

Fisiología humana

Justo Soto Rebollo

Asignatura: FISIOLOGÍA HUMANA

PROFESORAS RESPONSABLES:
Dra. Laura Calleros Basilio: laura.calleros@uah.es
Dra. Marta Saura Redondo marta.saura@uah.es
Depto. de Biología de Sistemas (Unidad de Fisiología), UAH





INTRODUCCIÓN (RESUMEN):

- La Bioquímica es una ciencia interdisciplinar que combina los principios de la Biología y de Química para estudiar la composición y los procesos químicos que se llevan a cabo en los seres vivos.

OBJETIVOS:

- Proporcionar una formación básica sobre la lógica molecular de los seres vivos desde el punto de vista bioquímico.

PROGRAMA:

- Tema 1: CONCEPTO DE FISIOLOGÍA. Principios de Homeostasis. Sistemas de control y regulación del Medio Interno. Aspectos funcionales del transporte a través de la membrana plasmática. Potencial de membrana. Concepto de excitabilidad. Potencial de acción. Conducción del impulso nervioso. Sinapsis.

- Tema 2: ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA NERVIOSO. Médula Espinal: primer centro de integración neural. Reflejos neurales. Fisiología de los sistemas efectores. Sinapsis de la Unión Neuromuscular.

- Tema 3: MÚSCULO ESQUELÉTICO. Músculo liso unitario y multiunitario.

- Tema 4: FISIOLOGÍA DEL SISTEMA NERVIOSO. El sistema somatosensorial. Receptores sensoriales. Transducción de estímulos sensoriales en impulsos nerviosos. Nocicepción. Tacto y presión.

- Tema 5: VISIÓN. Retina. Mecanismos centrales de la visión. Audición: Mecanismos auditivos periféricos y centrales. Sentidos químicos: Gusto y olfato. Termorrecepción. Sentido de la posición y del movimiento articular.

- Tema 6: CORTEZA CEREBRAL. Área motora primaria. Organización y función. Sistemas piramidal y extrapiramidal. Mecanismos corticales en el control del movimiento. Trastornos fundamentales derivados de lesiones en áreas o vías corticomotoras. Funciones superiores del cerebro.

- Tema 7: FISIOLOGÍA CARDIOVASCULAR. Generalidades y arquitectura funcional del sistema cardiovascular. Hemodinámica. Actividad eléctrica del corazón. Origen y propagación del impulso cardiaco. ECG.

- Tema 8: EL CORAZÓN COMO BOMBA. Ciclo cardíaco. Volumen-minuto cardíaco. Circulación coronaria. Circulación arterial y venosa. Pulso arterial y retorno venoso. Resistencias periféricas y Presión Arterial. Regulación de la Presión Arterial. Microcirculación. Intercambio capilar.

- Tema 9: FISIOLOGIA RENAL. Estructura funcional del riñón. Filtración Glomerular. Aclaramiento renal. Evaluación de la Función renal. Funciones tubulares. Mecanismos de concentración y dilución de la orina. Fisiología de la micción.

- Tema 10: FISIOLOGIA DEL SISTEMA ENDOCRINO. Órganos endocrinos y Hormonas. Integración neuroendocrina. Mecanismos generales de acción hormonal. El hipotálamo como centro regulador de la función endocrina y reproductora. Secreción de hormonas hipotalámicas. Hormonas neurohipofisarias. Neurosecreción. Vasopresina. Oxitocina.

- Tema 11: HORMONAS adenohipofisarias: hormona de crecimiento. Prolactina. Hormona adrenocorticotropa. Hormona tirotropa. Hormonas gonadotropas: folículo estimulante y luteinizante.

- Tema 12: Secreción de hormonas tiroideas. Hormonogénesis y regulación de la función tiroidea. Fisiología de las hormonas tiroideas. Páncreas endocrino. Insulina. Glucagón. Regulación de las hormonas pancreáticas. Acciones fisiológicas de las hormonas pancreáticas.

- Tema 13: FISIOLOGIA DEL SISTEMA DIGESTIVO. Estructura funcional del aparato digestivo. Funciones generales. Secreción, motilidad y absorción. Ingesta de alimentos. Masticación. Digestión. Secreción gastrointestinal: salival, gástrica, pancreática y biliar. Hormonas gastrointestinales. Función motora del tubo digestivo. Deglución y su regulación. Control del peristaltismo y vaciamiento gástrico. Motilidad intestinal.

BIBLIOGRAFÍA:

• **Silverthorn**, **D.U.** Fisiología Humana: Un Enfoque Integrado. Editorial Panamericana. 8ª Edición. 2019
• **Costanzo**, L. Fisiología. Editorial Elsevier. 7ª Edición. 2023
• **Ira Fox, S.** Fisiología Humana. Editorial McGraw-Hill Interamericana. 14ª Edición. 2017
• **Patton**, **K.T.** y Thibodeau, G. A. Estructura y función del cuerpo humano. Editorial Elsevier. 16ª Edición.
• **Derrickson B.** Fisiología humana. Editorial Panamericana. 2018
• **Tresguerres**, J**.A.F.** Fisiología Humana. Editorial Interamericana-McGraw Hill.5ª Edición 2020
• **Tortora**, **G. J.** y **Derrickson B.** Principios de Anatomía y Fisiología. Editorial Panamericana.15ª Edición.

TEMA 1: INTRODUCCIÓN A LA FISIOLOGÍA. MECANISMOS DE HOMEOSTASIS Y CONTROL. TRANSPORTE DE MEMBRANA. POTENCIAL DE ACCIÓN Y SINAPSIS

⇒ CONCEPTO DE FISIOLOGÍA

Definición general:

Estudio del funcionamiento normal de los organismos vivos y de las partes que los componen, abarcando procesos **químicos y físicos**.

La **fisiología** es la ciencia que estudia **cómo funcionan los seres vivos**, tanto en sus partes individuales (células, tejidos, órganos) como en su conjunto.

Mientras la anatomía nos muestra la **estructura**, la fisiología se centra en la **función**: cómo laten los corazones, cómo respiramos, cómo se contrae un músculo o cómo se transmiten los impulsos nerviosos.

El término procede del griego:

- *Physis* significa "naturaleza".
- *Logos* significa "estudio" o "tratado".

Por tanto, fisiología significa literalmente *"el estudio de la naturaleza"*, en este caso, la naturaleza del cuerpo y de sus funciones vitales.

Es importante distinguir dos conceptos:

- **Fisiología humana**, que analiza los mecanismos que permiten el funcionamiento normal del cuerpo humano.
- **Fisiopatología**, que estudia qué ocurre cuando esos mecanismos se alteran por una enfermedad o lesión.

En resumen, la fisiología busca entender **cómo se mantiene la vida**. No se limita a describir lo que hay, sino que intenta **explicar cómo y por qué** funciona el organismo de una manera determinada.

⇒ INVESTIGACIONES FISIOLÓGICAS

Aquí vemos **cómo se ha desarrollado la investigación en fisiología** y cuáles son sus bases experimentales.

Para comprender el funcionamiento de los seres vivos, los fisiólogos se apoyan en un conocimiento profundo de la **anatomía**: no se puede estudiar la función sin entender la forma.

Las investigaciones fisiológicas se han hecho tradicionalmente en varios niveles:

1. **En animales** (roedores, ranas, conejos, gatos, perros), para descubrir procesos biológicos generales que luego se comparan con el ser humano.
2. **En personas voluntarias**, mediante estudios clínicos controlados.
3. **En células y organoides** cultivados en laboratorio, donde se reproducen funciones de órganos reales para observarlas con detalle.

El propósito de estas investigaciones es ofrecer una **base sólida para la medicina**. Gracias a ellas se pueden comprender las enfermedades, diseñar tratamientos y desarrollar fármacos que corrijan las alteraciones del organismo.

En definitiva, la fisiología experimental es el **puente entre la ciencia básica y la práctica médica**.



⇒ NIVELES DE ORGANIZACIÓN DE LOS ORGANISMOS VIVOS

Es importante tener en cuenta esta idea clave: **estructura y función están íntimamente relacionadas**, y esto es así porque el cuerpo humano es un sistema organizado en varios **niveles jerárquicos**, donde cada uno depende del anterior y se integra en el siguiente, veamos:

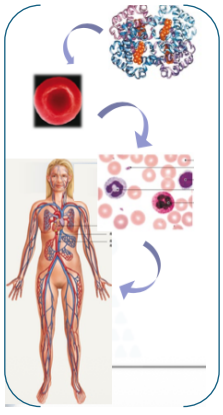
NIVEL	DESCRIPCIÓN Y FUNCIÓN	EJEMPLOS
Nivel químico	Átomos como C, H, O, N, Ca, Na o K se combinan para formar moléculas biológicas.	Proteínas, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos.
Nivel celular	La célula es la unidad estructural y funcional básica de la vida.	Neuronas, glóbulos rojos, células musculares.
Nivel tisular	Conjunto de células que realizan una función común.	Tejido nervioso, muscular, epitelial.
Nivel orgánico	Asociación de tejidos que forman órganos con funciones específicas.	Corazón, pulmones, riñones.
Nivel de sistemas o aparatos	Órganos que trabajan coordinadamente para una función general.	Sistema digestivo, respiratorio, nervioso.
Nivel del organismo	Conjunto de todos los sistemas que forman un ser vivo completo.	El cuerpo humano.

La fisiología estudia el **funcionamiento integrado de todos estos niveles**, desde los procesos moleculares dentro de una célula hasta el comportamiento global del organismo.

⇒ ORGANIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL CUERPO HUMANO

Algo más en detalle los diferentes niveles estructurales que **se interconectan**:

- Los **átomos** se combinan para formar **moléculas**, que son los componentes de las células.
- Las **células** son las unidades básicas de estructura y función.
- Los **tejidos** son agrupaciones de células con una función común.
- Los **órganos** se componen de varios tejidos que actúan juntos para realizar funciones específicas.
- Los **sistemas o aparatos** agrupan distintos órganos que colaboran para cumplir un objetivo vital (por ejemplo, el sistema respiratorio intercambia gases, el digestivo transforma los alimentos).



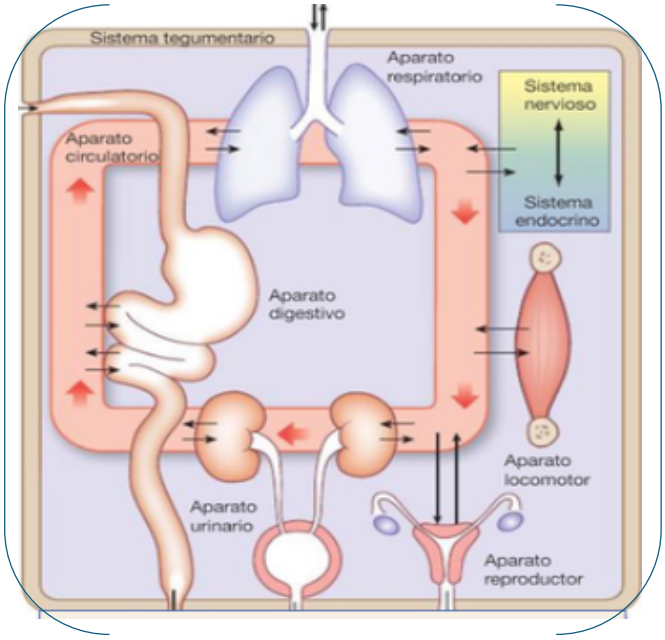
Con todo esto vemos que el cuerpo humano es una **organización estructural compleja pero perfectamente coordinada**, donde cada nivel depende del funcionamiento correcto de los demás.

⇒ FUNCIONES DEL ORGANISMO

Esta diapositiva explica que el cuerpo humano realiza varias **funciones fisiológicas fundamentales**, que se distribuyen entre los distintos sistemas o aparatos.

- **Comunicación, control e integración:** los sistemas **nervioso y endocrino** coordinan las funciones del cuerpo.

- **Transporte de sustancias y defensa:** los sistemas **circulatorio e inmunitario** transportan nutrientes, gases y eliminan desechos, además de proteger contra infecciones.
- **Protección del medio externo:** el **sistema tegumentario** (piel, cabello, uñas, glándulas) actúa como una barrera frente a agresiones físicas o químicas.
- **Soporte y movimiento:** los sistemas **esquelético y muscular** permiten la postura, el desplazamiento y la protección de órganos internos.
- **Mantenimiento del ambiente interno:** los sistemas **urinario, digestivo y respiratorio** regulan la composición del medio interno, manteniendo el equilibrio químico y energético.
- **Continuación de la especie:** el **sistema reproductor** asegura la descendencia y la transmisión genética.



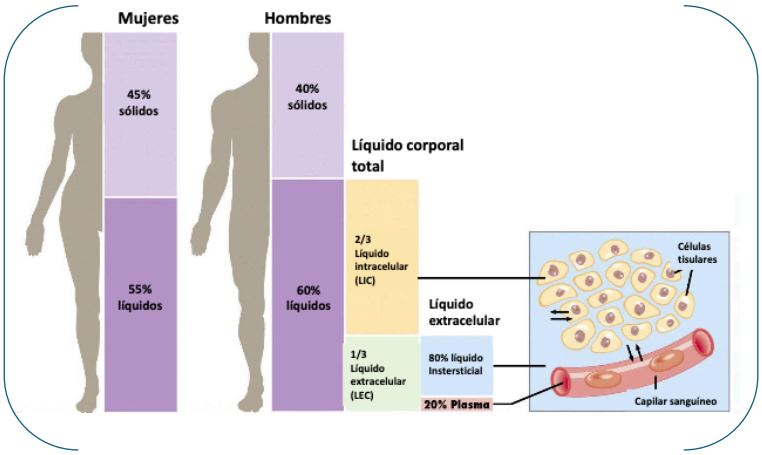
El papel esencial de la fisiología es **integrar todas estas funciones** en un conjunto coherente, donde el cuerpo actúa como una sola unidad.

⇒ CONCEPTO DE MEDIO INTERNO

Este es uno de los conceptos centrales de toda la fisiología: el **medio interno**.

Es el **medio acuoso que rodea a todas las células del cuerpo**, en el que se disuelven las sustancias que entran o salen de ellas.

En él ocurren los intercambios vitales de nutrientes, oxígeno, dióxido de carbono y productos de desecho.



El cuerpo humano está compuesto por una proporción de líquidos que varía según el sexo:

- En los hombres: **60 % de líquidos y 40 % de sólidos**.
- En las mujeres: **55 % de líquidos y 45 % de sólidos**.

De ese líquido total:

- **Dos tercios (2/3)** se encuentran **dentro de las células** → *Líquido intracelular (LIC)*.
- **Un tercio (1/3)** está **fuera de las células** → *Líquido extracelular (LEC)*, dividido en:
  - **80 % líquido intersticial**, que baña las células.
  - **20 % plasma sanguíneo**, que circula en los capilares.

El medio interno es, por tanto, **el entorno inmediato donde viven las células**, y su composición debe mantenerse estable para que puedan realizar sus funciones normales.

⇒ COMPOSICIÓN DE LOS LÍQUIDOS CORPORALES

Entramos un poco en detalle acerca del equilibrio químico entre los líquidos corporales.

Aunque los compartimentos intracelular y extracelular tienen distinta composición iónica, ambos mantienen una **igualdad global en el número total de solutos**, medida como **osmolaridad**, que es de **aproximadamente 290 miliosmoles por litro (mOsm/L)**.

Nota aclaratoria: *Un **miliosmol** (mOsm) es la milésima parte de un **osmol** y es una unidad que mide la concentración de partículas con actividad osmótica en una solución, como la osmolaridad. Se utiliza comúnmente en medicina y bioquímica para expresar la concentración de solutos en fluidos corporales como el plasma sanguíneo, y su valor depende tanto de la cantidad como del número de partículas en las que se disuelve una sustancia.*

*El **osmol** (Osm) es una unidad de medida que representa el número de partículas de **soluto** que contribuyen a la presión osmótica de una solución, especialmente en contextos biológicos.*

*Un **soluto** es la sustancia que se disuelve en otra sustancia (llamada disolvente) para formar una solución, y generalmente se encuentra en menor proporción. Puede ser un sólido, líquido o gas, y la cantidad que puede disolverse está determinada por su solubilidad y las condiciones del entorno. Un ejemplo común es la sal (soluto) disuelta en agua (disolvente).*

Este equilibrio se llama **principio de electroneutralidad macroscópica**:

la cantidad total de cargas positivas (cationes) y negativas (aniones) en cada compartimento es igual.

Si no fuera así, se producirían diferencias eléctricas y desplazamientos de agua peligrosos para las células.

El cuerpo mantiene esta composición gracias a **mecanismos de transporte activo**, en especial la **bomba de sodio y potasio (Na^+/K^+ ATPasa)**, que expulsa sodio y entra potasio de forma controlada, consumiendo energía.

De este modo se conservan las concentraciones adecuadas en ambos lados de la membrana y se garantiza la estabilidad celular.

⇒ CONCEPTO DE HOMEOSTASIS

El concepto fundamental de la fisiología es la **homeostasis**.

Se define como la **capacidad del organismo para mantener relativamente constantes las condiciones internas**, incluso cuando el entorno exterior cambia.



El fisiólogo francés **Claude Bernard** (siglo XIX) fue el primero en observar que el cuerpo conserva estables parámetros como la temperatura, la presión arterial o la frecuencia cardíaca.

Su idea central fue que *"todos los mecanismos vitales tienen como fin mantener la constancia del medio interno, condición indispensable para una vida libre e independiente"*.

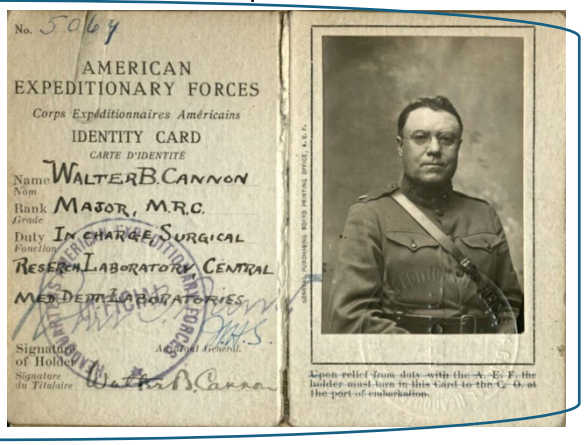
Esto significa que el organismo dispone de sistemas automáticos que corrigen cualquier desviación de sus valores normales.

Por ejemplo: si aumenta la temperatura corporal, se activa la sudoración; si baja la glucosa, el hígado libera azúcar al torrente sanguíneo.

La homeostasis es, en definitiva, **el principio de autorregulación del cuerpo humano**, y será el eje central de todo el tema.

A esta definición de **homeostasis** de **Bernard** comentada se añade la interpretación moderna que propuso el fisiólogo estadounidense **Walter Cannon** en el siglo XX.

Cannon fue quien acuñó el término *homeostasis* (del griego *homeo*, "semejante", y *stasis*, "condición o estado"), para describir el **mantenimiento de condiciones internas similares**, pero no fijas.



Esto es muy importante: la homeostasis **no significa equilibrio absoluto**, sino **estabilidad dentro de ciertos márgenes**.

De modo que:

- "*Homeo-*" significa "semejante o parecido", no "igual".
- "*Estasis*" se refiere a una condición mantenida, no a una inmovilidad.

Por ejemplo:

- La temperatura corporal no es siempre exactamente 37 ºC; puede oscilar entre 36,5 y 37,5ºC sin que haya problema.
- La presión arterial, el nivel de glucosa o el pH sanguíneo también fluctúan ligeramente, pero siempre dentro de unos límites seguros.

Por eso, cuando Cannon hablaba de homeostasis, la entendía como un **estado dinámico**, no inmóvil.

El organismo no permanece quieto, sino que **ajusta constantemente sus valores internos** para adaptarse a las condiciones externas.

De ahí que la homeostasis pueda definirse correctamente como una **"condición similar mantenida en el tiempo"**, o bien como **"una relativa constancia del medio interno"**.

Esta concepción moderna nos permite entender al organismo como un **sistema autorregulado**, que utiliza sensores, centros de control y mecanismos de respuesta para mantener la estabilidad interna frente a los cambios del entorno.

⇒ SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LA HOMEOSTASIS

Mantener la homeostasis significa que **las células del cuerpo viven en un medio que cubre sus necesidades y les permite funcionar con normalidad**, incluso cuando el ambiente externo cambia.

El cuerpo humano está expuesto continuamente a variaciones: temperatura, humedad, cantidad de agua ingerida, nivel de oxígeno, pH sanguíneo, entre muchas otras.

Si las células tuvieran que soportar directamente esos cambios, no podrían sobrevivir.

Por eso el organismo dispone de **mecanismos reguladores** que actúan como un "amortiguador" entre el medio externo y las células.

Podemos decir que el medio interno (el líquido extracelular que rodea las células) **funciona como un escudo protector**, manteniendo constantes:

- la concentración de nutrientes,
- la cantidad de oxígeno,
- el pH,
- la temperatura,
- la presión osmótica.

De esta manera, las células no se ven afectadas por las fluctuaciones del entorno exterior.

Cuando la homeostasis se conserva, el cuerpo funciona con normalidad; pero si se rompe, **aparece la enfermedad**.

Por ejemplo:

- Un fallo en la regulación de la glucosa conduce a la **diabetes**.
- Una pérdida de control en la temperatura corporal puede causar **hipotermia o hipertermia**.
- Una alteración en el equilibrio de agua y sales puede generar **deshidratación o edema**.

Por todo ello podemos decir que la **vida depende del mantenimiento constante del medio interno**.

El papel de la fisiología es precisamente estudiar **cómo se logra esa estabilidad** y qué mecanismos intervienen para conservarla.

⇒ VARIABLES BAJO CONTROL HOMEOSTÁTICO

Vamos a analizar las **principales variables que el cuerpo debe mantener dentro de límites normales** para asegurar la vida celular.

Estas variables se dividen en dos grandes grupos:

Valores normales de los componentes principales del medio extracelular (sangre) en el hombre

parámetro	*Valor normal*	*Margen normal*	*Límites no letales*		*unidades*
Temperatura	37	37	18.3-43.3	-50% +17%	ºC
pH	7.4	7.3-7.4	6.9-8.0	-7% +8%	
O_2	40	35-45	35-45		mmHg

1. **Factores ambientales que afectan a la célula:**
   - **Osmolaridad:** concentración de solutos en los líquidos corporales. Si varía demasiado, el agua entra o sale de las células y puede dañarlas.
   - **Temperatura:** el calor corporal debe mantenerse dentro de un rango estrecho; un exceso o un descenso grave afecta a las enzimas.
   - **Presión sanguínea y volumen plasmático:** deben ser suficientes para garantizar que la sangre llegue a todos los tejidos.
   - **pH del medio interno:** el cuerpo trabaja en torno a un pH de 7,4; valores alejados dificultan las reacciones químicas celulares.
2. **Materiales que las células necesitan o deben eliminar:**
   - **Agua y sales minerales (sodio, calcio, potasio, cloro).**
   - **Gases respiratorios (O_2 y CO_2).**
   - **Nutrientes energéticos** como la glucosa o los ácidos grasos.
   - **Productos de desecho** que deben ser excretados por el sistema urinario o respiratorio.
   - **Sustancias reguladoras internas**, como las **hormonas**, que sirven para coordinar las respuestas entre distintas células o tejidos.

Esto nos recuerda que la homeostasis **no se aplica a una sola variable**, sino que el cuerpo controla simultáneamente **decenas de parámetros** mediante sistemas de regulación muy precisos.

Cada uno de ellos tiene **receptores o sensores especializados**, **centros integradores** (como el sistema nervioso o el endocrino) y **efectores** (órganos que corrigen los desequilibrios).

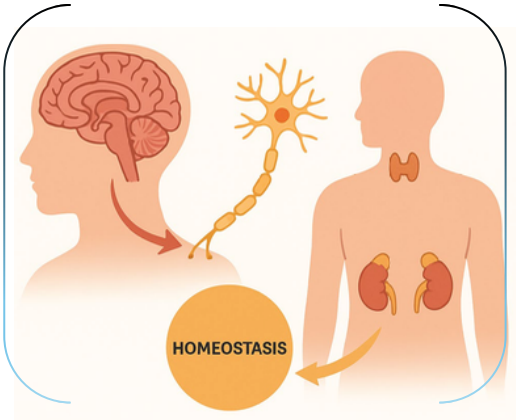
⇒ POSTULADOS DE CANNON

A los **principios que Walter Cannon** formuló para describir cómo funciona el control fisiológico los llamó *postulados* y siguen siendo una referencia básica en fisiología moderna.

Sus **cuatro postulados** son los siguientes:

1. **El sistema nervioso y el sistema endocrino** desempeñan un papel esencial en el mantenimiento del "buen estado" del medio interno.

→ Ambos sistemas actúan como el "centro de mando" del organismo, detectando los cambios y activando las respuestas apropiadas.



2. **Algunos sistemas corporales están bajo control tónico.**

→ Significa que ciertas funciones no se activan o desactivan totalmente, sino que tienen un nivel de actividad continuo que puede aumentar o disminuir.

Por ejemplo, los vasos sanguíneos mantienen un tono muscular basal que se puede relajar o contraer según las necesidades de oxígeno o temperatura.

3. **Algunos sistemas se regulan mediante control antagonista.**

→ Esto quiere decir que existen dos mecanismos opuestos que actúan sobre la misma variable, compensándose mutuamente.

El ejemplo clásico es el control del corazón: el sistema nervioso simpático acelera el ritmo, mientras que el parasimpático lo frena.

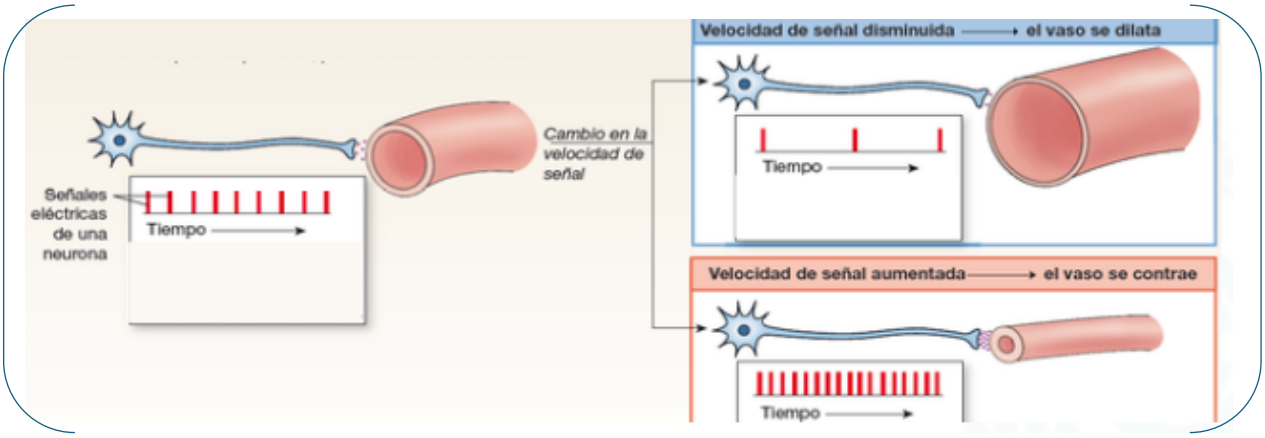
4. **Una misma señal química puede tener efectos diferentes en tejidos distintos.**

→ Una hormona o neurotransmisor no siempre produce el mismo efecto en todos los órganos.

Por ejemplo, la **adrenalina** dilata los bronquios (para facilitar la respiración) pero contrae los vasos sanguíneos de la piel (para concentrar la sangre en los músculos).

Estos postulados resumen la **flexibilidad y la precisión** con la que el cuerpo regula sus funciones.

La homeostasis, por tanto, no es una acción única, sino una **coordinación constante de señales eléctricas y químicas** distribuidas por todo el organismo.



⇒ PAPEL DEL SISTEMA NERVIOSO Y ENDOCRINO

El desarrollo del primer postulado de Cannon muestra cómo el sistema nervioso y el endocrino **trabajan de forma complementaria**.

