TEMA 2: FISIOLOGÍA DE LOS EFECTORES: SINAPSIS QUÍMICAS. UNIÓN NEUROMUSCULAR. CONTRACCIÓN MUSCULAR.

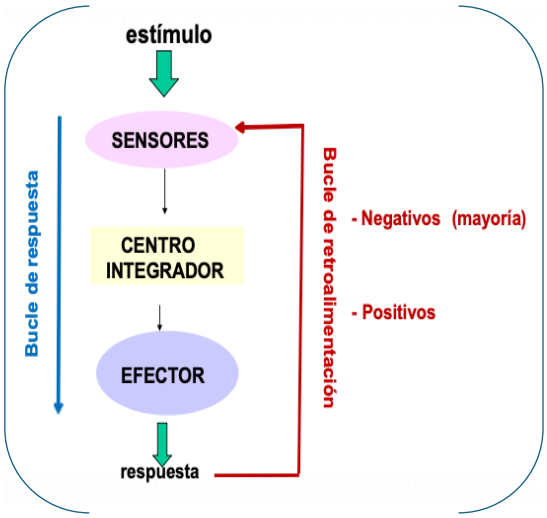
⇒ SISTEMA DE RETROALIMENTACIÓN

En este diagrama se ilustra cómo funcionan los **circuitos de retroalimentación**, son mecanismos esenciales en biología para mantener la homeostasis o equilibrio interno del organismo.

Componentes del Circuito

El sistema se compone de varios elementos clave que trabajan de forma secuencial:

- **Estímulo:** Un cambio interno o externo que desencadena una respuesta, como un aumento de la temperatura corporal o de los niveles de glucosa en sangre.
- **Sensores:** Receptores especializados (células o estructuras nerviosas) que detectan el estímulo o la desviación de un valor normal (punto de ajuste).
- **Centro Integrador:** Generalmente el cerebro, la médula espinal o una glándula endocrina, que recibe la información de los sensores, la procesa y determina la respuesta adecuada.
- **Efector:** Un órgano, músculo o glándula que lleva a cabo la respuesta ordenada por el centro integrador.
- **Respuesta:** La acción realizada por el efector para contrarrestar (o amplificar) el estímulo inicial.



- **Bucle de retroalimentación:** La ruta por la cual la respuesta del efector influye de nuevo en el estímulo inicial, cerrando el ciclo.

Tipos de Retroalimentación: El bucle puede ser de dos tipos principales, como se indica en el diagrama:

1. **Retroalimentación Negativa (mayoría)**

- **Función:** Este es el mecanismo más común en el cuerpo y es fundamental para la **homeostasis**. La respuesta revierte o reduce el estímulo inicial, devolviendo el sistema a su estado original o punto de equilibrio.
- **Ejemplo:** Si la temperatura corporal aumenta (estímulo), los sensores lo detectan, el cerebro lo procesa y los efectores (glándulas sudoríparas) producen sudor (respuesta), lo que enfría el cuerpo y reduce el estímulo inicial.

2. **Retroalimentación Positiva**

- **Función:** En este caso, la respuesta amplifica o intensifica el estímulo inicial, alejando el sistema de su punto de equilibrio. Estos bucles son menos frecuentes para la regulación diaria, pero son vitales para procesos específicos.
- **Ejemplo:** Las contracciones uterinas durante el parto (estímulo). La presión del bebé en el cuello uterino envía señales al cerebro que liberan oxitocina (respuesta), lo que a su vez provoca contracciones aún más fuertes, intensificando el estímulo hasta que el parto concluye.

⇒ SISTEMA NERVIOSO: FUNCIONES BÁSICAS

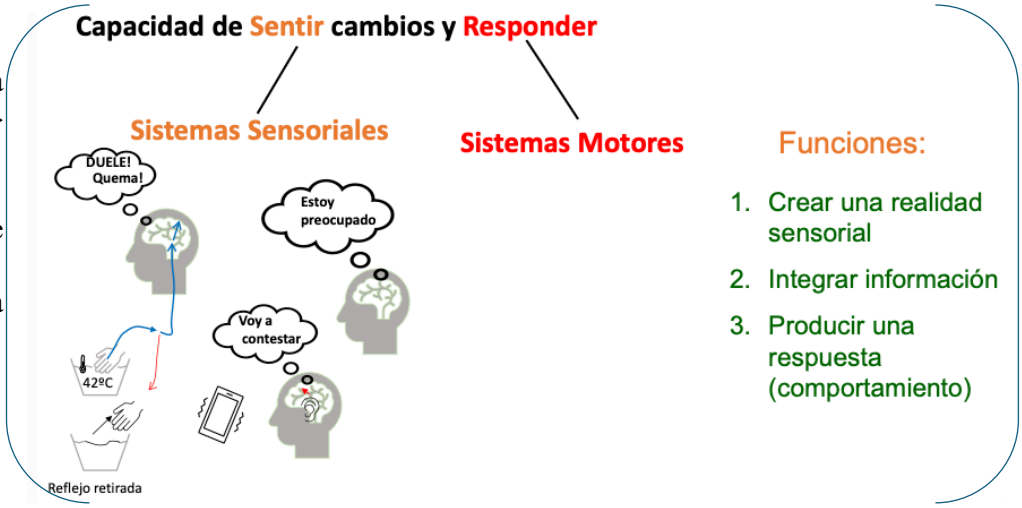
Veamos qué hace el sistema nervioso en términos fisiológicos:

En la imagen se muestra la clásica secuencia:

1. **Percibir cambios** (sensaciones: calor, dolor, frío, presión…).
2. **Integrar la información** (decidir qué hacer con ella).
3. **Producir una respuesta** (movimiento, retirada, conducta, secreción glandular…).

Ejemplos:

- La piel detecta **42 ºC** → "¡quema!"
- Reacción reflejo de retirada.
- Incluso una reacción emocional ("estoy preocupado").



La idea central es: **el sistema nervioso construye una "realidad sensorial", la analiza y responde**.

⇒ EL SISTEMA NERVIOSO COMO SISTEMA DE CONTROL RÁPIDO

En todo este proceso hay algo muy importante:

El sistema nervioso es un sistema de control rápido y de respuesta corta, en contraste con el sistema endocrino, que es más lento y de acción prolongada.

Se nos muestra tres pasos:

1. **Detección:**

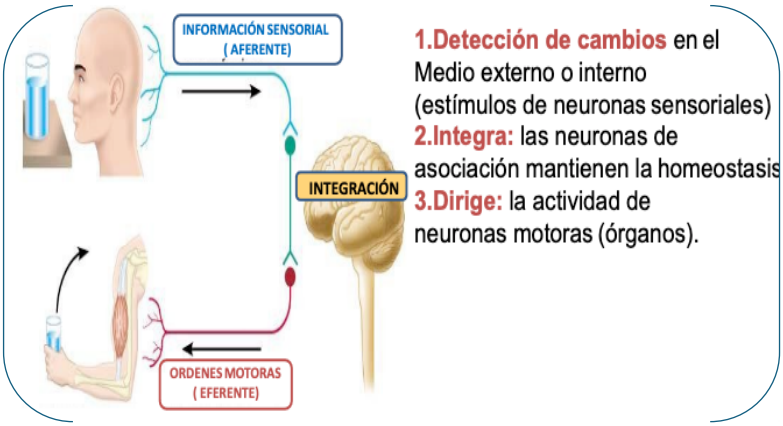
Las neuronas sensoriales (**aferentes**) detectan cambios internos o externos.

2. **Integración:**

Las neuronas de asociación (interneuronas del SNC) comparan la información con los valores normales y deciden la respuesta.

3. **Dirección de la respuesta:**

Las neuronas motoras (**eferentes**) envían órdenes a músculos y glándulas.



Este flujo es clave:

Información sensorial → SNC → Orden motora.

⇒ ORGANIZACIÓN ANATÓMICA DEL SISTEMA NERVIOSO

Analicemos el esquema corporal con la división clásica:

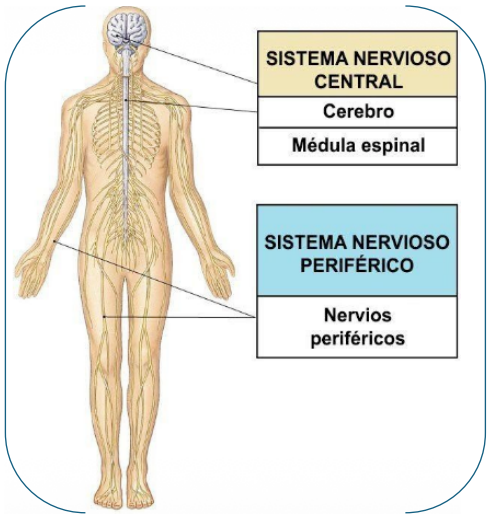
1. Sistema Nervioso Central (SNC)

- **Cerebro**
- **Médula espinal**

Es el lugar donde **se integra toda la información** y se toman las decisiones.

2. Sistema Nervioso Periférico (SNP)

- Nervios que salen o llegan a la médula y al cerebro.
- Conecta el cuerpo con el SNC.



Todo lo que ocurre en este proceso (sinapsis, contracción muscular, reflejos…) depende de la coordinación entre estas dos grandes divisiones.

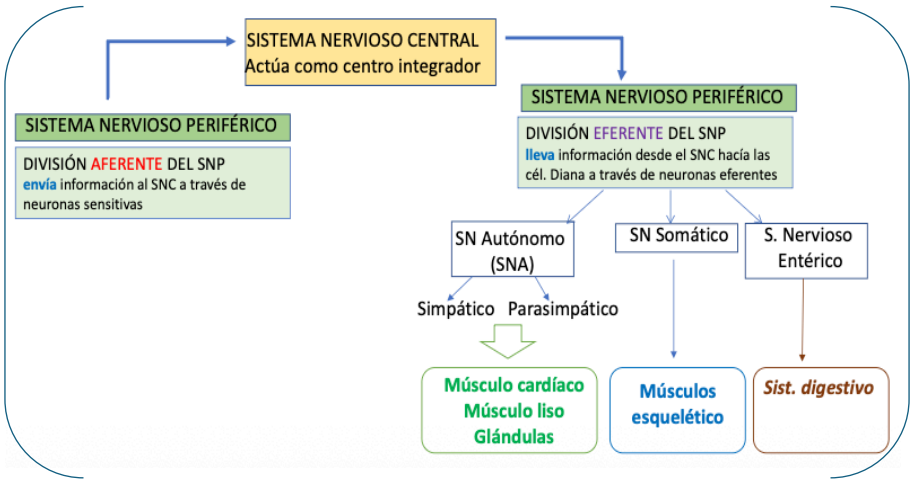
⇒ ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SNP

Así es cómo se organiza el Sistema Nervioso Periférico:

1. División aferente (sensitiva):

Lleva información **desde el cuerpo hacia el SNC**.

Ejemplos: dolor, presión, estiramiento muscular.



2. División eferente (motora):

Lleva información **desde el SNC hacia el cuerpo** (hacia los **efectores**).

