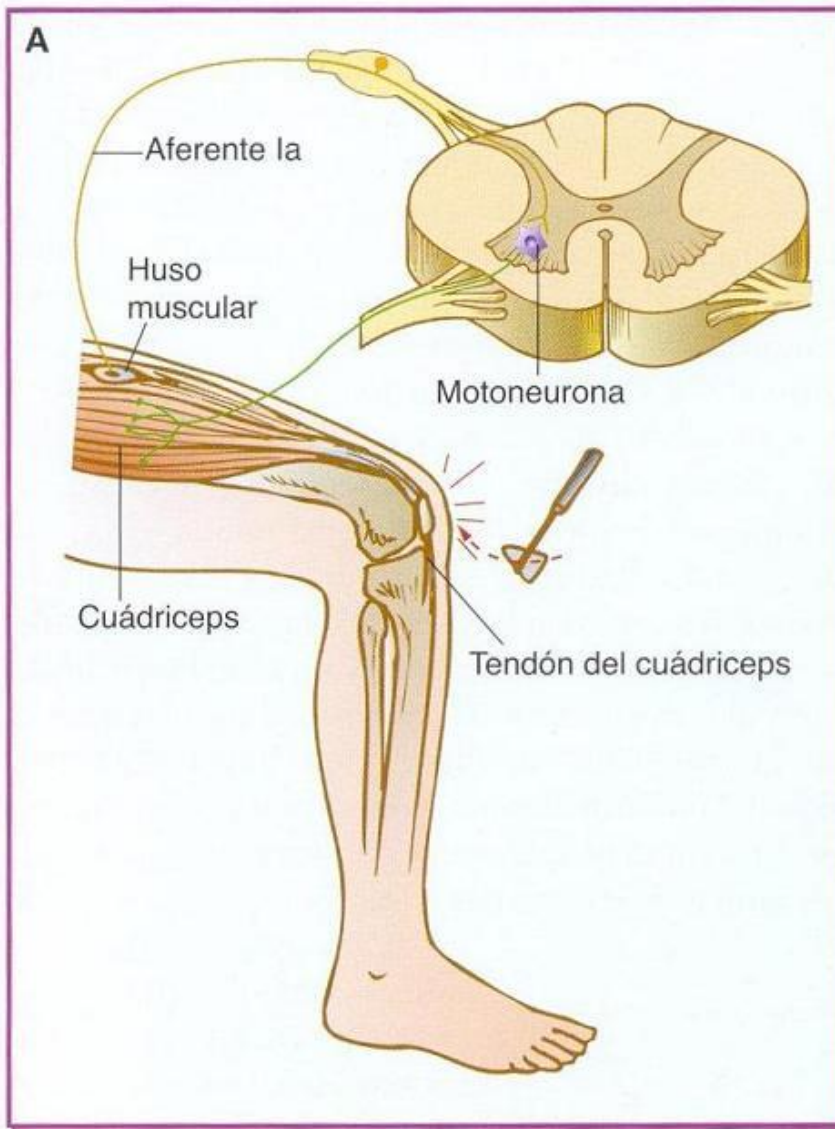
Los axones de estas motoneuronas inervan los extremos contráctiles de las fibras intrafusales, provocando su **contracción.**

***Se denomina coactivación alfa-gamma*** al hecho de que en los movimientos voluntarios se activen simultáneamente ambos tipos de motoneuronas, lo que permite al SNC recibir una información constante sobre los cambios de longitud del músculo, aunque éste se acorte porque se está contrayendo

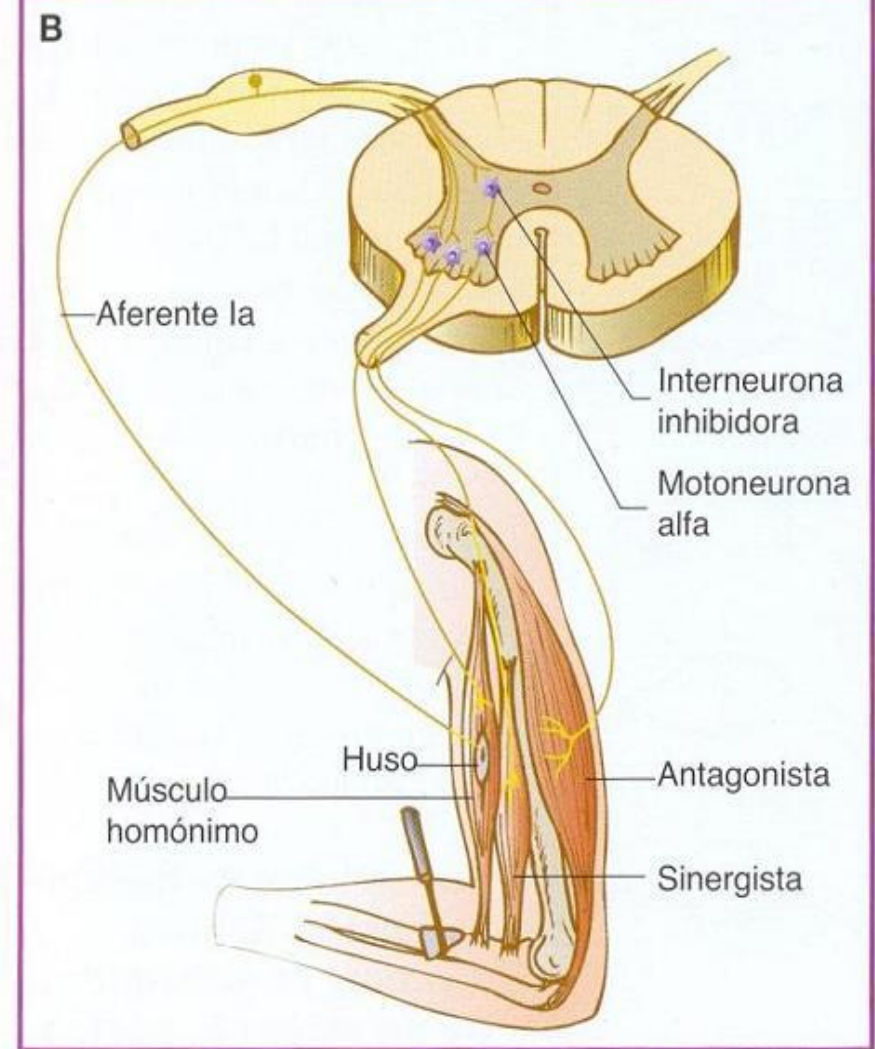
(Fig. 3.5).



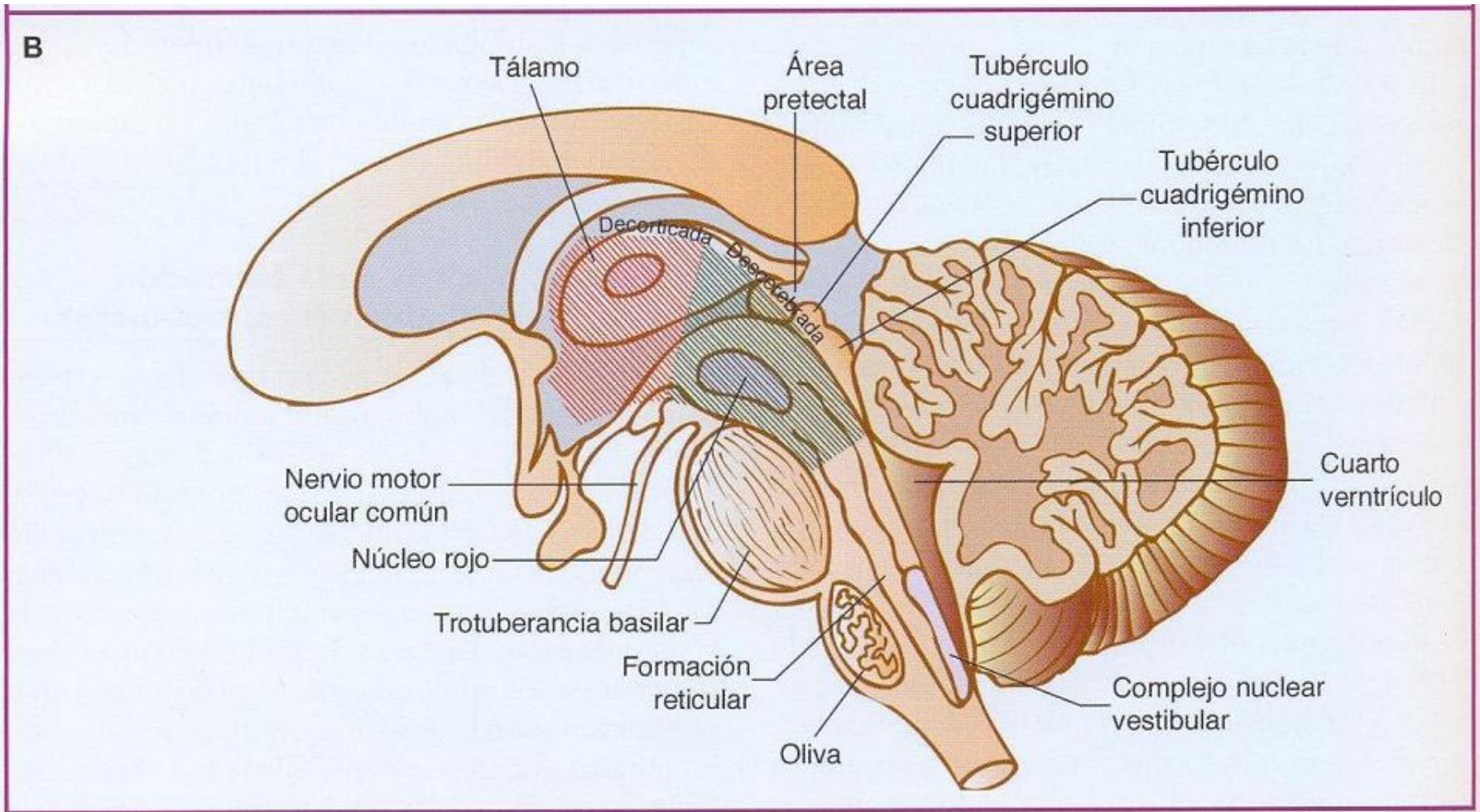
**Figura 3.5.** **A.** El estiramiento muscular provoca la descarga de las aferentes. **B.** La estimulación de las motoneuronas alfa aisladas provoca una pausa en la respuesta de las fibras. **C.** La estimulación simultánea de las motoneuronas alfa y gamma permite que los husos sigan descargando durante la contracción del músculo. (Modificada de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Principios de Neurociencia. McGraw-Hill, 2000.)