- El **sistema nervioso** actúa con **rapidez**: detecta los cambios a través de receptores sensoriales y responde con impulsos eléctricos que viajan por las neuronas.

Ejemplo: si la temperatura externa baja, los receptores cutáneos informan al hipotálamo[1], que ordena la contracción de los músculos (tiritona) para generar calor.

- El **sistema endocrino**, en cambio, actúa de manera **más lenta pero duradera**: responde mediante **hormonas** que viajan por la sangre y regulan funciones a largo plazo.

Ejemplo: la insulina y el glucagón controlan el nivel de glucosa en sangre a lo largo del día.

Ambos sistemas trabajan juntos para conservar el equilibrio de la homeostasis.

Los medios para mantener o restablecerla se llaman **mecanismos de control homeostático**, e implican la colaboración de casi todos los órganos del cuerpo.

Es muy importante entender estos cuatros postulados y retener la idea de que **el control fisiológico no depende de un único mecanismo**, sino de una **red de regulaciones interconectadas** donde cada sistema contribuye a mantener el equilibrio del conjunto.

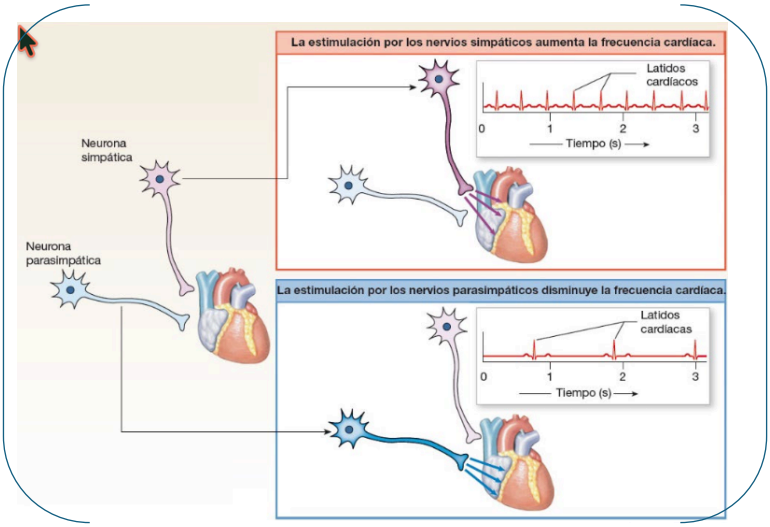
⇒ EJEMPLOS DE CONTROL TÓNICO Y ANTAGONISTA

En esta ilustración vemos los **postulados segundo y tercero** de Cannon.

[1] El hipotálamo es una región del cerebro que actúa como centro de control del cuerpo, regulando funciones vitales como la temperatura corporal, la sed, el hambre, la frecuencia cardíaca y los ciclos de sueño. Lo hace produciendo hormonas que controlan la hipófisis (glándula pituitaria) y controlando directamente el sistema nervioso autónomo, manteniendo así la **homeostasis** o equilibrio del organismo.

- En el **control tónico**, los órganos reciben una estimulación constante que puede aumentar o disminuir, pero nunca desaparecer del todo.

Ejemplo: los vasos sanguíneos mantienen siempre cierta contracción basal del músculo liso; si se necesita más flujo, se relajan; si hay que conservar calor o subir la presión, se contraen.



- En el **control antagonista**, dos sistemas opuestos regulan la misma variable con efectos contrarios.

Ejemplo clásico:

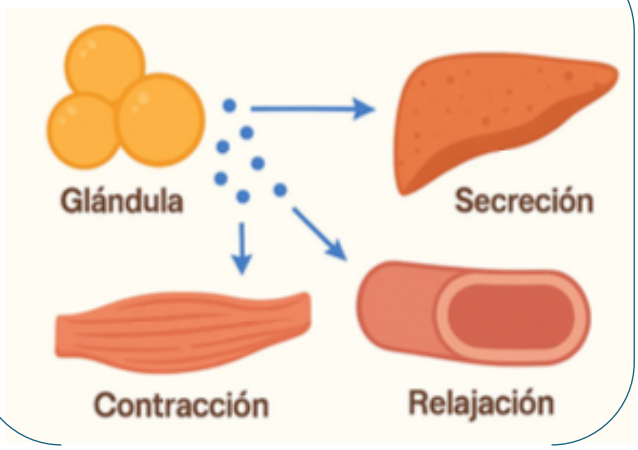
  - El **sistema simpático** acelera el corazón y dilata los bronquios en situaciones de estrés.
  - El **sistema parasimpático** hace lo contrario en reposo: frena el ritmo cardíaco y favorece la digestión.

Este equilibrio entre estímulos opuestos permite una regulación precisa y adaptable.

⇒ VARIABILIDAD DE LAS RESPUESTAS QUÍMICAS

Pasamos al cuarto postulado de Cannon, explicado aquí con ejemplos concretos.

Una misma sustancia puede producir efectos **distintos o incluso opuestos** según el tipo de receptor o tejido donde actúe.



Un caso típico es el de la **adrenalina**:

- En los **músculos del corazón y los bronquios**, provoca **dilatación**, mejorando el flujo de aire y el riego sanguíneo.
- En los **vasos de la piel o del intestino**, produce **vasoconstricción**, reduciendo el flujo para priorizar los órganos vitales en situaciones de emergencia.

Esto demuestra que **la respuesta del organismo depende tanto del mensajero químico como del tejido que lo recibe**.

No hay una acción universal, sino una respuesta específica adaptada al contexto fisiológico.

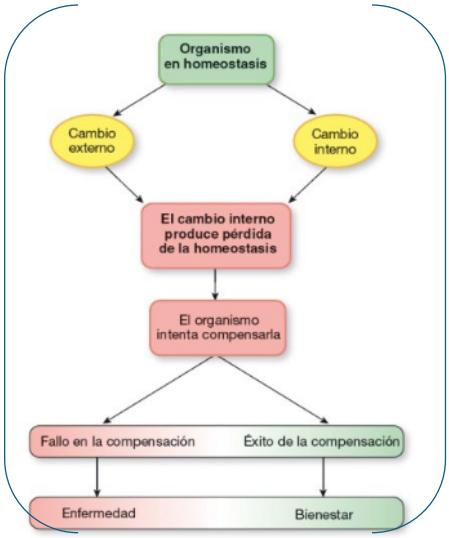
⇒ ENFERMEDAD: ALTERACIÓN DE LA HOMEOSTASIS

Cuando se habla de **enfermedad** no es más que una **pérdida del equilibrio homeostático**.

En el momento que los mecanismos reguladores del cuerpo **no logran mantener las variables dentro de los límites normales**, el resultado es la alteración funcional o estructural de uno o varios sistemas.

Ejemplos:

- Una bajada persistente de insulina produce **hiperglucemia y diabetes**.
- Una pérdida del control térmico provoca **fiebre o hipotermia**.
- Un fallo en la regulación de la presión sanguínea puede causar **hipertensión o shock**.



En términos fisiológicos, **la salud equivale a la estabilidad dinámica**, mientras que la enfermedad representa una **ruptura de esa estabilidad**.

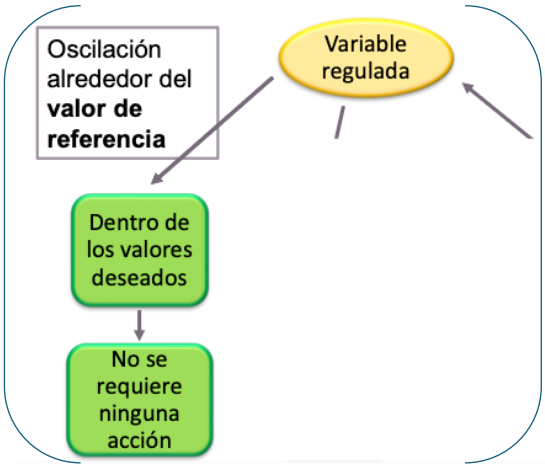
De ahí la importancia de comprender los mecanismos homeostáticos, pues ellos son el fundamento de toda la fisiología humana.

⇒ REGULACIÓN DE LA HOMEOSTASIS

Este tema se centra en mostrar **cómo el cuerpo regula activamente la homeostasis** a través de **sistemas de control fisiológico** y **mecanismos de retroalimentación**.

La **homeostasis no es un estado fijo**, sino un **proceso continuo y dinámico**.

El organismo funciona mediante un conjunto de **sistemas de control fisiológico** que monitorizan constantemente las variables internas (temperatura, presión, concentración de solutos, etc.) y **corrigen cualquier desviación** respecto a los valores normales.



En el gráfico anterior se muestra un esquema típico de regulación:

1. **Variable regulada** (por ejemplo, temperatura corporal).
2. **Sensor o receptor**, que detecta un cambio respecto al valor normal.
3. **Centro integrador**, generalmente en el sistema nervioso central o endocrino, que interpreta la información.
4. **Efectores**, como músculos o glándulas, que ejecutan la respuesta para restaurar el equilibrio.

Cuando la variable vuelve a su rango deseado, la respuesta se detiene.

Si la variable se desvía otra vez, el ciclo se reactiva.

Este mecanismo de ajuste continuo se conoce como **regulación dinámica**.

El concepto clave es que la homeostasis funciona como un **circuito de control automático**, semejante a un termostato: detecta, compara y corrige de manera permanente.

⇒ COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL HOMEOSTÁTICO

Esta diapositiva desglosa con más detalle los **tres elementos principales** de cualquier sistema de control fisiológico:

1. **Sensor o receptor:**

Detecta las variaciones de una condición determinada.

Ejemplo: los termorreceptores cutáneos registran cambios de temperatura; los barorreceptores de las arterias detectan la presión sanguínea.

2. **Centro integrador:**

Es el "centro de mando" donde se evalúa la información recibida y se decide qué acción tomar.

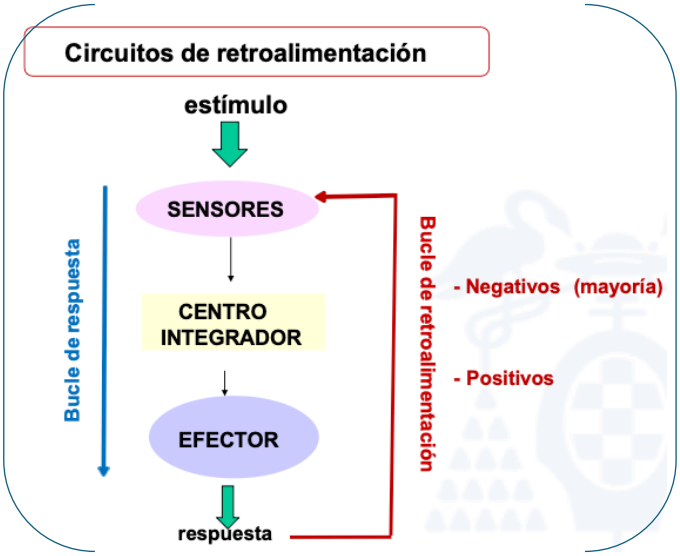
Generalmente se encuentra en el **sistema nervioso central** (como el hipotálamo o el bulbo raquídeo).

Determina el **punto de mantenimiento** o valor de referencia (por ejemplo, 37 °C de temperatura corporal, o 120/80 mmHg de presión arterial).

3. **Efector:**

Es el órgano o tejido que ejecuta la respuesta para corregir la desviación.

Ejemplo: los músculos esqueléticos generan calor por contracción; las glándulas sudoríparas enfrían la piel al sudar; los riñones excretan más o menos agua para regular el volumen sanguíneo.



Estos tres componentes trabajan en bucle: el sensor detecta, el centro ordena, y el efector actúa.

El proceso se repite constantemente en un **ciclo de retroalimentación negativa**, que es el mecanismo principal de control fisiológico.

Pero, ¿en qué consiste el concepto de retroalimentación?

Este concepto conocido como **ciclo de retroalimentación** significa que el resultado de una acción influye sobre el propio sistema que la originó.

En fisiología, hay dos tipos principales:

- **Retroalimentación negativa**
- **Retroalimentación positiva**

Ambos parten de la misma idea:

⇒ Una desviación en la variable provoca una respuesta, y esa respuesta puede **reducir** o **amplificar** el cambio inicial.

El **bucle de retroalimentación** es el mecanismo que asegura que el organismo no solo responda a los cambios, sino que lo haga de manera proporcionada y controlada.

⇒ BUCLE DE RESPUESTA Y RETROALIMENTACIÓN

En esta diapositiva se representa gráficamente cómo funciona un **bucle de retroalimentación**:

1. Se produce un **estímulo**, que altera el valor de una variable fisiológica.
   Por ejemplo, la temperatura corporal aumenta.
2. El **sensor** detecta esa desviación.
3. El **centro integrador** analiza la información y genera una ord en correctora.
4. El **efector** ejecuta la respuesta (por ejemplo, activar las glándulas sudoríparas para enfriar el cuerpo).
5. La **respuesta** modifica el estímulo original: al bajar la temperatura, el sensor deja de enviar señales de alarma.

Este ciclo constituye un **bucle cerrado de regulación**, que pue de adoptar dos formas:

- **Retroalimentación negativa**, cuando la respuesta **revierte el cambio** y devuelve la variable a su valor normal.
- **Retroalimentación positiva**, cuando la respuesta **refuerza el cambio** y lo amplifica temporalmente.

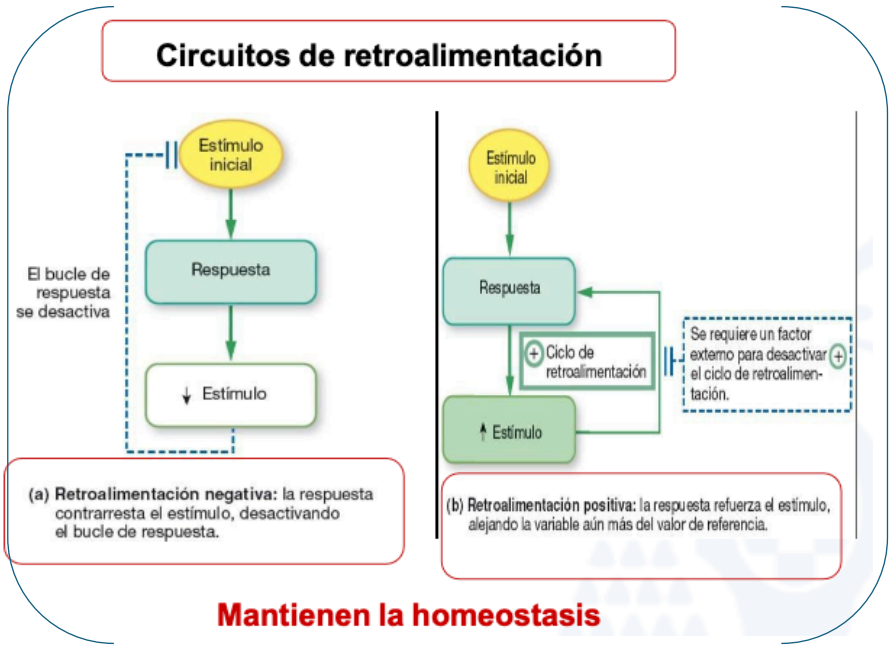
La gran mayoría de los procesos fisiológicos utilizan **retroalimentación negativa**, porque su finalidad es mantener la estabilidad del medio interno.

Vamos a ver con más detalle el tipo más importante: la **retroalimentación negativa**, que es el mecanismo de **autorregulación más frecuente del cuerpo humano**.

Funciona de esta forma: cuando una variable se desvía de su valor normal, se activa una respuesta que **la corrige en sentido contrario**, haciendo que vuelva al rango de equilibrio.

Ejemplo clásico:

- Si la temperatura corporal **aumenta**, los sensores del hipotálamo detectan el calor y activan la **sudoración** y la **vasodilatación cutánea** para disipar el exceso.



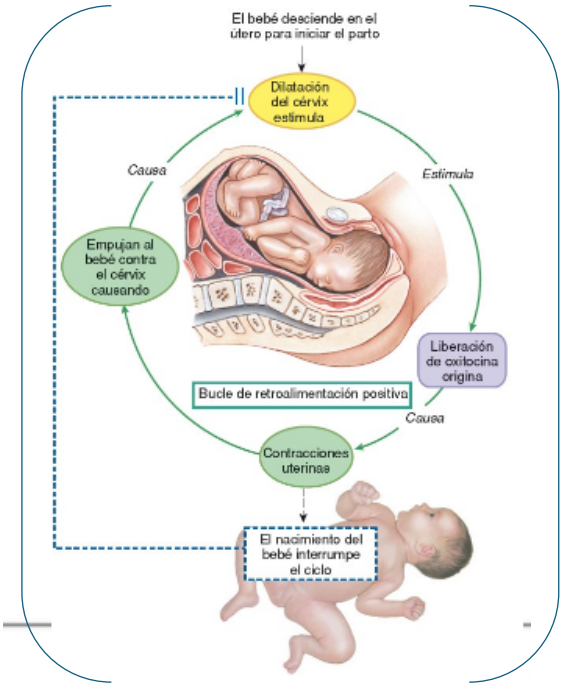
- Cuando la temperatura vuelve a su rango normal, estas respuestas **se detienen automáticamente**.

El resultado es un sistema estable, que no permite oscilaciones extremas.
Este tipo de control es fundamental para el mantenimiento de la **homeostasis**, ya que previene los cambios bruscos y garantiza que el medio interno permanezca constante.

De hecho, casi todas las funciones fisiológicas (presión arterial, glucemia, pH, temperatura, volumen sanguíneo, etc.) se regulan mediante **retroalimentación negativa**.

⇒ RETROALIMENTACIÓN POSITIVA: EJEMPLO

En esta diapositiva se presenta el **otro tipo de retroalimentación**, la **positiva**, que funciona de modo opuesto a la **negativa**.
Mientras que la retroalimentación negativa **corrige** un cambio para devolver la variable a su valor normal, la retroalimentación positiva **refuerza o amplifica** ese cambio hasta que el proceso se completa.



Podría decirse que este tipo de regulación **acelera** ciertos mecanismos, haciéndolos más intensos, pero solo **por un tiempo limitado**, ya que si continuara sin control podría ser peligrosa.
Por eso, siempre existe un punto final o estímulo que **detiene el ciclo**.

Un ejemplo clásico que aparece en la diapositiva es el **parto humano**:

1. El feto desciende hacia el cuello del útero, estirando el cérvix (cuello uterino).
2. Este estiramiento estimula receptores nerviosos que envían señales al **hipotálamo**.
3. El hipotálamo ordena a la **neurohipófisis** liberar la hormona **oxitocina**.
4. La oxitocina viaja por la sangre hasta el útero y provoca **contracciones más fuertes**, que aumentan todavía más la presión sobre el cuello del útero.
5. Ese aumento de presión refuerza el estímulo inicial y el ciclo continúa.
6. Finalmente, **el nacimiento del bebé interrumpe el estímulo** y el proceso se detiene.

Este es un excelente ejemplo de cómo un mecanismo de retroalimentación positiva se **autoamplifica** hasta alcanzar su objetivo.
Otros ejemplos fisiológicos de este tipo son:

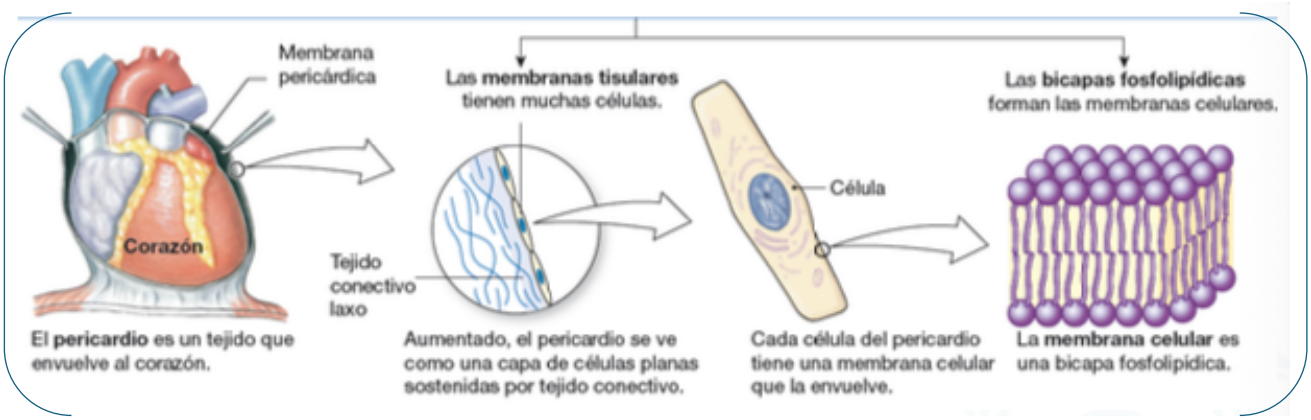
- La **coagulación de la sangre**, donde cada paso activa el siguiente hasta formar el coágulo que cierra la herida.
- La **ovulación**, en la que el aumento de estrógenos provoca más liberación de LH (hormona luteinizante) hasta que se libera el óvulo.

La retroalimentación positiva, por tanto, no busca la estabilidad, sino **la culminación rápida de un proceso biológico**.
Una vez logrado el objetivo, el sistema se apaga y el cuerpo recupera su equilibrio mediante retroalimentación negativa.

⇒ MEMBRANAS DEL ORGANISMO

Ahora comienza un nuevo bloque de contenido.

Hasta ahora hemos hablado de cómo el cuerpo mantiene el equilibrio interno (**homeostasis**); a partir de aquí se explica **cómo las células intercambian sustancias** con el medio que las rodea, lo que solo es posible gracias a las **membranas biológicas**.



En el cuerpo existen tres tipos principales de membranas:

1. **Membranas epiteliales:** recubren superficies externas (como la piel) o internas (revestimiento del aparato digestivo, respiratorio o urinario).

Actúan como barreras protectoras y regulan el paso de sustancias entre el exterior y el interior del cuerpo.

2. **Membranas celulares:** envuelven cada célula, separando el **medio intracelular** del **medio extracelular**.

Son semipermeables, es decir, permiten el paso selectivo de ciertas moléculas y bloquean otras.

3. **Membranas de orgánulos:** se encuentran dentro de las células (como las del núcleo, las mitocondrias o el retículo endoplasmático) y crean compartimentos especializados que permiten realizar funciones específicas.

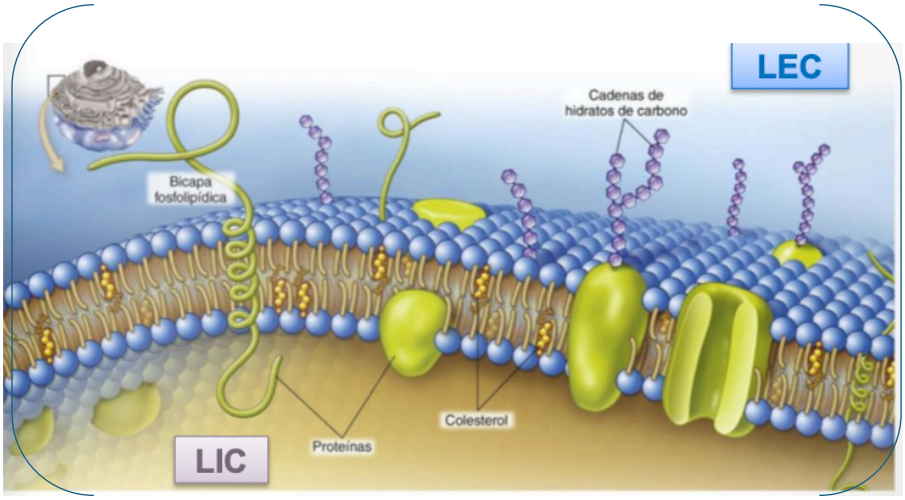
Las membranas son fundamentales para la fisiología porque permiten:

- **Aislar físicamente** el interior de la célula del exterior.
- **Regular los intercambios** de agua, gases, nutrientes y desechos.
- **Comunicar** a las células entre sí mediante señales químicas.
- **Sostener** y dar forma a la célula.

En la diapositiva se subraya que **la función depende de la estructura**: la composición lipídica y proteica de las membranas es lo que les otorga su capacidad selectiva.

⇒ MEMBRANAS CELULARES: FUNCIONES Y ESTRUCTURA

Esta diapositiva se centra en la **membrana plasmática**, la más importante de todas, porque rodea a cada célula.



Está formada por una **bicapa lipídica** con proteínas incrustadas, y actúa como una barrera semipermeable altamente organizada.

Sus principales **funciones fisiológicas** son las siguientes:

1. **Aislamiento físico:**

La membrana separa el medio intracelular (LIC) del extracelular (LEC),

manteniendo condiciones químicas distintas a ambos lados.

2. **Regulación del intercambio con el entorno:**

Controla qué sustancias entran y cuáles salen.

Algunas moléculas pasan libremente (como el oxígeno o el CO_2), mientras que otras necesitan transportadores específicos o gasto de energía.

3. **Comunicación celular:**

Las proteínas de membrana actúan como receptores que detectan señales químicas (hormonas, neurotransmisores) y permiten que las células respondan de forma coordinada.

4. **Sostén estructural:**

La membrana ancla al citoesqueleto interno y conecta la célula con las demás y con la matriz extracelular, manteniendo la forma y la integridad del tejido.

La figura de la diapositiva muestra la **bicapa fosfolipídica**, con sus "cabezas" hidrofílicas orientadas hacia el agua (dentro y fuera de la célula) y sus "colas" hidrofóbicas hacia el interior de la membrana.

Esa estructura doblemente polar es la que permite que la membrana sea **fluida, flexible y selectiva**, características esenciales para el funcionamiento celular.

En resumen, la diapositiva transmite la idea de que **las membranas no son simples envoltorios**, sino **estructuras activas y dinámicas** que hacen posible la comunicación y el intercambio de materiales, garantizando el equilibrio del medio interno.

⇒ MECANISMOS DE TRANSPORTE DE SUSTANCIAS A TRAVÉS DE LAS MEMBRANAS CELULARES

Esta diapositiva introduce el tema de los **mecanismos de transporte del agua y los solutos**, que son los procesos mediante los cuales las sustancias atraviesan la membrana plasmática.

Las membranas, como vimos, son **semipermeables**, lo que significa que permiten el paso selectivo de algunas moléculas, pero no de todas.

El movimiento puede realizarse de dos formas principales:

1. **Transporte pasivo**, que **no requiere energía** (ATP).

Las moléculas se mueven **a favor del gradiente de concentración**, es decir, desde donde están más concentradas hacia donde hay menos.

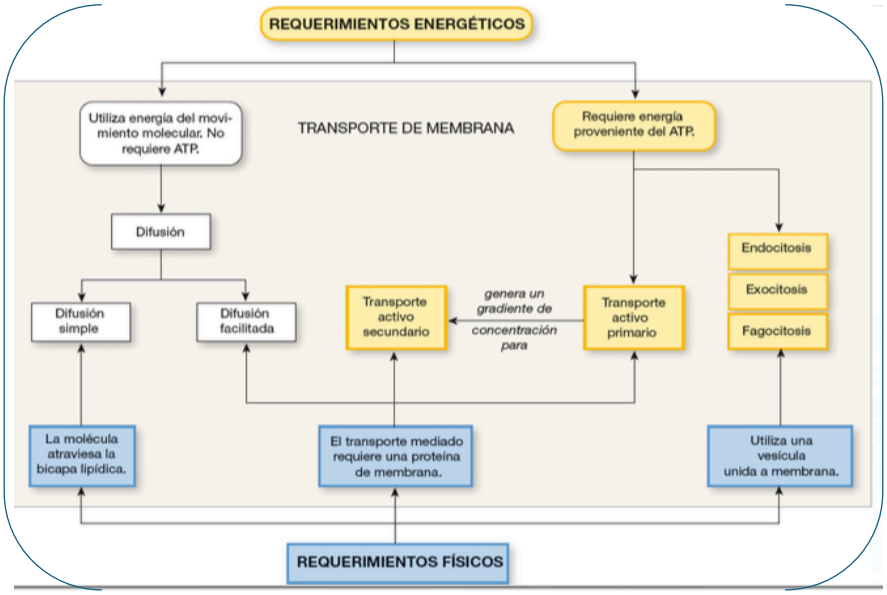
2. **Transporte activo**, que **sí requiere energía**, porque mueve las sustancias **en contra del gradiente de concentración**.