Incluye:

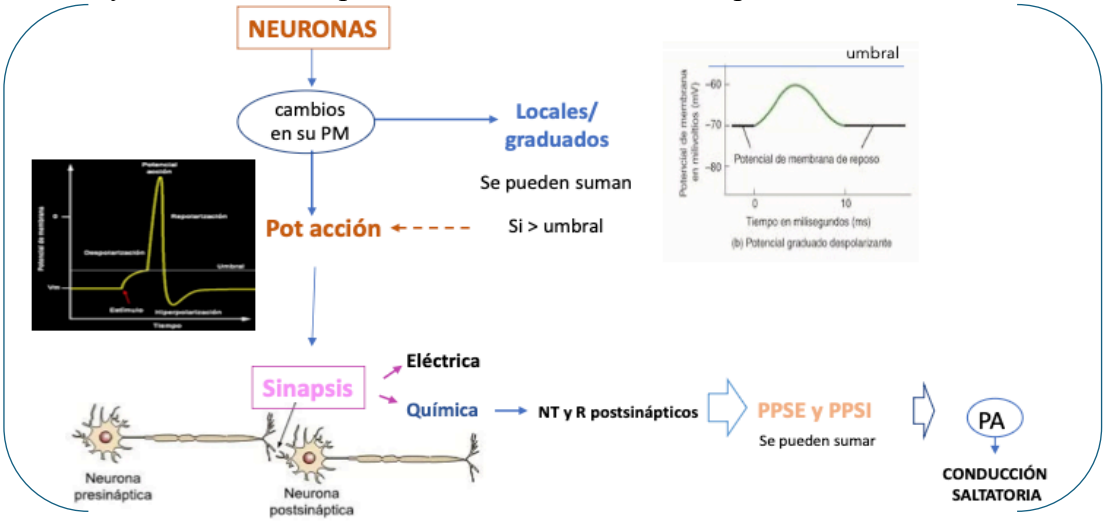
- **Sistema somático:** controla músculos esqueléticos (voluntario).
- **Sistema autónomo (SNA):** controla músculo liso, cardíaco y glándulas (involuntario).
  - **Simpático:** activa ("lucha o huida").
  - **Parasimpático:** calma ("descanso y digestión").
- **Sistema nervioso entérico:** controla al sistema digestivo.

Este esquema es crucial porque **nos permite entender a qué tipo de músculo va cada neurona y con qué neurotransmisor se comunica**.

⇒ RESUMEN FUNCIONAL DEL SISTEMA NERVIOSO

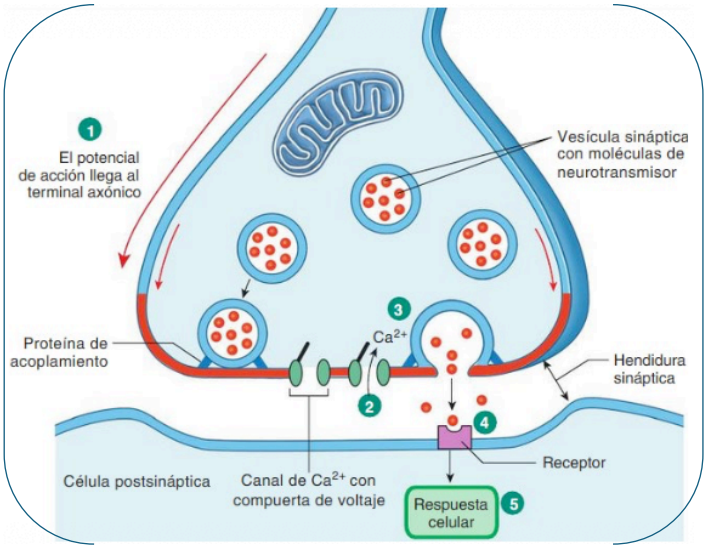
La diapositiva sintetiza visualmente:

- Potenciales locales → si se suman y alcanzan el umbral → **potencial de acción**.
- El potencial de acción viaja por el axón mediante **conducción saltatoria**.
- Llega al terminal y activa **sinapsis eléctrica o química**.
- En la sinapsis química, el neurotransmisor puede producir:
  - **PPSE** (potencial postsináptico excitador).
  - **PPSI** (inhibidor).
- Los PPSE y PPSI se **suman** para decidir si habrá un nuevo potencial de acción.



⇒ PASOS EN LA TRANSMISIÓN SINÁPTICA

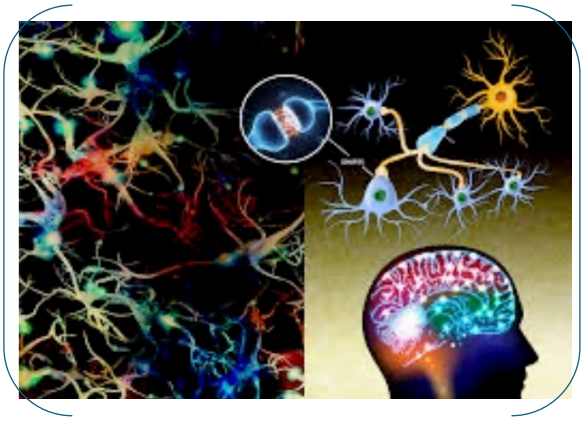
Esta imagen explica *paso a paso* lo que ocurre cuando el impulso llega al final del axón:



1. **Llega el potencial de acción al terminal presináptico.**
2. Se abren **canales de Ca^{2+} dependientes de voltaje** → entra Ca^{2+}.
3. El calcio provoca la **fusión de vesículas** con la membrana → liberación del neurotransmisor (NT).
4. El NT cruza la hendidura sináptica y **se une a receptores postsinápticos**.
   - Cuanto más NT se libere, mayor será el efecto.
   - Existe un pequeño retardo sináptico (≈0,5 ms).
5. Se abren canales iónicos postsinápticos → respuesta (PPSE o PPSI).
6. El NT se elimina (recaptación, degradación) → **fin de la sinapsis**.

Esta secuencia es **siempre en un solo sentido**: neuronas → efector.

⇒ CONEXIONES SINÁPTICAS



En esta imagen se ilustra la increíble **red de conexiones** entre neuronas y la complejidad del cerebro y su red sináptica.

Cada neurona puede recibir miles de sinapsis y enviar señales a muchas otras.

Es importante subrayar dos ideas:

- La transmisión de información es esencialmente **química**.
- Los **neurotransmisores** son las moléculas que llevan el mensaje.

⇒ NEUROTRANSMISORES DE BAJO PESO MOLECULAR, NUCLEÓTIDOS Y NEUROPÉPTIDOS

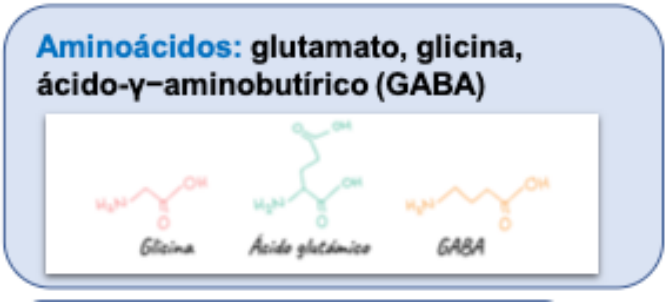
Ahora pasamos a una **clasificación esencial** de los neurotransmisores (NT), divididos en tres grandes grupos según su tamaño y función:

⇒ 1. Neurotransmisores de bajo peso molecular

Son los más rápidos y los más utilizados en sinapsis excitatorias e inhibitorias típicas.

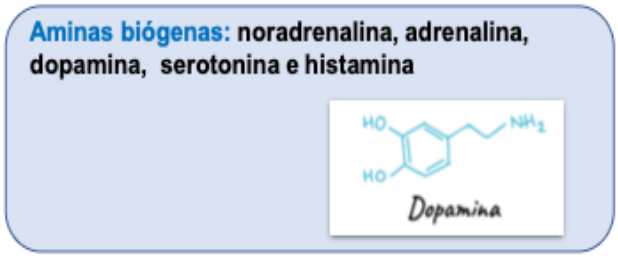
Aminoácidos

- **Glutamato** → principal NT **excitador** del SNC.
- **Glicina** → **inhibidor**, sobre todo en médula.
- **GABA** (ácido γ-aminobutírico) → NT **inhibitorio** más importante del encéfalo.



Aminas biógenas

- **Noradrenalina**
- **Adrenalina**
- **Dopamina**
- **Serotonina**
- **Histamina**

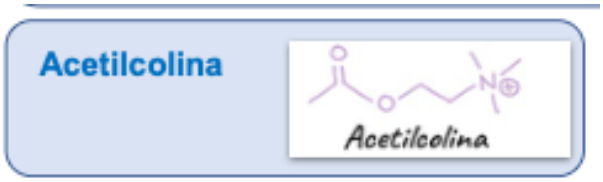


Todas ellas modulan el estado de ánimo, la alerta, la motivación, la actividad motora y muchas funciones viscerales.

Acetilcolina (ACh)

Neurotransmisor clave para:

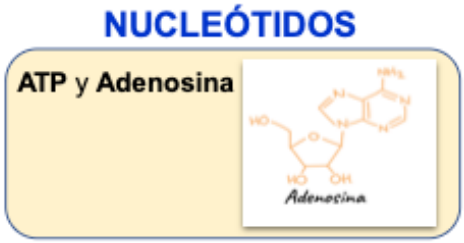
- La **unión neuromuscular** (comunicación neurona–músculo esquelético).
- Sistemas autónomos (simpático y parasimpático).
- Memoria y atención (núcleos basales).



⇒ **2. Nucleótidos**

- **ATP** y **adenosina**

Actúan como NT en muchas sinapsis del SNA y modulan el flujo sanguíneo.



⇒ **3. Neuropéptidos**

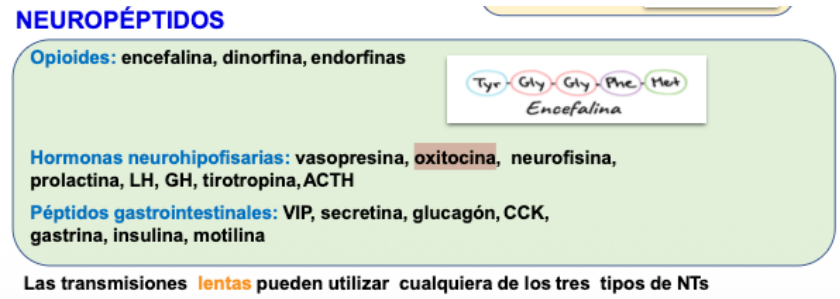
Moléculas más grandes, de acción **más lenta y moduladora**.

Incluyen:

Opioides endógenos

- Encefalinas
- Endorfinas
- Dinorfinas

→ Regulan dolor, recompensa y comportamiento afectivo.



Hormonas neurohipofisarias

- Vasopresina
- Oxitocina
- Neurofisina
- ACTH
- GH
- LH

→ Forman parte del eje neuroendocrino.

Péptidos gastrointestinales

Como VIP, secretina, CCK, gastrina, insulina, glucagón…

Mensaje clave:

→ Las **transmisiones rápidas** utilizan aminoácidos y acetilcolina.

→ Las **transmisiones lentas** pueden usar cualquiera de los tres grupos.