**Figura 3.6. A.** El reflejo rotuliano es un ejemplo de reflejo miotático. (Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience. Exploring the Brain. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)

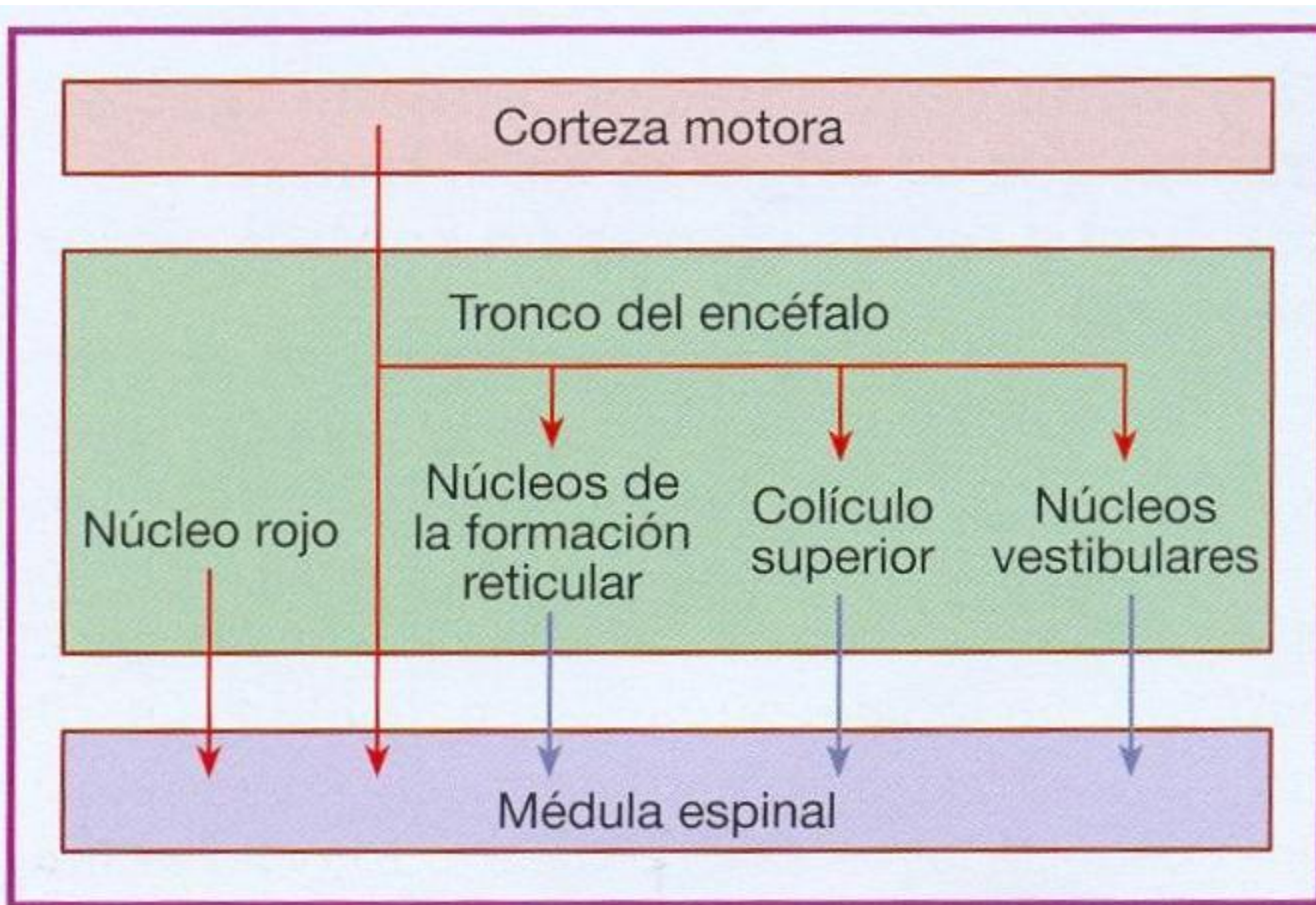


**Figura 3.6. B.** En el reflejo miotático se estimulan las motoneuronas homónimas y sinérgicas y se inhiben las motoneuronas de los músculos antagonistas (inervación recíproca). (Modificada de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Principios de Neurociencia. McGraw-Hill, 2000.)

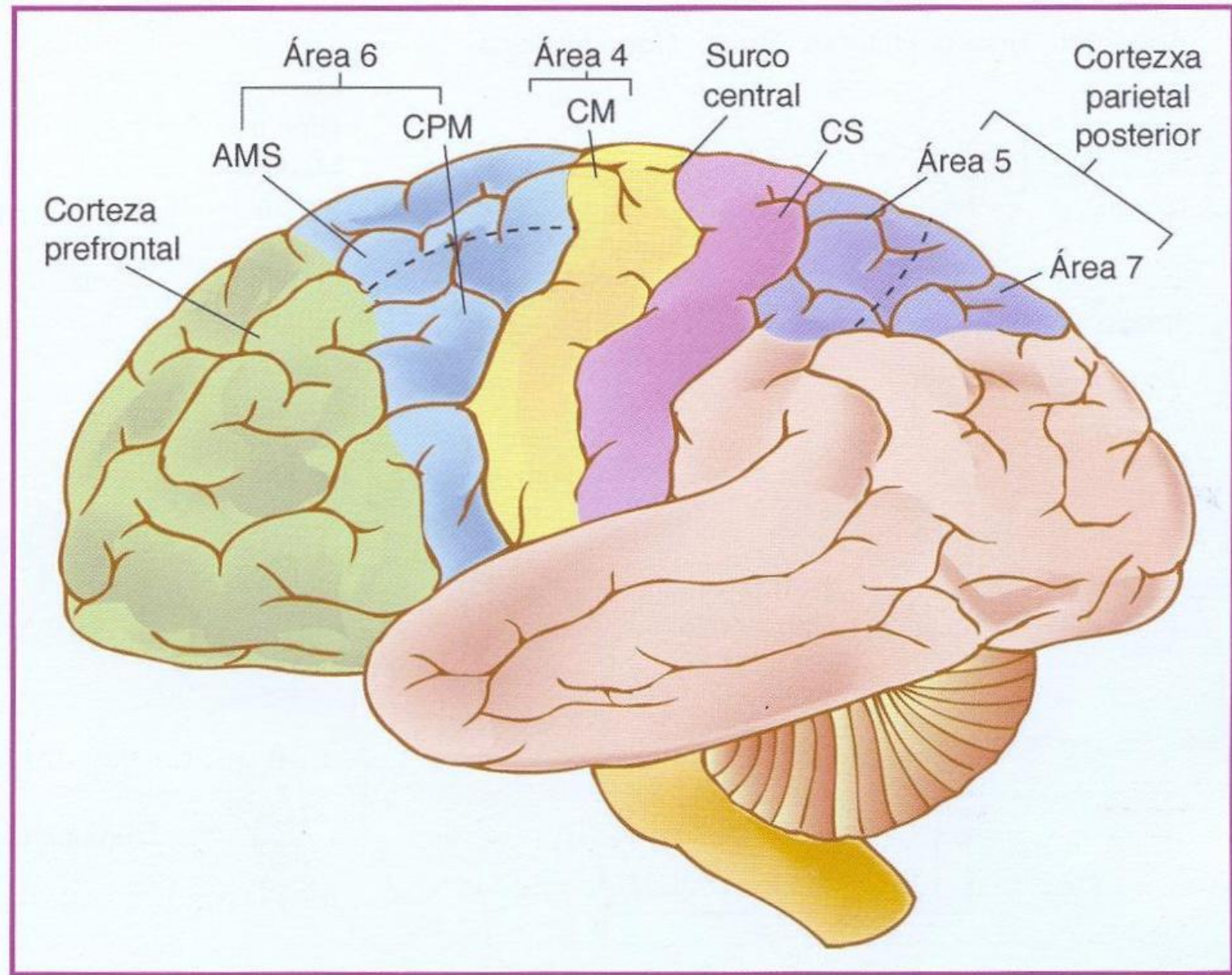


**Figura 3.12. B.** Corte del tronco del encéfalo con la situación del núcleo rojo.

la formación reticular, los núcleos vestibulares y los colículos o tubérculos cuadrigéminos. (Modificada de Yong PA, Yonung PH. Neuroanatomía Clínica Funcional. Masson, Williams & Wilkins, 1998.)

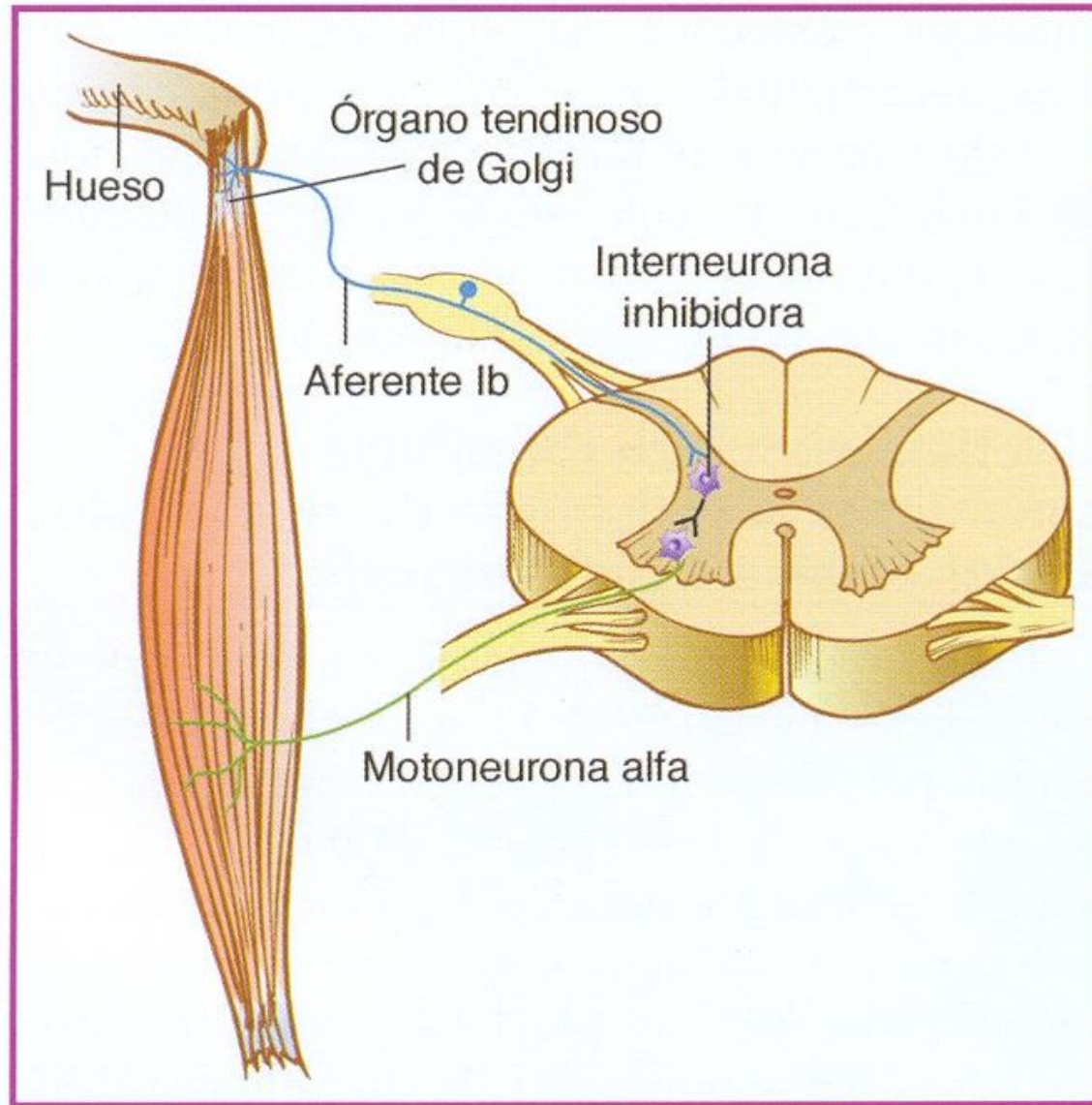


**Figura 3.11.** *Sistemas descendentes espinales de control motor. El sistema lateral está representado en rojo y el sistema ventromedial en azul.*