Este tipo de transporte permite acumular o expulsar selectivamente iones y moléculas, aunque eso suponga ir "cuesta arriba" desde el punto de vista energético.

A partir de aquí, las siguientes diapositivas explican con detalle los distintos tipos de transporte pasivo y activo.

⇒ TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS A TRAVÉS DE LA MEMBRANA

En esta diapositiva se presenta una visión general de los tipos de transporte que pueden producirse a través de la membrana celular.



Para que una sustancia atraviese la membrana, su paso depende de:

- Su **tamaño** (las moléculas pequeñas atraviesan más fácilmente).
- Su **polaridad** (las sustancias liposolubles atraviesan mejor que las hidrosolubles).
- Y de la **presencia o no de proteínas transportadoras o canales**.

De modo general, los tipos de transporte se clasifican así:

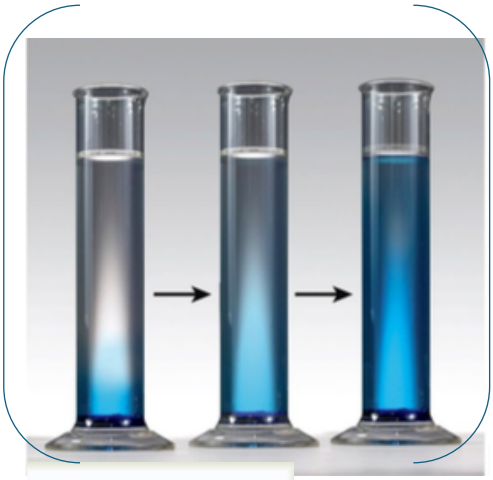
TIPO DE TRANSPORTE	ENERGÍA	DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO	EJEMPLO
Pasivo	No requiere ATP	A favor del gradiente de concentración	Difusión simple o facilitada, ósmosis
Activo	Requiere ATP	En contra del gradiente de concentración	Bombas iónicas, transporte vesicular

Esta diapositiva funciona como esquema general que se desarrollará paso a paso en las siguientes.

⇒ TRANSPORTE PASIVO: DIFUSIÓN

Aquí vemos en detalle el proceso básico del transporte pasivo: la **difusión**.

La difusión es el **movimiento neto de moléculas desde una zona de alta concentración hacia otra de baja concentración**, hasta que las concentraciones se igualan.



Este fenómeno ocurre de forma espontánea y de manera aleatoria, y se debe a la **energía cinética natural de las moléculas**, que se mueven constantemente y chocan entre sí.

No requiere gasto energético por parte de la célula.

En el contexto biológico, la difusión:

- Permite el paso de gases (oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno) a través de las membranas.
- Hace posible la entrada o salida de pequeñas moléculas como el agua o la urea.
- Explica cómo se equilibran los gradientes de solutos dentro y fuera de la célula.



Cuando las concentraciones se igualan, se dice que se ha alcanzado el **equilibrio dinámico**: las moléculas siguen moviéndose, pero sin un flujo neto en una dirección concreta.

El punto esencial de este proceso es entender que **la difusión ocurre "a favor de gradiente"** y **no necesita energía**.

Es el mecanismo más simple y universal de transporte molecular.

⇒ TIPOS DE DIFUSIÓN A TRAVÉS DE LA MEMBRANA

Veamos ahora los distintos modos en que puede producirse la **difusión pasiva** a través de la membrana plasmática.

No todas las moléculas atraviesan de la misma forma; depende de su naturaleza química.

Hay tres modalidades principales:

1. **Difusión simple:**

Las moléculas atraviesan directamente la bicapa lipídica, sin ayuda de proteínas.

Esto solo lo consiguen:

- Sustancias **liposolubles** (como los ácidos grasos, las hormonas esteroideas o las vitaminas lipídicas).
- **Gases** como el O_2, CO_2 o N_2.

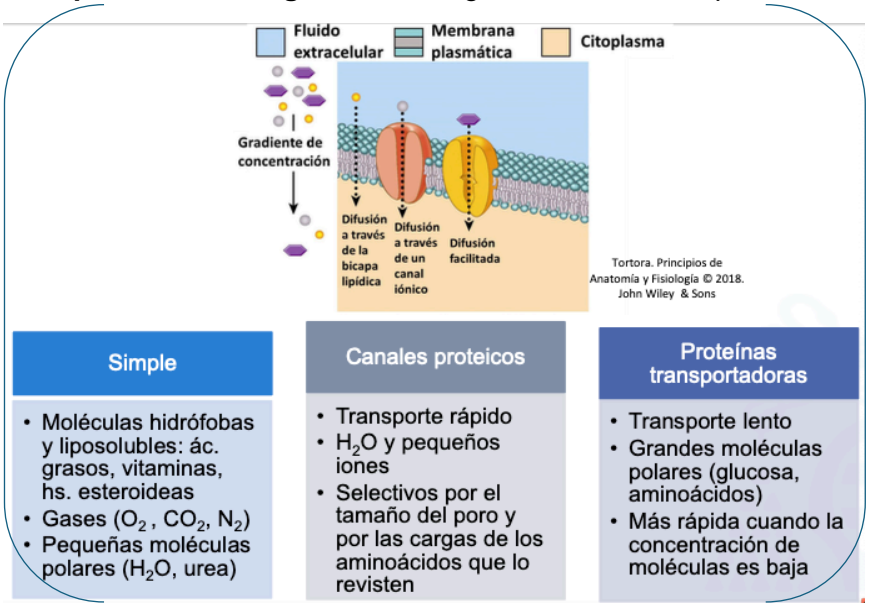
- **Pequeñas moléculas polares sin carga**, como el agua o la urea, aunque con menor rapidez.

2. **Difusión a través de canales proteicos:**

Algunas moléculas o iones, que no pueden atravesar los lípidos, lo hacen por **canales de proteínas** que forman un poro acuoso.

Estos canales son **rápidos** y pueden ser **selectivos** según el tamaño o la carga eléctrica del soluto (por ejemplo, los canales de sodio, potasio o agua —acuaporinas—).

3. **Difusión facilitada mediante proteínas transportadoras:**



En este caso, la sustancia se une a una **proteína transportadora** en un lado de la membrana. La proteína cambia de forma (conformación) y libera la sustancia al otro lado.

Este transporte es **más lento** que el de los canales, pero **permite mover moléculas grandes o polares**, como la **glucosa** o los **aminoácidos**.

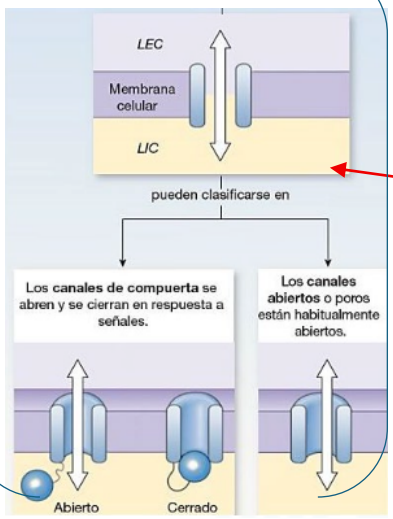
Además, **se satura**: si hay demasiadas moléculas, los transportadores trabajan a su máxima capacidad y no pueden ir más deprisa.

Podemos resumir esta explicación en un cuadro sencillo:

TIPO DE DIFUSIÓN	MECANISMO	EJEMPLOS DE SUSTANCIAS	VELOCIDAD RELATIVA
Difusión simple	A través de la bicapa lipídica	Gases, hormonas esteroideas	Rápida
Canales proteicos	Poros acuosos selectivos	Iones (Na^+, K^+, Cl^-), agua	Muy rápida
Proteínas transportadoras	Cambio conformacional de la proteína	Glucosa, aminoácidos	Moderada

La idea principal que se pretende hacer comprender es que **todas estas modalidades de transporte son pasivas**, es decir, la célula **no gasta energía**: el movimiento se produce siempre **a favor del gradiente de concentración**.

⇒ DIFUSIÓN FACILITADA: TRANSPORTADORES (CANALES PROTEICOS)



Vamos a ver ahora como se aborda el **transporte activo a través de la membrana**: es decir, los mecanismos que permiten a la célula mover sustancias *en contra del gradiente de concentración* (del medio menos concentrado al más concentrado).

Estos procesos son vitales, ya que sin ellos no existiría el equilibrio eléctrico ni químico de las células.

Aunque esta diapositiva todavía pertenece a los mecanismos pasivos, sirve de transición hacia los activos.

Aquí se explican los **canales proteicos**, estructuras especializadas que forman un **poro lleno de agua** a través de la membrana.

Permiten el paso rápido de iones o moléculas pequeñas **a favor de gradiente**.

Hay varios tipos de canales, según el estímulo que los abre o cierra:

1. **Canales operados por voltaje:** se abren cuando cambia el potencial eléctrico de la membrana (por ejemplo, los canales de sodio y potasio en las neuronas).
2. **Canales operados por ligando:** se abren cuando una molécula (ligando) se une a ellos, como un neurotransmisor o una hormona.
3. **Canales operados mecánicamente:** responden a deformaciones físicas, como la presión o el estiramiento (en receptores táctiles o auditivos).
4. **Canales que se abren o cierran al azar:** fluctúan espontáneamente entre ambos estados.

Estos canales **no consumen energía**; simplemente permiten la difusión más eficaz de los solutos.

Sin embargo, su apertura controlada es clave para los fenómenos eléctricos del sistema nervioso, que vamos a ver más adelante.

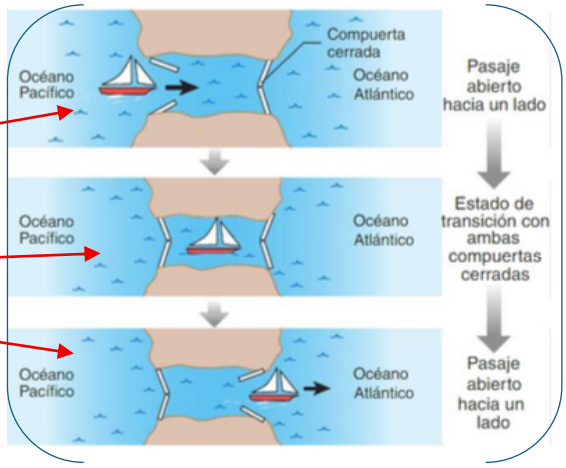
⇒ DIFUSIÓN FACILITADA: PROTEÍNAS TRANSPORTADORAS

En esta diapositiva se muestra otro tipo de transporte pasivo, también llamado **difusión facilitada**, pero realizado por **proteínas transportadoras** en lugar de canales .

A diferencia de los canales (que permanecen abiertos cuando están activos), estas proteínas **nunca forman un túnel continuo** a través de la membrana.

Funcionan mediante un proceso de **cambio conformacional**:

1. La molécula se une a un sitio específico de la proteína.
2. La proteína cambia su forma (como si "girase").
3. Libera la molécula al otro lado de la membrana.



Este tipo de transporte es **más selectivo** y **más lento** que el de los canales, pero permite el paso de moléculas grandes o polares que no pueden difundir libremente.

Un ejemplo clásico es el transporte de **glucosa** en los eritrocitos o en las células musculares, mediado por las proteínas **GLUT** (transportadores de glucosa).

Aunque todavía estamos tratando los proceso pasivos, esta diapositiva marca la transición hacia los mecanismos **activos**, que sí requerirán energía para funcionar.

⇒ DIFUSIÓN FACILITADA: EJEMPLO DE PROTEÍNAS TRANSPORTADORAS

Aquí podemos observar un ejemplo gráfico del proceso descrito antes.

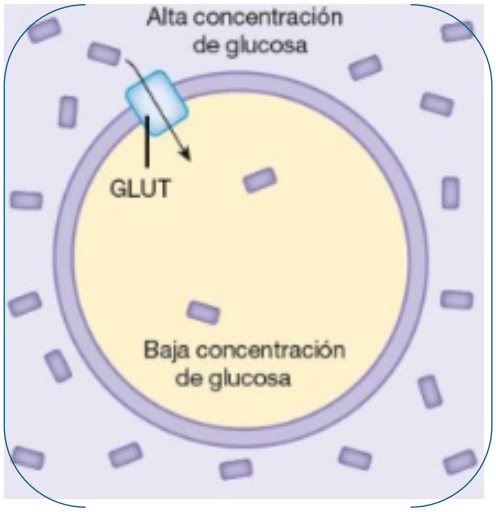
El dibujo muestra cómo la molécula (por ejemplo, la glucosa) se une a la proteína, esta cambia de forma y la libera al otro lado.

Es importante comprender que la dirección del transporte **depende del gradiente de concentración**:

- Si la concentración de glucosa es mayor fuera de la célula, entrará.
- Si es mayor dentro, saldrá.

Nunca puede mover la sustancia en contra del gradiente, porque **no utiliza energía**.

Eso lo hará el transporte activo, que se explica a continuación.



⇒ TRANSPORTE ACTIVO

Aquí empieza el estudio de los **mecanismos activos**, aquellos que sí requieren energía (en forma de ATP).

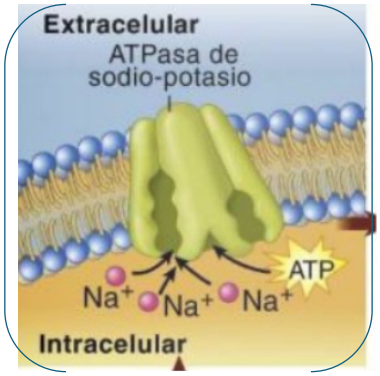
El transporte activo permite mover iones o moléculas **en contra del gradiente electroquímico**, es decir, desde una zona de menor concentración a otra de mayor concentración.

¿PARA QUÉ SIRVE LA BOMBA NA^+/K^+?

1. Mantener el gradiente de concentración Na^+/K^+ a ambos lados de la membrana
2. Regular el volumen celular
3. Permite el transporte activo secundario

El texto y el gráfico de la diapositiva presentan los **tipos de transporte activo**:

1. **Transporte activo primario:**
   - Utiliza directamente la energía del **ATP** para mover sustancias.
   - La proteína transportadora actúa como una **bomba** que consume ATP y realiza el intercambio.
   - Ejemplo principal: la **bomba sodio-potasio (Na^+/K^+ ATPasa)**, que expulsa sodio al exterior e introduce potasio en el interior.
2. **Transporte activo secundario:**
   - No usa ATP directamente, sino la energía almacenada en el gradiente generado por el transporte primario.
   - Por ejemplo, el gradiente de sodio creado por la bomba Na^+/K^+ puede utilizarse para transportar otras sustancias como la glucosa o los aminoácidos (lo veremos más adelante).



El transporte activo es esencial para:

- **Mantener las concentraciones iónicas** adecuadas dentro y fuera de la célula.
- **Regular el volumen celular**, evitando que las células se hinchen o colapsen.
- **Permitir la excitabilidad eléctrica** en neuronas y fibras musculares.

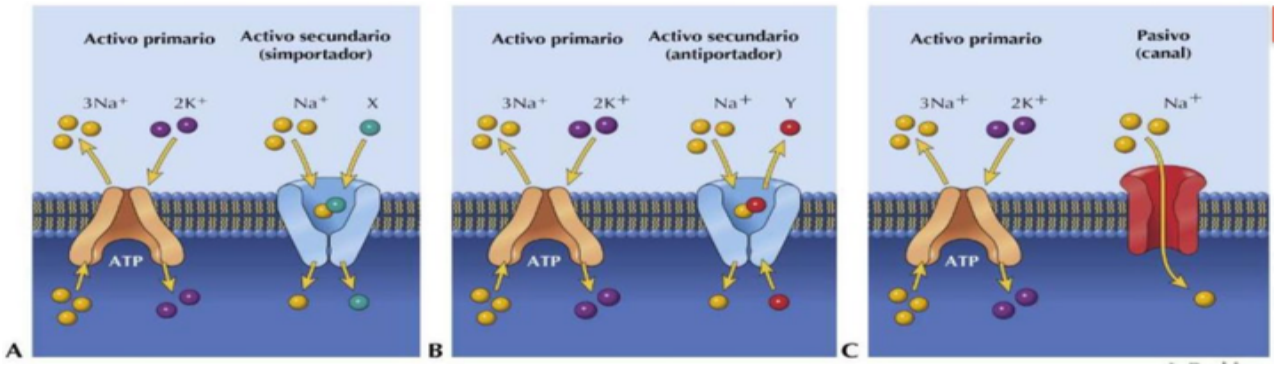
Ahora vamos a profundizar en el ejemplo más importante de transporte activo primario: la **bomba sodio-potasio** — pieza clave de la fisiología celular— y en el **transporte mediado por vesículas**, otro tipo de transporte activo que implica el movimiento de grandes cantidades de material a través de la membrana celular.

⇒ TRANSPORTE ACTIVO: TIPOS Y FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA SODIO-POTASIO

Esta diapositiva nos muestra el mecanismo fundamental del **transporte activo primario por medio** de la **bomba Na^+/K^+ ATPasa**, que está presente en prácticamente todas las células del cuerpo humano.

Se la llama "bomba" porque **utiliza energía química del ATP** para mover iones *en contra* de sus gradientes de concentración.

Cómo funciona la bomba Na^+/K^+ ATPasa



Cada ciclo de funcionamiento realiza tres acciones principales:

A. **Expulsa tres iones de sodio (Na^+)** desde el interior hacia el exterior de la célula.
B. **Introduce dos iones de potasio (K^+)** desde el exterior hacia el interior.
C. **Consume una molécula de ATP**, cuya energía impulsa todo el proceso.

Este intercambio desigual (3 Na^+ salen y 2 K^+ entran) hace que:

- El interior de la célula tenga **más potasio y menos sodio** que el exterior.
- Se mantenga un ligero **desequilibrio eléctrico**, con carga negativa en el interior celular.

Por eso se dice que la bomba **es electrogénica**: contribuye a crear el potencial eléctrico de la membrana (unos –70 mV en reposo).

¿Por qué es tan importante esta bomba?

Las tres funciones esenciales que vemos en imagen:

FUNCIÓN DE LA BOMBA NA^+/K^+ ATPASA	**EXPLICACIÓN**
Mantener los gradientes de concentración de Na^+ y K^+	Garantiza que el sodio permanezca alto fuera y bajo dentro, y el potasio al revés. Estos gradientes son esenciales para el funcionamiento de las neuronas y músculos.
Regular el volumen celular	Evita que la célula se hinche por la entrada de agua (ósmosis). Si el sodio se acumulara dentro, el agua entraría y la célula podría estallar.
Permitir el transporte activo secundario	El gradiente de sodio creado por esta bomba se aprovecha para introducir otras moléculas, como la glucosa o los aminoácidos, en un transporte acoplado (veremos esto más adelante).

Para resumir, esta bomba actúa sin descanso, consumiendo una parte importante de la energía celular (hasta un 40 % del ATP total en algunas células nerviosas).

Sin ella, se perdería el equilibrio iónico y el medio interno de las células se volvería incompatible con la vida.

⇒ TRANSPORTE MEDIADO POR VESÍCULAS (TRANSPORTE ACTIVO VESICULAR)

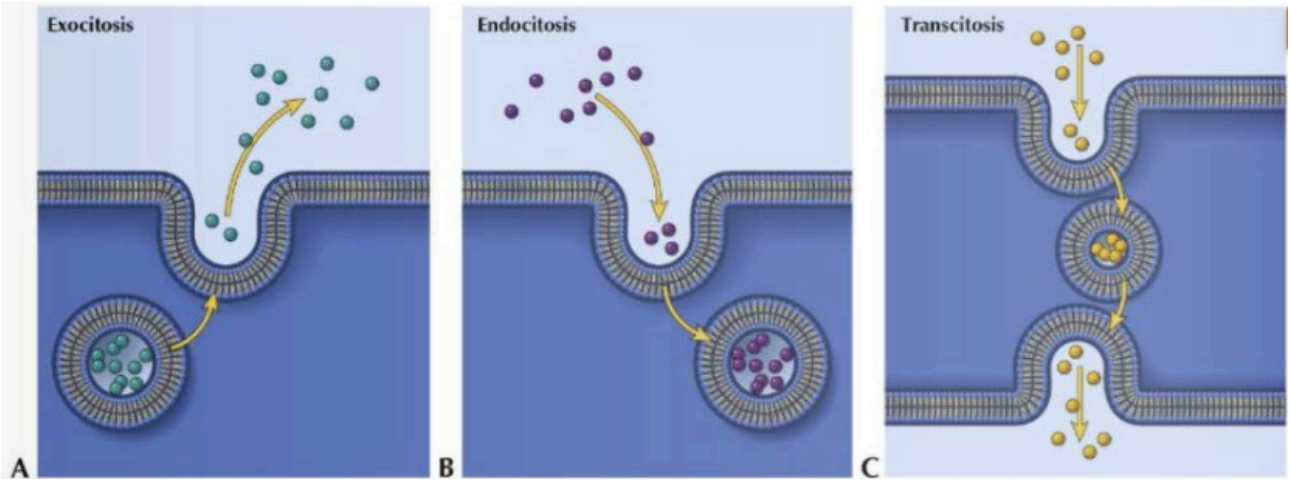
Existe otro tipo de transporte completamente distinto de los anteriores.

En lugar de mover iones o moléculas pequeñas, el **transporte mediado por vesículas** sirve para trasladar **sustancias de gran tamaño o grandes volúmenes de material**.

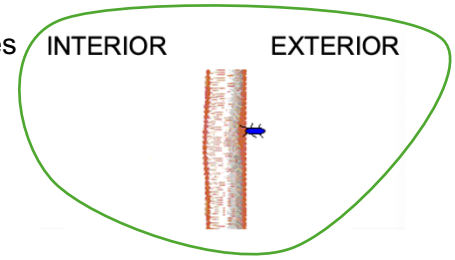
También requiere energía (ATP), por lo que se considera **transporte activo**.

Las **vesículas** son pequeñas estructuras esféricas delimitadas por membrana que se forman por invaginación o fusión con la membrana plasmática.

Existen tres formas principales de transporte vesicular en el "tráfico continuo" de membranas entre el interior y el exterior celular; en la imagen se muestra que el intercambio de material no es estático, sino un proceso dinámico de renovación constante.



A. **Exocitosis:**



Es el proceso opuesto: la célula **expulsa al exterior** materiales que estaban almacenados en vesículas internas.

Ejemplos:

- Secreción de **neurotransmisores** por las neuronas.
- Liberación de **enzimas digestivas** por el páncreas.
- Excreción de **productos de desecho** celulares.

B. **Endocitosis:**

La célula **incorpora sustancias del exterior** formando una vesícula que se "traga" parte del medio extracelular.

Puede ser:

- **Fagocitosis**, cuando se engloban partículas grandes, como bacterias (realizada por macrófagos o glóbulos blancos).
- **Pinocitosis**, cuando se ingieren pequeñas gotas de líquido.
- **Endocitosis mediada por receptor**, cuando la célula capta moléculas específicas (como hormonas o colesterol) mediante receptores de superficie.

C. **Transcitosis:**

Es un mecanismo combinado en el que una sustancia **entra por un lado de la célula, atraviesa su interior y sale por el otro**, sin mezclarse con el citoplasma.

Ocurre, por ejemplo, en las **células del endotelio capilar**, permitiendo el paso selectivo de moléculas entre la sangre y los tejidos.

En conjunto, se ha mostrado cómo las células **mantienen y controlan su medio interno** mediante transportes activos:

- La **bomba Na^+/K^+** actúa sobre iones pequeños para mantener los gradientes electroquímicos.
- Las **vesículas** permiten movilizar sustancias grandes o numerosas de una sola vez.

Ahora vamos a pasar al siguiente bloque: las **propiedades eléctricas de las células y el potencial de membrana,** este bloque marca la transición entre la biofísica del transporte y la excitabilidad nerviosa.

⇒ PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS CÉLULAS

Lo primero que tenemos que considerar es que **todas las células del cuerpo poseen propiedades eléctricas**, no solo las neuronas o las musculares.

Esto se debe a la **distribución desigual de cargas eléctricas** (iones) a ambos lados de la membrana plasmática.

La membrana celular funciona como una especie de **barrera aislante** que separa dos medios cargados de manera distinta:

- El **medio intracelular** (dentro de la célula) tiene mayor concentración de iones potasio (K^+) y proteínas cargadas negativamente.
- El **medio extracelular** (fuera de la célula) contiene más sodio (Na^+) y cloro (Cl^-).

Esa diferencia de concentración genera una **diferencia de potencial eléctrico**, lo que significa que entre el interior y el exterior hay un pequeño "voltaje".

En condiciones normales, el interior de la célula es **eléctricamente negativo** respecto al exterior.

Estas propiedades eléctricas son fundamentales porque permiten que las células **se exciten, transmitan señales y se comuniquen**.

Sin esa polaridad eléctrica no podrían existir fenómenos como los impulsos nerviosos o las contracciones musculares.

⇒ GRADIENTE ELECTROQUÍMICO

Veamos el concepto que está en la base de todas las señales eléctricas del cuerpo: el **gradiente electroquímico**.

Es la **fuerza combinada** que impulsa el movimiento de los iones a través de la membrana celular.

Hay dos componentes que lo determinan:

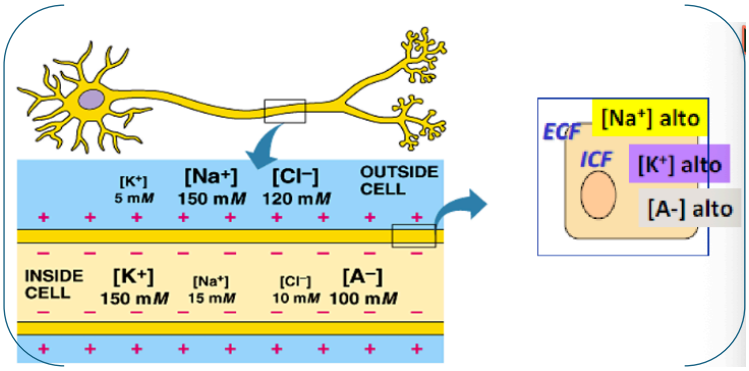
1. **Gradiente de concentración:**

Es la tendencia de las moléculas a moverse desde donde están más concentradas hacia donde hay menos.

Por ejemplo, el potasio (K^+) tiende a salir de la célula, ya que dentro hay más K^+ que fuera.

2. **Gradiente eléctrico:**

Las cargas opuestas se atraen y las iguales se repelen.



Como el interior de la célula es negativo, atrae iones positivos (Na^+, K^+) e impide la entrada de negativos (Cl^-, proteínas).

- Cerca de la membrana plasmática, el compartimiento intracelular no es eléctricamente neutro.
- El citoplasma es eléctricamente negativo frente al LEC: **los compartimientos intra y extracelular no se encuentran en equilibrio eléctrico.**

El **gradiente electroquímico total** resulta de la combinación de ambos efectos.

Cuando las fuerzas se equilibran, el flujo neto de iones se detiene: se alcanza el llamado **potencial de equilibrio** para ese ion.

Este equilibrio, sin embargo, es dinámico: los iones continúan entrando y saliendo, pero sin que se produzca un cambio neto en la carga eléctrica total.