⇒ NEUROTRANSMISORES NO CONVENCIONALES

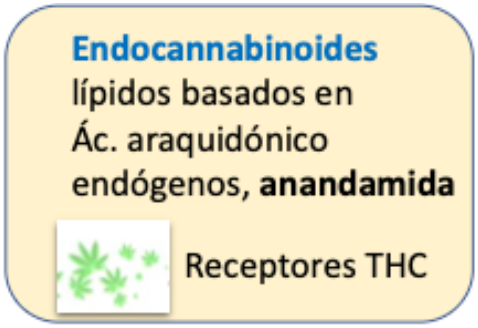
Aquí pasamos a dos tipos de NT totalmente diferentes en estructura y mecanismo:

1. Endocannabinoides

- Derivados de lípidos, como la **anandamida**.
- NO se almacenan en vesículas → se **sintetizan sobre la marcha** cuando la neurona los necesita.
- Actúan al revés que los NT clásicos:

→ pueden enviar señales **desde la neurona postsináptica hacia la presináptica** (retroalimentación retrógrada).

- Se unen a receptores **CB1** (equivalentes a los que activa el THC del cannabis).

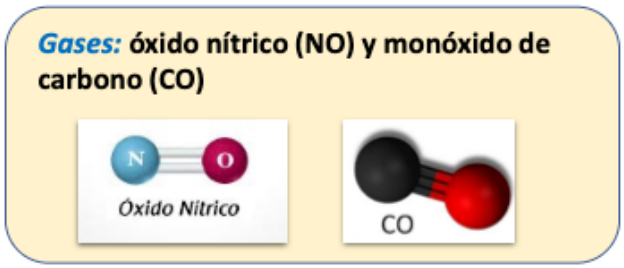


2. Gasotransmisores

- **Óxido nítrico (NO)**
- **Monóxido de carbono (CO)**

Características:

- Atraviesan la membrana **sin receptor**.
- Actúan directamente en el interior de la célula.
- Se usan en control vascular, memoria y señalización metabólica.

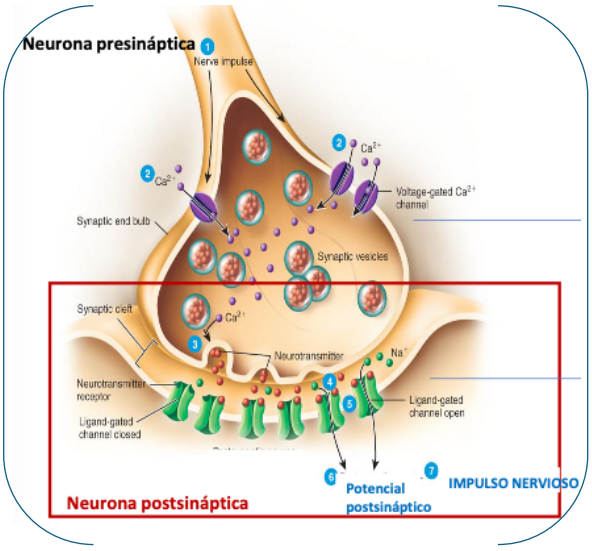


Idea central:
Estos NT "no convencionales" **no encajan en el modelo clásico** de:
vesícula → exocitosis → receptor → canal.

⇒ EFECTOS POSTSINÁPTICOS: PPSE Y PPSI

Veamos qué ocurre en la célula postsináptica cuando llega un neurotransmisor.

El neurotransmisor se une a su receptor específico
Esa unión provoca un **cambio de conformación** del receptor y la apertura de canales iónicos.



Entonces se genera un **potencial postsináptico (PPS)**, que puede ser de dos tipos:

PPSE – Potencial postsináptico excitador

- Entrada de **Na^+** o **Ca^{2+}**.
- La membrana se **despolariza**.
- Acerca a la célula al **umbral** del potencial de acción.

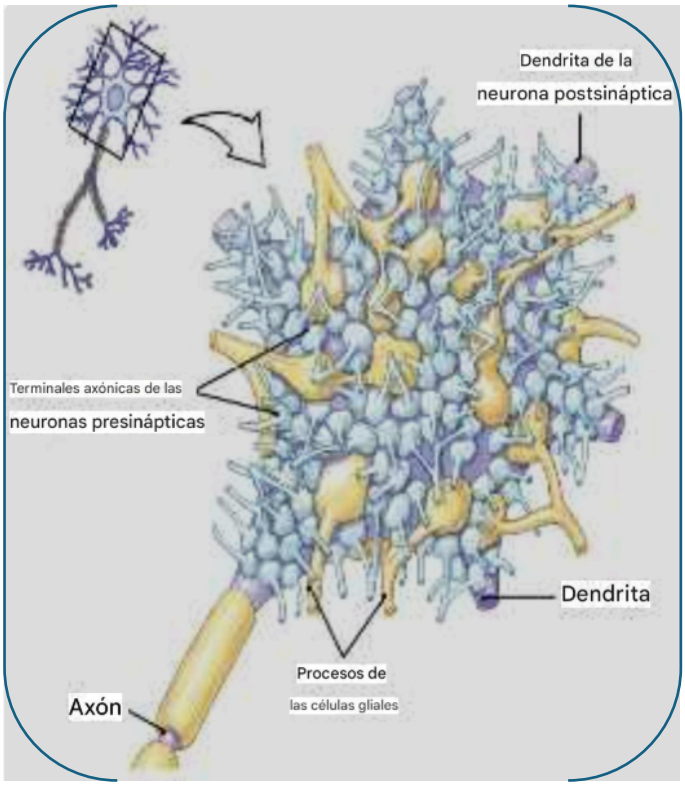
PPSI – Potencial postsináptico inhibidor

- Entrada de **Cl^-** o salida de **K^+**.
- La membrana se **hiperpolariza**.
- Aleja a la célula del umbral → disminuye probabilidad de disparo.

→ Estos PPS son **locales**, de corta duración, y no viajan lejos.
Su función es **modular la decisión final de si habrá o no potencial de acción**.

⇒ INTEGRACIÓN SINÁPTICA (SUMACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL)

Ahora se plantea una pregunta clave:
¿Cómo decide la neurona si dispara un potencial de acción?



La respuesta es la **integración sináptica**:
la neurona **suma** todos los PPSE y PPSI que recibe.

Hay tres fenómenos importantes:

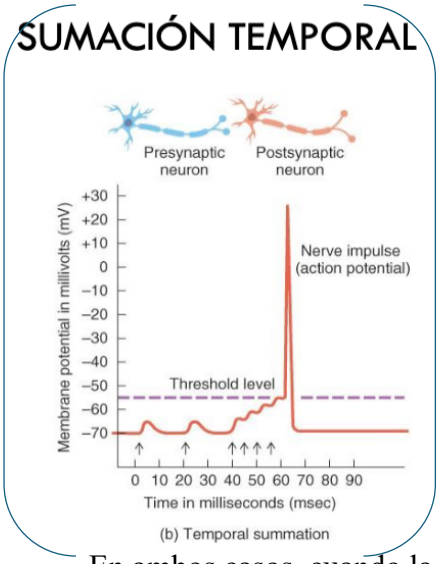
1. Sumación temporal
Ocurre cuando **una misma sinapsis** libera NT varias veces muy seguidas.
Los PPSE se acumulan porque no da tiempo a que desaparezcan antes del siguiente estímulo.
→ Aumenta la probabilidad de alcanzar el umbral.

2. Sumación espacial
Ocurre cuando **varias neuronas presinápticas** descargan al mismo tiempo sobre la misma neurona postsináptica.
Los PPSE se **sumarán** si son excitadores.
Los PPSI **restarán** si son inhibidores.

3. Fatiga sináptica
Si una sinapsis se estimula demasiado, las vesículas de NT pueden agotarse temporalmente.
→ Esto disminuye la eficacia de la transmisión.

Mensaje importante:
→ La neurona no transmite información "redundante"; solo responde cuando la suma neta supera el umbral.

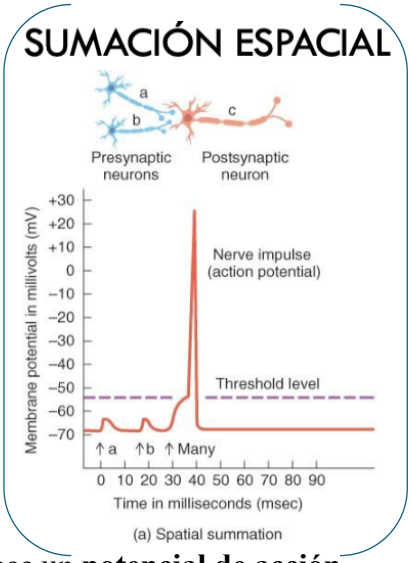
⇒ SUMACIÓN TEMPORAL Y SUMACIÓN ESPACIAL (GRÁFICOS)



Aquí se nos muestran dos gráficos muy claros:

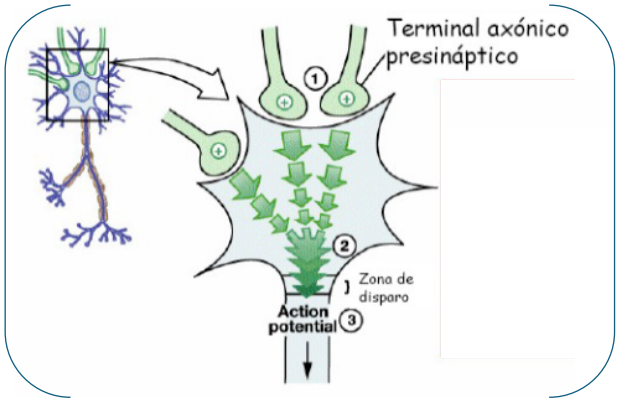
(a) Sumación temporal
Basta con *una* neurona presináptica que emite estímulos repetidos.
Las pequeñas despolarizaciones se acumulan hasta cruzar el umbral.

(b) Sumación espacial
Varias neuronas presinápticas estimulan simultáneamente → sus efectos se suman.



En ambos casos, cuando la suma alcanza el nivel crítico, aparece un **potencial de acción**

⇒ CONSECUENCIA DE LA SUMACIÓN



Aquí se resume de forma gráfica la idea clave:

1. Tres neuronas excitatorias descargan. Sus potenciales degradados separados están por debajo del umbral de descarga.
2. los potenciales degradados llegan a la zona de descarga y se suman los tres en la zona de disparo del cono axónico, creando una señal supraumbral.
3. Resultado: **se genera un potencial de acción**.

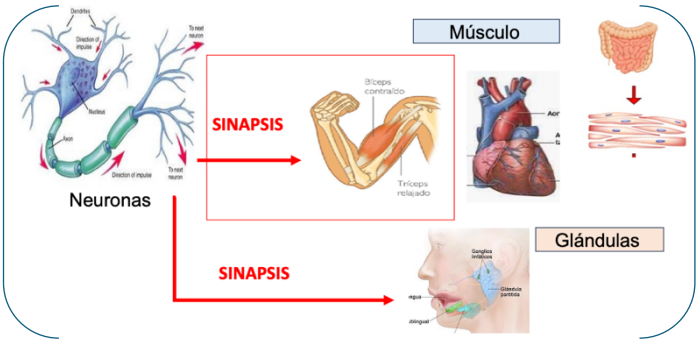
El mensaje final lo resume perfectamente:

👉 **Integración = no se envía información redundante**.

Solo se dispara cuando es necesario.

⇒ TEJIDOS EXCITABLES: NERVIOS, MÚSCULO Y GLÁNDULAS

Es importante tener en cuenta algo esencial: **no solo las neuronas generan señales eléctricas**.