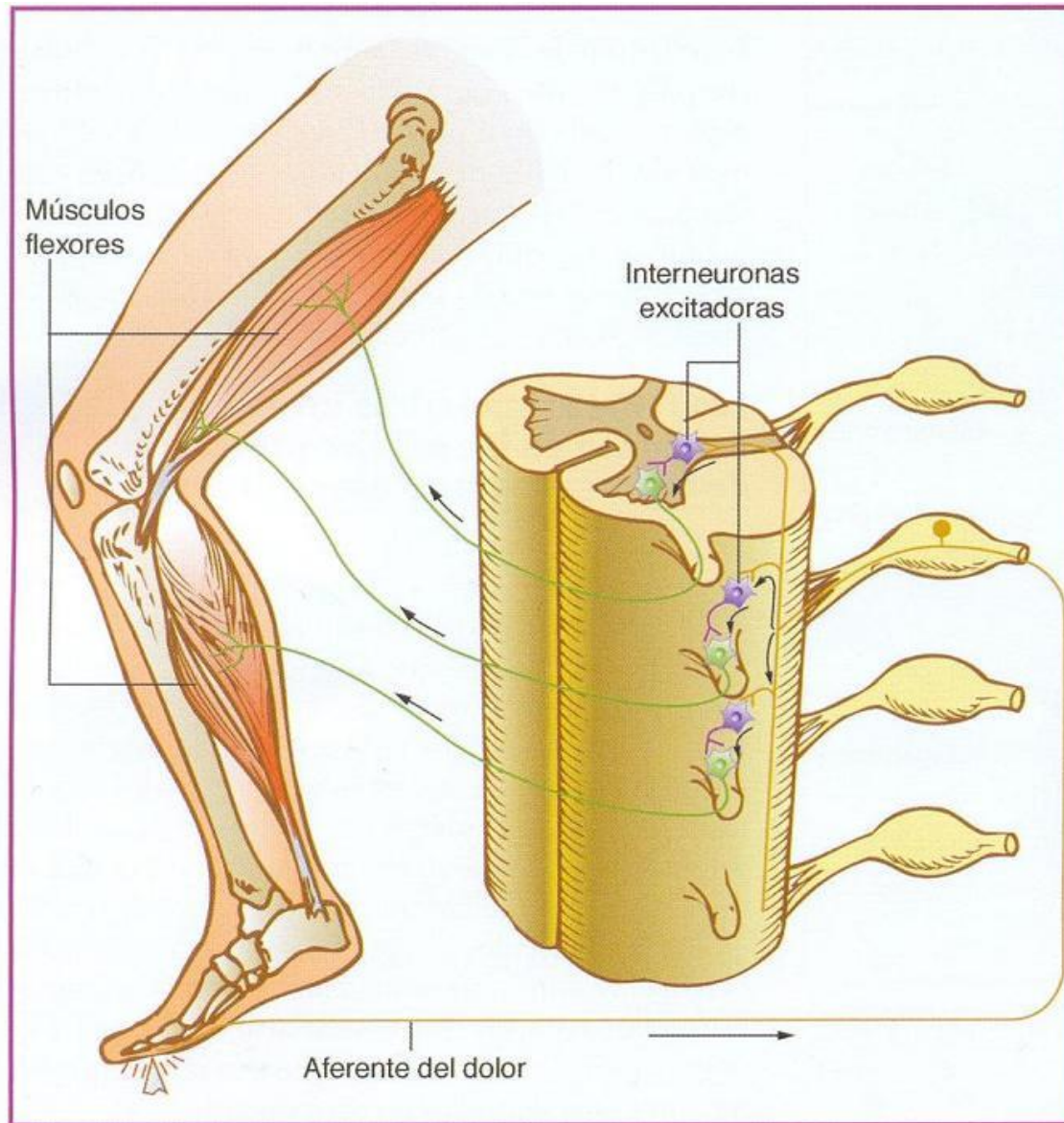


**Figura 3.15.** Áreas corticales implicados en la planificación y ejecución de los movimientos. (Modificada de Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience. Exploring the Brain. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)

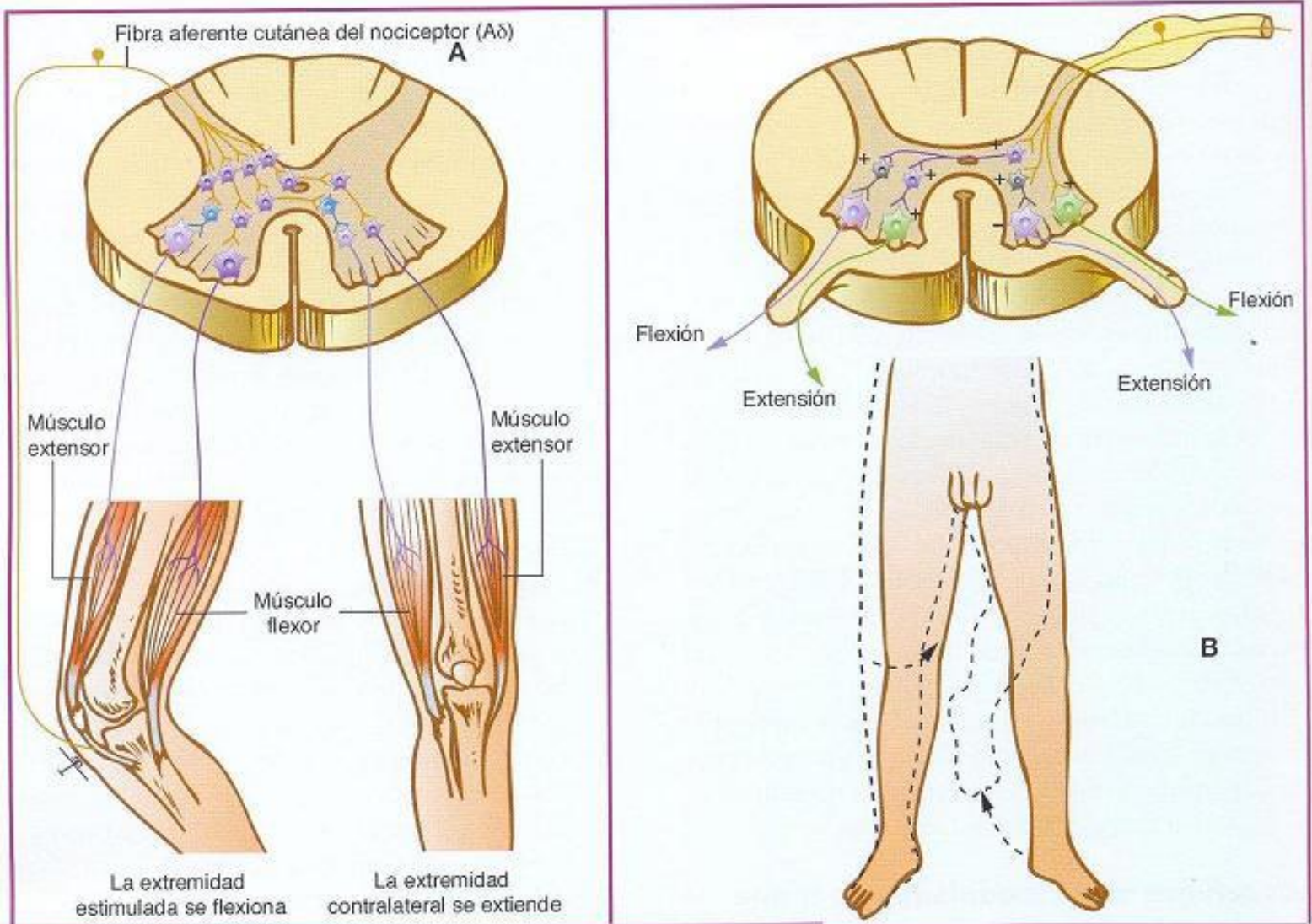




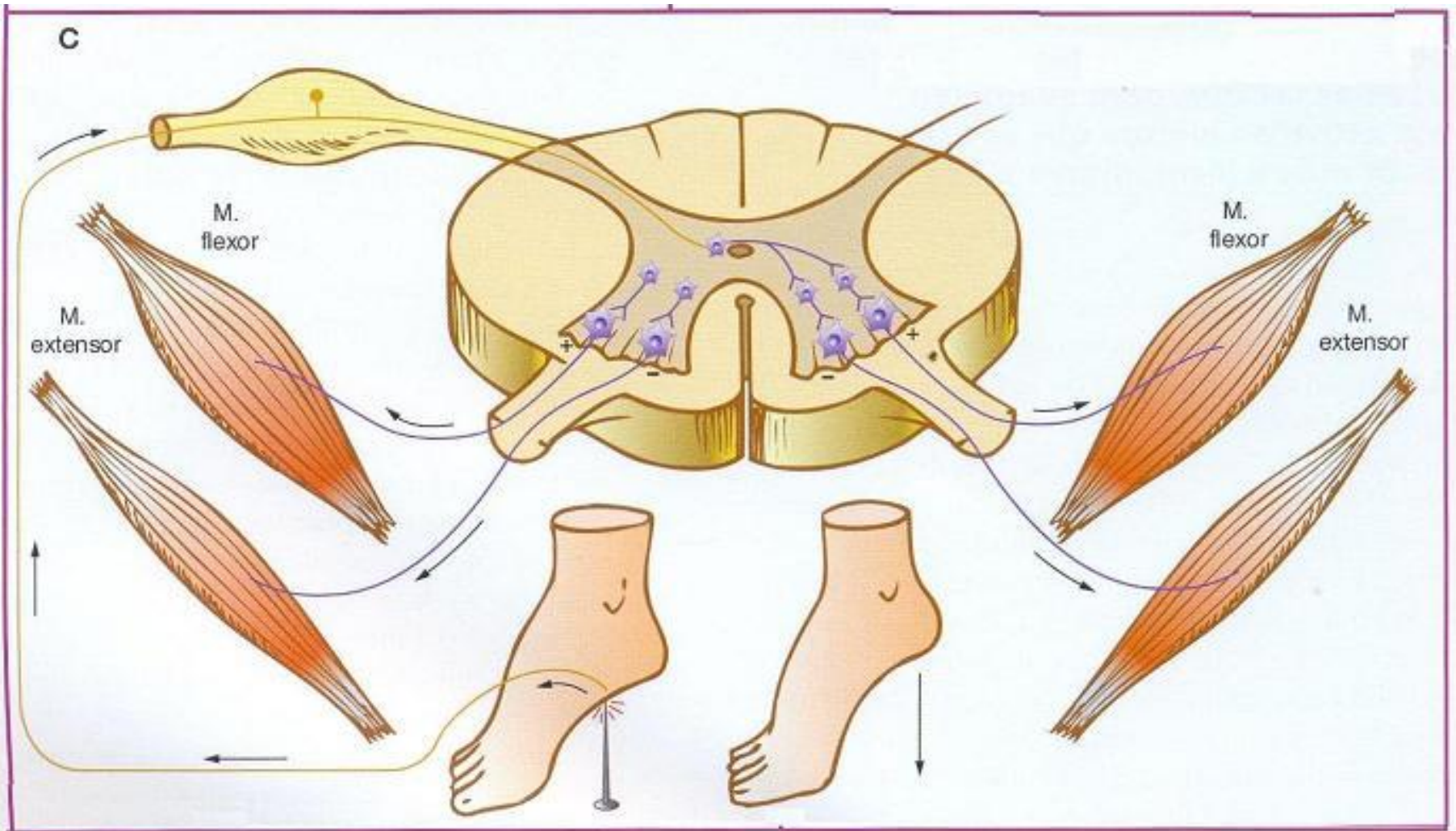
**Figura 3.7.** Circuito del reflejo miotático inverso. (Modificada de Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. *Neuroscience. Exploring the Brain*. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)