⇒ POTENCIAL DE MEMBRANA

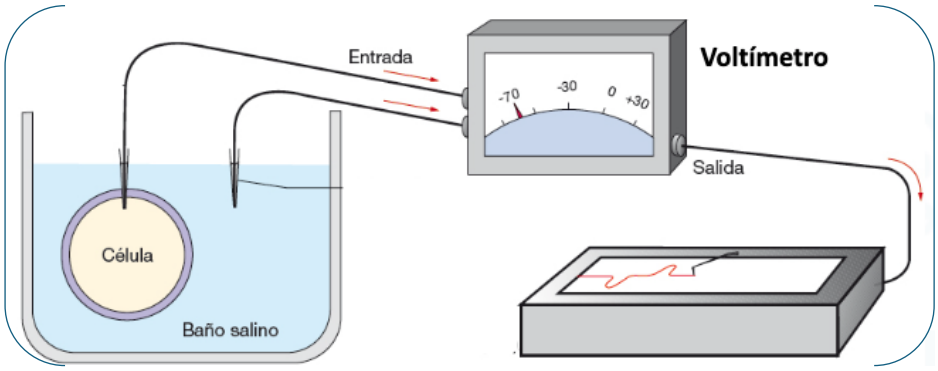
El potencial de membrana se define como la **diferencia de potencial eléctrico (voltaje)** entre el interior y el exterior de la membrana plasmática celular.

Cuando la célula está en reposo (sin enviar señales), este voltaje se denomina **potencial de membrana en reposo (PMR)**.

En la mayoría de las células, el interior es negativo respecto al exterior, con valores que oscilan entre **–60 y –90 milivoltios (mV)** según el tipo celular.

Este potencial se mide con un **voltímetro**, colocando un electrodo dentro y otro fuera de la célula.

El valor negativo indica que el interior está cargado negativamente en comparación con el medio externo.



La existencia de este potencial es esencial: es la "base energética" que permite la **excitación eléctrica** en neuronas y fibras musculares.

Gracias a él, la célula puede responder rápidamente a estímulos y generar impulsos eléctricos (potenciales de acción).

⇒ ¿POR QUÉ EL POTENCIAL DE MEMBRANA ES NEGATIVO?

Veamos cuales son las causas fisiológicas del **potencial de membrana en reposo** (PMR).

1. **Permeabilidad selectiva de la membrana:**

La membrana celular es mucho más permeable al **potasio (K^+)** que al **sodio (Na^+)**, unas 40 veces más.

Esto significa que el K^+ puede salir de la célula con facilidad, mientras que el Na^+ entra con dificultad.

Al salir el potasio (ion positivo), va dejando tras de sí cargas negativas (proteínas y fosfatos), haciendo que el interior sea negativo.

2. **Cargas fijas negativas:**

Dentro de la célula hay proteínas y compuestos fosfatados con carga negativa que no pueden atravesar la membrana.

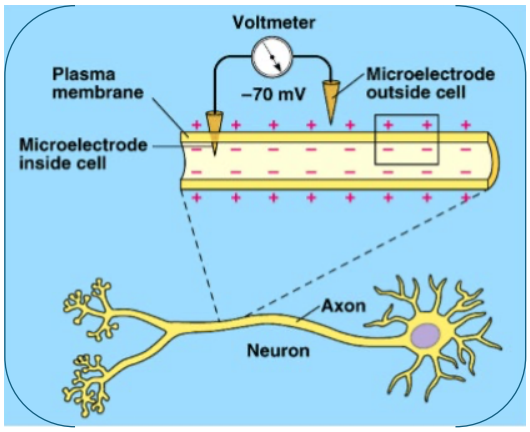
Estas contribuyen a mantener la carga negativa interior.

3. **Acción de la bomba Na^+/K^+ ATPasa:**

Esta bomba, al expulsar tres Na^+ e introducir solo dos K^+, genera un pequeño exceso de carga positiva fuera de la célula.

Ese desequilibrio eléctrico (5–20 % del total del PMR) contribuye a que el interior quede más negativo.

Por eso se dice que la bomba es **electrogénica**.



En conjunto, estos tres factores explican por qué el interior de una célula típica tiene un potencial cercano a **–70 mV**.

Esa diferencia de carga es lo que prepara a las células excitables (nerviosas, musculares o cardíacas) para transmitir señales eléctricas.

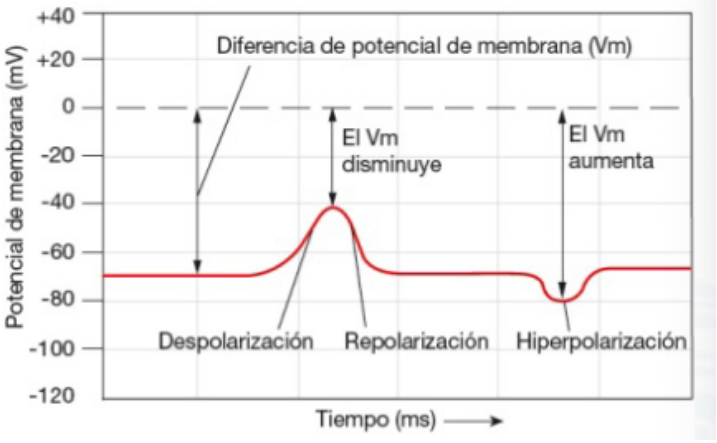
⇒ MODIFICACIONES EN EL POTENCIAL DE MEMBRANA

¿Qué ocurre cuando cambian las condiciones de permeabilidad de la membrana?

El potencial de membrana no es un valor fijo: puede modificarse según entren o salgan distintos iones.

Los tres cambios fundamentales son:

TIPO DE CAMBIO	CAUSA	EFECTO SOBRE LA CÉLULA
Despolarización	Entrada de iones positivos (Na^+ o Ca^{2+})	El interior se vuelve menos negativo (más positivo). Es el inicio de una señal eléctrica.
Repolarización	Salida de K^+ después de la despolarización	La célula recupera su potencial de reposo.
Hiperpolarización	Salida excesiva de K^+ o entrada de Cl^-	El interior se vuelve más negativo que el valor normal. La célula queda inhibida o menos excitable.



No **es necesario invertir completamente los gradientes de concentración** para producir estas variaciones; basta con pequeños movimientos de iones a través de los canales.

Estas fluctuaciones del potencial de membrana son las responsables de los **potenciales eléctricos** que veremos a continuación.

Ahora pasamos a ver los **potenciales de acción** y **potenciales graduados**, y con ellos, la parte más dinámica de la fisiología celular: la **excitabilidad**.

⇒ EXCITABILIDAD

La **excitabilidad** es una propiedad fundamental de las **células nerviosas y musculares**.

- **Excitabilidad** significa la **capacidad de una célula para responder a un estímulo y convertirlo en una señal eléctrica**.
- Un **estímulo** es cualquier cambio en el medio (interno o externo) que sea lo bastante intenso como para alterar el potencial de membrana.

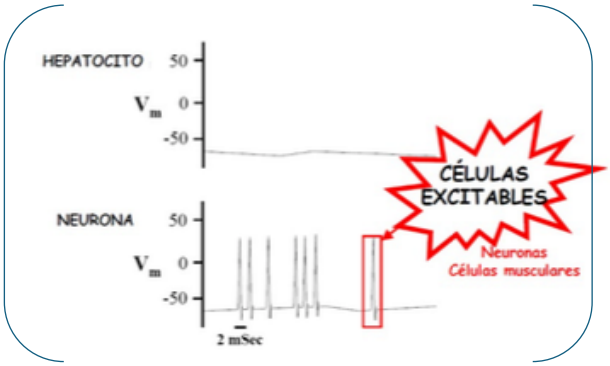
El **potencial de membrana en reposo (PMR)**, que explicamos antes, es indispensable para que una célula sea excitable.

Cuando un estímulo modifica ese potencial (por ejemplo, al entrar sodio en la célula), se inicia una serie de cambios eléctricos que pueden propagarse rápidamente.

Las células excitables —neuronas, músculo esquelético, músculo liso y cardíaco— **transmiten señales eléctricas** a lo largo de su membrana.

En las neuronas, esas señales permiten la comunicación entre diferentes partes del cuerpo; en el músculo, desencadenan la contracción.

La idea clave es que la **excitación eléctrica** es un fenómeno controlado, reversible y esencial para la función de los tejidos que "actúan" en el cuerpo: pensar, moverse, respirar, latir.



La propiedad de las células nerviosas y las células musculares que las caracteriza como **células excitables** es su capacidad para PROPAGAR señales eléctricas rápidamente en respuesta a un estímulo

⇒ LAS NEURONAS TRANSPORTAN SEÑALES ELÉCTRICAS

Las **neuronas**, que son las células funcionales especializadas del sistema nervioso, están estructuradas para **recibir, procesar y transmitir impulsos eléctricos**.

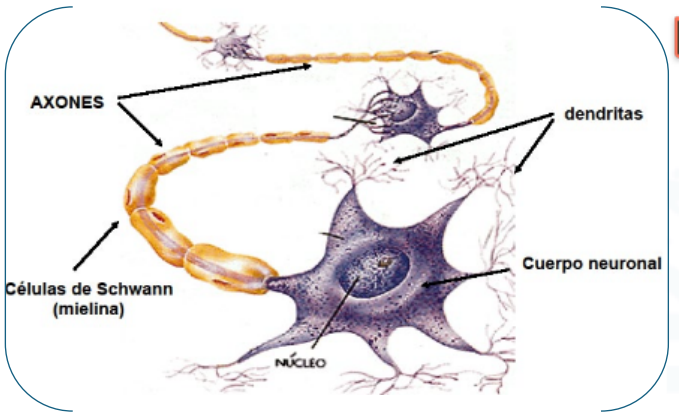
- Responden a estímulos físicos y químicos
- Producen y conducen impulsos electroquímicos: generan y conducen **potenciales de acción**

Se muestran tres partes principales:

1. **Cuerpo celular o soma:** Contiene el núcleo y la maquinaria metabólica de la neurona.

Es el "centro vital" donde se integran las señales que llegan desde otras células.

2. **Dendritas:** Son prolongaciones cortas y ramificadas que **reciben señales** (generalmente eléctricas o químicas) de otras neuronas.



Actúan como antenas captadoras de información.

3. **Axones:** Son prolongaciones larga y delgada que **conduce la señal eléctrica** (el potencial de acción) desde el cuerpo celular hacia otras neuronas, músculos o glándulas.

Al final del axón, las señales se transmiten por medio de una sinapsis.

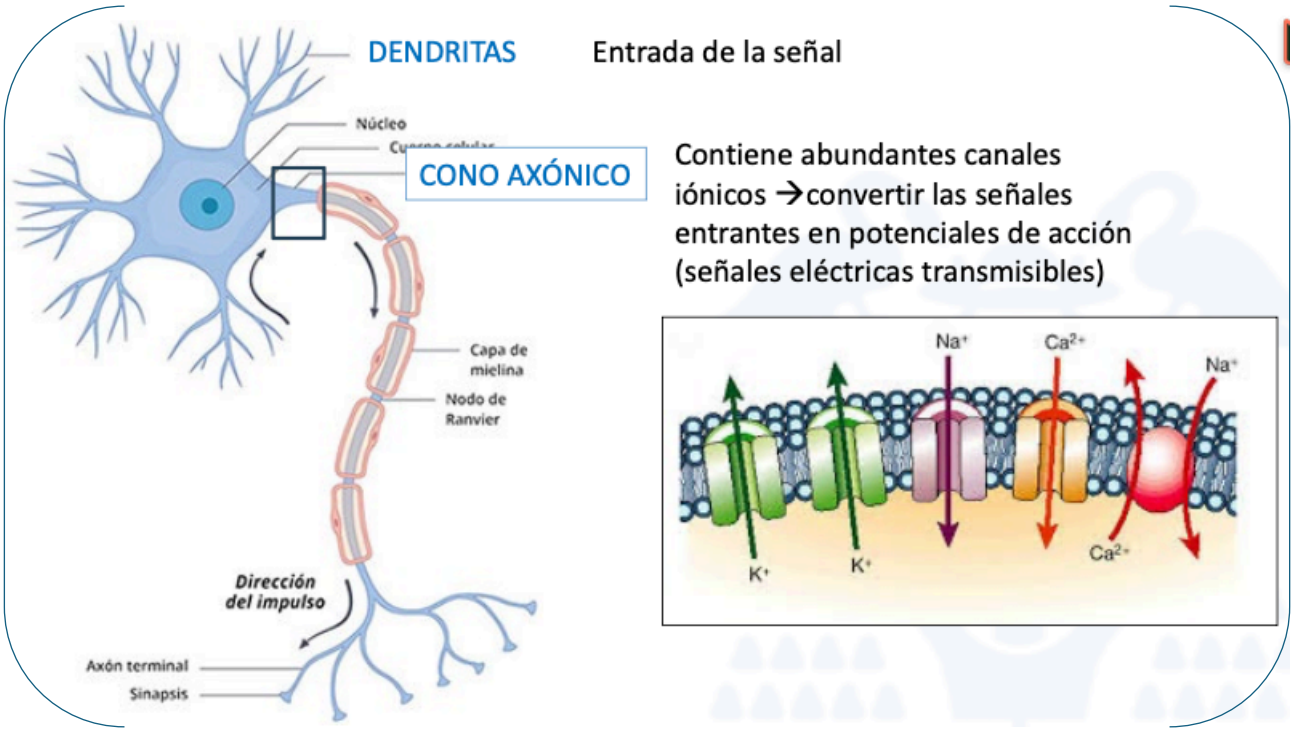
En conjunto, la neurona funciona como un **cable biológico**: recibe información (dendritas), la integra (soma) y la transmite (axón).

El potencial de acción es la corriente eléctrica que recorre ese "cable" celular.

⇒ DENDRITAS Y CONO AXÓNICO

Ahora nos vamos a centrar en una región crucial: el **cono axónico**, que es el punto donde el cuerpo celular se continúa con el axón.

Ahí es donde **se generan los potenciales de acción**.



Las **dendritas** actúan como la entrada de señales: reciben múltiples estímulos, eléctricos o químicos.

Estas señales se suman e integran en el soma.

Si la suma total alcanza un nivel suficiente (llamado **potencial umbral**, generalmente de unos –55 mV), entonces el **cono axónico** dispara un **potencial de acción**.

El cono axónico tiene una **alta densidad de canales iónicos dependientes de voltaje**, especialmente de sodio (Na^+).

Cuando se supera el umbral, esos canales se abren rápidamente, permitiendo la entrada masiva de sodio, lo que **invierte temporalmente la polaridad** de la membrana (el interior pasa a ser positivo).

Ese cambio brusco de voltaje es lo que se conoce como **potencial de acción**, y se propagará a lo largo del axón hasta llegar al extremo de la neurona.

⇒ DEFINICIÓN DE SINAPSIS

Antes de describir cómo se propaga la señal, vamos a ver el concepto de **sinapsis**, que es la **unión funcional entre una neurona y otra célula**, que puede ser:

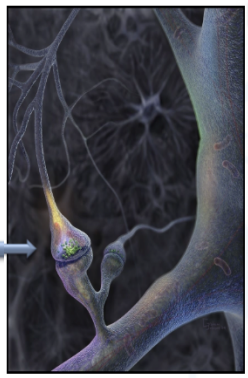
- Otra neurona,
- Una fibra muscular,
- O una célula glandular.

En la sinapsis, el **extremo del axón (terminal axónico)** de una neurona entra en contacto con la membrana de la célula receptora.

A través de ese punto de contacto, la señal eléctrica se transforma en una **señal química** mediante la liberación de **neurotransmisores**.

La sinapsis es, por tanto, la "frontera" entre la conducción eléctrica (dentro de la neurona) y la comunicación química (entre células).

Es el lugar donde la información se **transmite, modula o bloquea**, según las necesidades del sistema nervioso.



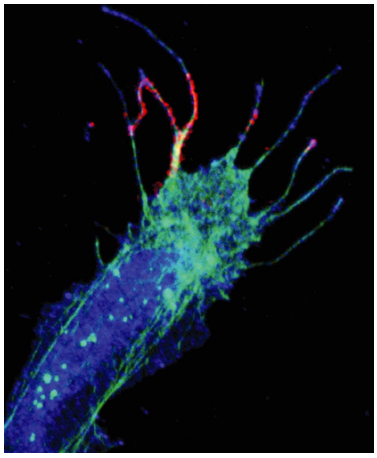
Un terminal axónico contacta con una neurona u otra célula

⇒ CRECIMIENTO Y PLASTICIDAD NEURONAL

Aunque esta diapositiva que nos mostró la profesora se sale ligeramente del hilo principal, aporta una idea muy interesante: la capacidad del sistema nervioso de **adaptarse y modificarse**.

Muestra **conos de crecimiento** en los axones de neuronas en desarrollo.

Estas estructuras responden a **señales químicas** (factores de crecimiento, proteínas de membrana, componentes de la matriz extracelular) que guían el crecimiento del axón hacia su destino.



El texto también habla de los **factores neurotróficos**, sustancias que promueven la supervivencia y el mantenimiento de las neuronas.

La expresión "úsalo o piérdelo" hace referencia a que las conexiones neuronales se fortalecen o desaparecen según su actividad:

- Una neurona activa mantiene sus sinapsis; una inactiva las pierde.

El **encéfalo de un lactante** representa solo un 25 % del tamaño de un adulto, pero su plasticidad (capacidad de reorganizar sus conexiones) es enorme.

Y aunque esa plasticidad disminuye con la edad, **continúa durante toda la vida**, permitiendo el aprendizaje y la memoria.

⇒ POTENCIAL GRADUADO Y POTENCIAL DE ACCIÓN

Veamos el funcionamiento de los **dos tipos de señales eléctricas** que pueden generarse en las células excitables como consecuencia de los cambios del PMR en respuesta a un estímulo:

TIPO DE SEÑAL	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	ALCANCE
Potencial graduado	- Varía en amplitud según la intensidad del estímulo. - Se produce localmente (en dendritas o soma). - Puede ser despolarizante o hiperpolarizante. - Se propaga con decremento, es decir, se debilita con la distancia.	Corto alcance, comunicación local.
Potencial de acción	- Siempre tiene la misma amplitud ("todo o nada"). - Es una señal activa que no se debilita. - Se propaga a lo largo de todo el axón. - Permite el transporte de información a larga distancia.	Largo alcance, conducción nerviosa.

El **potencial graduado** es el paso previo al **potencial de acción**: si su intensidad alcanza el **umbral**, se dispara el potencial de acción en el cono axónico.

Ambos fenómenos dependen de la apertura y cierre de **canales iónicos regulados por voltaje**, que controlan el paso de Na^+, K^+, Ca^{2+} o Cl^-.

Ahora pasamos a explicar cómo se forma y se transmite un **potencial de acción**.

⇒ POTENCIALES GRADUADOS (O LOCALES)

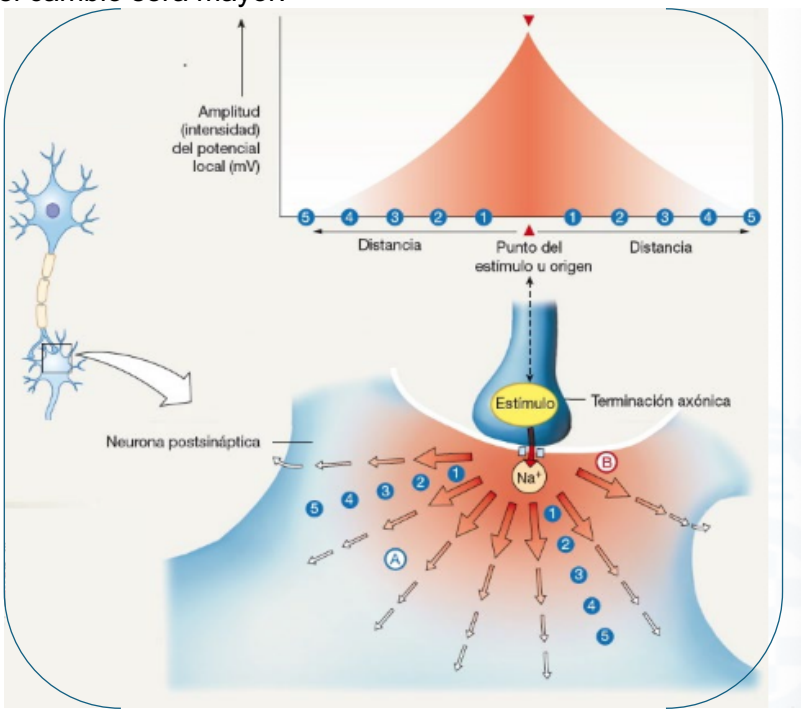
Vamos a profundizar en el concepto de **potencial graduado**, que se produce principalmente en las **dendritas y el soma** de las neuronas.

Se les llama "graduados" porque su **amplitud o intensidad varía** en función del estímulo que los genera.

- Si el estímulo es débil, el cambio en el voltaje será pequeño.
- Si el estímulo es más fuerte, el cambio será mayor.

Estos potenciales pueden ser:

- **Despolarizantes**: el interior de la célula se vuelve menos negativo (por entrada de Na^+ o Ca^{2+}).
- **Hiperpolarizantes**: el interior se vuelve más negativo (por salida de K^+ o entrada de Cl^-).



A diferencia del potencial de acción, los potenciales graduados **no se propagan a larga distancia**.

Se extienden por la membrana de forma pasiva y **se debilitan progresivamente**; por eso se dice que se transmiten "con decremento".

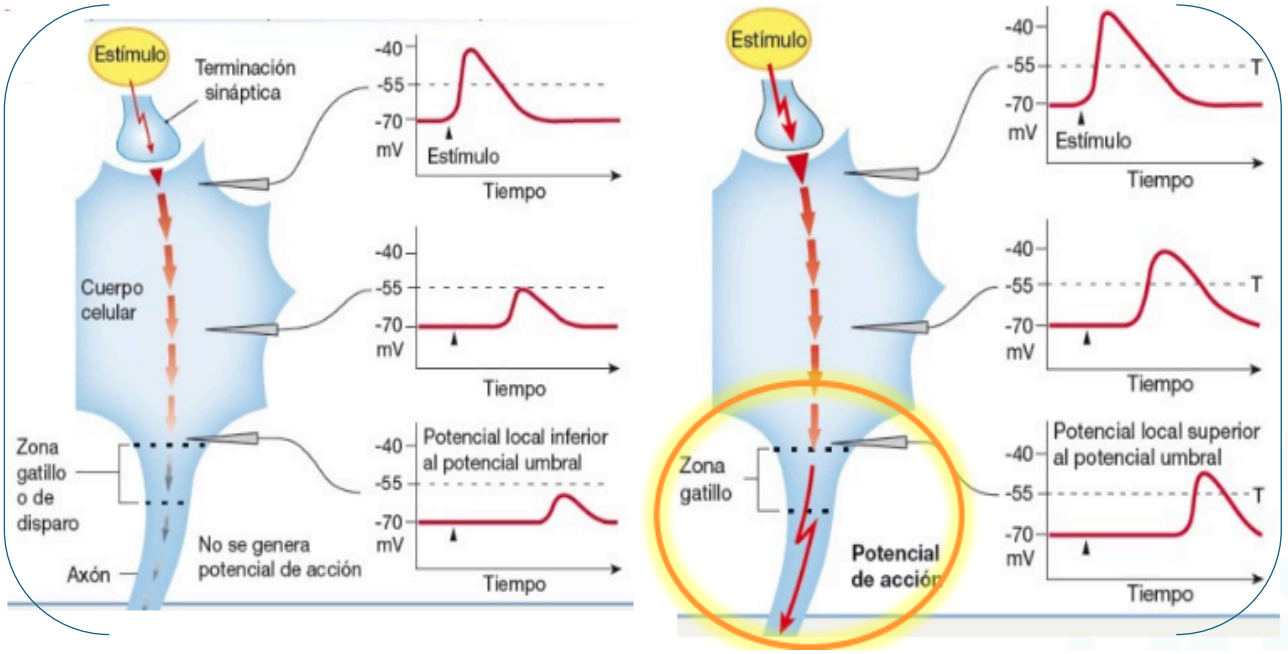
La onda de despolarización que se desplaza por la célula se conoce como **Flujo De Corriente Local**.

Además, pueden ser **bidireccionales**, desplazándose en ambas direcciones desde el punto donde se originaron.

Cuando varios potenciales graduados coinciden en el tiempo y lugar, **sus efectos se suman** (sumación espacial y temporal).

Si la suma alcanza el **potencial umbral**, se desencadena un **potencial de acción** en el cono axónico.

⇒ POTENCIALES SUBUMBRALES Y SUPRAUMBRALES



Esta diapositiva representa gráficamente los conceptos de **umbral**, **subumbral** y **supraumbral**, que son esenciales para entender cuándo una neurona se activa.

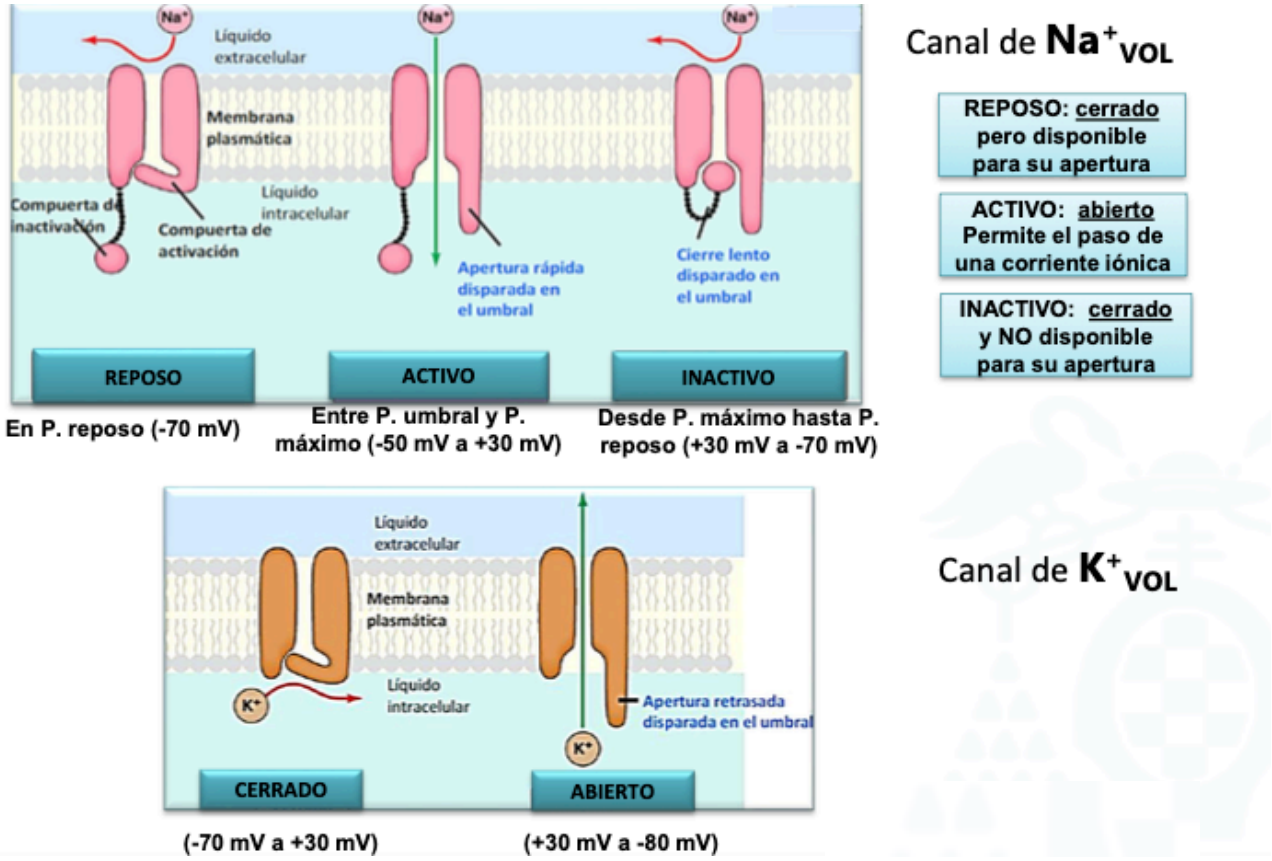
- **Potencial subumbral:** el estímulo no alcanza la intensidad suficiente para generar un potencial de acción; la membrana se despolariza un poco, pero vuelve a su estado inicial sin respuesta propagada.
- **Potencial umbral:** es el valor mínimo de despolarización necesario para abrir los canales de sodio dependientes de voltaje (generalmente alrededor de –55 mV).
- **Potencial supraumbral:** si el estímulo supera el umbral, se abre un número suficiente de canales de sodio para desencadenar el **potencial de acción completo**.