También son **tejidos excitables**:

1. **Músculo esquelético**.
2. **Músculo cardíaco**.
3. **Músculo liso**.
4. **Tejido glandular** (glándulas salivares, sudoríparas, etc).

¿Por qué esto es importante aquí?

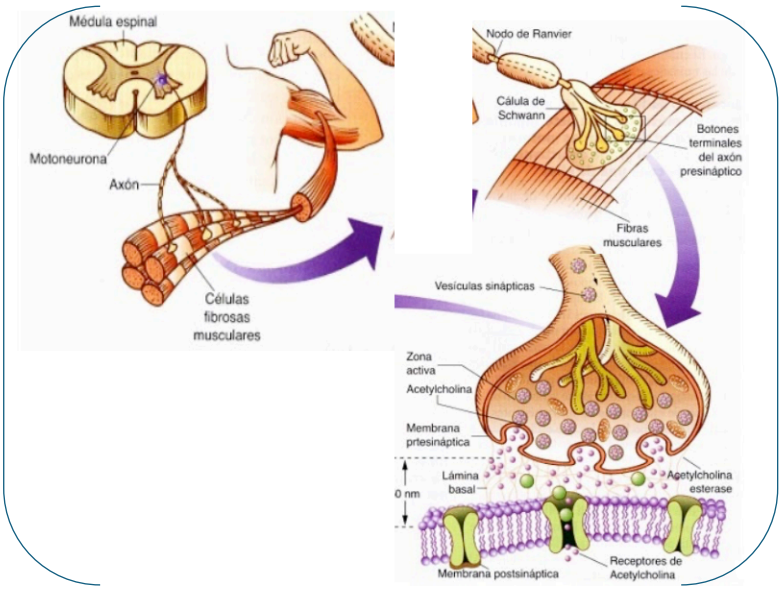
Porque las señales nerviosas *no acaban en la neurona*, sino que **pasan a un efector**:

- un músculo,
- o una glándula.

Cada vez que un nervio envía un mensaje, necesita realizar una **sinapsis** con ese tejido excitable. La más estudiada y mejor comprendida es la **unión neuromuscular**. Vamos a ello.

⇒ UNIÓN NEUROMUSCULAR (PLACA MOTORA)

Esta diapositiva define claramente la **unión neuromuscular (UNM)**:



👉 **Es la sinapsis entre una motoneurona y una fibra muscular esquelética.**

La diapositiva nos muestra:

- El axón que llega al músculo,
- Las terminaciones nerviosas,
- Las fibras musculares que dependen de él.

Características clave:

1. Es una sinapsis especializada, no es una sinapsis cualquiera.

Su estructura está optimizada para que la comunicación nervio-músculo sea **rápida y segura**.

2. Unidad motora

Una motoneurona puede inervar:

- una sola fibra muscular (movimientos finos, como en los ojos), o
- cientos de fibras (movimientos potentes, como en el cuádriceps).

A ese conjunto → **unidad motora**.

Cuantas más fibras controla una motoneurona, **menos preciso** es el movimiento, pero **más fuerte**.

⇒ NEUROTRANSMISOR EN LA UNIÓN NEUROMUSCULAR: ACETILCOLINA (ACH)

¿Cómo se produce la comunicación?:

1. El neurotransmisor es la acetilcolina (ACh)

Todas las motoneuronas **usan ACh** para activar las fibras musculares esqueléticas.

2. Cómo funciona la sinapsis

1. Llega un potencial de acción por el axón.
2. En la terminal presináptica hay vesículas llenas de ACh.
3. La ACh se libera en la **hendidura sináptica**.
4. Se une a **receptores nicotínicos** situados en la membrana muscular (placa motora).

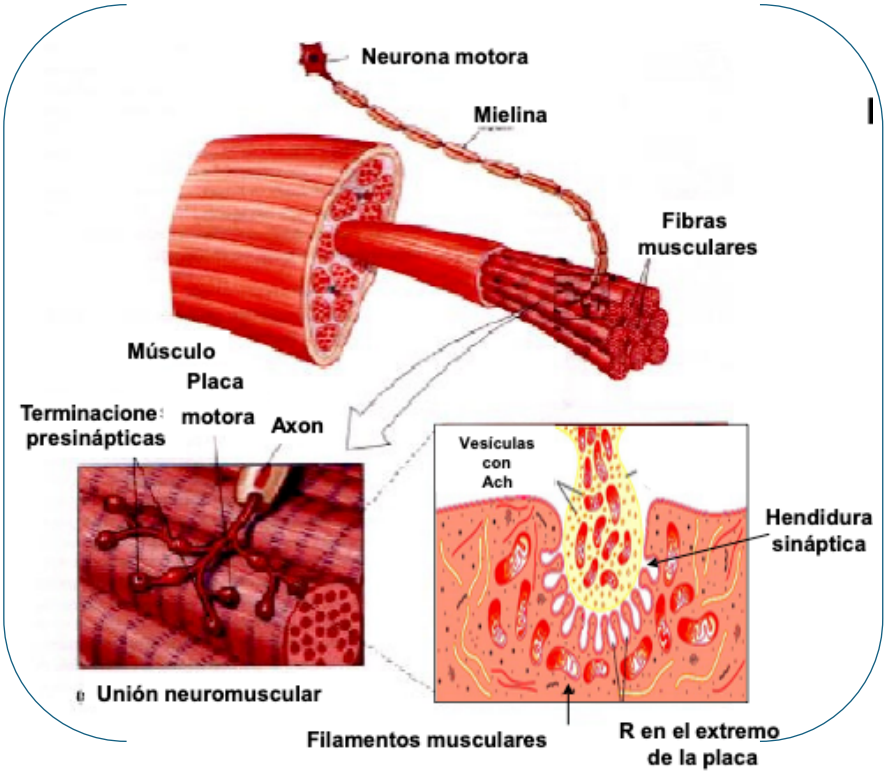
Estos receptores nicotínicos:

- Son canales iónicos,
- Se abren cuando la ACh se une,
- Permiten la **entrada de Na^+**,
- Y eso **despolariza la fibra muscular**, iniciando la contracción.

3. Resultado

La unión de ACh → **cambio eléctrico → activación de la fibra muscular → contracción**.

La imagen es muy clara: axón → placa motora → filamentos musculares.



⇒ POTENCIAL DE PLACA MOTORA Y POTENCIAL DE ACCIÓN MUSCULAR

Aquí se introduce un concepto nuevo:

Potencial de placa (EPP o PPM).

El PPM es el **evento eléctrico inicial** que ocurre en la **placa motora terminal**, que es la parte de la membrana de la fibra muscular (membrana postsináptica) especializada en la **unión neuromuscular**.

Cuando la ACh se une a los receptores, se genera un **potencial local** en la membrana muscular.

Este potencial:

- NO es aún un potencial de acción,
- Pero si es suficientemente grande (si alcanza el **umbral**) …

👉 **Dispara un POTENCIAL DE ACCIÓN en el músculo (PAM).**

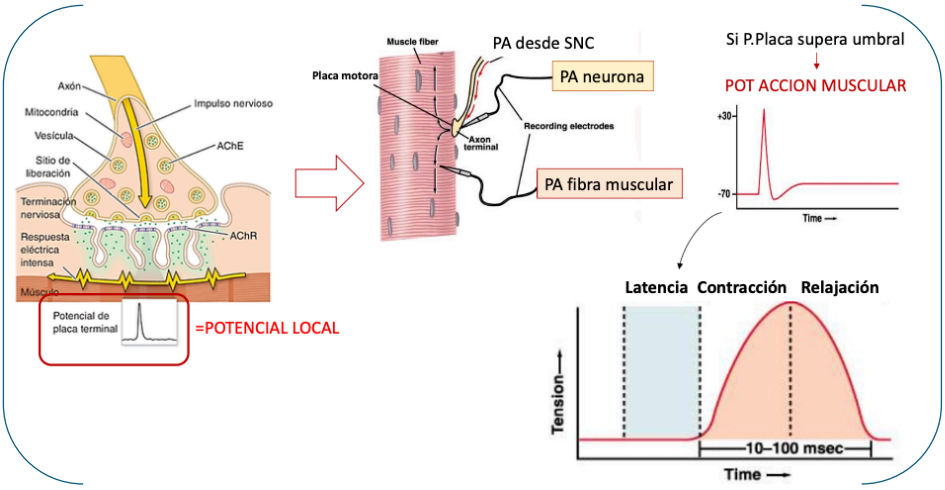
El PAM es la **señal eléctrica propagada** que viaja a lo largo de toda la membrana de la fibra muscular (sarcolema) para iniciar la contracción.

Secuencia exacta:

1. **Potencial de acción en la neurona motora** (llega desde el SNC).
2. Libera ACh → **potencial de placa**.
3. Si supera el umbral → **potencial de acción en la fibra muscular**.
4. Ese PA muscular viaja por toda la fibra.
5. Después de una latencia corta (10–100 ms), comienzan:
    - **Contracción**,
    - Y luego **relajación**.

En este gráfico se muestra claramente:

- El PA neuronal,
- El EPP o potencial de placa,
- El PA muscular,
- Y la curva de contracción.



→ **Idea clave**:

La placa motora es el "interruptor" eléctrico del músculo.

CARACTERÍSTICA	POTENCIAL DE PLACA MOTORA (PPM)	POTENCIAL DE ACCIÓN MUSCULAR (PAM)
Tipo de Potencial	Potencial graduado/local	Potencial de "Todo o Nada"
Ubicación	Placa motora (unión neuromuscular)	Se propaga a lo largo de toda la fibra muscular
Desencadenante	Acetilcolina (Neurotransmisor)	El propio PPM (si alcanza el umbral)
Función Principal	Iniciar la despolarización al umbral	Propagarse para liberar Ca2+ e iniciar la contracción

⇒ SUSTANCIAS QUE AFECTAN A LA UNIÓN NEUROMUSCULAR

Hablemos ahora de ejemplos reales (indios, arañas, sushi…) de sustancias que actúan sobre la placa motora:

1. Pez globo – Tetrodotoxina

Bloquea los **canales de Na^+ dependientes de voltaje**.

➡️ **No se puede generar potencial de acción.**

➡️ Parálisis total.

2. Curare (nombre genérico que se refiere a un grupo de venenos potentes de origen vegetal, utilizados tradicionalmente por diversas tribus indígenas de Sudamérica (especialmente en la cuenca del Amazonas) para impregnar las puntas de sus flechas y dardos de caza).

Bloquea los **receptores nicotínicos de ACh**.

➡️ La ACh no puede actuar.

➡️ **No hay contracción muscular**.

Se usa en anestesia general.

3. Toxina botulínica (Botox)

Inhibe la **liberación de ACh**.

➡️ Parálisis muscular temporal.

➡️ Por eso borra arrugas: el músculo queda "relajado".

4. Toxina tetánica

Inhibe la liberación de **GABA y glicina**, que son inhibidores.

➡️ Falta la inhibición.

➡️ **Hiperactividad muscular y espasmos** (trismo, rigidez).

5. Insecticidas organofosforados (son una clase de pesticidas ampliamente utilizados en la agricultura y en el ámbito doméstico que se caracterizan por ser **derivados del ácido fosfórico** o ácido tiofosfórico).

Inhiben la **acetilcolinesterasa**, la enzima que elimina ACh.

➡️ Hay **exceso de ACh**.

➡️ Contracción sostenida → parálisis respiratoria.