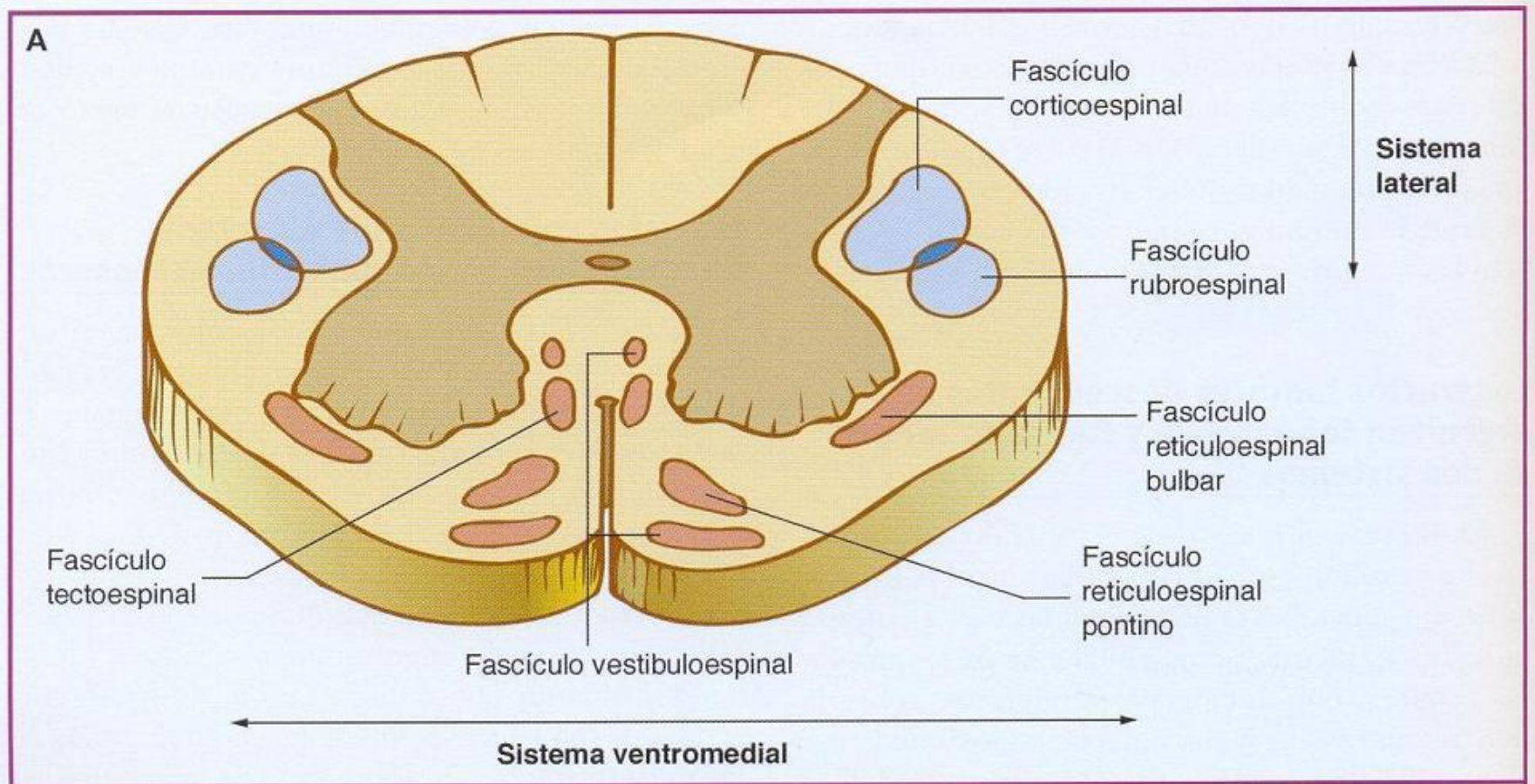
**Figura 3.8.** Reflejo de flexión. (Modificada de Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. *Neuroscience. Exploring the Brain*. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)



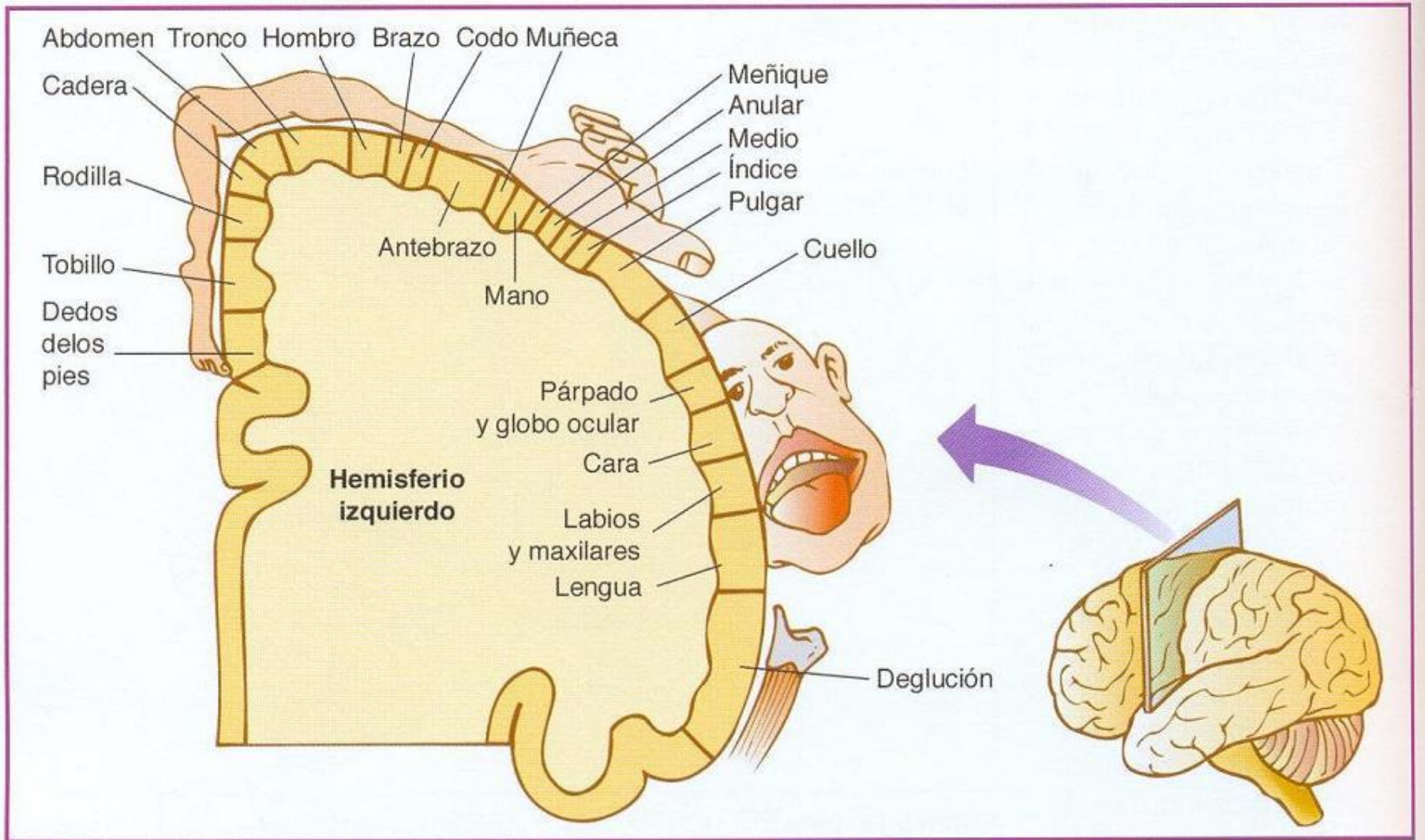
**Figura 3.9. A.** Circuito del reflejo de flexión y de extensión cruzada. El reflejo es polisináptico y sus efectos sobre músculos flexores y extensores son opuestos. (Modificada de Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience. Exploring the Brain. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.) **B.** En el reflejo de flexión y extensión cruzada la extremidad estimulada se flexiona y la contralateral se extiende. (Modificada de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Principios de Neurociencia. McGraw-Hill, 2000.)



**Figura 3.9. C.** Modificada de una figura del CD soporte en imágenes del libro de S. Ira Fox, *Fisiología humana*. Interamericana-McGraw-Hill, 2003.

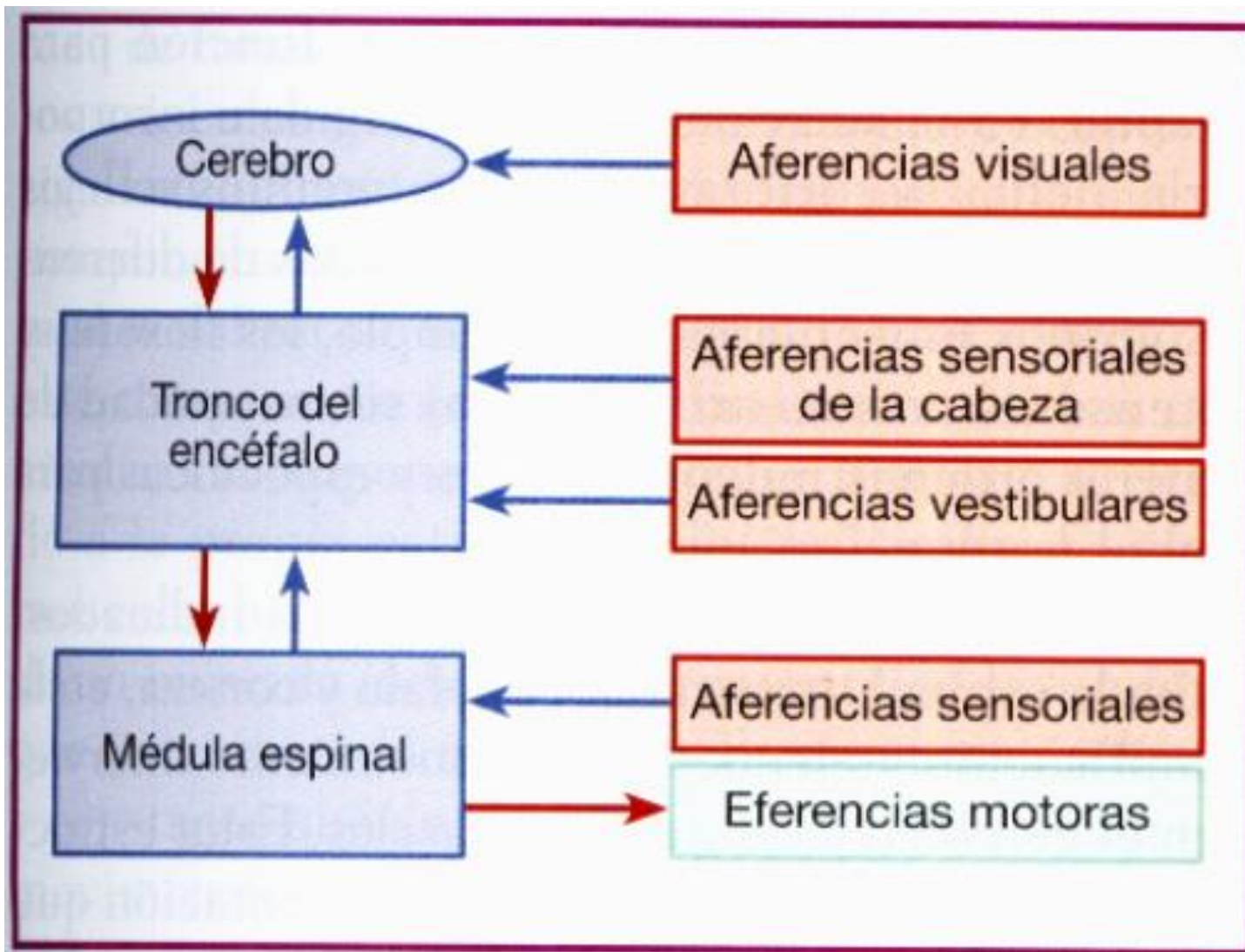


**Figura 3.12. A.** Disposición de los fascículos descendentes en la médula espinal. (Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. *Neuroscience. Exploring the Brain*. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)