Este fenómeno obedece a la ley del **"todo o nada"**:

Una vez que se alcanza el umbral, el potencial de acción **siempre tiene la misma amplitud**, independientemente de la fuerza adicional del estímulo.

Un estímulo más fuerte no produce un potencial de acción mayor, sino **más potenciales de acción seguidos**.

⇒ PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS CANALES DE NA^+ Y K^+



Aquí se explica la base molecular del potencial de acción: el comportamiento de los **canales iónicos de sodio (Na^+)** y **potasio (K^+)** dependientes de voltaje.

Ambos canales se abren y cierran en momentos diferentes, y esa secuencia produce las fases del impulso nervioso.

Canales de Na^+ dependientes de voltaje

Tienen **dos compuertas**:

- Una **de activación**, que se abre rápidamente cuando la membrana se despolariza.
- Una **de inactivación**, que se cierra poco después, deteniendo la entrada de sodio.

Estados posibles:

1. **Reposo:** cerrado pero preparado para abrirse.
2. **Activo:** abierto, permite la entrada rápida de Na^+ (fase ascendente del potencial de acción).

3. **Inactivo:** cerrado y temporalmente no disponible para volver a abrirse (fase de repolarización).

Canales de K^+ dependientes de voltaje

- Solo tienen una compuerta, que **se abre lentamente** después de que el Na^+ haya entrado.
- Permiten la **salida de K^+**, lo que repolariza la membrana y restaura la negatividad interior.

La alternancia de la entrada de Na^+ y la salida de K^+ explica la forma típica del potencial de acción.

⇒ FASES DEL POTENCIAL DE ACCIÓN

Veamos ahora paso a paso el desarrollo completo del **potencial de acción**.
Vamos a repasarlo fase por fase:

1. **Potencial de reposo (≈ –70 mV):**

La célula está polarizada; la bomba Na^+/K^+ mantiene los gradientes normales.

2. **Estímulo despolarizante:**

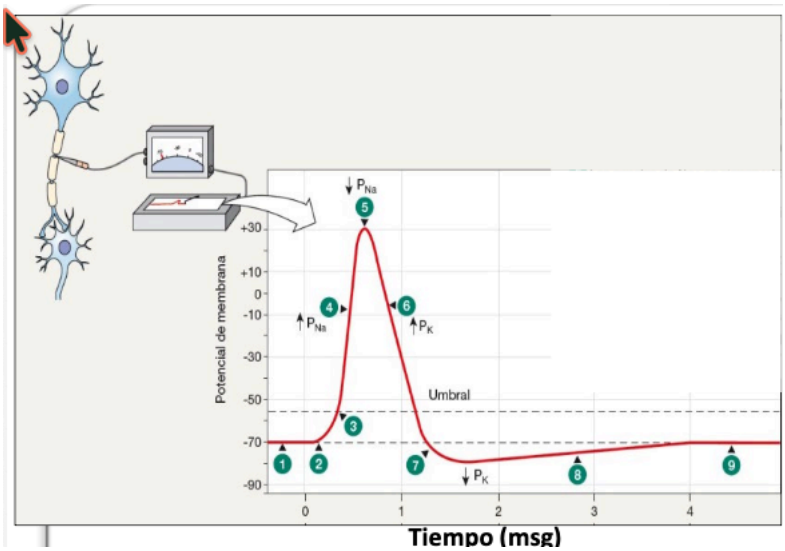
Llega un potencial graduado que reduce la negatividad de la membrana.

3. **Fase de umbral:**

Si el voltaje alcanza el valor crítico (–55 mV), se abren los canales de Na^+.

4. **Despolarización:**

El Na^+ entra rápidamente, el interior se vuelve positivo (puede llegar a +30 mV).



5. **Cierre de canales de Na^+ y apertura de canales de K^+:**

El sodio deja de entrar y el potasio comienza a salir.

6. **Repolarización:**

La salida de K^+ devuelve la membrana hacia valores negativos.

7. **Hiperpolarización:**

Los canales de K^+ tardan en cerrarse, permitiendo una salida extra de iones. El interior se vuelve más negativo que el valor de reposo.

8. **Restablecimiento:**

La bomba Na^+/K^+ restablece las concentraciones normales y el potencial de reposo.

El potencial de acción es un proceso rápido: **dura solo unos pocos milisegundos**, pero es suficiente para transmitir señales a lo largo del axón.

⇒ FACTORES QUÍMICOS QUE ALTERAN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

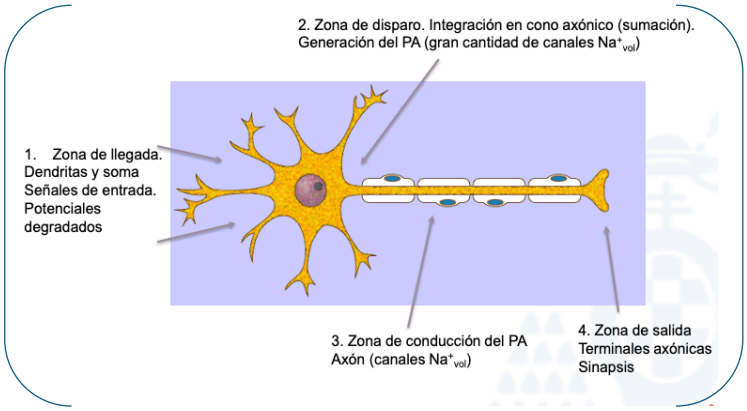
Existen **sustancias químicas externas** que pueden afectar la excitabilidad neuronal al interferir con los canales de sodio, potasio o calcio. Esto es importante tenerlo en cuenta para entender de qué manera **el conocimiento fisiológico de los canales iónicos** tiene aplicaciones clínicas directas en medicina y farmacología.

Algunos ejemplos:

- **Tetrodotoxina (TTX):** presente en el pez globo; bloquea los canales de Na^+ e impide la generación de potenciales de acción. Es letal.
- **Anestésicos locales** (como procaína, novocaína o lidocaína): estabilizan la membrana neuronal, bloquean los canales de Na^+ y **evitan que los impulsos de dolor se propaguen** hacia el sistema nervioso central.
- **Venenos o fármacos** que alteran el flujo de Ca^{2+} o K^+ también modifican la excitabilidad y pueden causar parálisis, convulsiones o arritmias.

⇒ MOVIMIENTO DE LA SEÑAL ELÉCTRICA A LO LARGO DE UNA NEURONA

Veamos ahora de qué manera el **potencial de acción, una vez generado, se propaga** desde el punto de origen (cono axónico) hacia el extremo del axón.



El proceso se desarrolla en cuatro zonas:

1. **Zona de llegada:**

Dendritas y soma, donde llegan los estímulos en forma de potenciales graduados.

2. **Zona de disparo:**

El cono axónico, donde se integran las señales y, si se alcanza el umbral, se genera el potencial de acción.

3. **Zona de conducción:**

El axón, por donde el potencial de acción se propaga gracias a la apertura secuencial de canales de Na^+ y K^+.

La señal se transmite sin perder intensidad (a diferencia de los potenciales graduados).

4. **Zona de salida:**

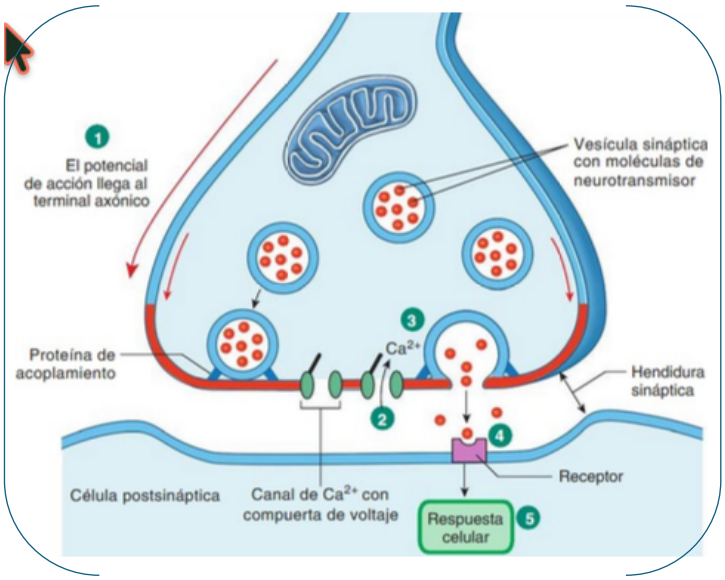
Los terminales axónicos, donde la señal eléctrica desencadena la **liberación de neurotransmisores** hacia la siguiente célula (sinapsis).

Esta organización permite que la información viaje **en un solo sentido**: desde el cuerpo celular hacia el terminal axónico.

⇒ PASOS EN LA TRANSMISIÓN SINÁPTICA

Finalmente, esta diapositiva explica de forma detallada cómo se produce la **comunicación entre neuronas** en la sinapsis, combinando procesos eléctricos y químicos.

1. El **potencial de acción** llega a a la neurona del **terminal presináptico**.
2. La despolarización abre **canales de Ca^{2+}** dependientes de voltaje, permitiendo la entrada de calcio.
3. El calcio provoca la **fusión de las vesículas sinápticas** con la membrana del terminal.
4. Se libera el **neurotransmisor** (por exocitosis) al espacio sináptico.
5. El neurotransmisor se une a **receptores específicos** en la membrana de la célula postsináptica.
6. Esa unión abre canales iónicos, modificando el potencial de la célula receptora.



Cuanto más neurotransmisor se libera, mayor es el cambio eléctrico (mayor respuesta postsináptica).

7. Finalmente, el neurotransmisor se **retira del espacio sináptico** mediante degradación enzimática o recaptación, terminando así la señal.

Este proceso dura solo **milisegundos** y garantiza que la comunicación neuronal sea **rápida, precisa y direccional**.

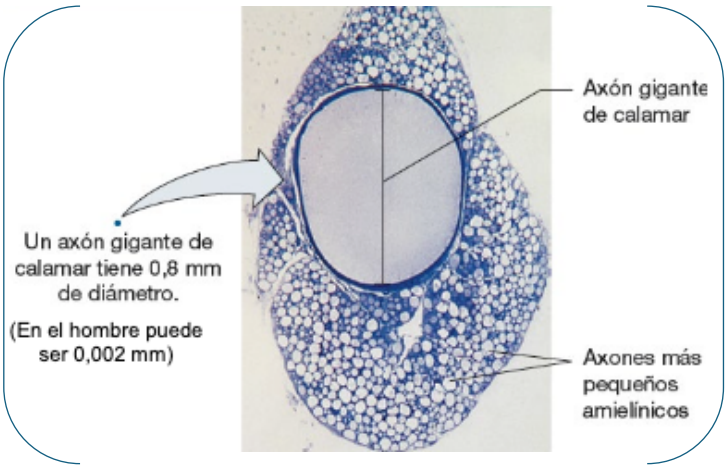
El impulso nervioso **viaja eléctricamente** dentro de la neurona y se **transmite químicamente** entre neuronas.

Veamos ahora **de qué depende la velocidad con que se conduce el impulso nervioso**, qué papel juega la **mielina** y cómo se **clasifican las fibras nerviosas**.

⇒ VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN

Vamos a ver los **factores que determinan la rapidez** con que se transmite un potencial de acción a lo largo del axón.

Aunque todos los potenciales de acción son iguales en intensidad (siguen la ley del "todo o nada"), **no todas las neuronas los conducen a la misma velocidad**.



Los dos factores principales son:

1. **El diámetro del axón.**

Cuanto más grueso es el axón, menor es su resistencia interna al paso de corriente eléctrica.

En consecuencia, los axones más grandes **conducen más rápido**.

En el ser humano, el diámetro de un axón típico puede ser de solo 0,002 mm, pero pequeñas diferencias bastan para modificar la velocidad de transmisión.

2. **El grado de mielinización.**

Las fibras nerviosas recubiertas por una **vaina de mielina** (aislante eléctrico) conducen los impulsos con mucha mayor rapidez que las fibras no mielinizadas.

La mielina impide la fuga de iones y concentra el flujo eléctrico en puntos específicos del axón llamados **nodos de Ranvier**.

La velocidad de conducción es, por tanto, una **propiedad anatómica y fisiológica combinada**, que depende tanto de la estructura del axón como de su recubrimiento.

⇒ RESISTENCIA DE LA MEMBRANA Y CONDUCCIÓN SALTATORIA

Ahora se desarrolla el segundo factor: el papel de la **mielina**.

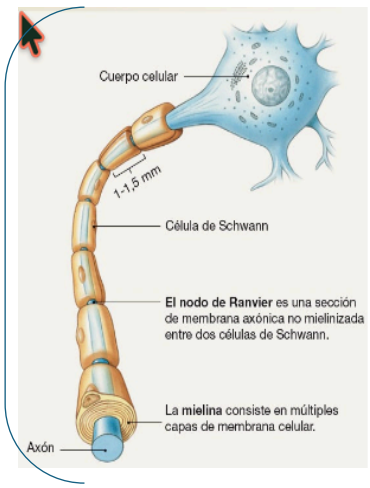
La mielina es una **cubierta lipídica** que envuelve segmentos del axón, dejando entre ellos pequeños espacios llamados **nodos de Ranvier**.

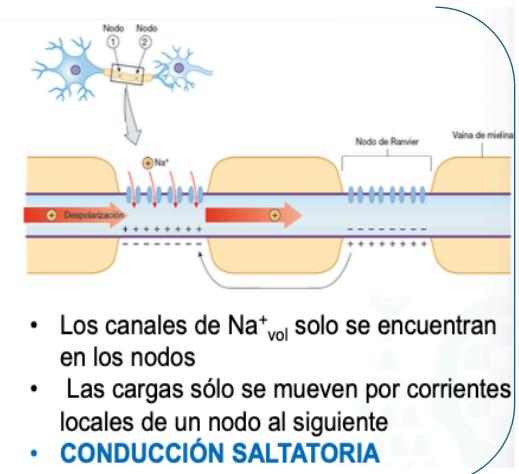
En las zonas mielinizadas no hay canales de sodio, de modo que el potencial de acción **no se genera de forma continua**, sino que **salta de nodo a nodo**.

Este fenómeno se llama **conducción saltatoria** (*del latín saltare, "saltar"*).

Tiene tres ventajas fisiológicas importantes:

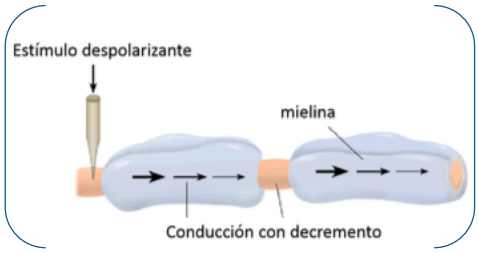
1. **Mayor velocidad:** la señal eléctrica viaja mucho más deprisa, ya que los canales se abren solo en los nodos (cada 1–2 mm).
2. **Menor gasto energético:** la bomba Na^+/K^+ solo necesita restablecer el equilibrio en los nodos, no a lo largo de todo el axón.
3. **Protección estructural:** la mielina actúa como aislante y refuerza la integridad física del axón.





Así, mientras una fibra nerviosa sin mielina transmite los impulsos lentamente, una mielinizada puede ser **decenas de veces más rápida**.

⇒ CONDUCCIÓN SALTATORIA: CARACTERÍSTICAS



Esta diapositiva amplía el concepto de **conducción saltatoria** y sus ventajas fisiológicas.

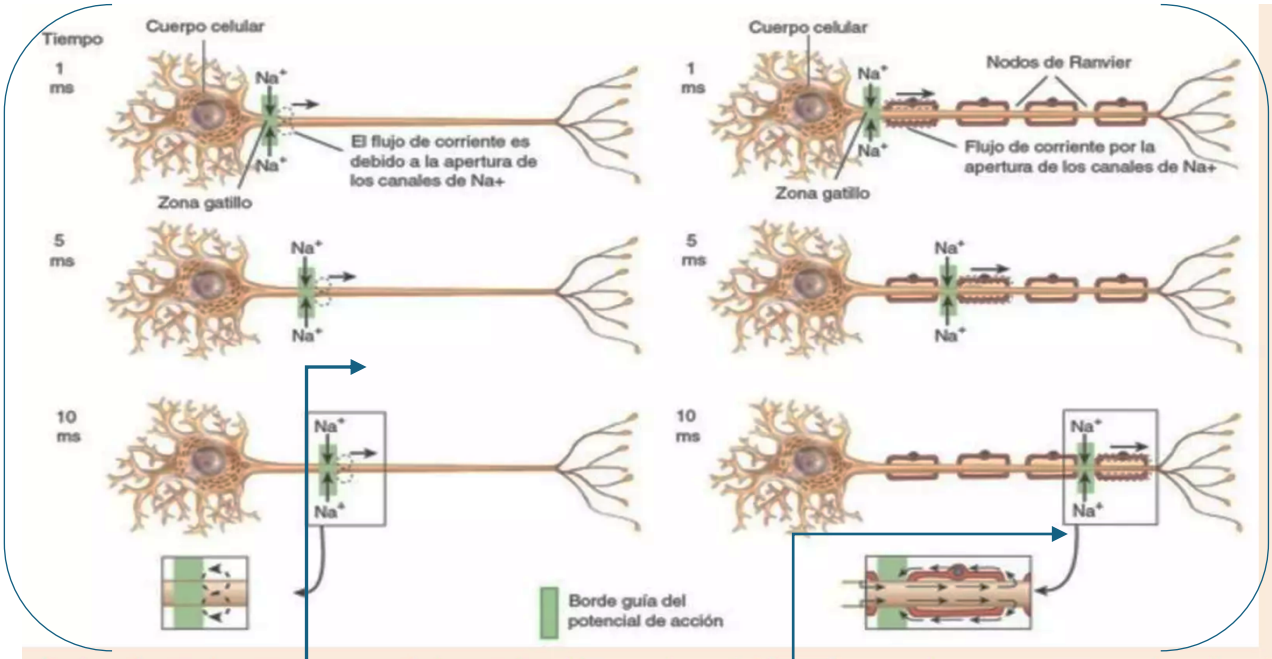
El término "saltatorio" no implica que la corriente "salte" literalmente, sino que la **despolarización se propaga rápidamente** por corrientes locales dentro del axón, activando los nodos sucesivos.

El resultado es una **conducción más rápida y más económica**:

- **Más rápida**, porque el impulso no necesita regenerarse en cada micrómetro de membrana, sino solo en los nodos.
- **Más económica**, porque se utilizan menos iones y, por tanto, se requiere menos energía del ATP para restaurar los gradientes iónicos.

La **mielina**, producida por **oligodendrocitos** en el sistema nervioso central y por **células de Schwann** en el periférico, es un ejemplo de adaptación evolutiva a la transmisión eficiente.

Su pérdida (como ocurre en la esclerosis múltiple) provoca lentitud, fatiga muscular y fallos de coordinación, porque los impulsos se "fugan" y se pierden antes de llegar a destino.



En la primera imagen se aprecia la conducción continua del impulso nervioso en neuronas sin vaina de mielina y en la segunda figura se muestra la conducción saltatoria en neuronas mielínicas es decir con vaina de mielina donde esta conducción es más rápida

Se encuentran dos tipos de conducción eléctrica:

TIPO DE CONDUCCIÓN	PRESENCIA DE MIELINA	MODO DE PROPAGACIÓN	VELOCIDAD
Saltatoria	Sí	El impulso "salta" de nodo a nodo, sin recorrer toda la membrana	Muy rápida
Continua	No	El impulso se propaga punto a punto a lo largo de todo el axón	Lenta

La **conducción continua** es típica de las fibras nerviosas pequeñas o sin mielina (como las que transmiten señales de dolor), mientras que la **saltatoria** es propia de las fibras motoras y sensitivas principales.

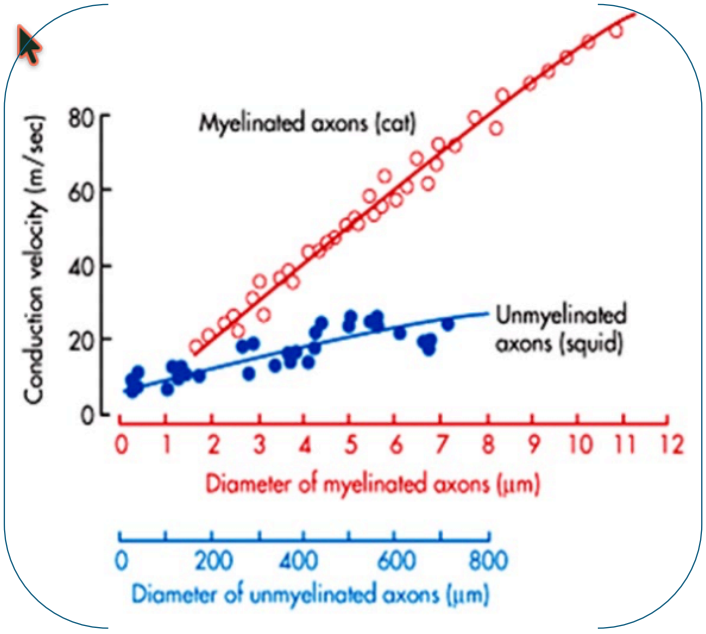
Este contraste permite al sistema nervioso priorizar la **velocidad en las funciones críticas** (movimiento, reflejos, visión) y ahorrar energía en otras menos urgentes.

⇒ CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS NERVIOSAS

Vamos a ver la **clasificación fisiológica** de las fibras nerviosas según su grosor, grado de mielinización y velocidad de conducción.

Las tres categorías principales que existen son las **fibras A, B y C**:

TIPO DE FIBRA	MIELINA	DIÁMETRO (MM)	VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN (M/SEG)	FUNCIONES PRINCIPALES
A	Sí (mielinizada)	5–20	12–130	Neuronas motoras esqueléticas y sensitivas del tacto y la presión.
B	Sí (mielinizada)	2–3	Hasta 15	Fibras viscerales (vísceras hacia encéfalo) y motoras autónomas.
C	No (amielínica)	0,5–1,5	0,5–2	Fibras del dolor, tacto grueso y motoras autónomas para músculo liso y glándulas.



En esta imagen se añade un dato interesante:

- Cuando un nervio **se enfría**, su velocidad de conducción **disminuye**, produciendo un efecto anestésico temporal.
- Esto se debe a que el frío ralentiza la apertura de los canales iónicos y reduce la movilidad de los iones, lo que frena la propagación del potencial de acción.

Hemos visto cómo el sistema nervioso ha desarrollado mecanismos estructurales (como la mielina) y funcionales (como el diámetro del axón) para **optimizar la velocidad y la eficiencia de la transmisión eléctrica**. Ahora veremos los puntos más importantes añadiendo algunos datos finales sobre la **regeneración de los axones**, la **integración de los sistemas fisiológicos** y las **fuentes bibliográficas**.

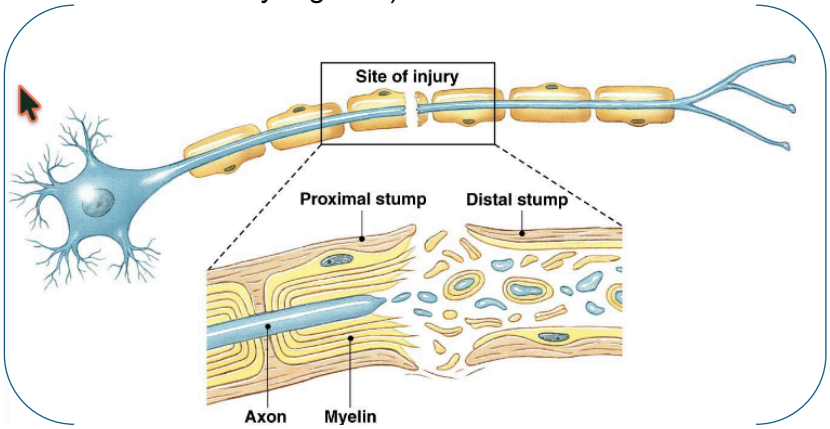
⇒ REGENERACIÓN DE LOS AXONES

En esta diapositiva se explica que, **en determinadas condiciones**, los axones del **sistema nervioso periférico (SNP)** pueden **regenerarse** después de una lesión.

Esto no ocurre en el sistema nervioso central (SNC), donde el daño suele ser irreversible, pero sí en los nervios periféricos (los que van hacia músculos y órganos).

El proceso de regeneración es **similar al del desarrollo neuronal**:

1. En el extremo lesionado del axón aparece un **cono de crecimiento**, una prolongación que busca reconectarse con su destino.



2. El crecimiento está guiado por **moléculas de adhesión, proteínas de la matriz extracelular y factores de crecimiento nervioso (NGF)**.
3. Si las **células de Schwann** permanecen intactas, forman un "túnel" que orienta el crecimiento del nuevo axón.

Sin embargo, esta regeneración solo ocurre si la lesión no ha destruido completamente el cuerpo neuronal.

En el SNC, la presencia de **factores inhibidores** y la falta de ambiente favorable impiden este proceso.

Por eso, las lesiones medulares o cerebrales son tan difíciles de reparar.

En resumen, el sistema nervioso periférico conserva cierta capacidad de **reconstrucción funcional**, lo que es objeto de intensa investigación actual.

⇒ RESUMEN GLOBAL DEL TEMA

Los puntos más importantes son:

- La **fisiología** es la ciencia que estudia el funcionamiento normal del cuerpo humano en todos sus niveles: molecular, celular, tisular, orgánico y sistémico.
- Su objetivo es **explicar cómo los sistemas del cuerpo cooperan** para mantener la vida y responder a los cambios del entorno.
- El concepto de **medio interno**, propuesto por **Claude Bernard**, se refiere al entorno líquido que rodea las células y mantiene sus condiciones estables.
- El mantenimiento de ese equilibrio dinámico se llama **homeostasis**, y depende de sistemas de control nerviosos y endocrinos.
- La **homeostasis** se regula mediante **bucles de retroalimentación**, casi siempre negativos, que corrigen las desviaciones.

    - **Estos principios son la base de toda la fisiología humana.**
    - **A partir de ellos se entienden procesos más complejos como la regulación hormonal, la función cardiovascular o la excitabilidad neuronal.**

⇒ RESUMEN GENERAL SOBRE LAS MEMBRANAS CELULARES Y EL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS.

- Las **membranas celulares** actúan como **barreras selectivas** entre el interior y el exterior de la célula.
- El **agua** se mueve por ósmosis, siempre desde donde hay menos solutos hacia donde hay más.
- Los **solutos pequeños** atraviesan las membranas mediante:
    - **Difusión simple** (sin ayuda, a través de la bicapa lipídica).
    - **Difusión facilitada** (mediante canales o transportadores).
- Cuando el movimiento va en contra del gradiente, se requiere **energía metabólica (ATP)**: esto es **transporte activo**.
- El ejemplo más importante es la **bomba sodio-potasio (Na^+/K^+ ATPasa)**, que mantiene los gradientes iónicos esenciales.
- El **transporte vesicular** (endocitosis y exocitosis) permite movilizar grandes cantidades de material, como neurotransmisores o partículas.

    - **Estos procesos garantizan que cada célula conserve su equilibrio interno a pesar de los cambios del entorno.**

⇒ RESUMEN GENERAL SOBRE LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS CÉLULAS

- El **potencial de membrana en reposo (PMR)** es la diferencia de cargas entre el interior y el exterior de la célula.
  En la mayoría de las células, el interior es negativo (–70 mV).
- Este potencial depende sobre todo del **potasio (K^+)**, debido a la mayor permeabilidad de la membrana a este ion.
- Los **cambios en la permeabilidad iónica** modifican el potencial:
  - Entrada de Na^+ o Ca^{2+} → despolarización.
  - Salida de K^+ → repolarización.
  - Entrada de Cl^- o salida excesiva de K^+ → hiperpolarización.
- En las células excitables (neuronas y músculos), estas variaciones originan **potenciales graduados** y **potenciales de acción**.
- Los potenciales de acción se propagan a lo largo del axón sin disminuir su intensidad ("todo o nada") y son la base de la transmisión nerviosa.