6. Veneno de la viuda negra

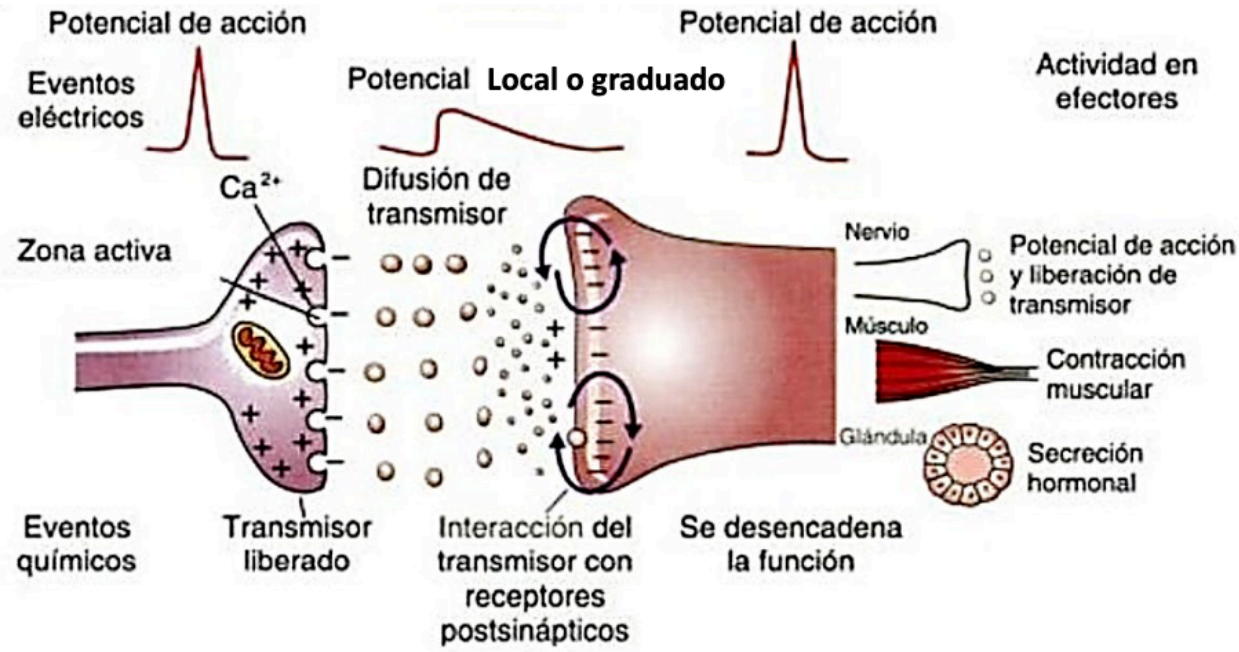
Produce una **liberación masiva de ACh**.

➡️ Contracción espasmódica intensa.

Conclusión:

La unión neuromuscular es extremadamente sensible a venenos y toxinas. Alterarla puede causar desde parálisis total hasta contracciones espasmódicas.

⇒ RESUMEN DEL PROCESO DE LA SINAPSIS QUÍMICA



1. Parte eléctrica (izquierda del esquema)

- Los **potenciales de acción** llegan por el axón hasta la terminal presináptica.
- Esto abre los canales de Ca^{2+} y permite la liberación del neurotransmisor.

2. Parte química (centro del esquema)

- El neurotransmisor se libera al espacio sináptico.
- Difunde hasta los receptores postsinápticos.
- Produce un **potencial local**, que puede ser PPSE o PPSI.

3. Parte eléctrica y funcional del efector (derecha del esquema)

- Si la célula postsináptica es una neurona → puede disparar un nuevo potencial de acción.
- Si es un músculo → puede desencadenar contracción.
- Si es una glándula → puede liberar secreciones.

👉 la señal llega eléctrica, se convierte en química, y vuelve a convertirse en eléctrica o mecánica según el efector.

⇒ CONTRACCIÓN MUSCULAR

La **contracción muscular** es el proceso fisiológico que permite a las células musculares **generar tensión** y, generalmente, **acortar su longitud** en respuesta a un estímulo nervioso. Es el mecanismo fundamental para producir el movimiento corporal, mantener la postura y realizar funciones vitales como el bombeo de sangre (músculo cardíaco) y el movimiento de alimentos (músculo liso).

👉 Para verlo en detalle pasamos a analizar:

- El potencial de acción del músculo,
- La activación de mecanismos internos,
- Que hace que las fibras musculares se acorten y generen fuerza.

⇒ TIPOS DE MÚSCULO

En el cuerpo humano existen **tres tipos de músculo** con sus características y funciones propias.

1. Músculo esquelético

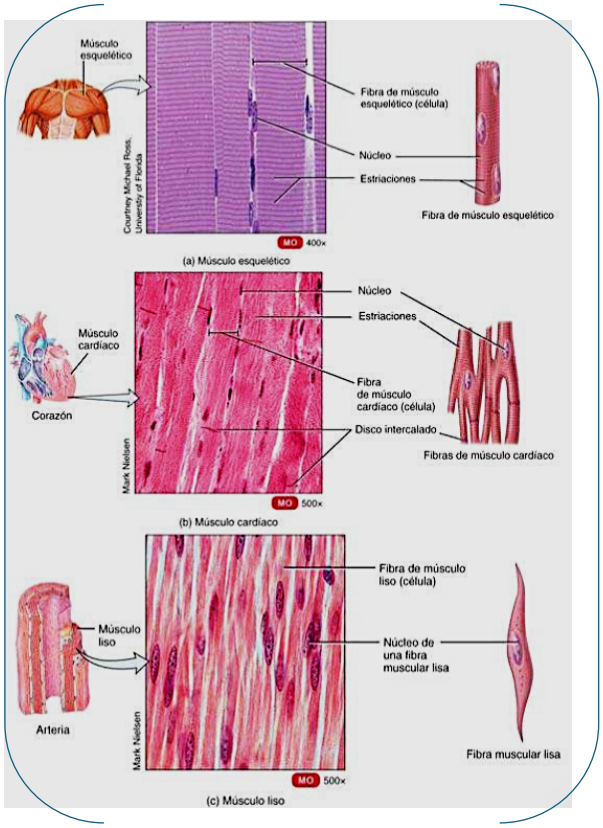
- **Estriado** (tiene bandas visibles al microscopio).
- **Voluntario**: tú decides cuándo activarlo.
- Unido a los **huesos** → permite movimiento del cuerpo.
- Es el músculo protagonista en la **unión neuromuscular** que vimos antes.

2. Músculo cardíaco

- **Estriado**, pero **involuntario**.
- Exclusivo del **corazón**.
- Células conectadas entre sí mediante **discos intercalados** (permite contracción coordinada).
- No necesita estimulación nerviosa para contraerse (tiene automatismo propio).

3. Músculo liso

- **No estriado**.
- **Involuntario**.
- Presente en **órganos huecos**: vasos sanguíneos, tubo digestivo, vejiga, bronquios, útero…
- Su contracción es más lenta y sostenida.

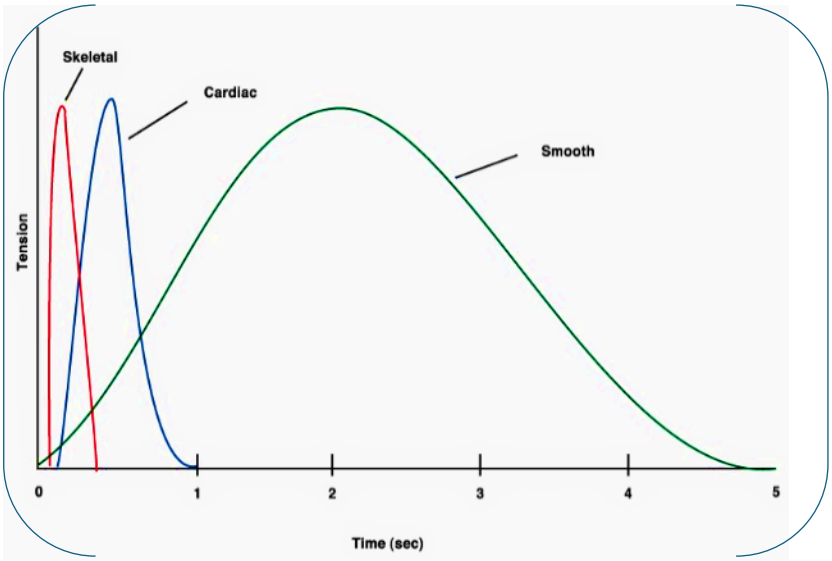


⇒ TENSIÓN MUSCULAR EN LOS TRES TIPOS DE MÚSCULO

Veamos un **gráfico comparativo** que muestra cómo se comporta cada tipo de músculo en cuanto a **tensión (fuerza) y tiempo**.

El gráfico representa el tiempo en segundos (eje X) y la fuerza generada (eje Y).

Lo importante es interpretar las diferencias:



1. Músculo esquelético (línea roja)

- Genera fuerza **muy rápidamente**.
- Su contracción es **breve y explosiva**.
- Diseñado para acciones rápidas: levantar peso, caminar, reaccionar.

2. Músculo cardíaco (línea azul)

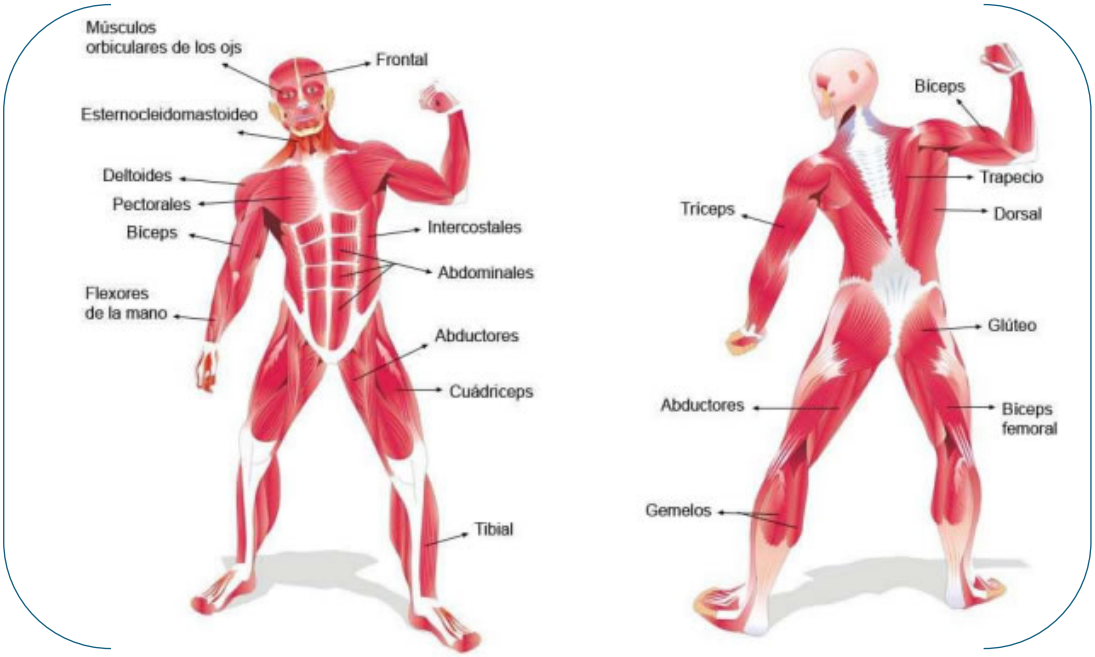
- La contracción es **más lenta que el esquelético**.
- Pero mantiene tensión durante más tiempo.
- Es una contracción **intermedia**, adecuada para bombear sangre rítmicamente.