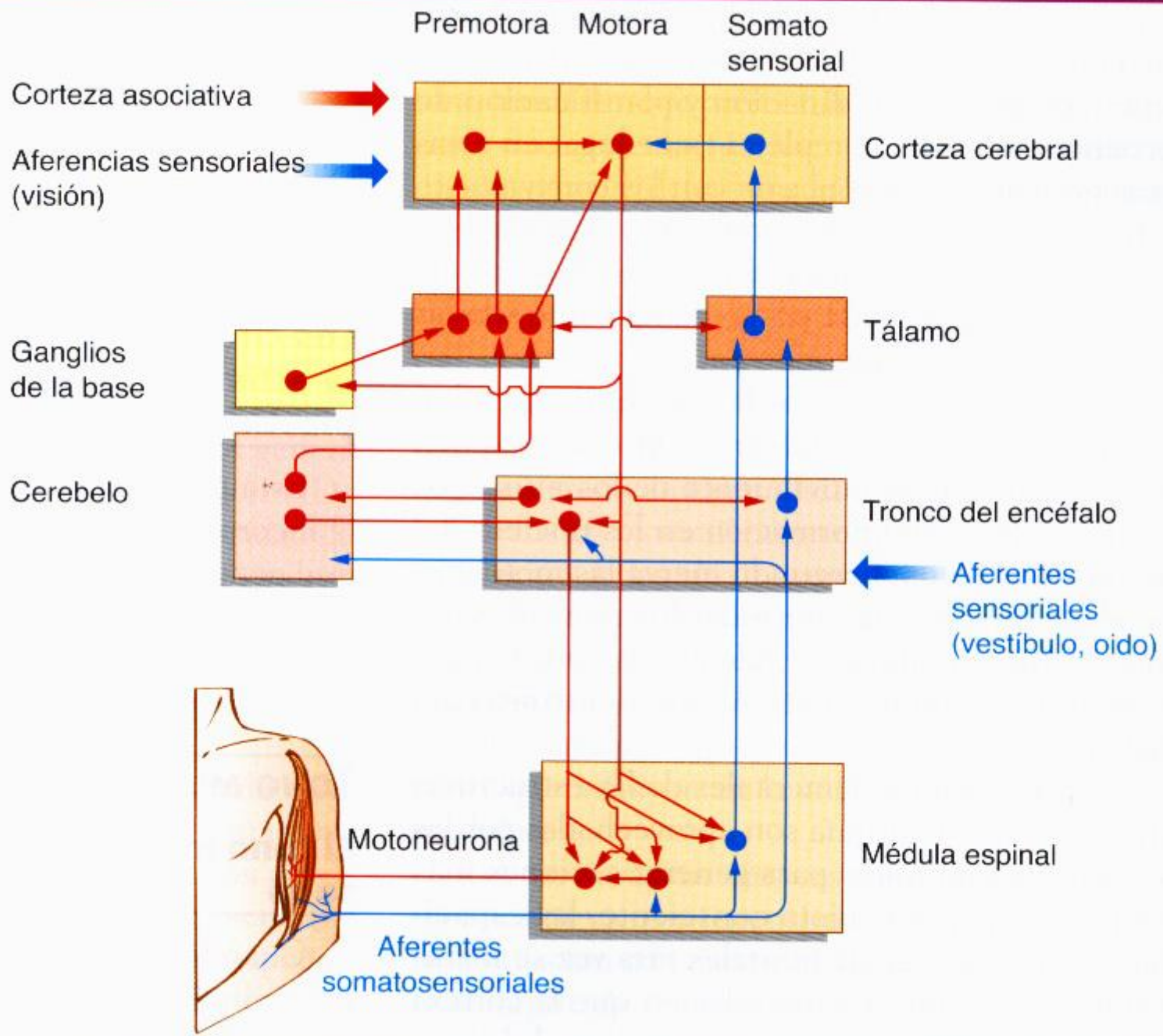
**Figura 3.16.** Organización somatotópica de la corteza motora primaria. La deformación del «homúnculo» es proporcional a la inervación motora. (Modificada de Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience. Exploring the Brain. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.)

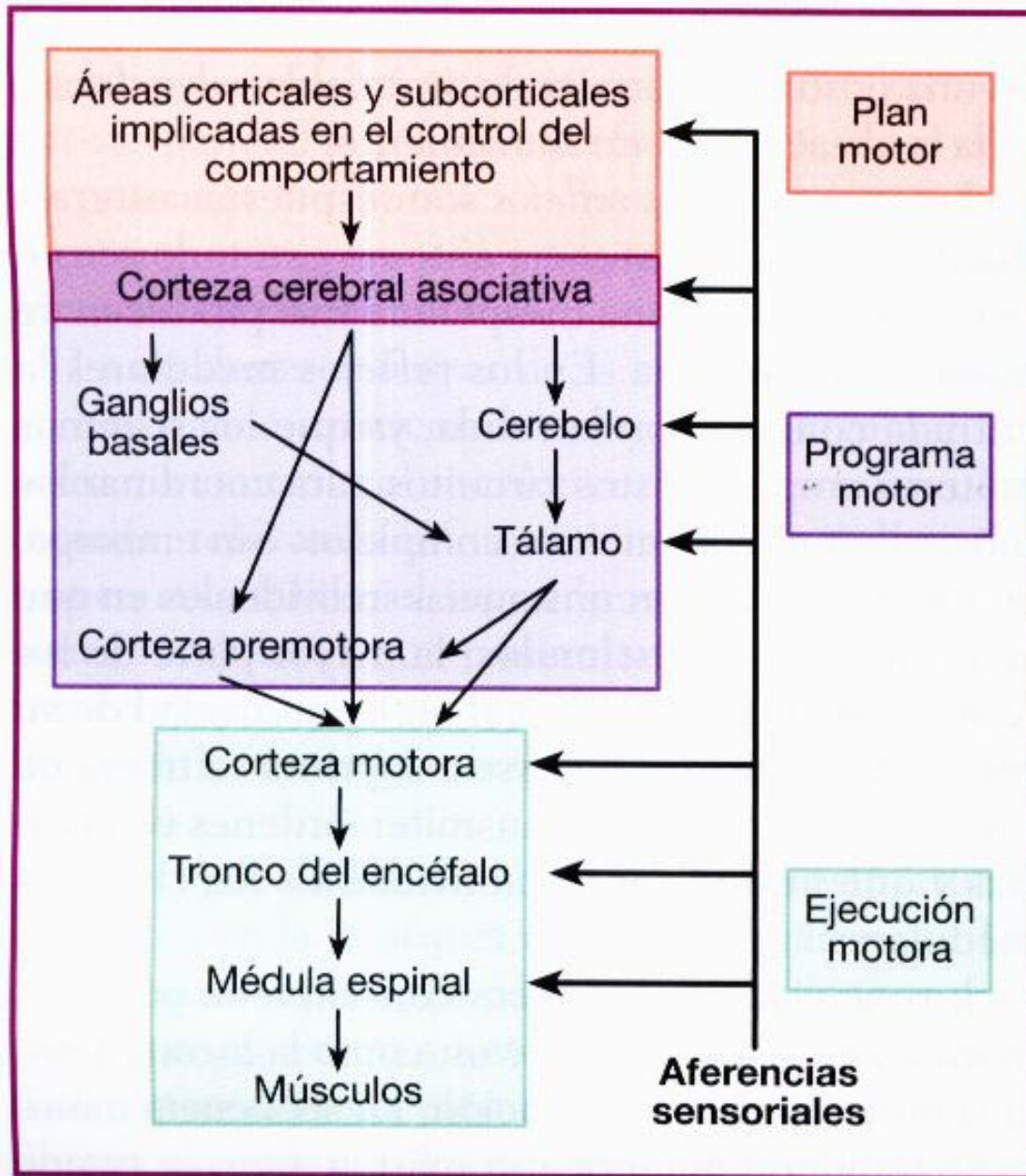
**ORGANIZACIÓN  
FUNCIONAL DEL  
SISTEMA MOTOR**



**Figura 2.2.** *Correlación entre procesos motores y sensoriales. Las flechas azules indican procesos sensoriales y las flechas rojas procesos motores.*

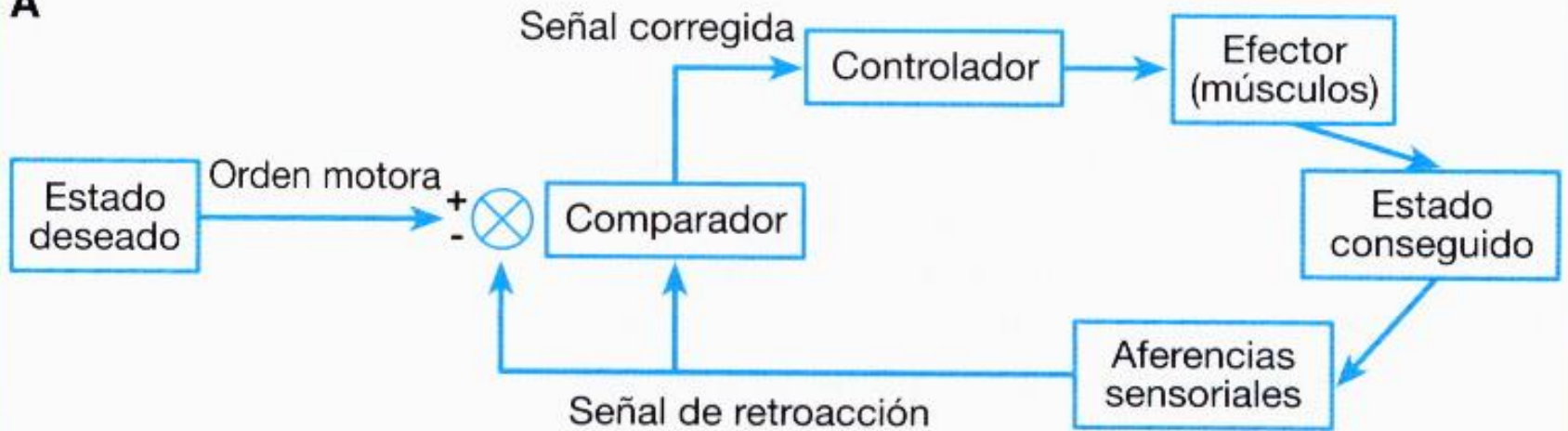
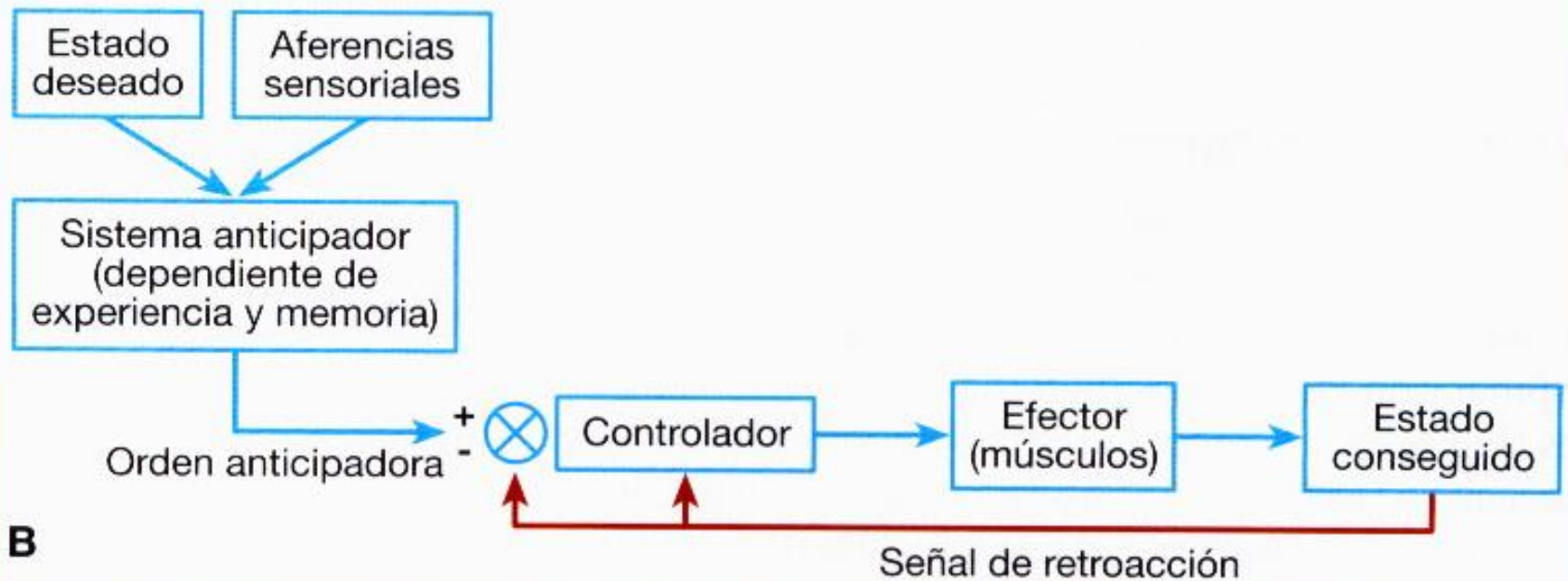