  - **En otras palabras, la electricidad biológica nace de los gradientes iónicos y de las membranas que los separan.**

⇒ RESUMEN GENERAL SOBRE CONDUCCIÓN NERVIOSA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.

- Los **potenciales de acción** son siempre iguales en intensidad, pero **la velocidad de conducción varía** según:
  - El **diámetro del axón** (a mayor diámetro, mayor velocidad).
  - La **presencia de mielina**, que permite la **conducción saltatoria** de nodo a nodo.
- Las fibras **mielinizadas** transmiten los impulsos de forma más rápida y eficiente.
- Las fibras se clasifican en tipos **A, B y C**, según su diámetro, grado de mielinización y velocidad.
  - Tipo A: gruesas, mielinizadas, rápidas (hasta 130 m/seg).
  - Tipo B: intermedias (15 m/seg).
  - Tipo C: finas, no mielinizadas, lentas (0,5–2 m/seg).
- La **mielina** reduce el consumo energético y protege la estructura del axón.
  Su pérdida (como en la esclerosis múltiple) ralentiza los impulsos y causa trastornos motores.
  - **El mensaje central es que la forma y la estructura determinan la función, también en el sistema nervioso.**

⇒ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y RECURSOS PARA AMPLIAR EL ESTUDIO

Principales obras de fisiología en las que se basa este tema:

- Silverthorn, D.U. *Fisiología Humana: Un enfoque integrado*. 8.ª ed. Panamericana, 2019.
- Costanzo, L. *Fisiología*. 7.ª ed. Elsevier, 2023.
- Derrickson, B. *Fisiología Humana*. 1.ª ed. Panamericana, 2017.
- Patton, K.T. y Thibodeau, G.A. *Estructura y función del cuerpo humano*. 16.ª ed. Elsevier, 2021.
- Guyton, A.C. y Hall, J.E. *Tratado de Fisiología Médica*. 14.ª ed. Elsevier, 2021.
- Ira Fox, S. Fisiología Humana. Editorial McGraw-Hill Interamericana. 14ª Edición. 2017
- Tresguerres, J.A.F. Fisiología Humana. Editorial Interamericana-McGraw Hill.5ª Edición.
- Tortora, G. J. y Derrickson B. Principios de Anatomía y Fisiología. Editorial Panamericana.

⇒ **RECURSOS DIGITALES (PÁGINAS UNIVERSITARIAS Y VÍDEOS EXPLICATIVOS) ÚTILES PARA VISUALIZAR LOS PROCESOS ESTUDIADOS, COMO LA HOMEOSTASIS, EL POTENCIAL DE ACCIÓN Y LA SINAPSIS**

- http://www.facmed.unam.mx/Libro-NeuroFisio/FuncionesGenerales/Homeostasis/Homeostasis.html
- http://www.ugr.es/~jhuertas/FH-FE/fh_homeostasis.html
- https://www.youtube.com/watch?v=g2z2DtdhhBc
- https://www.youtube.com/watch?v=Q-pgypwEYgA
- https://www.youtube.com/watch?v=zWRFchwqXfM
- https://www.youtube.com/watch?v=jhlrLxjb2KQ
- https://www.youtube.com/watch?v=wVvt0jQM33c

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

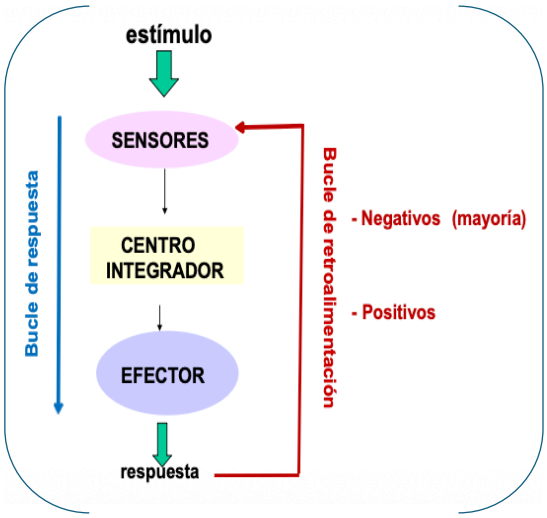
⇒ SISTEMA DE RETROALIMENTACIÓN

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

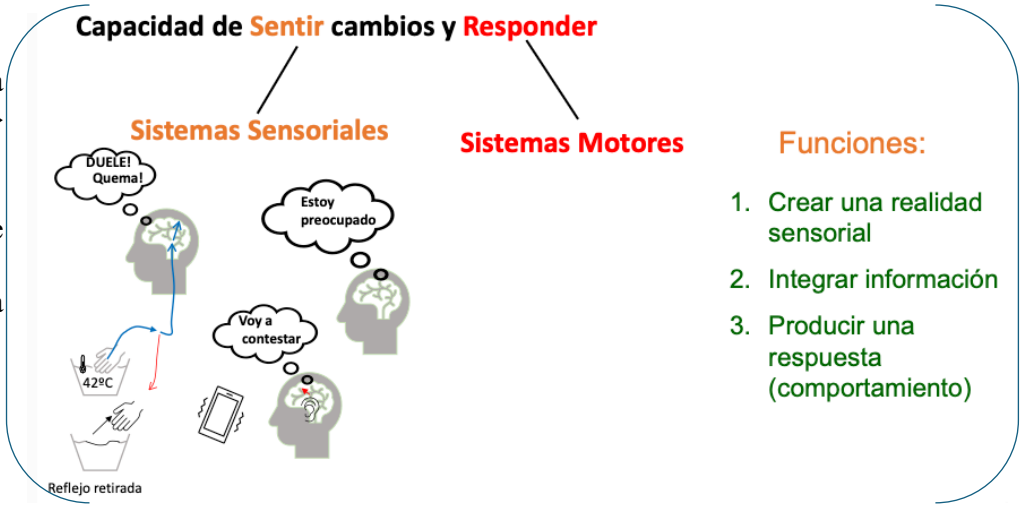
Veamos qué hace el sistema nervioso en términos fisiológicos:

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:**

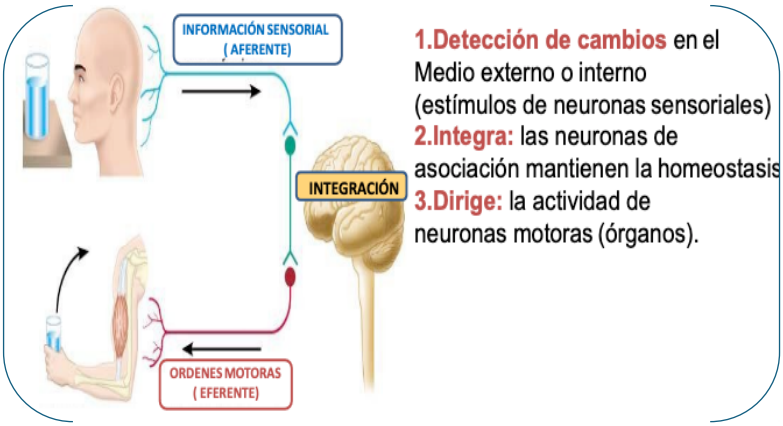
Las neuronas sensoriales (**aferentes**) detectan cambios internos o externos.

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:

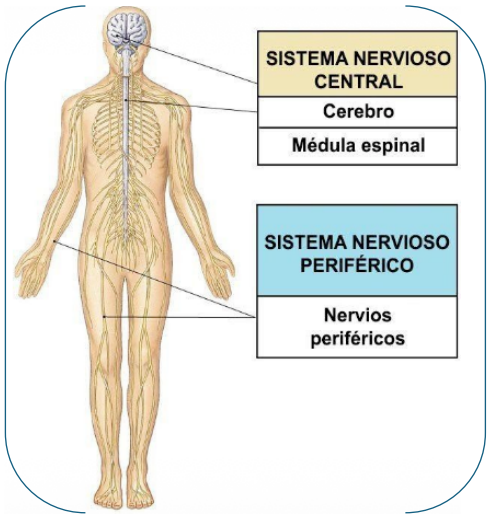
1. Sistema Nervioso Central (SNC)

- **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.

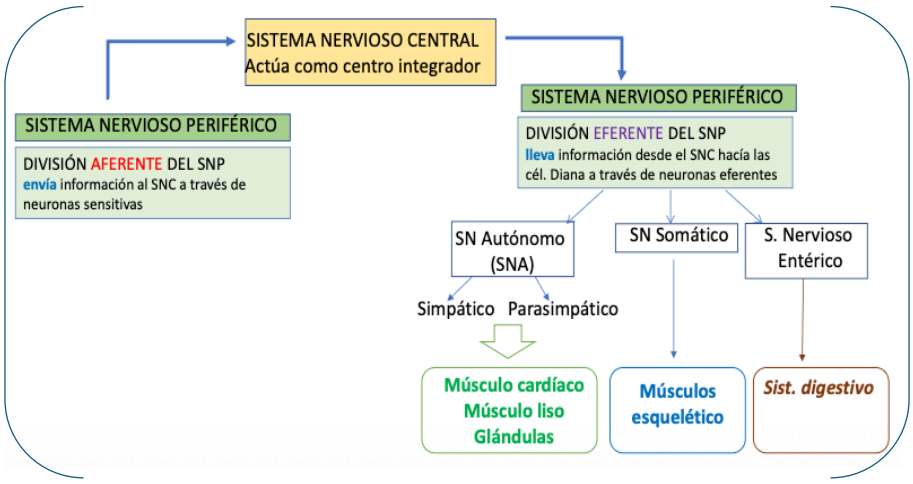
⇒ ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SNP

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:

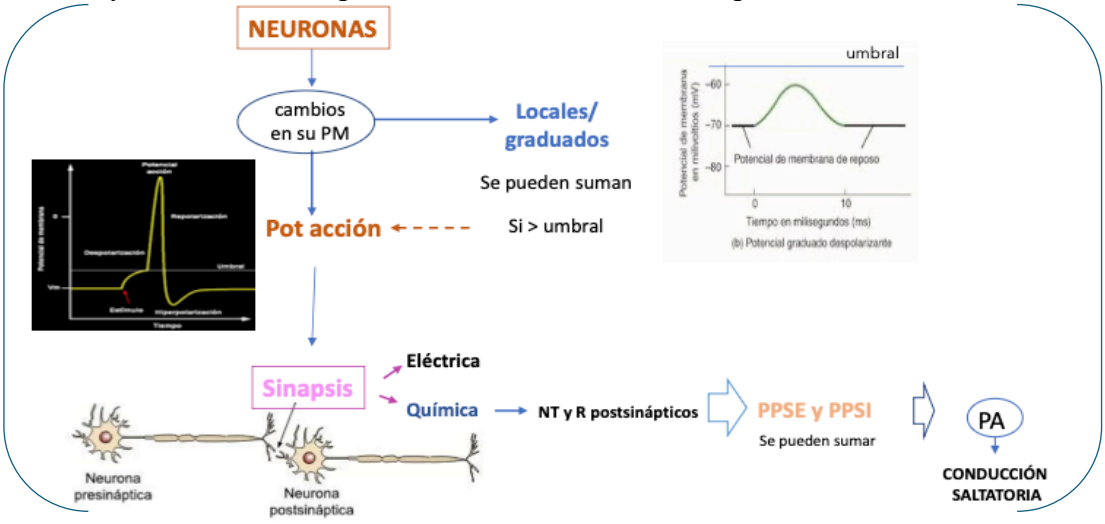
- **Sistema somático:** controla músculos esqueléticos (voluntario).
- **Sistema autónomo (SNA):** controla músculo liso, cardíaco y glándulas (involuntario).
  - **Simpático:** activa ("lucha o huida").
  - **Parasimpático:** calma ("descanso y digestión").
- **Sistema nervioso entérico:** controla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

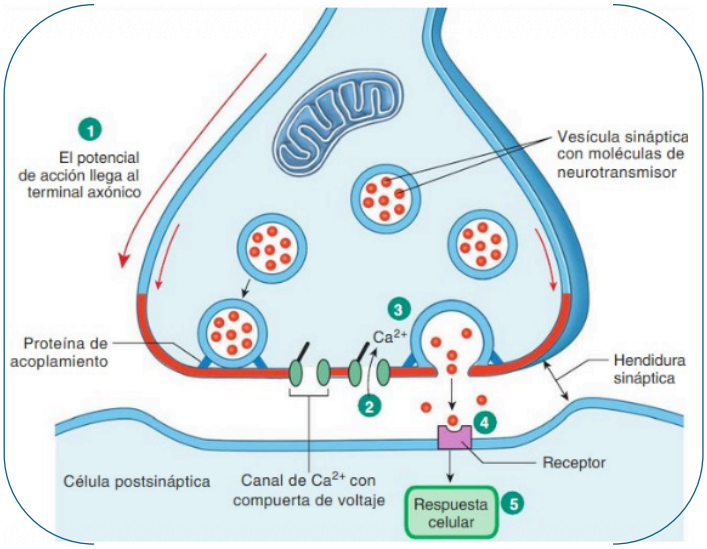
La diapositiva sintetiza visualmente:

- 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

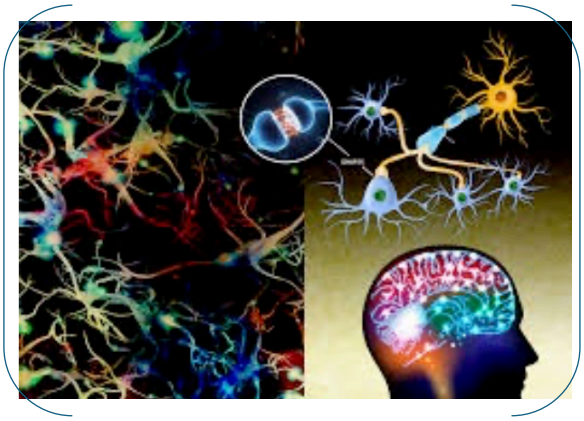
Esta imagen explica *paso a paso* lo que ocurre cuando el impulso llega al final del axón:



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

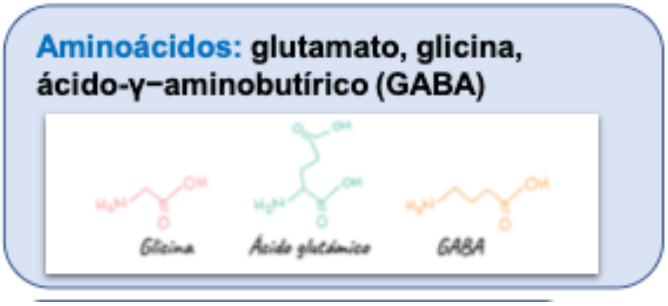
Ahora pasamos a una **clasificación esencial** de los neurotransmisores (NT), divididos en tres grandes grupos según su tamaño y función:

⇒ 1. Neurotransmisores de bajo peso molecular

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

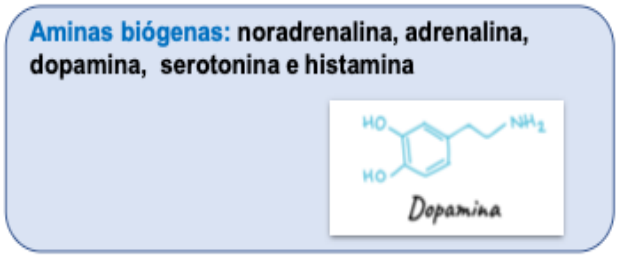
Aminoácidos

- **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**

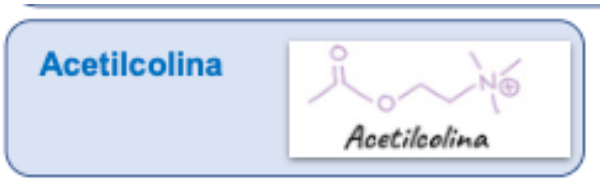


Todas ellas modulan el estado de ánimo, la alerta, la motivación, la actividad motora y muchas funciones viscerales.

Acetilcolina (ACh)

Neurotransmisor clave para:

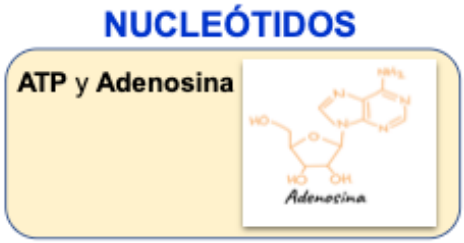
- La **unión neuromuscular** (comunicación neurona–músculo esquelético).
- Sistemas autónomos (simpático y parasimpático).
- Memoria y atención (núcleos basales).



⇒ **2. Nucleótidos**

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

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



⇒ **3. Neuropéptidos**

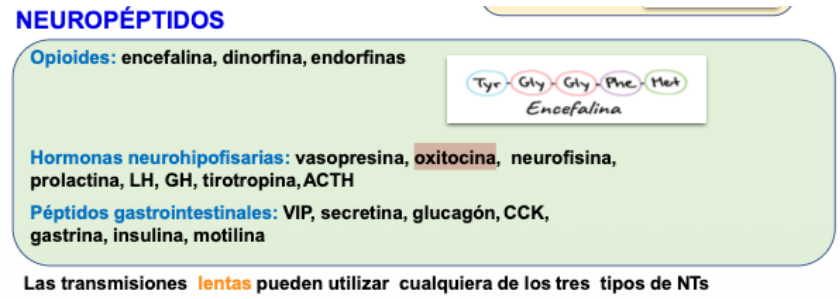
Moléculas más grandes, de acción **más lenta y moduladora**.

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

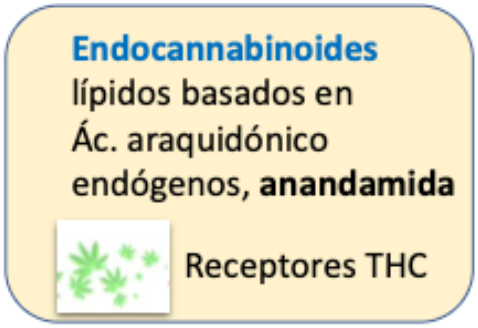
Aquí pasamos a dos tipos de NT totalmente diferentes en estructura y mecanismo:

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).

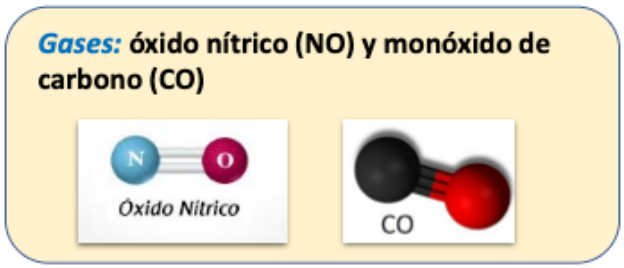


2. Gasotransmisores

- **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.

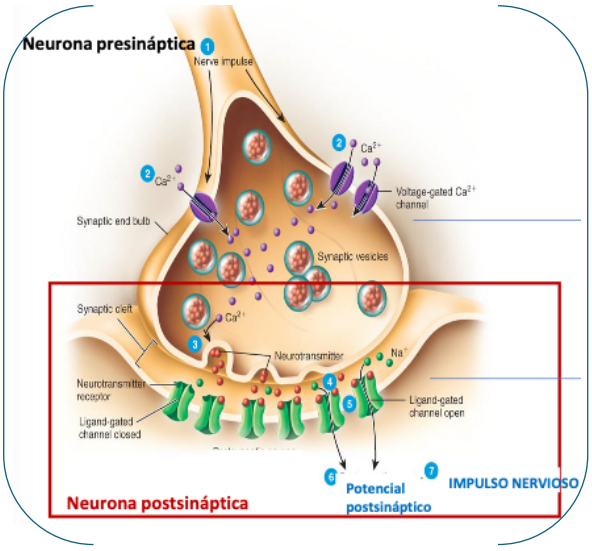


Idea central:
Estos NT "no convencionales" **no encajan en el modelo clásico** de:
vesícula → exocitosis → receptor → canal.

⇒ 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.

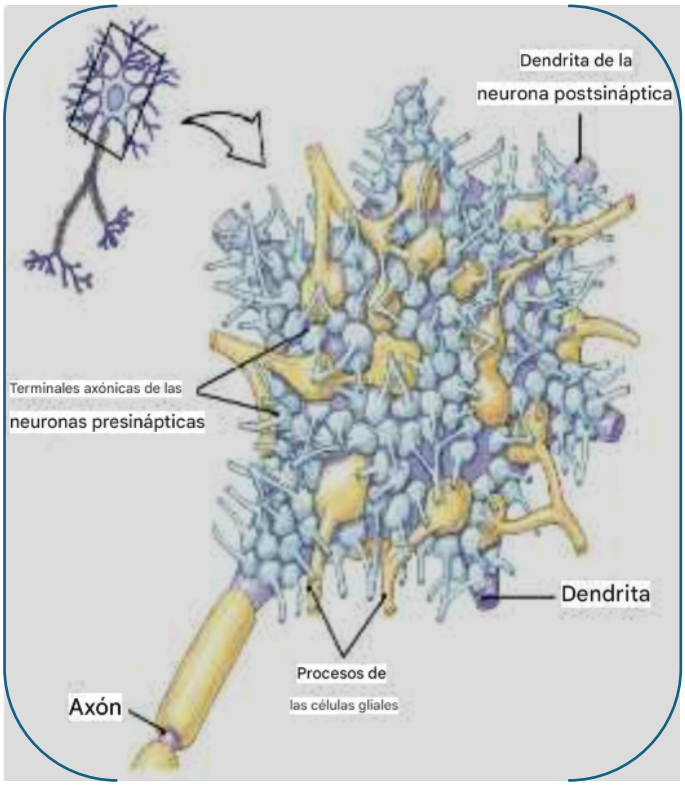
PPSI – Potencial postsináptico inhibidor

- 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:

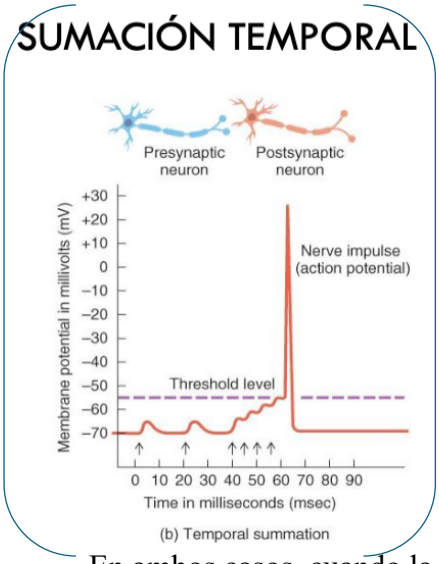
1. Sumación temporal
Ocurre cuando **una misma sinapsis** libera NT varias veces muy seguidas.
Los PPSE se acumulan porque no da tiempo a que desaparezcan antes del siguiente estímulo.
→ Aumenta la probabilidad de alcanzar el umbral.

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.

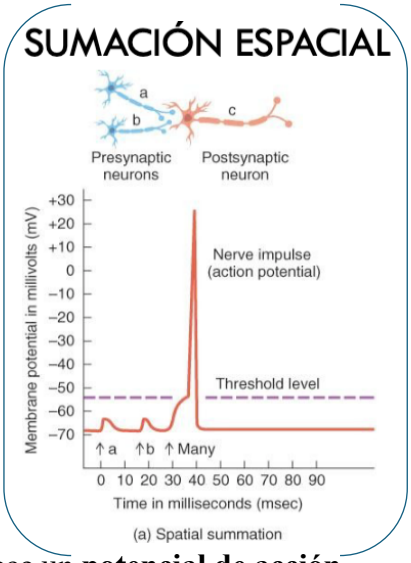
⇒ SUMACIÓN TEMPORAL Y SUMACIÓN ESPACIAL (GRÁFICOS)



Aquí se nos muestran dos gráficos muy claros:

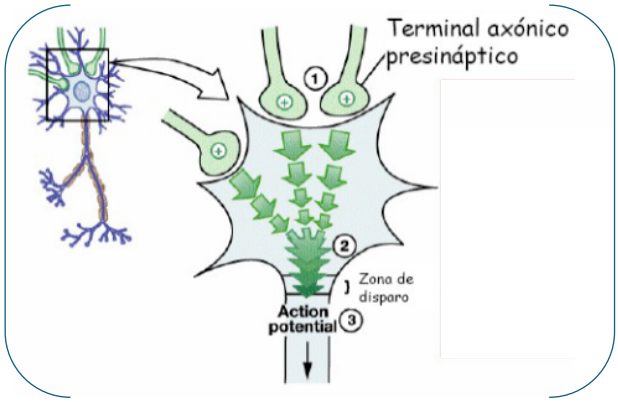
(a) Sumación temporal
Basta con *una* neurona presináptica que emite estímulos repetidos.
Las pequeñas despolarizaciones se acumulan hasta cruzar el umbral.

(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**.

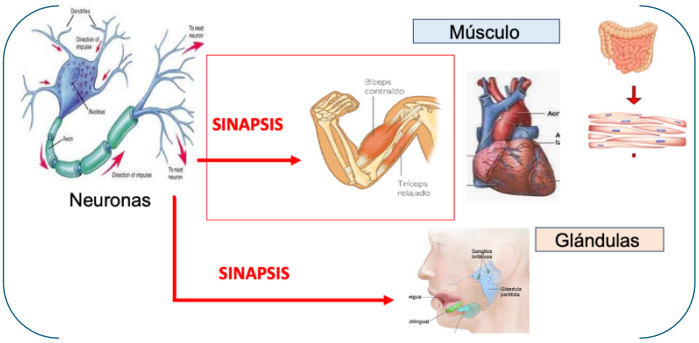
El mensaje final lo resume perfectamente:

👉 **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?

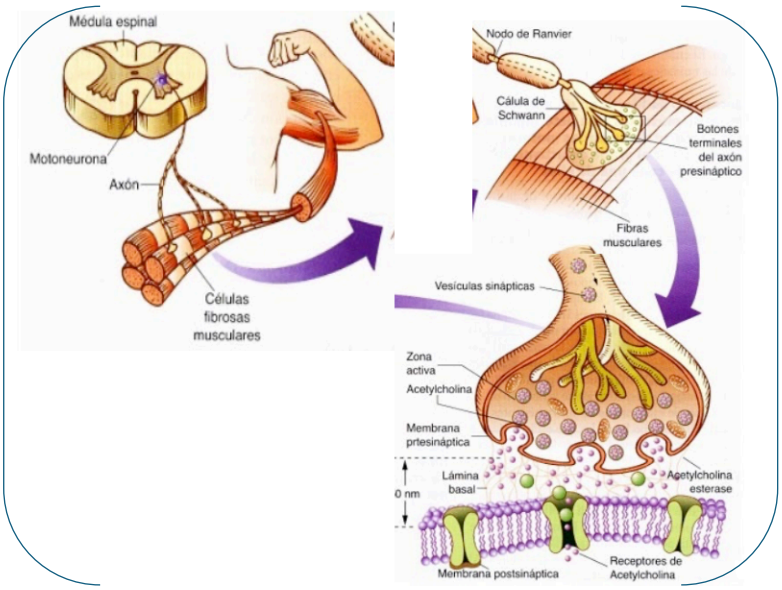
Porque las señales nerviosas *no acaban en la neurona*, sino que **pasan a un efector**:

- 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).