3. Músculo liso (línea verde)

- Contracción **muy lenta**, que puede durar **varios segundos o minutos**.
- No está diseñado para rapidez, sino para **mantener tono**:
  - presión arterial,
  - motilidad intestinal,

- diámetro bronquial,
- tono del esfínter, etc.

Cada tipo de músculo está diseñado para su función fisiológica: rapidez (esquelético), resistencia (cardíaco), y tono prolongado (liso).



⇒ FUNCIONES DEL TEJIDO MUSCULAR

La función del tejido muscular en el cuerpo no se queda solo en "contraerse", sino que detalla **cuatro funciones clave**:

1. Movimiento

El músculo esquelético genera movimientos voluntarios: caminar, coger objetos, expresiones faciales…

2. Estabilizar la postura

- Aunque no lo notes, tus músculos están siempre generando una pequeña tensión para mantenerte erguido.
- Esto se llama **tono muscular**.

3. Generación de calor (termogénesis)

Cada contracción muscular libera **calor**. Es un mecanismo vital para mantener la temperatura corporal.

Por eso, cuando hace frío → **tiritar** es una contracción muscular involuntaria que genera calor.

4. Almacenamiento y movilización de sustancias

El músculo liso controla esfínteres y cavidades internas:

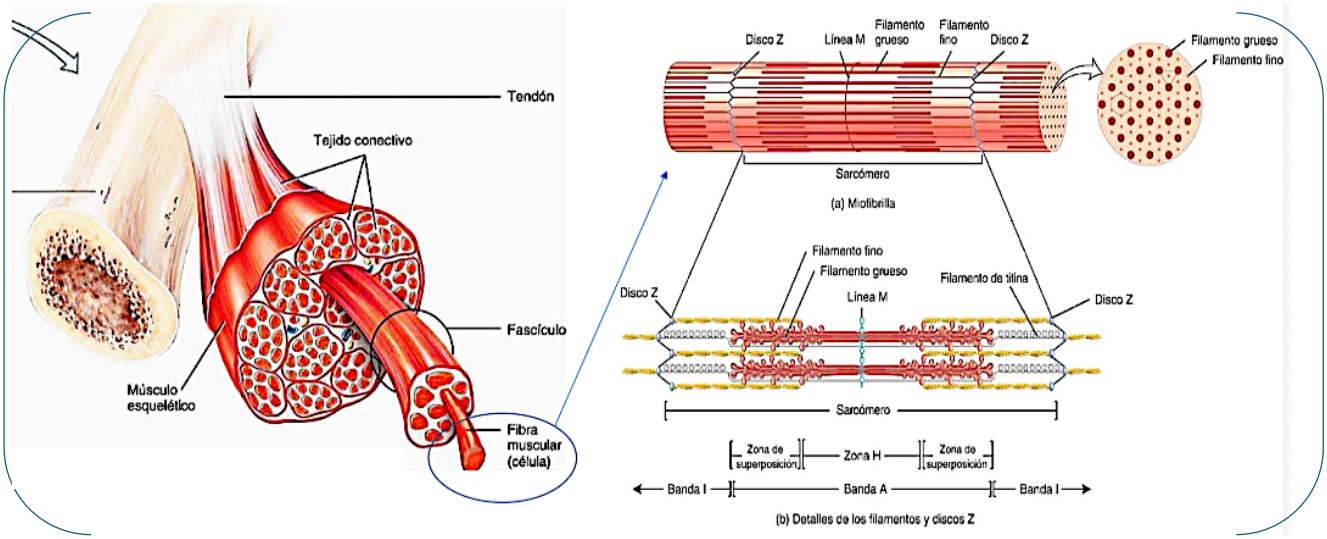
- Esfínteres del estómago, intestino, vejiga → almacenan contenido y evitan que se vacíe continuamente.
- El músculo cardíaco bombea sangre.
- El músculo liso de vasos regula el flujo sanguíneo.

Idea clave:

👉 El músculo no solo mueve el cuerpo: **regula temperatura, mantiene postura, mueve sangre y controla órganos internos.**

⇒ ORGANIZACIÓN DEL SARCÓMERO: ESTRUCTURA DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

Aquí entramos en el nivel microscópico: el **sarcómero**, la unidad funcional que se acorta en cada contracción.



La imagen muestra varios niveles de organización:

1. **Músculo completo** → formado por
2. **Fascículos** → que contienen
3. **Fibras musculares (células)** → que contienen
4. **Miofibrillas** → que están formadas por
5. **Sarcómeros** (alineados uno tras otro).

¿Qué es un sarcómero?
Es la **unidad contráctil** del músculo esquelético.

Está delimitado por dos **líneas Z**.
Dentro de él están los filamentos:

- **Filamentos finos (actina)**
- **Filamentos gruesos (miosina)**

Cuando el músculo se contrae:
👉 **actina y miosina se deslizan una sobre otra**
(el sarcómero se acorta).

La diapositiva muestra claramente las diferentes partes:

- Línea Z
- Banda I
- Banda A
- Banda H
- Línea M

(estas regiones cambian de longitud durante la contracción).

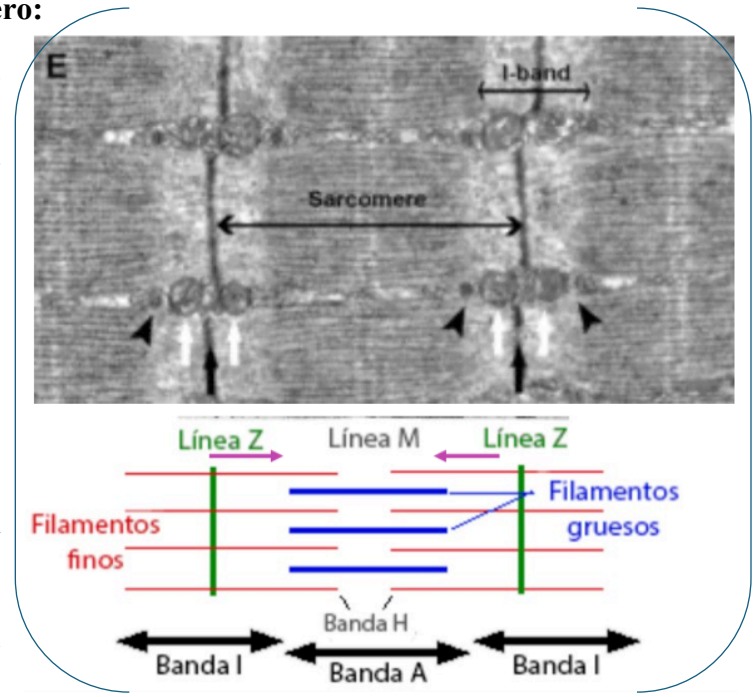
Un poco más adelante se entenderá mejor, cuando veamos la "**teoría del filamento deslizante**".

⇒ ESTRUCTURA DETALLADA DEL SARCÓMERO: BANDAS Y LÍNEAS

Esta imagen en microscopía complementa la anterior y añade un diagrama.

Regiones importantes del sarcómero:

- **Línea Z**: límite entre sarcómeros.
- **Banda I**: zona donde solo hay actina (filamentos finos).
- **Banda A**: incluye toda la longitud de la miosina (filamentos gruesos).
- **Banda H**: zona central donde solo hay miosina.
- **Línea M**: centro del sarcómero; organiza los filamentos gruesos.



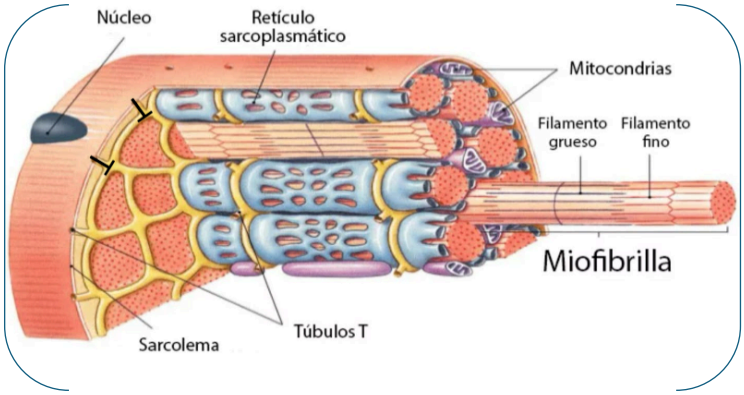
Durante la contracción…

- La **Banda I** se **acorta**.
- La **Banda H** se **acorta**.
- La **Banda A** se mantiene igual (la miosina no cambia de longitud).
- Las **líneas Z se acercan**.

👉 La contracción muscular es un proceso **ordenado**, basado en el deslizamiento relativo de actina y miosina.

⇒ ANATOMÍA DE LA FIBRA MUSCULAR

Veamos la estructura interna de una **fibra muscular (una célula gigante)**.
Elementos importantes:



1. Sarcolema: La membrana de la célula muscular.

2. Túbulos T: Invaginaciones del sarcolema que llevan el **potencial de acción** hacia el interior.
Sin ellos la contracción no sería simultánea.

3. Retículo sarcoplásmico (RS): Una red de sacos que **almacena Ca^{2+}**.
El calcio es el "interruptor" que inicia la contracción.

4. Miofibrillas: Columnas de sarcómeros repetidos.

5. Mitocondrias: Muy abundantes → los músculos necesitan mucha energía (ATP).

Resumen:
👉 El músculo es una maquinaria organizada para que la señal eléctrica pueda activar el calcio y producir fuerza.

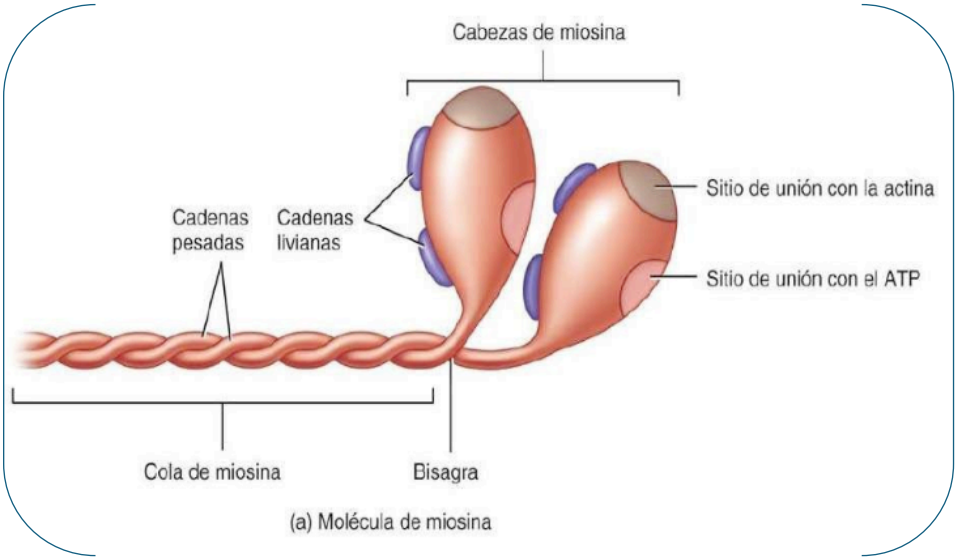
⇒ PROTEÍNAS CONTRÁCTILES Y REGULADORAS: MIOSINA, ACTINA, TROPONINA Y TROPOMIOSINA

Estas son las proteínas que permiten el movimiento.