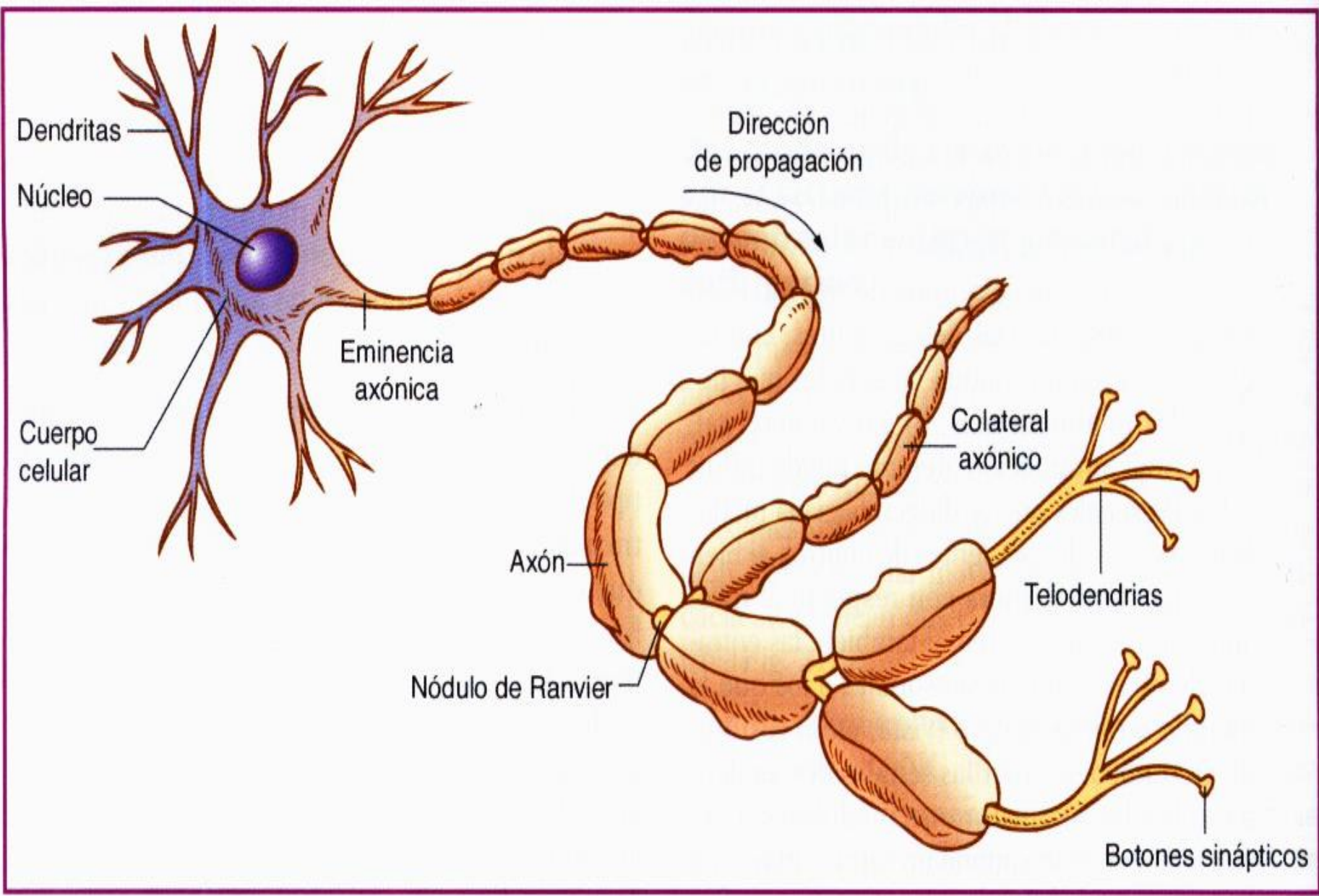


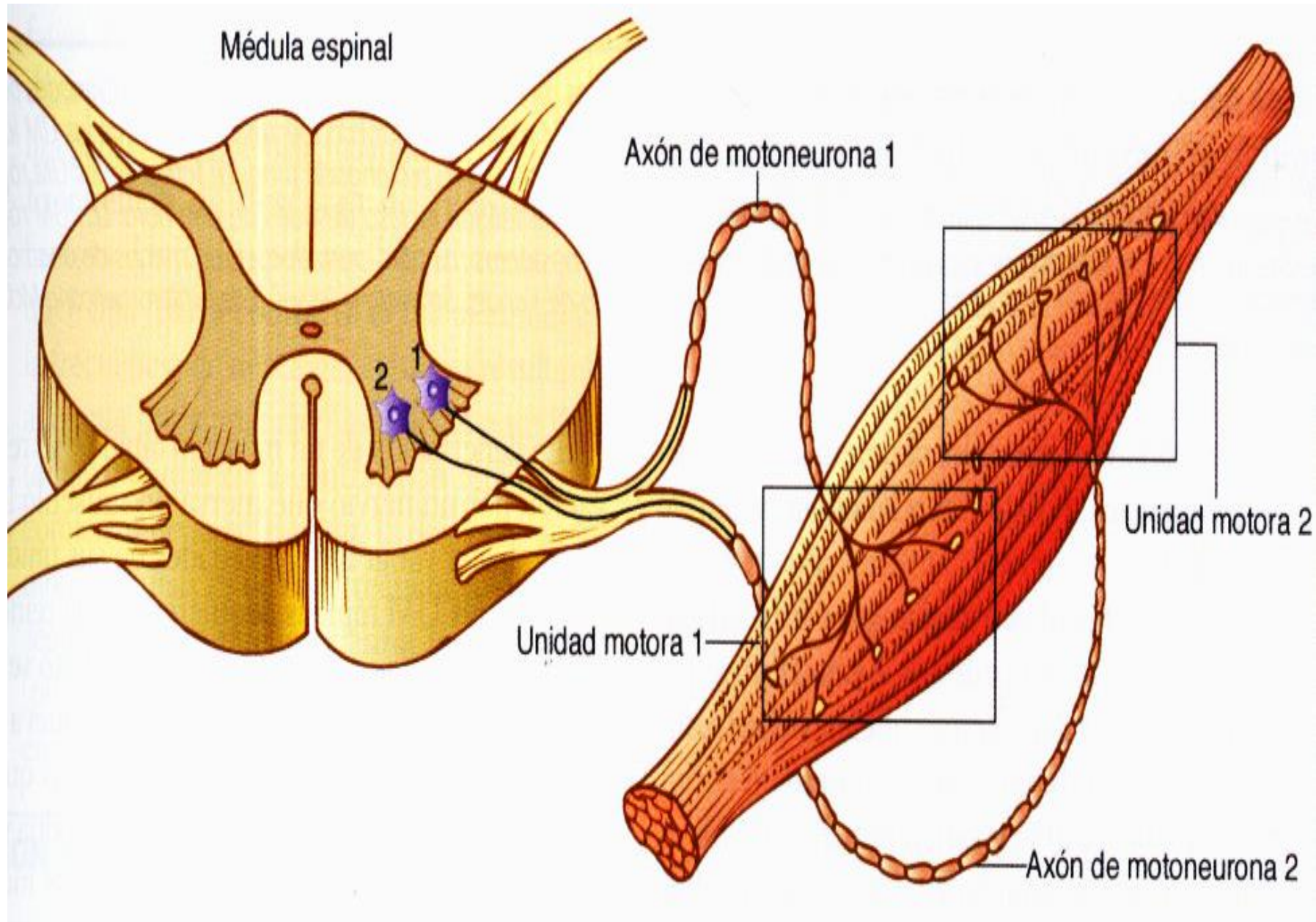


**Figura 2.4.** Fases de la actividad motora voluntaria.

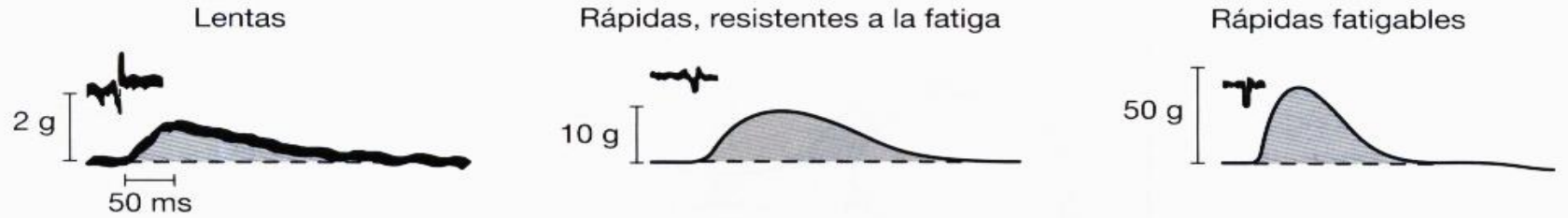
- **El plan motor:** en esta fase se establecen los objetivos generales en respuesta a una motivación o a la información sensorial. Intervienen las áreas corticales y subcorticales implicadas en el comportamiento y la corteza asociativa, en la que confluye toda la información sensorial del propio cuerpo y del medio.
- **El programa motor:** comprende el diseño del patrón de movimientos adecuado para lograr los objetivos del plan motor. Se seleccionan los músculos que van a ser utilizados, se determina su secuencia de activación, la fuerza a desarrollar, la dirección global y el inicio y finalización de la contracción.
- **La ejecución** del programa motor, mediante la activación de las vías descendentes desde la corteza y tronco del encéfalo. Estas vías descendentes controlan a las motoneuronas de forma directa o a los circuitos de la médula espinal a través de interneuronas.