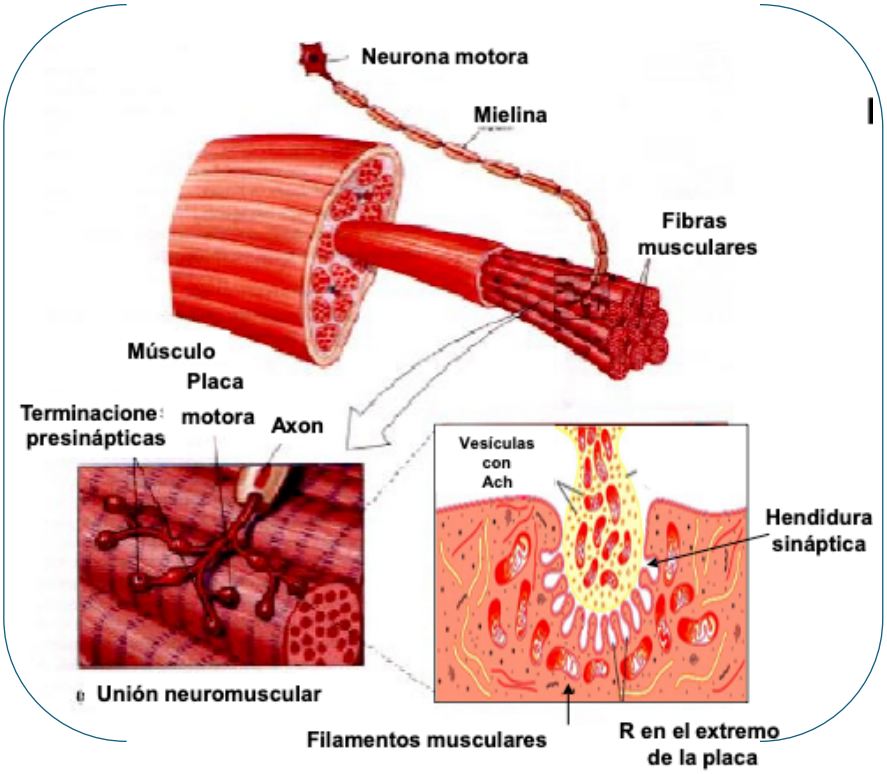
Estos receptores nicotínicos:

- 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).**

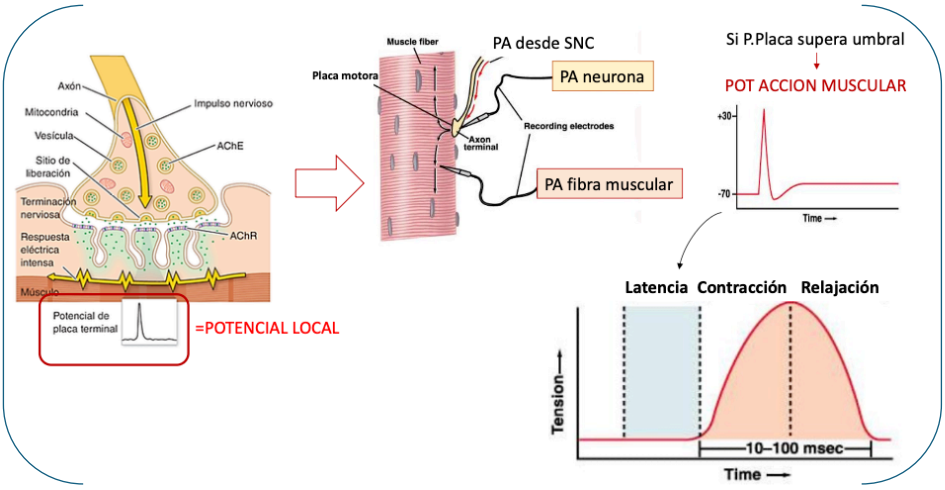
El PAM es la **señal eléctrica propagada** que viaja a lo largo de toda la membrana de la fibra muscular (sarcolema) para iniciar la contracción.

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

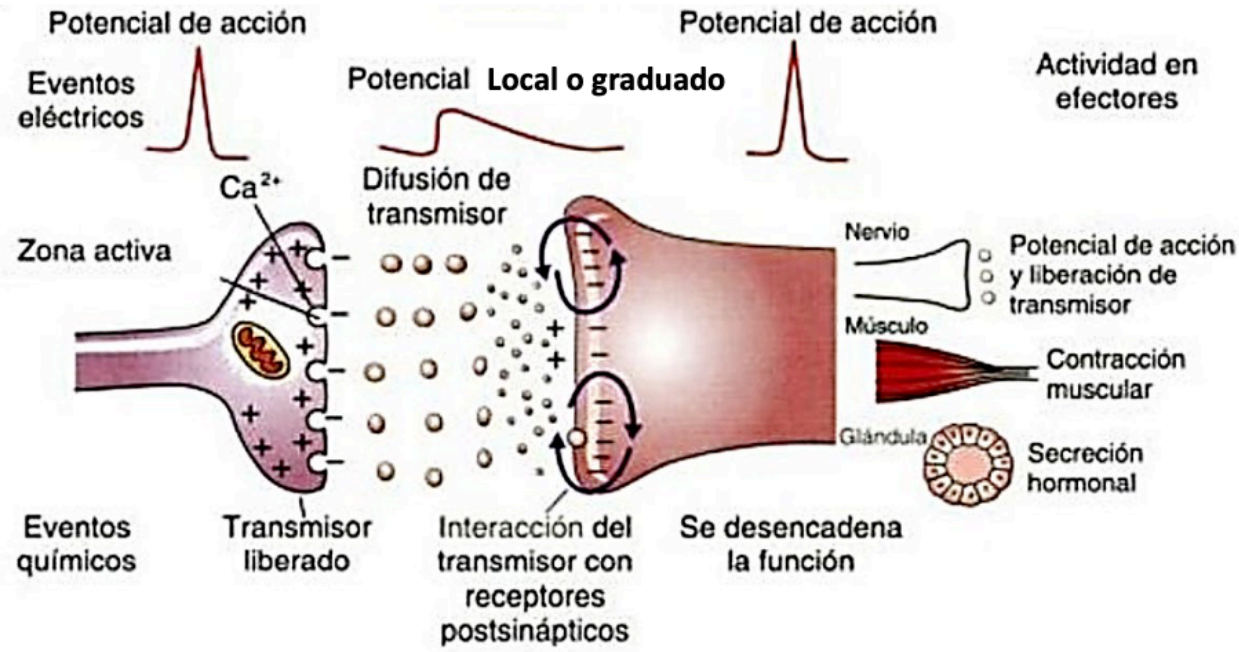
Produce una **liberación masiva de ACh**.

➡️ 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

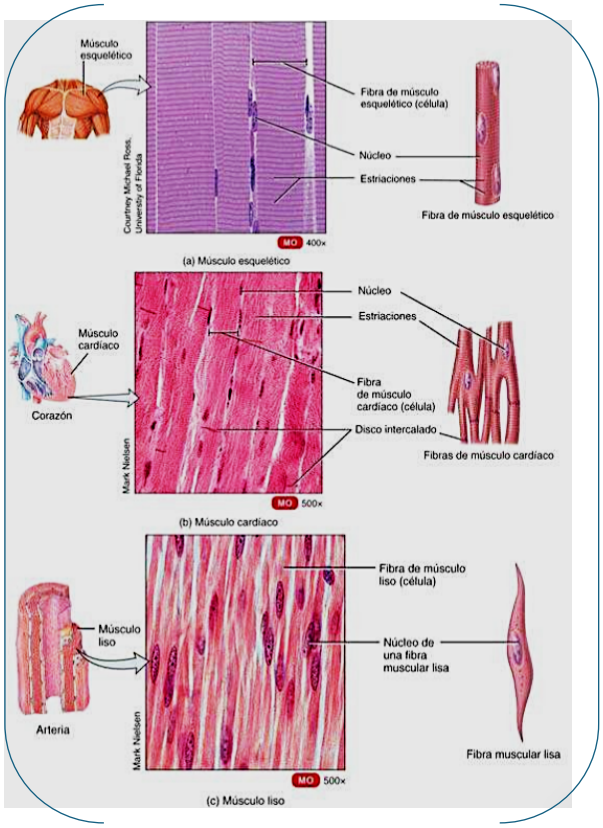
- **Estriado** (tiene bandas visibles al microscopio).
- **Voluntario**: tú decides cuándo activarlo.
- Unido a los **huesos** → permite movimiento del cuerpo.
- Es el músculo protagonista en la **unión neuromuscular** que vimos antes.

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.

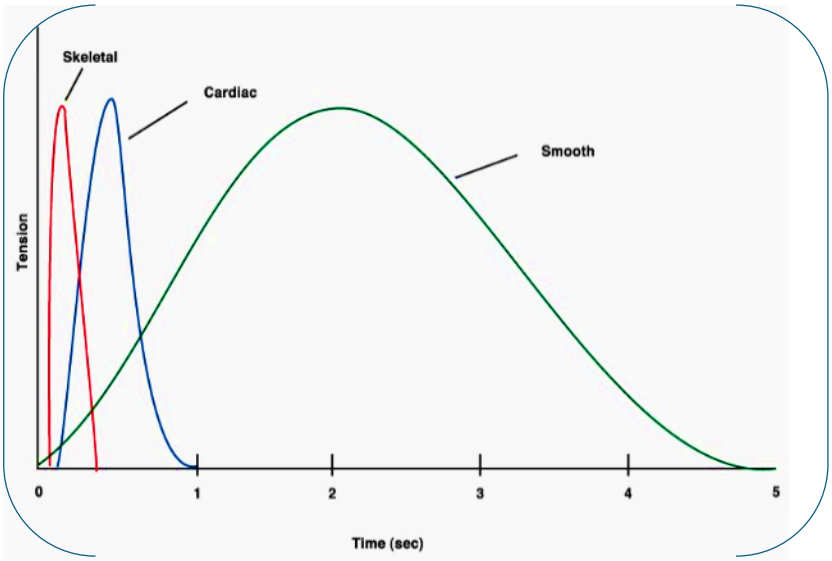


⇒ TENSIÓN MUSCULAR EN LOS TRES TIPOS DE MÚSCULO

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)

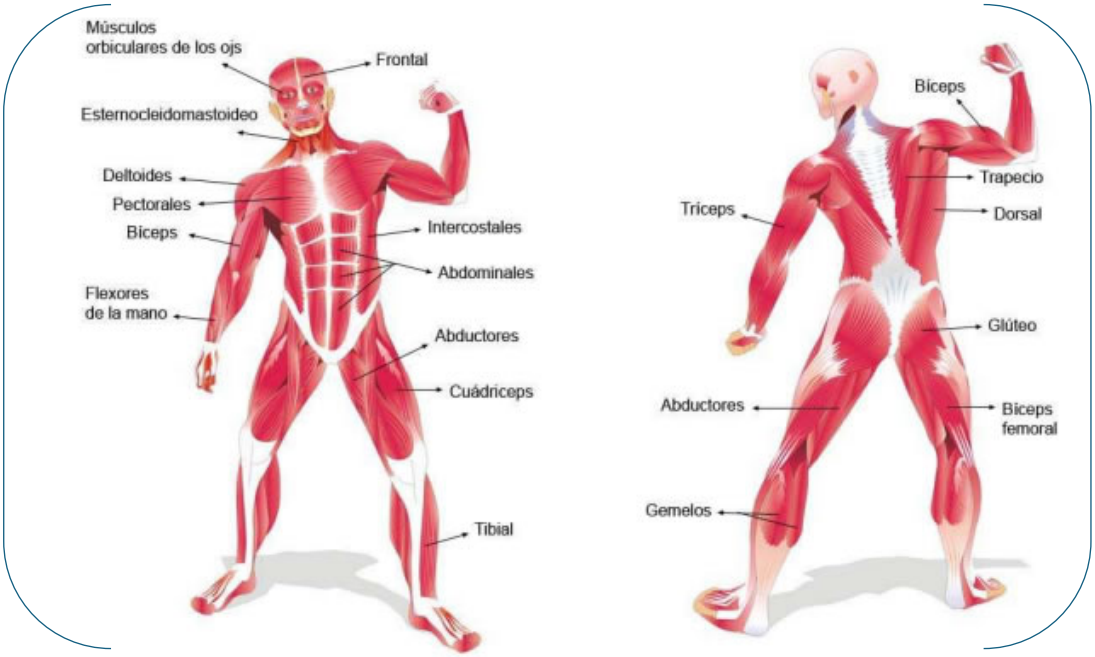
- La contracción es **más lenta que el esquelético**.
- Pero mantiene tensión durante más tiempo.
- Es una contracción **intermedia**, adecuada para bombear sangre rítmicamente.

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:

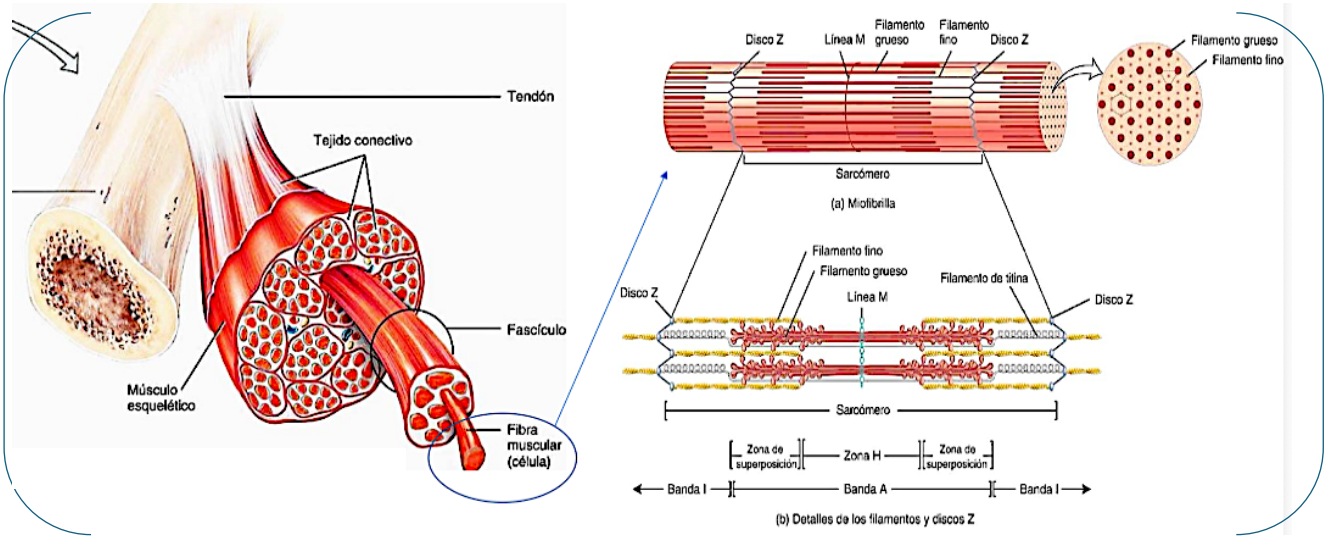
- Esfínteres del estómago, intestino, vejiga → almacenan contenido y evitan que se vacíe continuamente.
- El músculo cardíaco bombea sangre.
- El músculo liso de vasos regula el flujo sanguíneo.

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).

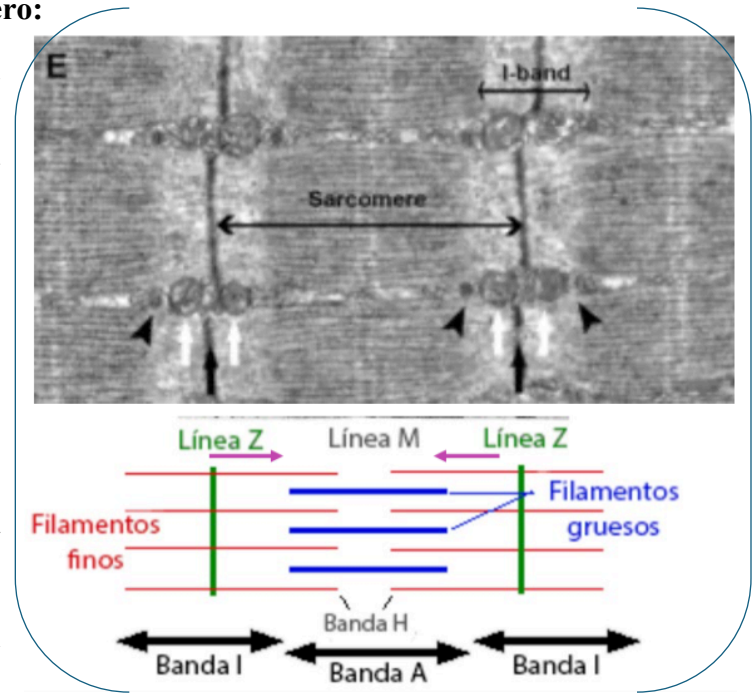
Un poco más adelante se entenderá mejor, cuando veamos la "**teoría del filamento deslizante**".

⇒ 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.



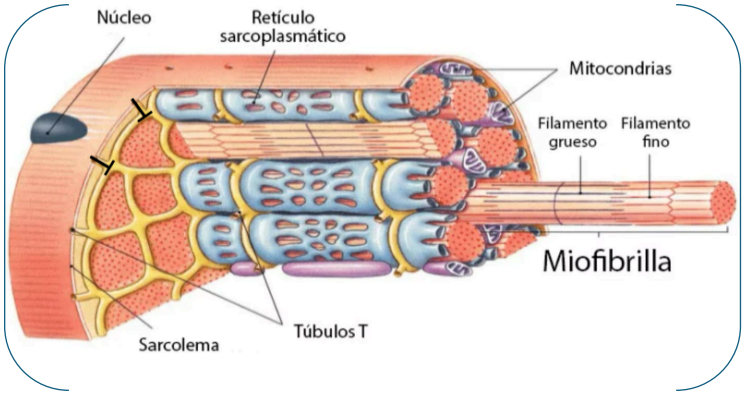
Durante la contracción…

- 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.

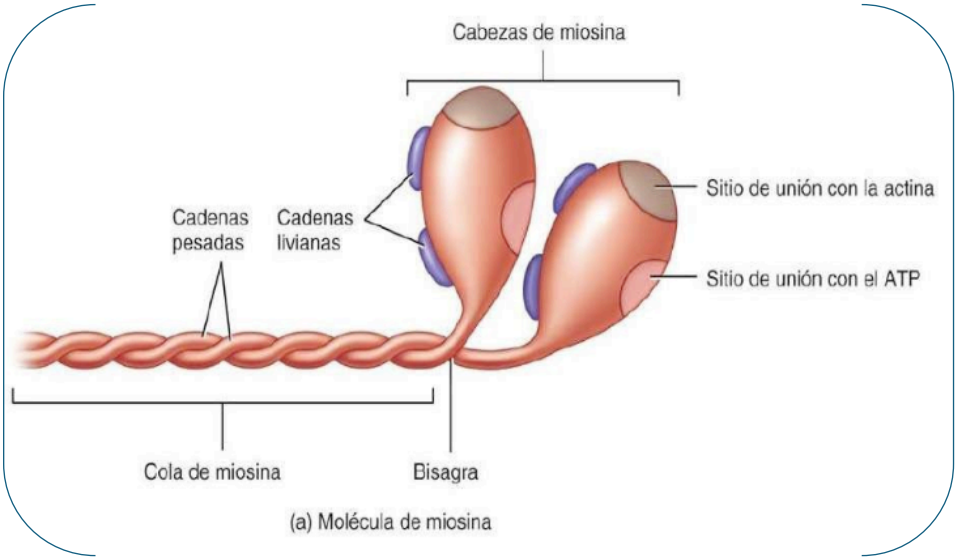
⇒ PROTEÍNAS CONTRÁCTILES Y REGULADORAS: MIOSINA, ACTINA, TROPONINA Y TROPOMIOSINA

Estas son las proteínas que permiten el movimiento.

1. Proteínas contráctiles

Miosina

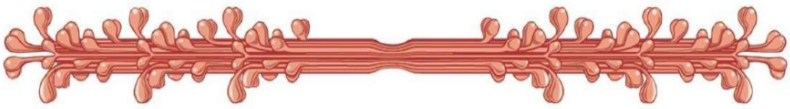
- Forma los **filamentos gruesos**.
- Tiene una "cabeza" que se une a la actina y hace fuerza.
- Esa cabeza funciona como una **enzima ATPasa** (usa ATP).



(a) Molécula de miosina

Actina

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


(b) Un filamento grueso

2. Proteínas reguladoras

Tropomiosina

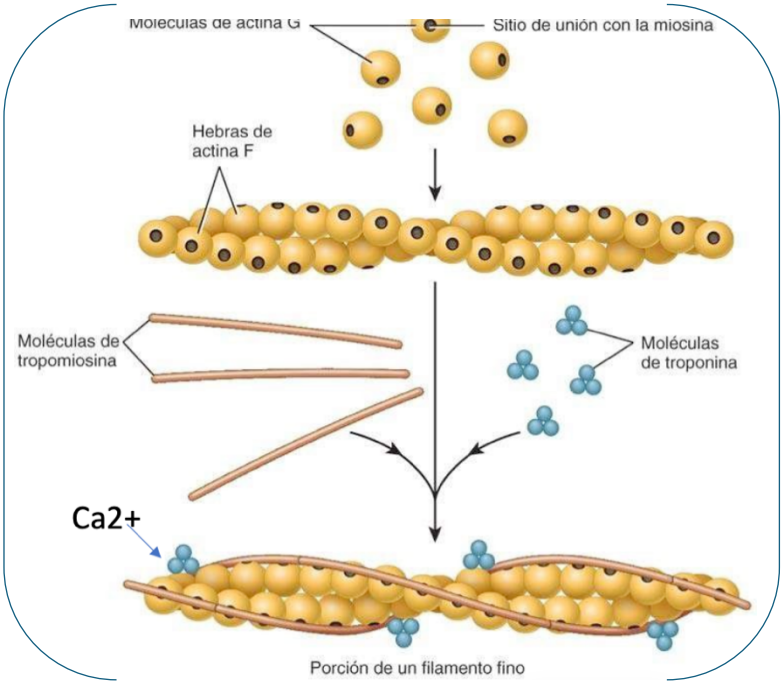
- Cubre los sitios de unión de la actina → evita la contracción cuando no toca.

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.



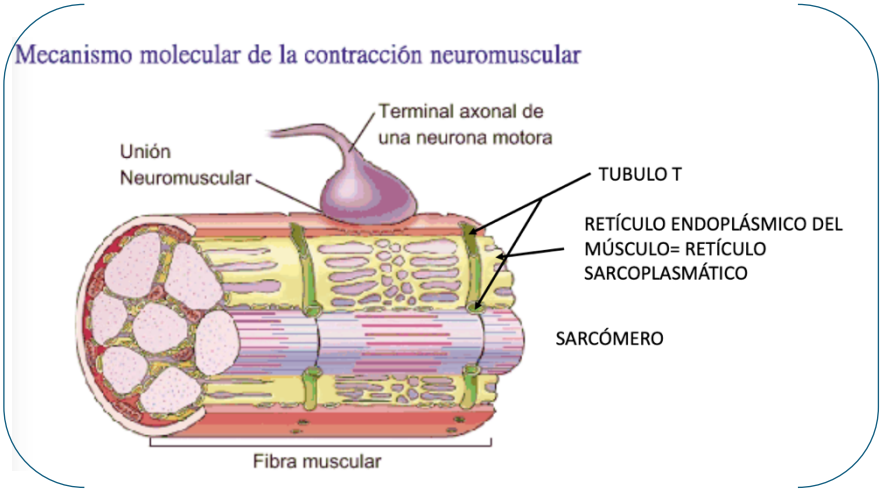
Idea fundamental:

👉 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.

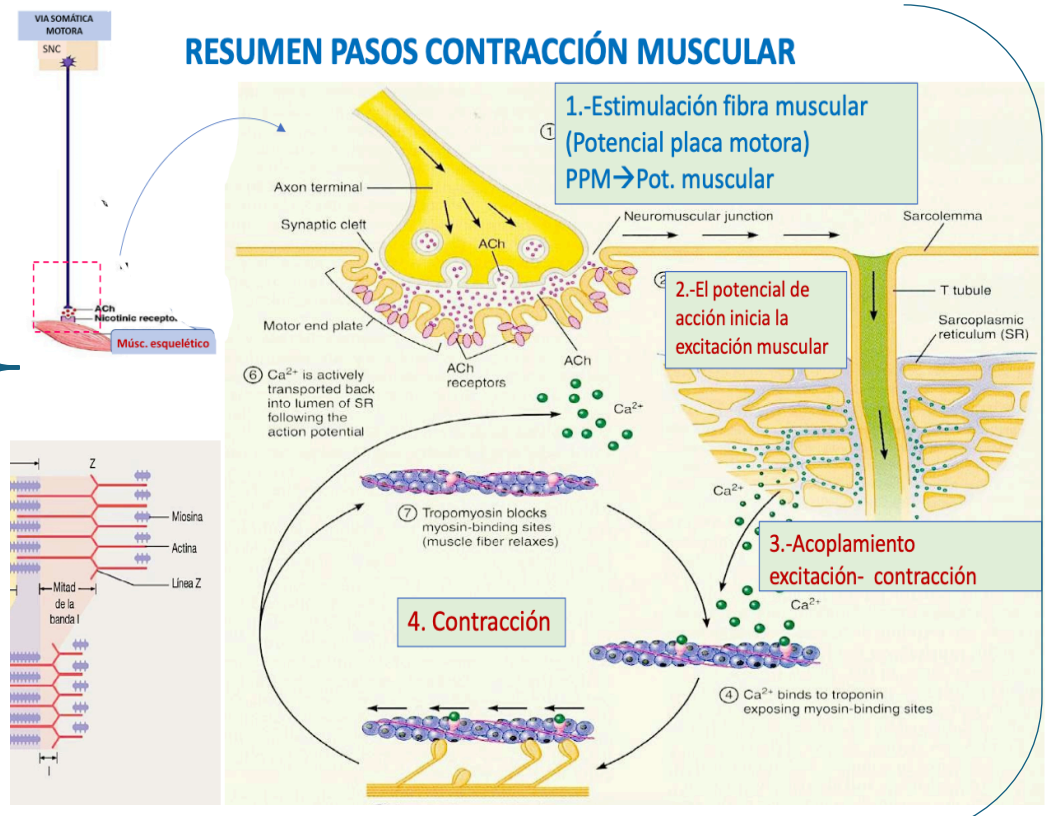
4. Para relajarse

→ 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.

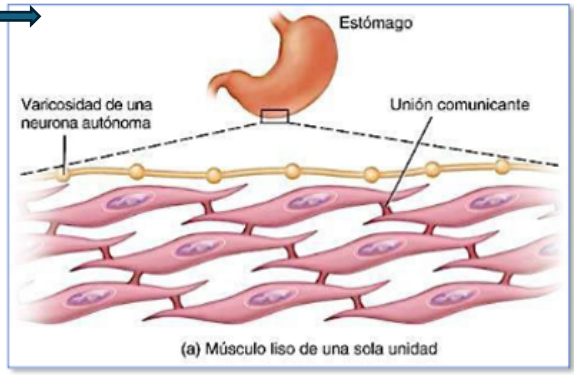
⇒ **MÚSCULO LISO: UNIDAD ÚNICA Y UNIDAD MÚLTIPLE**

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

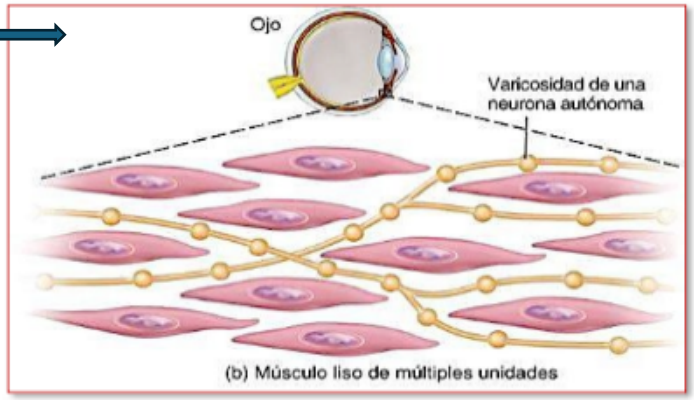
👉 **Tipos de músculo liso:**

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.

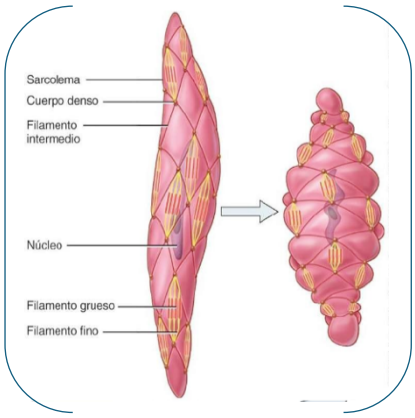
⇒ MÚSCULO LISO: CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

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.