1. Proteínas contráctiles

Miosina

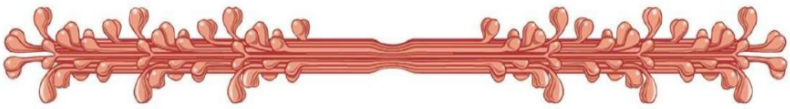
- Forma los **filamentos gruesos**.
- Tiene una "cabeza" que se une a la actina y hace fuerza.
- Esa cabeza funciona como una **enzima ATPasa** (usa ATP).



(a) Molécula de miosina

Actina

- Forma los **filamentos finos**.
- Tiene sitios donde se engancha la miosina.


(b) Un filamento grueso

2. Proteínas reguladoras

Tropomiosina

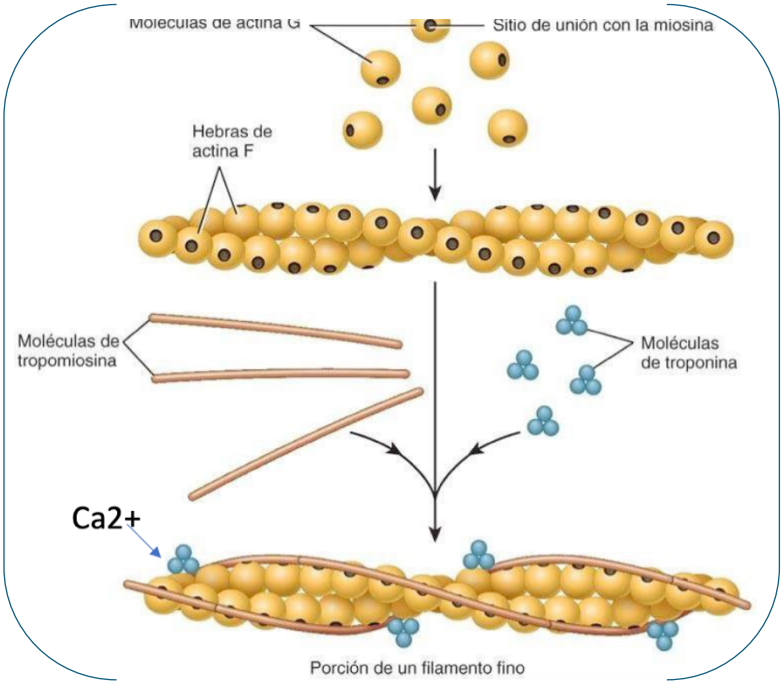
- Cubre los sitios de unión de la actina → evita la contracción cuando no toca.

Troponina

- Complejo de 3 proteínas.
- Detecta el **calcio**.
- Cuando entra Ca^{2+}, la troponina cambia de forma y mueve la tropomiosina.

➡️ Ahora la miosina puede unirse a la actina.

➡️ Empieza la contracción.



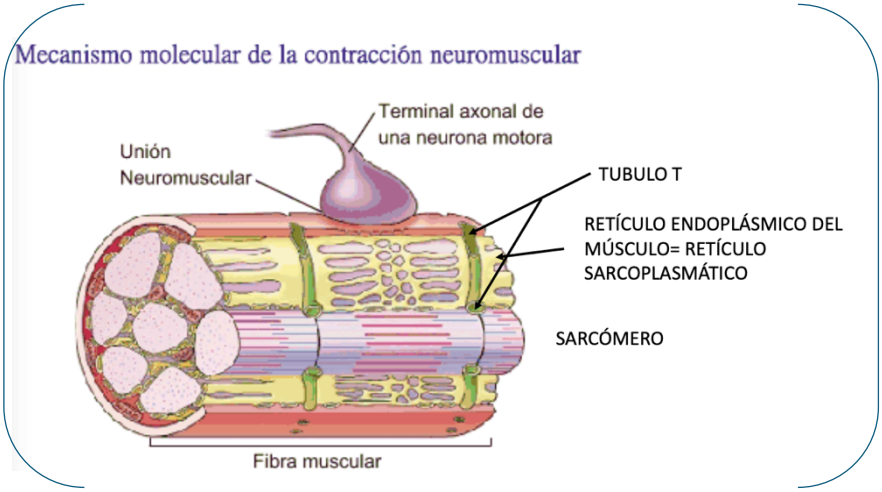
Idea fundamental:

👉 Sin calcio, el músculo NO se contrae.

👉 Con calcio, actina y miosina se enganchan y generan fuerza.

⇒ RETÍCULO SARCOPLÁSMICO, TÚBULOS T Y ACOPLAMIENTO EXCITACIÓN–CONTRACCIÓN

Veamos de qué manera se conecta en todo este proceso la **señal eléctrica** con la **mecánica**.



1. Llega el potencial de acción por el sarcolema

→ Entra al interior a través de los **túbulos T**.

2. El potencial abre canales del retículo sarcoplásmico

→ El RS libera **Ca^{2+}** (el calcio (Ca2+) es un catión con capacidad multifuncional como segundo mensajero en diferentes grupos celulares del sistema inmunitario que incluyen linfocitos T y B, macrófagos, mastocitos, etc).

3. El Ca^{2+} activa la contracción del sarcómero

→ La troponina se une al calcio,
→ La tropomiosina deja libres los sitios de actina,
→ La miosina empieza el ciclo de "enganchar–tirar–soltar" usando ATP.

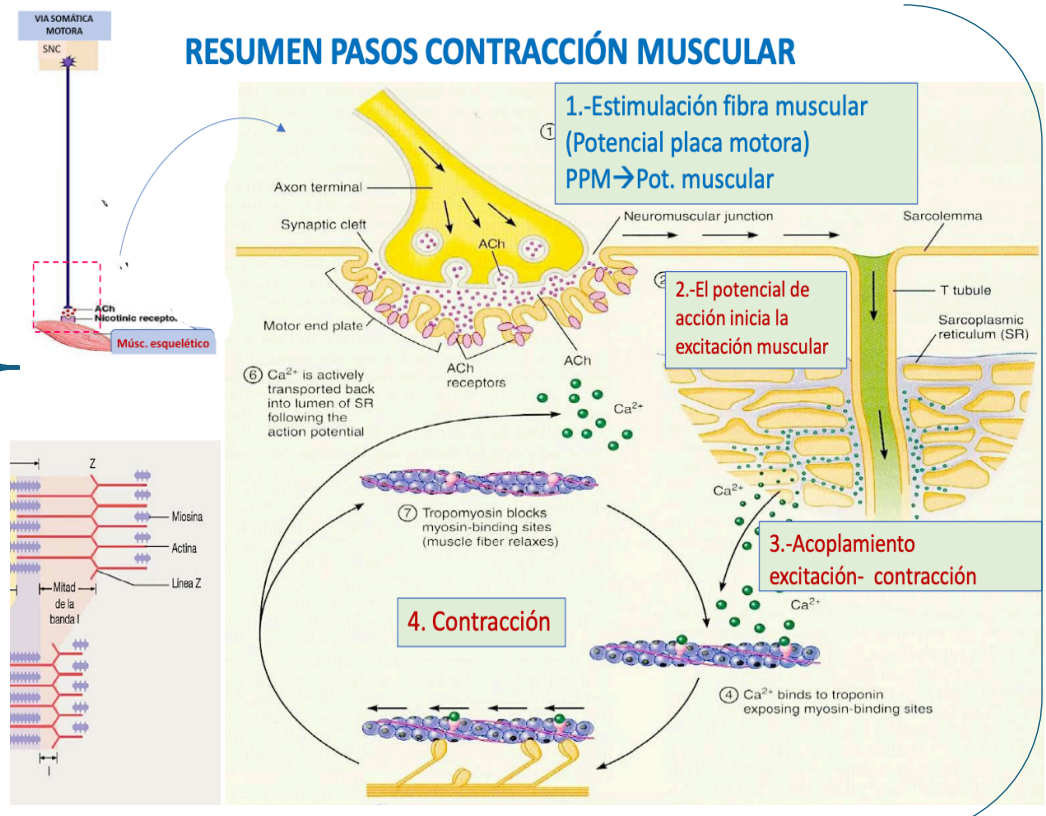
4. Para relajarse

→ El Ca^{2+} debe volver al RS mediante bombas de calcio **que gastan ATP**.

Resumen:

👉 El potencial de acción muscular DESENCADENA la liberación de Ca^{2+}.
👉 El Ca^{2+} DESENCADENA el acortamiento del sarcómero.

→ En este esquema vemos los **cuatro pasos fundamentales** desde que llega la señal nerviosa hasta que el músculo se acorta.



1. Estimulación de la fibra muscular (potencial de placa motora)

- La acetilcolina liberada en la unión neuromuscular produce el **potencial de placa**.
- Si este supera el umbral → **potencial de acción muscular**.

2. El potencial de acción inicia la excitación muscular

El potencial viaja a través del sarcolema y entra por los **túbulos T**, llevando la información eléctrica al interior de la fibra.

3. Acoplamiento excitación–contracción

- Los canales del **retículo sarcoplasmático** se abren.
- El Ca^{2+} sale en grandes cantidades.
- El Ca^{2+} se une a la troponina → mueve la tropomiosina → deja libres los sitios de actina.

👉 La maquinaria contráctil está lista.

4. Contracción de las miofibrillas

La miosina comienza el **ciclo de puentes cruzados**:

1. Se une a la actina.
2. Tira de ella (golpe de fuerza).
3. Se despega utilizando ATP.
4. Se recarga para repetir el ciclo.

Este proceso repetido miles de veces por segundo **acorta el sarcómero** → el músculo se contrae.

A tener en cuenta:

👉 El potencial de acción NO contrae el músculo.

👉 El Ca^{2+} es el que contrae el músculo.

El PA solo "abre la puerta" para que salga el calcio.

⇒ **VIDEO QUE ILUSTRA LA TEORÍA DEL FILAMENTO DESLIZANTE EN LA CONTRACCIÓN MUSCULAR**

https://youtu.be/C4fmTtO1bbo

Es muy útil para ver:

- cómo **actina** y **miosina** se entrelazan,
- cómo tiran una de la otra,
- cómo el **sarcómero** se acorta.

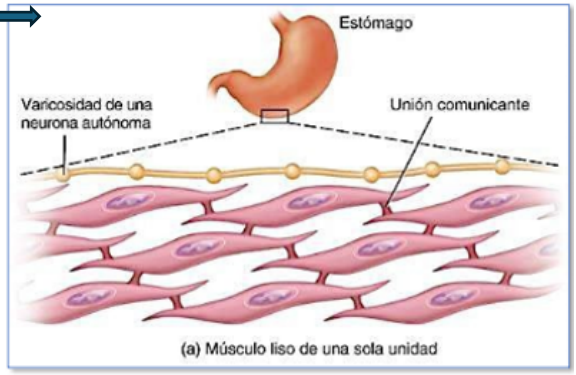
⇒ **MÚSCULO LISO: UNIDAD ÚNICA Y UNIDAD MÚLTIPLE**

Aquí empieza el estudio del **músculo liso**, muy diferente al esquelético.