**A****B**

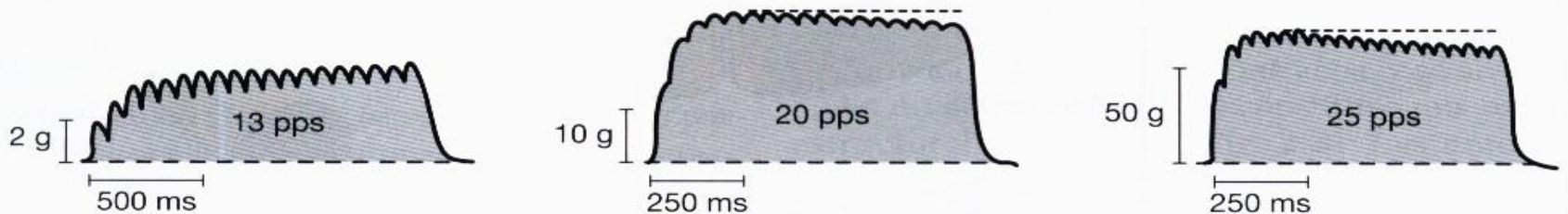




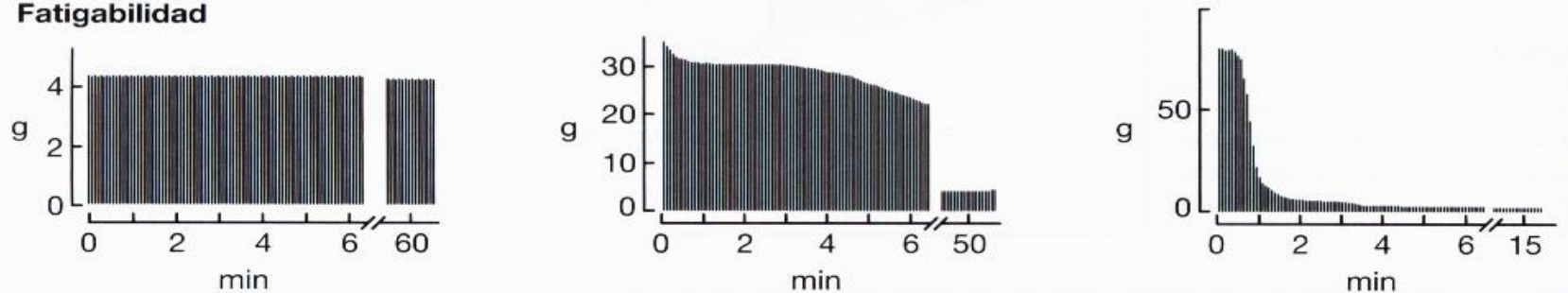
### A Sacudida



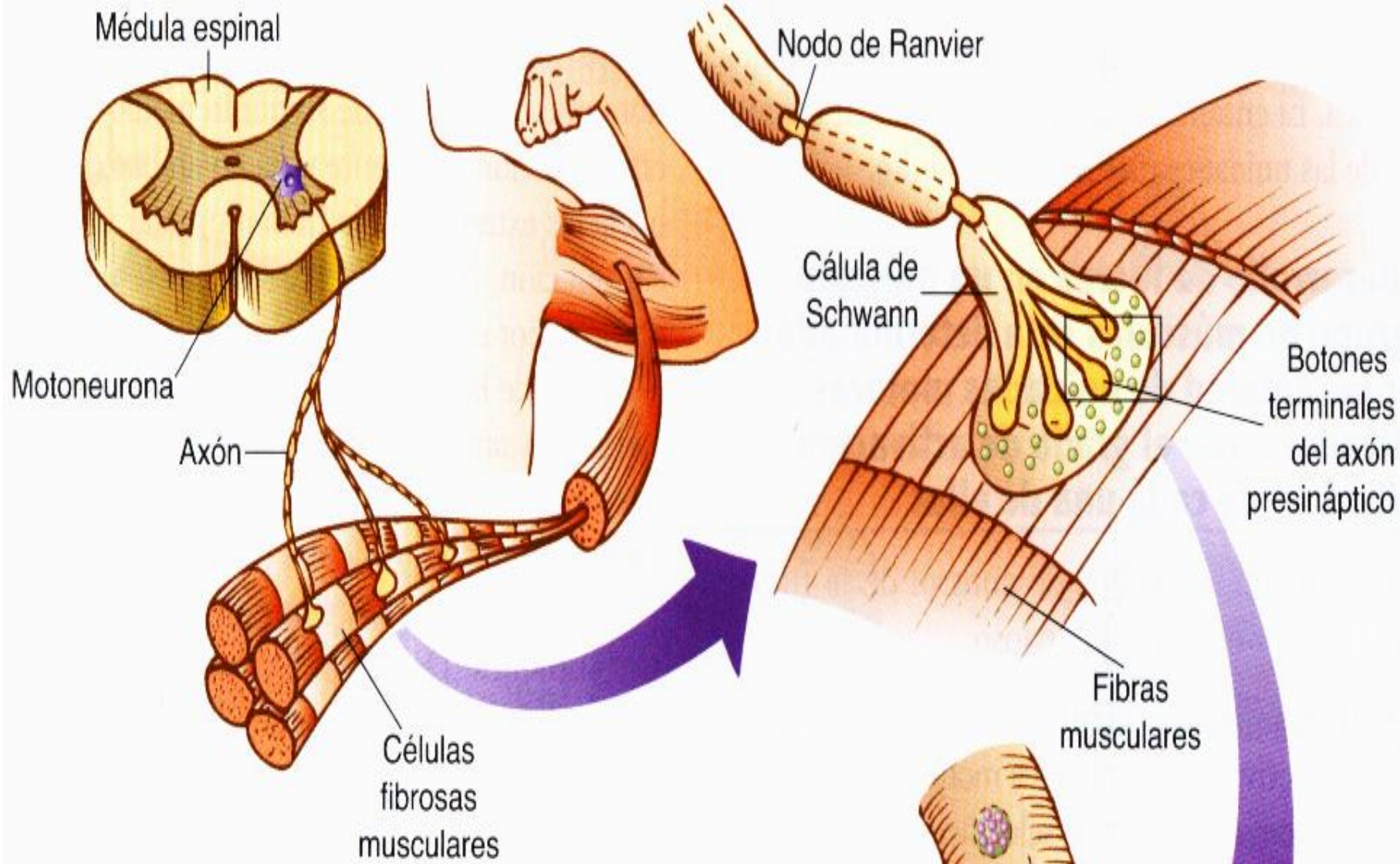
### B Fuerza tetánica no fusionada

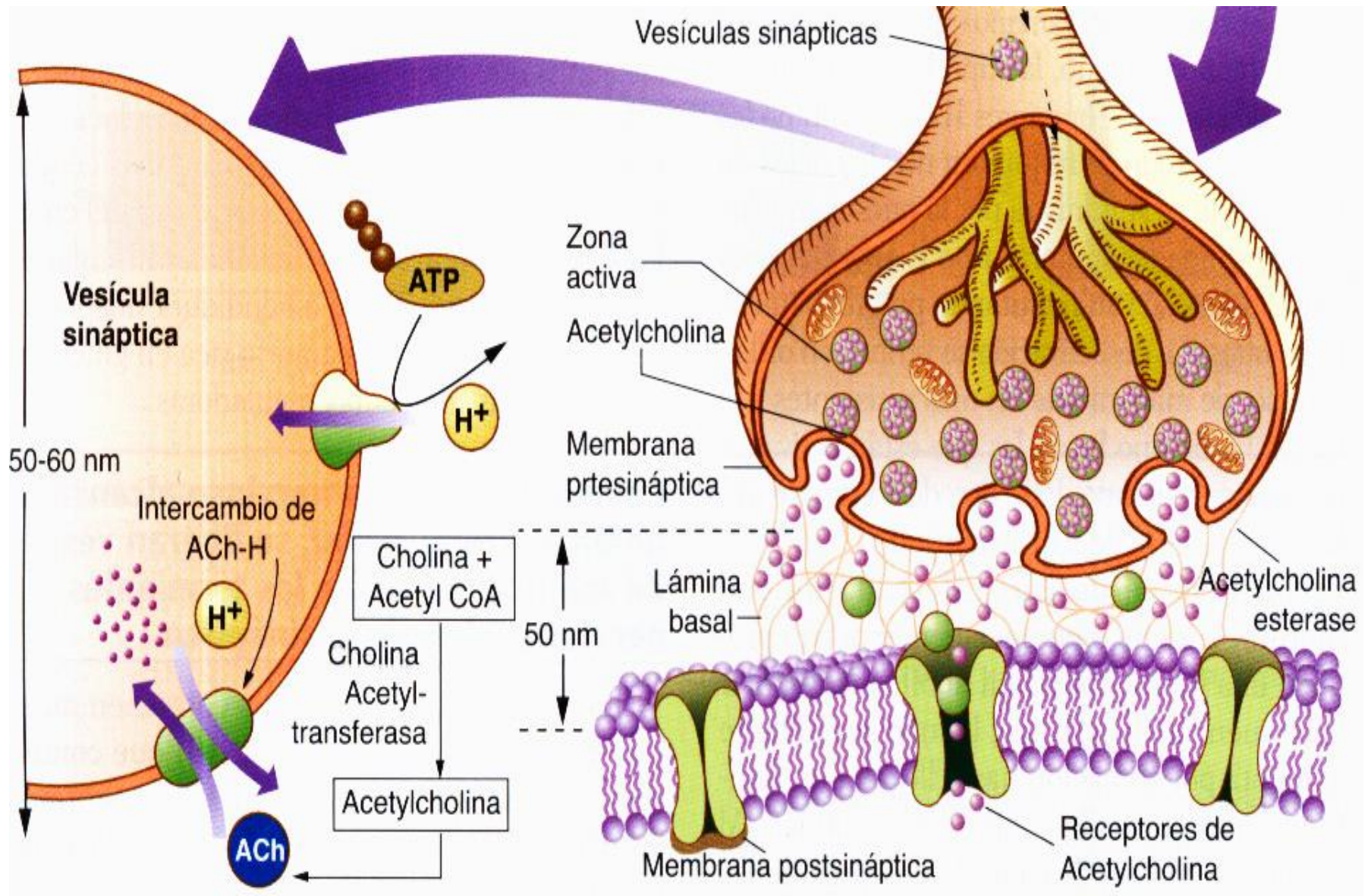


### C Fatigabilidad



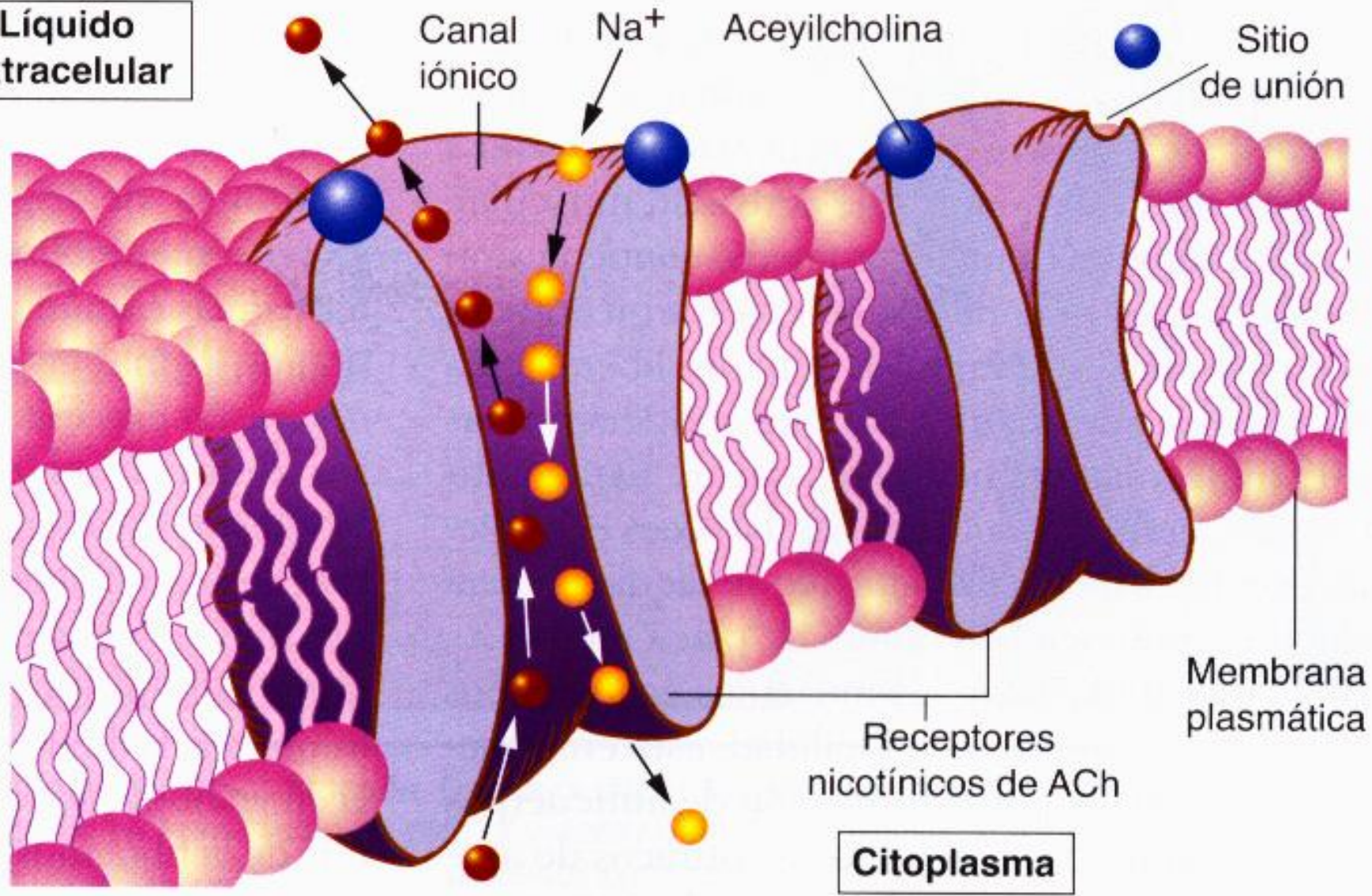
**Figura 2.9.** **A.** Contracciones individuales en los tres tipos de unidades motoras. **B.** Contracciones tetánicas no fusionadas producidas por trenes de estímulos de frecuencia típica para cada UM. Las UM rápidas desarrollan fuerzas mayores que las UM lentas. pps indica la frecuencia de estimulación en pulsos por segundo. **C.** La estimulación prolongada produce fatiga en las UM rápidas fatigables en poco más de un minuto, mientras que las UM lentas no se fatigan incluso después de una hora. Las UM rápidas resistentes a la fatiga mantienen altos desarrollos de fuerza durante bastantes