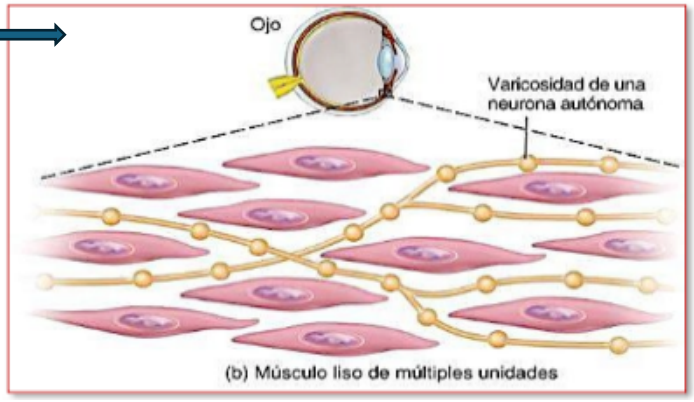
👉 **Tipos de músculo liso:**

1. Unidad única (músculo visceral)

- Las fibras están **conectadas por uniones GAP**.
- Funcionan como **una sola unidad**: si una se contrae, todas lo hacen.
- Ejemplos:
  - intestino,
  - útero,
  - vejiga,
  - vasos sanguíneos. **Todo esto es ideal para contracciones lentas y coordinadas.**



2. Unidad múltiple



- Las fibras NO están unidas entre sí.
- Cada fibra actúa **de forma independiente**.
- Ejemplos:
  - iris del ojo (contracción pupilar),
  - músculos **piloerectores** (piel de gallina).

Este tipo permite movimientos muy finos y precisos.

Idea clave:

👉 El músculo liso puede funcionar como "todo junto" o como "cada fibra a su aire", dependiendo del órgano.

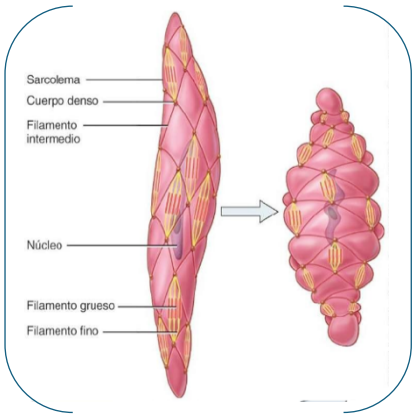
⇒ MÚSCULO LISO: CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

Vamos a profundizar en la forma en que funciona el músculo liso.

1. Está regulado por el sistema nervioso autónomo (SNA)

El SNA usa **varicosidades**, que son terminales nerviosas con vesículas repartidas a lo largo del axón.

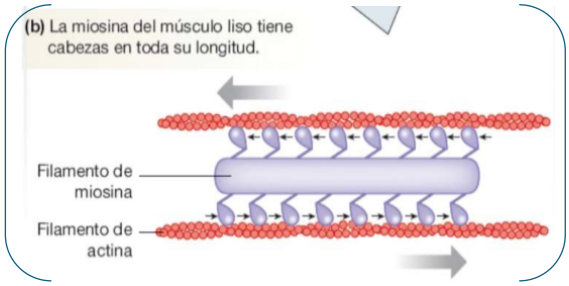
No hay una sinapsis tan precisa como en el músculo esquelético.



2. Puede activarse también por:

- **Estiramiento**
  (importante en intestino, vejiga).
- **Hormonas**
  (adrenalina, oxitocina, etc.).

3. Sus filamentos son distintos a los del músculo esquelético



- La **miosina** tiene cabezas a lo largo de todo el filamento (lo que permite **gran acortamiento**, hasta un 80%).
- Las cabezas tienen **polaridad lateral**, facilitando una contracción homogénea.

4. Contracción más lenta y sostenida

- Las uniones actina–miosina van más despacio.
- Consume muy poco ATP.
- Puede mantener **tono** durante mucho tiempo (como el vaso sanguíneo manteniendo presión).

Resumen:

El músculo liso es:

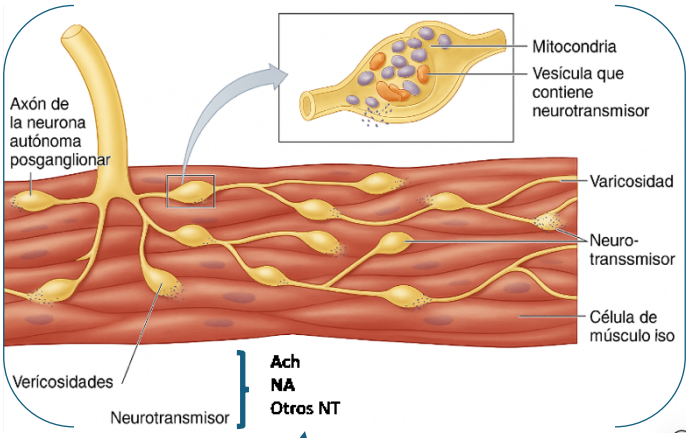
- Lento,
- Eficiente,
- Adaptado para funciones prolongadas: digestión, presión arterial, respiración, tono uterino.

⇒ INERVACIÓN DEL MÚSCULO LISO POR EL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO (SNA)

Veamos ahora cómo el **sistema nervioso autónomo (SNA)** controla la actividad del **músculo liso**.

1. Varicosidades: un tipo especial de terminal nerviosa

A diferencia de la placa motora (que es muy precisa), en el músculo liso el axón del SNA presenta **varios "engrosamientos" a lo largo del terminal nervioso**, llamados **varicosidades**.



Cada varicosidad:

- Contiene **vesículas con neurotransmisor**,
- Puede liberar NT en **áreas amplias**,
- Permite que muchas células cercanas reciban señal a la vez.

Esto hace que la contracción del músculo liso sea:

- **Difusa**,
- **Menos precisa**,
- **Más modulada por hormonas, estiramiento e iones**.

2. Neurotransmisores principales:

- **ACh (acetilcolina)**
- **NA (noradrenalina)**
- **Otros NT** (dopamina, neuropéptidos, etc.)

➡️ La respuesta del músculo liso **no depende solo del neurotransmisor**, sino del **tipo de receptor** que tenga la célula.

Por eso:

- La adrenalina **dilata** bronquios,
- pero **contrae** vasos sanguíneos de la piel.

La diapositiva demuestra que **el músculo liso está profundamente modulado por el SNA**, pero no se limita a las instrucciones nerviosas: también responde a hormonas, estiramiento y señales locales.

⇒ MÚSCULO CARDÍACO: CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES

El músculo cardíaco es único y se puede resumir en tres aspectos esenciales:

1. Sincitio funcional

Las células cardíacas están unidas entre sí mediante **discos intercalados**, que contienen **uniones GAP**.

Esto significa que:

- Los iones pueden pasar fácilmente de una célula a otra,
- Y las fibras cardíacas **se comportan como una sola unidad**.

👉 **El corazón se contrae de forma coordinada**.

2. Autorritmicidad (marcapasos)

A diferencia del músculo esquelético:

- El músculo cardíaco **no necesita que una neurona lo active** continuamente.
- Algunas células (nódulos SA y AV) generan **potenciales de acción espontáneos**.

Esto permite:

- Un ritmo propio,
- Regular,
- Que puede acelerarse o frenarse, pero **nunca depende totalmente del nervio**.

3. Involuntario y estriado

Aunque tiene aspecto estriado (como el esquelético), su control es completamente **involuntario**. Responde al SNA y a hormonas, pero mantiene su propio ritmo.

⇒ MÚSCULO CARDÍACO: POTENCIAL DE ACCIÓN, PERÍODO REFRACTARIO Y ACOPLAMIENTO

En este punto vemos por qué el corazón **no puede tetanizarse** (no puede entrar en contracción sostenida), algo que sí ocurre en el músculo esquelético.

1. Potencial de acción cardíaco: diferente al esquelético

El PA del corazón es:

- **más largo**,
- con una **meseta** debida a la entrada de Ca^{2+} a través de canales lentos.

2. Período refractario muy prolongado

Esto significa que después de un PA:

- La célula cardíaca **no puede disparar otro inmediatamente**.
- Debe esperar.

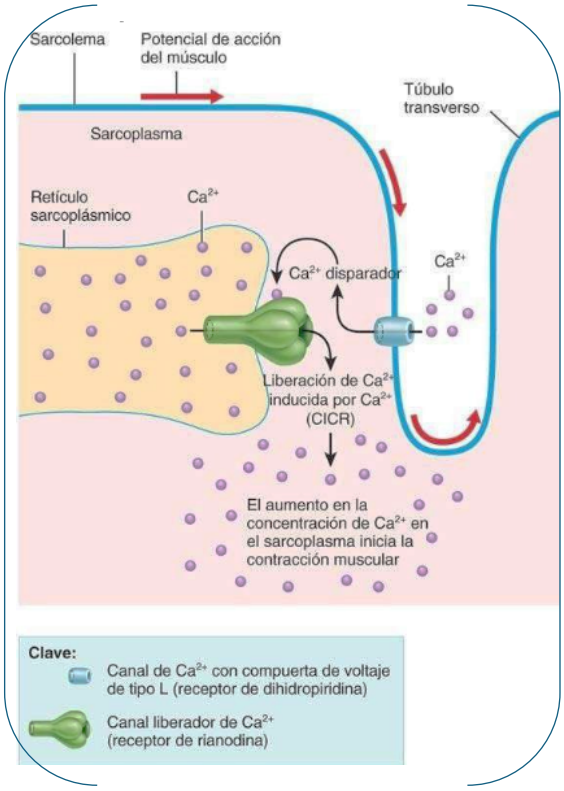
Resultado:

👉 El corazón **no puede contraerse sin descanso**.

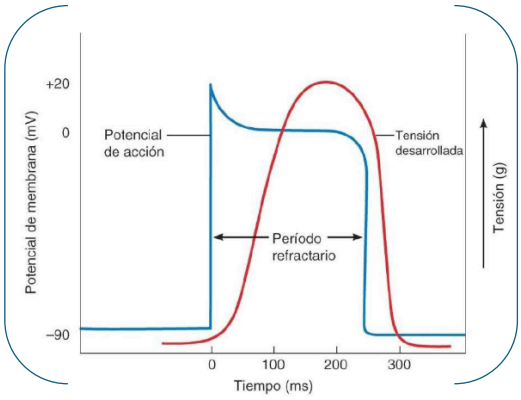
👉 No puede tetanizarse.

Esto es imprescindible para su función: debe contraerse → relajarse → contraerse → relajarse…

Si pudiera tetanizarse, **moriríamos instantáneamente**.



Relación entre potencial de acción y período refractario



3. Acoplamiento excitación–contracción

En el corazón:

- La entrada de Ca^{2+} desde el exterior es esencial.
- Ese calcio activa la liberación de Ca^{2+} del retículo sarcoplásmico (mecanismo de *calcio inducido por calcio*).

Esto asegura:

- Contracción fuerte,
- Control muy preciso,
- Ritmo constante.

Conclusión de esta diapositiva:

👉 El músculo cardíaco está diseñado para resistir toda la vida contrayéndose sin parar, sin agotarse y sin riesgo de contracción sostenida.