minutos, pero decaen en menos de una hora de estimulación. (Modificada de Loeb&Ghez en Principios de Neurociencia de Kandel, Schwartz y Jessell [eds.], Interamericana-McGraw-Hill, 2000.)

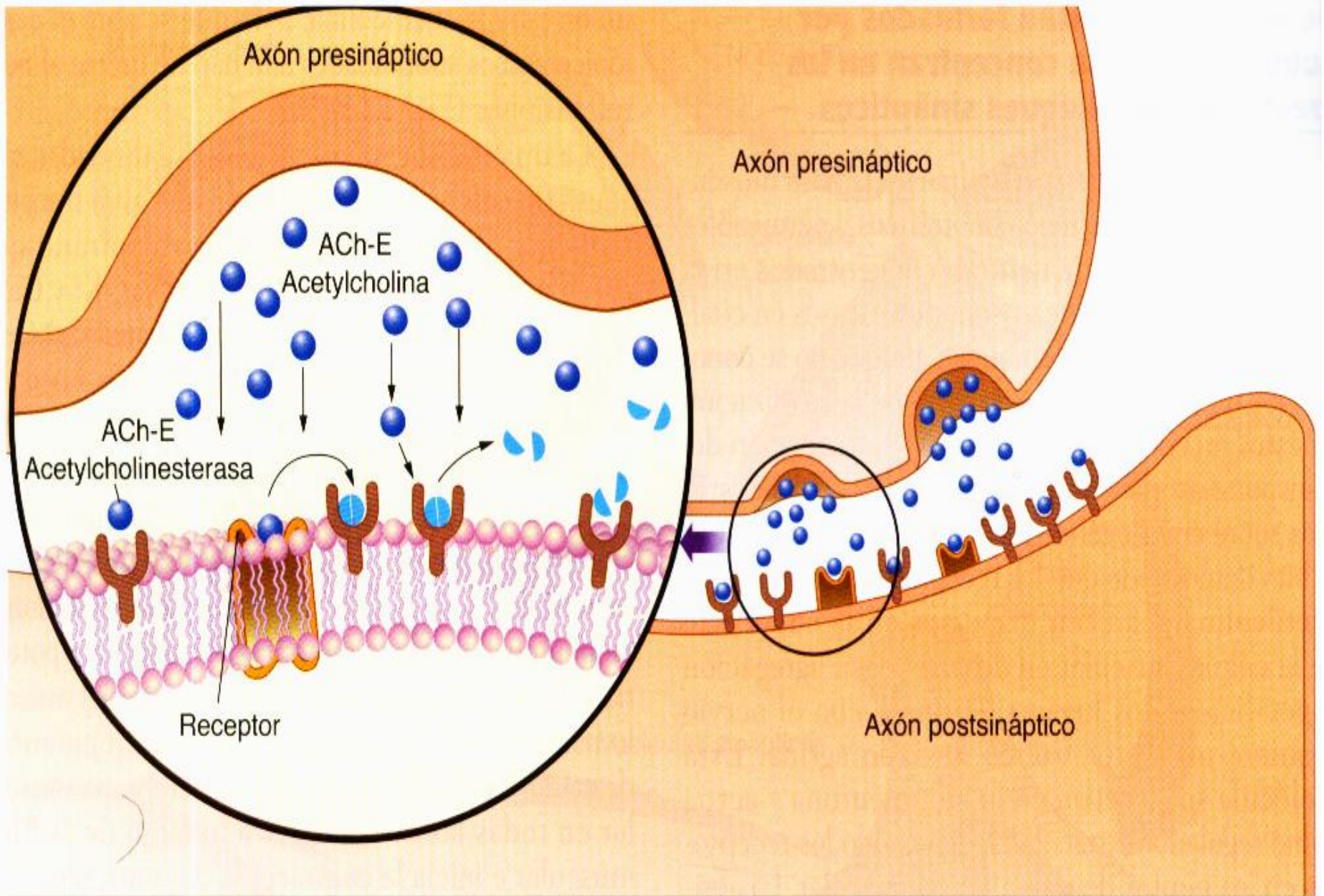






Líquido extracelular





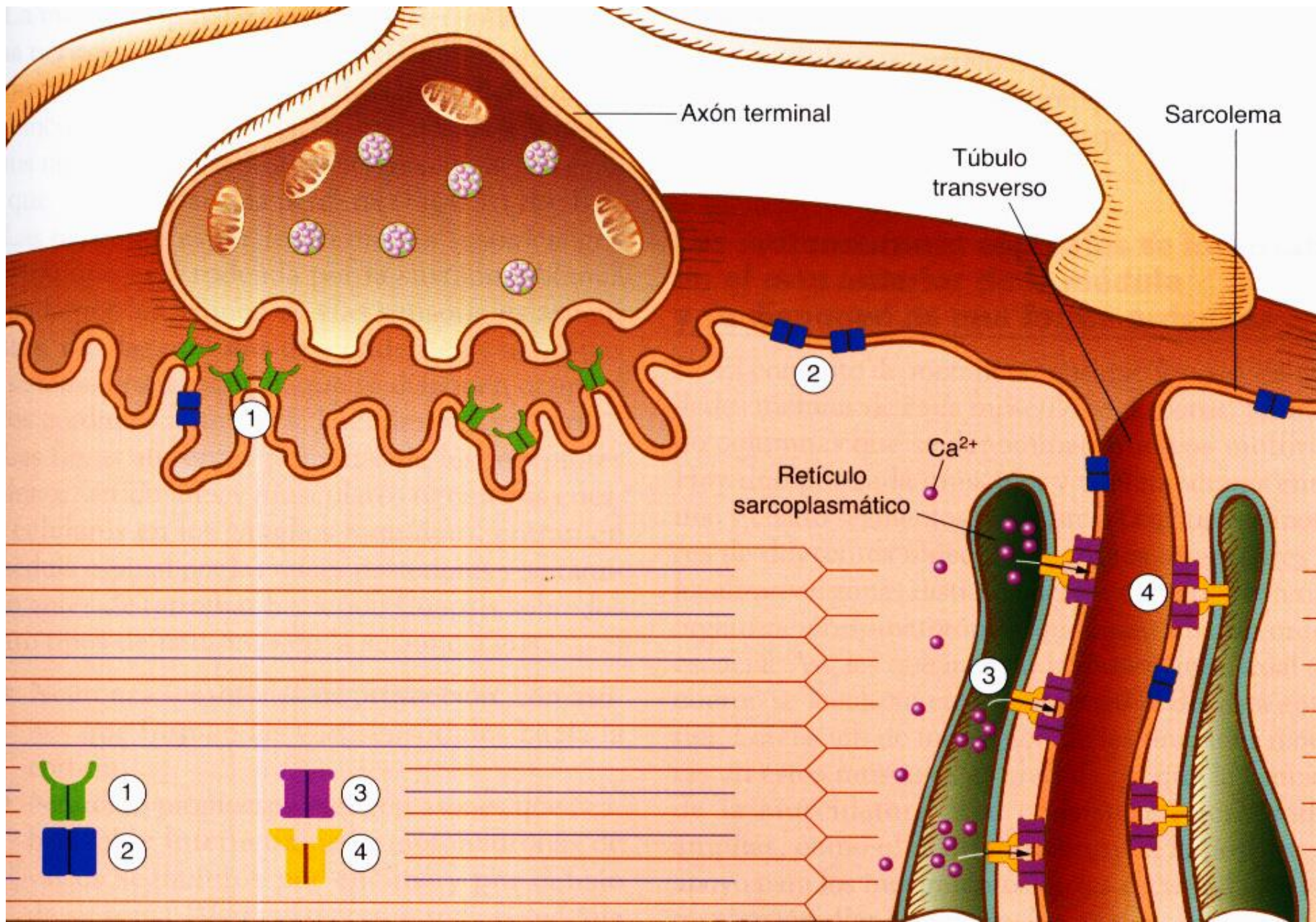


Diagram illustrating the structure of a neuromuscular junction and the sarcoplasmic reticulum. The axon terminal (Axón terminal) is shown above the sarcolema (Sarcolema). The transverse tubule (Túbulo transverso) is shown extending from the sarcolema into the sarcoplasmic reticulum (Retículo sarcoplasmático). Calcium ions ( $Ca^{2+}$ ) are released from the sarcoplasmic reticulum. The diagram includes numbered callouts (1, 2, 3, 4) and a legend at the bottom left.

# **BIBLIOGRAFIA**

- 1) CHICHARRO J.L., Vaquero A.F. Fisiología del ejercicio. Editorial Panamericana. Tercera edición, 2006. Cap. 2,3**