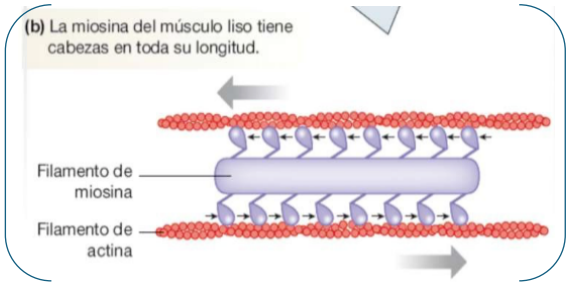
No hay una sinapsis tan precisa como en el músculo esquelético.



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:

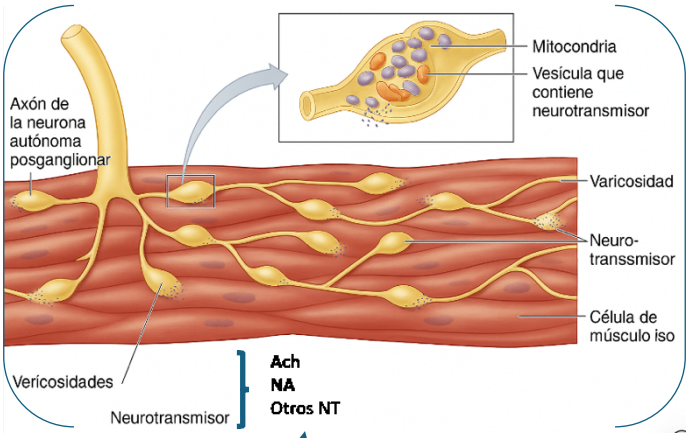
- Lento,
- Eficiente,
- Adaptado para funciones prolongadas: digestión, presión arterial, respiración, tono uterino.

⇒ 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.

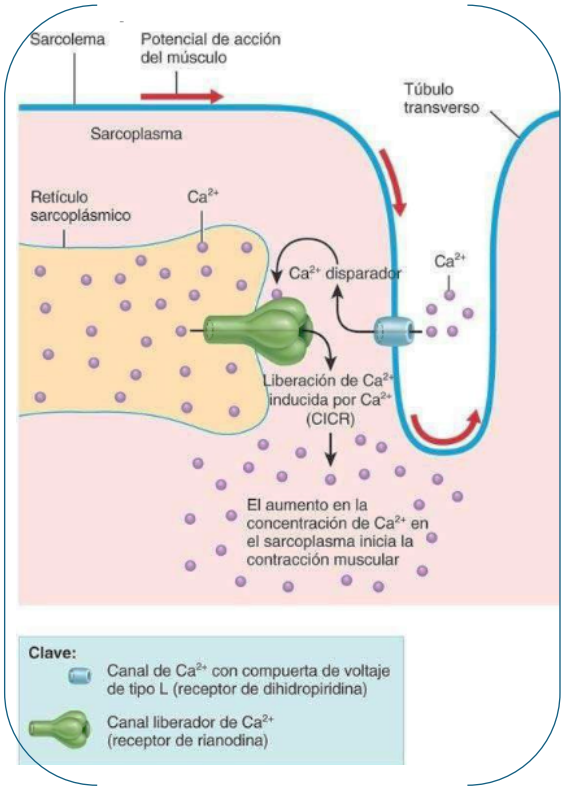
Resultado:

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

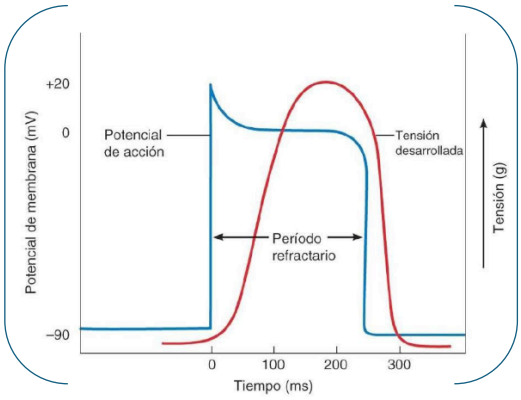
👉 No puede tetanizarse.

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.

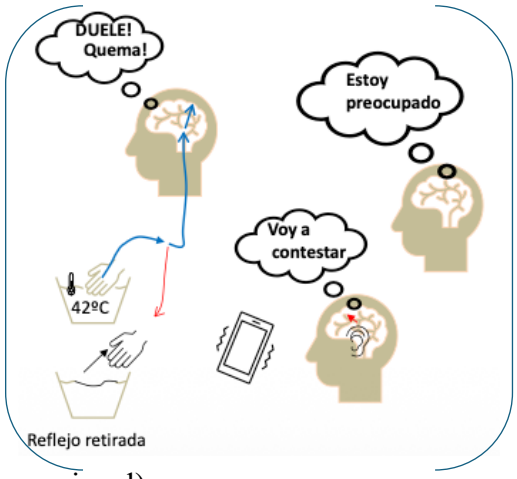
TEMA 3: ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA NERVIOSO. CÉLULAS DEL SISTEMA NERVIOSO Y SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO.

⇒ SISTEMA NERVIOSO

(Células del sistema nervioso y Sistema Nervioso Autónomo)

El sistema nervioso se define por su capacidad de **crear una realidad sensorial**, **interpretarla** y **producir una respuesta adaptativa**. Las entradas sensoriales no son simples datos: el cerebro las transforma en percepciones.

La temperatura de 42 °C no es solo un valor físico; se convierte en la experiencia de "quema". El daño tisular[2] no es solo una señal: se transforma en "duele". La información sensorial llega, se integra y se convierte en comportamiento: retirada evidenciada de la mano, o incluso un componente emocional ("estoy preocupado").

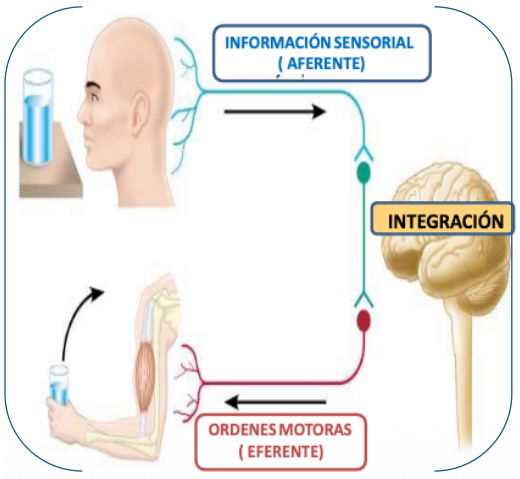


La función esencial es triple:

1. **Construir un mundo interno** que interpreta el exterior (visión, tacto, temperatura, dolor…).
2. **Integrar la información** combinando memoria, contexto, motivación y estado interno.
3. **Generar una respuesta** (motora, glandular o incluso emocional).

Es un sistema diseñado para mantener la homeostasis[3] respondiendo a cambios externos e internos, pero también para dotar de significado las experiencias.

Todo ello nos lleva a poder decir que sistema nervioso actúa como un **sistema de control rápido**, capaz de detectar cambios en milisegundos y ajustar el funcionamiento de los órganos para mantener la homeostasis.



El proceso funcional se organiza así:

- **Detección del cambio:** los receptores sensoriales captan estímulos como presión, luz, sustancias químicas, temperatura o estiramiento.
- **Integración:** las interneuronas del **Sistema Nervioso Central** (SNC) comparan la información entrante con los parámetros fisiológicos adecuados y deciden la respuesta. Esta fase implica memoria, aprendizaje, experiencias previas y estado emocional.
- **Dirección de la respuesta:** las neuronas motoras llevan órdenes a los efectores[4] (músculo esquelético, músculo liso, músculo cardíaco o glándulas).

Este circuito **aferente–integrador–eferente** es el fundamento de todas las acciones, desde un reflejo rápido hasta una conducta compleja como hablar o escribir.

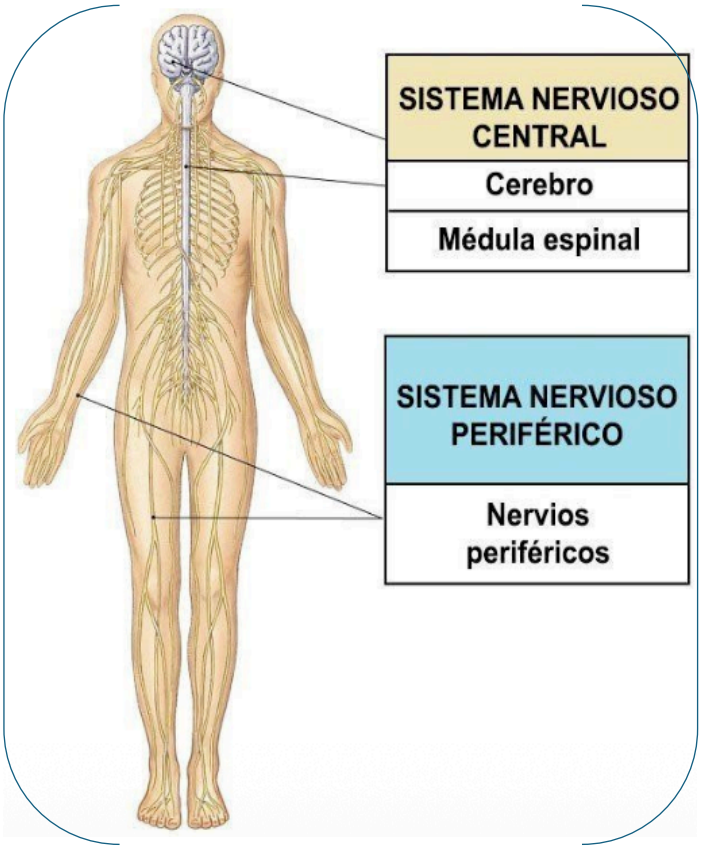
---

[2] Tisular: Perteneciente o relativo a los tejidos de los organismos.

[3] La homeostasis es la capacidad de un organismo para mantener un ambiente interno estable y equilibrado, a pesar de los cambios externos.

[4] El "Efector" es un órgano o célula que produce una acción fisiológica en respuesta a un impulso nervioso o estímulo,

El sistema nervioso se divide funcionalmente en dos grandes bloques:



⇒ **SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)**

Es el gran integrador. Está formado por el **encéfalo** (que incluye el cerebro, cerebelo y tronco encefálico) y la **médula espinal**.

Su misión es seleccionar información relevante, interpretarla y crear programas motores adecuados. Sin el SNC, las señales sensoriales serían solo ruido sin significado.

⇒ **SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO (SNP)**

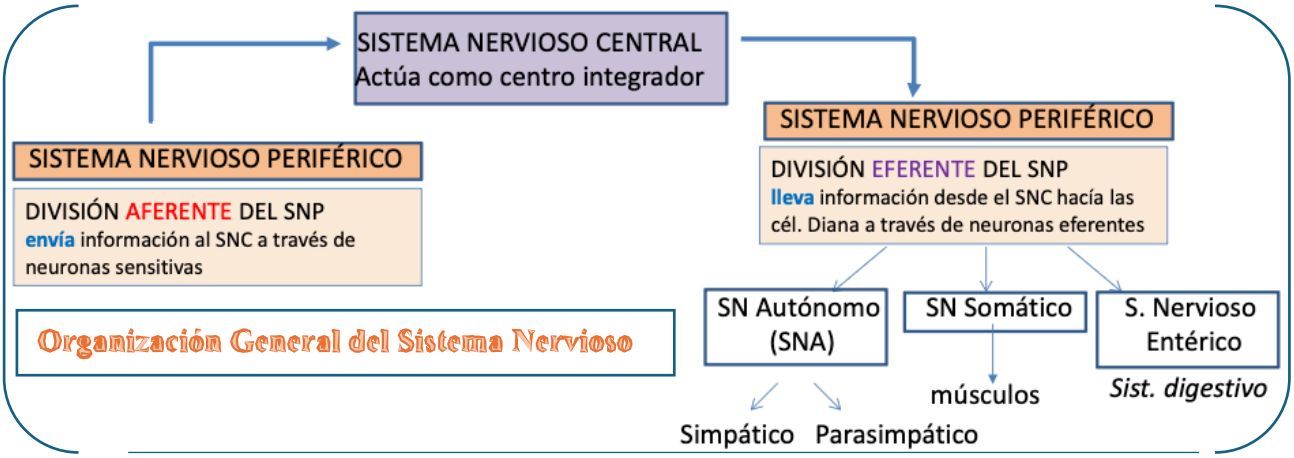
Establece la comunicación entre el SNC y el organismo.

Se subdivide en:

- **División aferente:** lleva información sensorial desde los receptores hacia el SNC.
- **División eferente:** lleva órdenes motoras desde el SNC hacia los efectores.

La división eferente incluye:

- **Sistema somático:** controla el músculo esquelético, por tanto, los movimientos voluntarios.
- **Sistema nervioso autónomo:** regula músculo liso, cardíaco y glándulas; es ajeno al control voluntario.
    - **Simpático**, **parasimpático** y **entérico**.



- Este marco organizativo permite entender cómo cada señal encuentra su camino: la **aferencia** informa, el SNC decide, la **eferencia** ejecuta.

→ Desarrollo de la relación entre SNC y SNP como **un flujo continuo de información**.

El **SNC** (cerebro y médula espinal):

- procesa, integra, toma decisiones, inicia la actividad mental y los patrones motores complejos.

El **SNP** recibe la información sensorial a través de receptores y conduce potenciales de acción hacia el SNC.

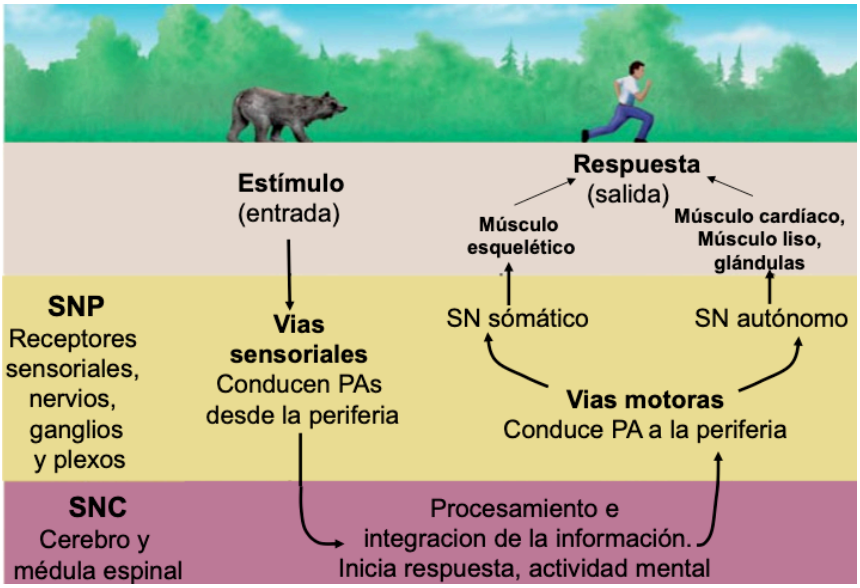
→ Después, transmite órdenes hacia los efectores mediante vías motoras.

Las vías motoras se dividen en:

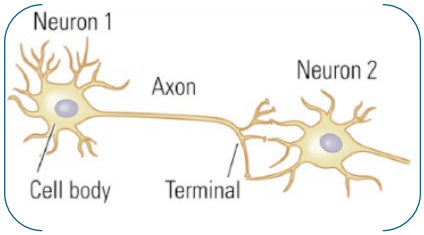
- **Somáticas**, dirigidas a músculo esquelético.
- **Autónomas**, dirigidas a músculo cardíaco, liso y glándulas.

Este esquema enfatiza un punto crucial:

👉 **No existe movimiento ni regulación visceral sin la participación coordinada del eje SNC–SNP.**

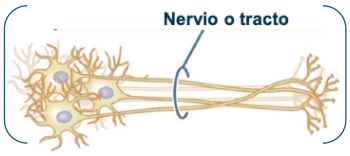


→ Las **neuronas** son las células especializadas en recibir, procesar y transmitir información.



Características esenciales:

- Las **dendritas** reciben señales, muchas simultáneamente.
- El **axón** conduce la señal eléctrica en una única dirección: desde el soma hasta el terminal.
- Algunos axones están recubiertos de **mielina**, que acelera la conducción. Los axones agrupados forman los **nervios** del SNP o los **tractos** del SNC.



→ Las **células de la glía** no transmiten impulsos, pero son indispensables, dan soporte: nutren, protegen, aíslan, mantienen el entorno químico y participan en la reparación.

La relación neurona–glía es tan estrecha que podría decirse que la glía es el "órgano auxiliar" que permite que la neurona funcione con precisión.

⇒ CLASIFICACIÓN DE LAS NEURONAS

La clasificación funcional de las neuronas se basa en **la dirección en la que transmiten el impulso**:

→ **Neuronas sensoriales o aferentes:** Conducen señales desde los receptores al SNC. Informan sobre tacto, temperatura, dolor, presión, posición corporal y estímulos internos.

→ **Neuronas motoras o eferentes):** Conducen órdenes desde el SNC hacia músculos y glándulas.

→ **Interneuronas o Asociaciones:** Estas existen exclusivamente dentro del SNC.
Son las encargadas de conectar neuronas entre sí, integrar información sensorial y elaborar programas motores. Constituyen la mayor parte del tejido neuronal del cerebro y médula.

Esta clasificación revela cómo se organiza la comunicación:
→ **El mundo exterior entra por aferentes**,
→ **El cerebro decide mediante interneuronas**,
→ **Las respuestas salen por eferentes**.

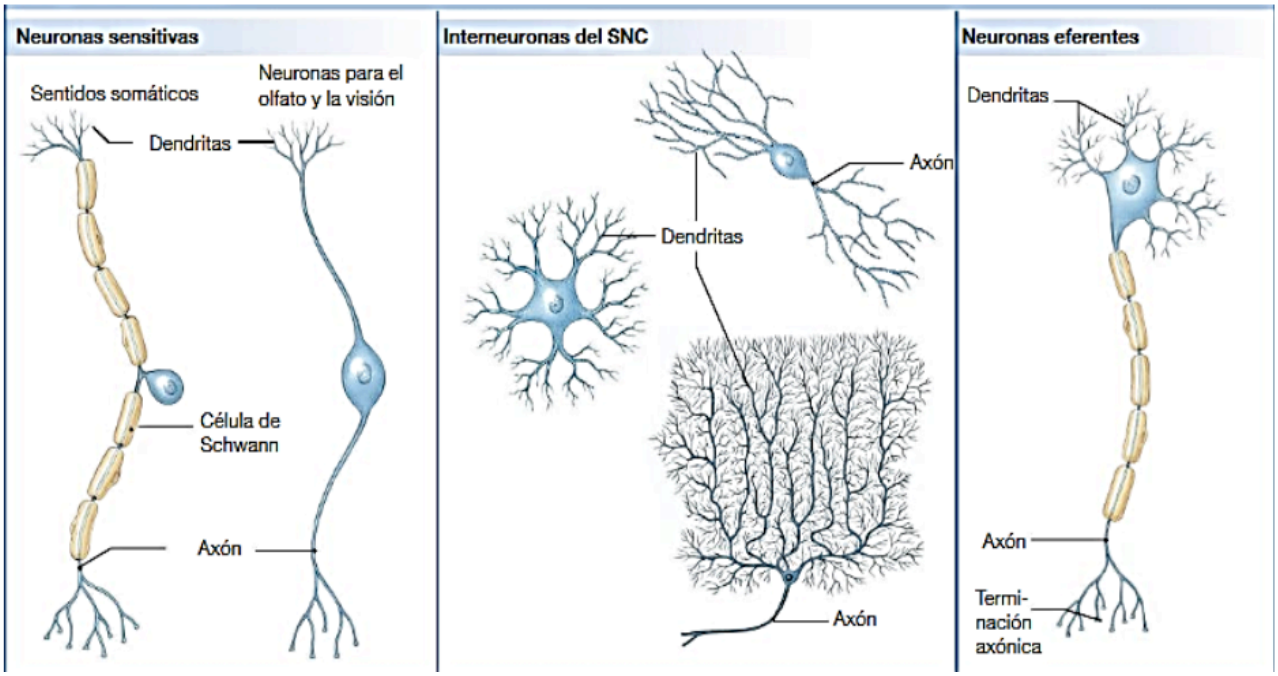
⇒ CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS NEURONAS

Esta clasificación está basada en la forma en que se distribuyen sus prolongaciones. Esta forma determina su función y su localización. Veamos como:

→ **Neuronas multipolares:** Son las más abundantes. Presentan una única prolongación larga (axón) y múltiples dendritas. Participan en funciones motoras, integración compleja y redes neuronales del encéfalo y médula.
El 99 % de las neuronas del sistema nervioso pertenecen a este tipo.

→ **Neuronas bipolares:** Poseen una dendrita principal y un axón.
Aparecen en sentido restringido: **retina**, **epitelio olfatorio** (conocido antes como pituitaria) y algunos ganglios sensitivos.
Están especializadas en la recepción directa de estímulos sensoriales.

→ **Neuronas unipolares (o seudounipolares):** Tienen una única prolongación que pronto se divide en dos ramas: una aferente (hacia el SNC) y otra hacia la periferia.
Se encuentran en los **ganglios raquídeos** de las raíces dorsales y llevan información táctil, propioceptiva y dolorosa.



Son esenciales en la transmisión rápida de señales sensitivas.

El diseño estructural de cada neurona refleja su misión. Las multipolares integran información compleja; las unipolares transmiten señales con gran velocidad; las bipolares captan estímulos específicos.

⇒ NEUROGLÍA

La **neuroglia**, o **células de la glía**, son las células del sistema nervioso que actúan como soporte, protección y nutrición para las neuronas, facilitando su función, formando **mielina** para acelerar impulsos, manteniendo la homeostasis del medio extracelular y participando en la respuesta inmune y reparación de lesiones. Estas **células de la glía** son tan importantes como las propias neuronas.

No generan potenciales de acción, pero garantizan que el entorno físico y químico sea perfecto para el funcionamiento neuronal.

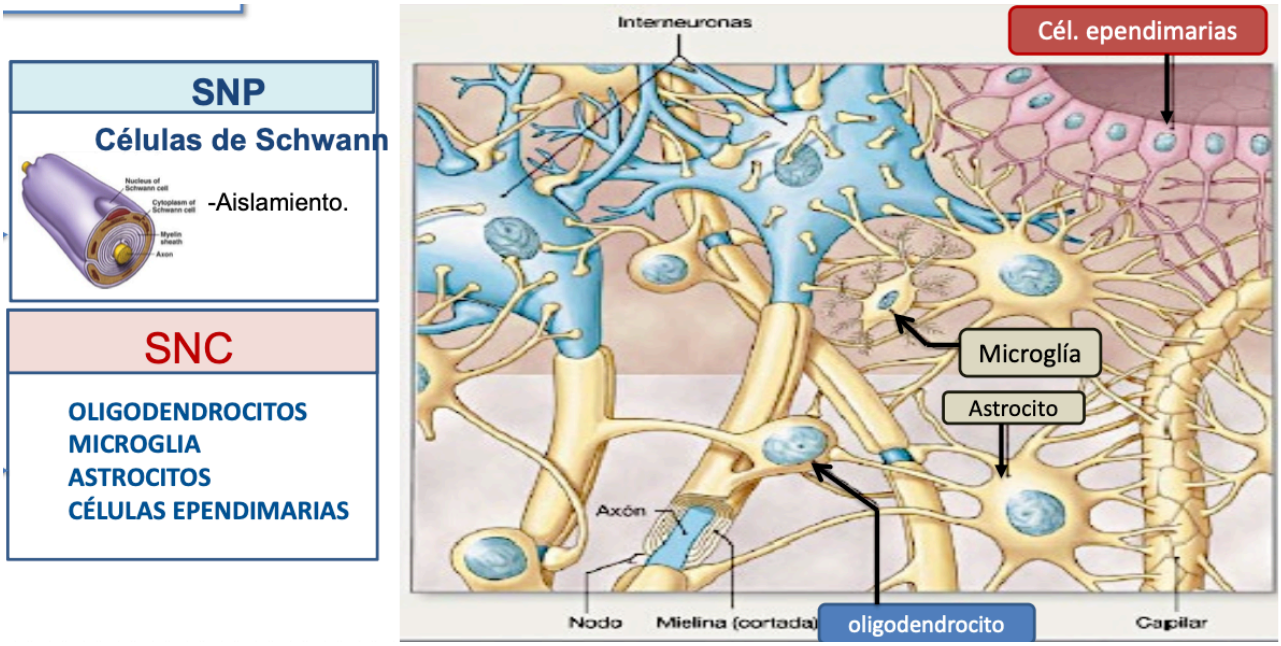
→ **En el SNC se encuentran:**

- **Oligodendrocitos** → responsables de formar la mielina en el SNC. A diferencia de las células de Schwann, un solo oligodendrocito mieliniza múltiples axones.
- **Astrocitos** → regulan el ambiente químico, aportan nutrientes, mantienen la barrera hematoencefálica, reparan daño tisular y guían el crecimiento neuronal.
- **Microglía** → actúan como sistema inmunitario del SNC; eliminan residuos, sinapsis no funcionales y microorganismos.
- **Células ependimarias** → revisten los ventrículos y forman parte de los plexos coroideos que generan el LCR.

→ **En el SNP:**

- **Células de Schwann** → mielinizan los axones periféricos y participan en su regeneración tras lesiones.
- **Células satélite** → rodean los somas neuronales en los ganglios periféricos y controlan el microambiente químico.

La **glía** no es un simple apoyo: controla la homeostasis, facilita la conducción, protege del daño y participa activamente en la plasticidad neural.

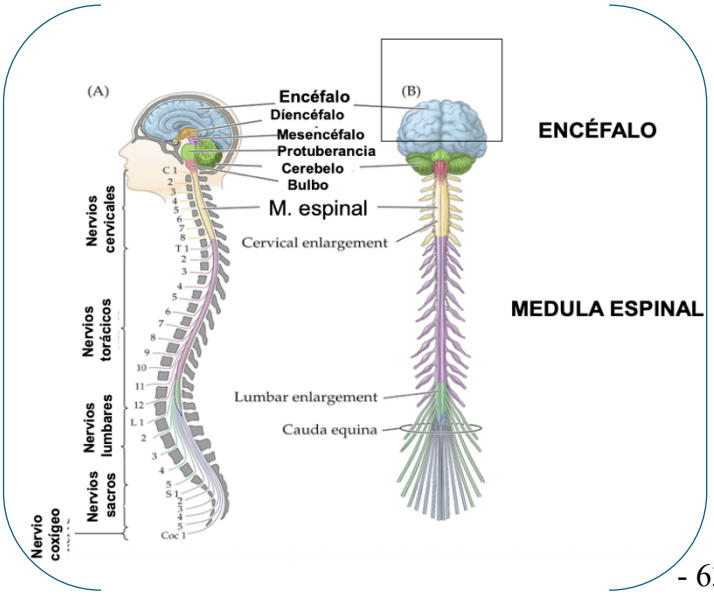


⇒ EL ENCÉFALO Y LA MÉDULA ESPINAL

El encéfalo y la médula forman el SNC. Su organización anatómica despliega un alto grado de especialización.

El encéfalo se divide en varias regiones:

- **Telencéfalo:** lóbulos corticales (frontal, parietal, temporal, occipital e ínsula) y ganglios basales. Aquí se generan los procesos cognitivos, emocionales, de memoria y planeación motora.



- **Diencéfalo:** tálamo e hipotálamo. El tálamo es la gran estación de relevo sensorial; el hipotálamo regula hambre, temperatura, equilibrio hídrico, hormonas y SNA.
- **Mesencéfalo:** integra información visual y auditiva y participa en la alerta.
- **Protuberancia:** coordina funciones motoras y regula la respiración.
- **Bulbo raquídeo:** controla centros vitales cardíacos y respiratorios.
- **Cerebelo:** maestro de la coordinación, del equilibrio y del ajuste fino del movimiento.

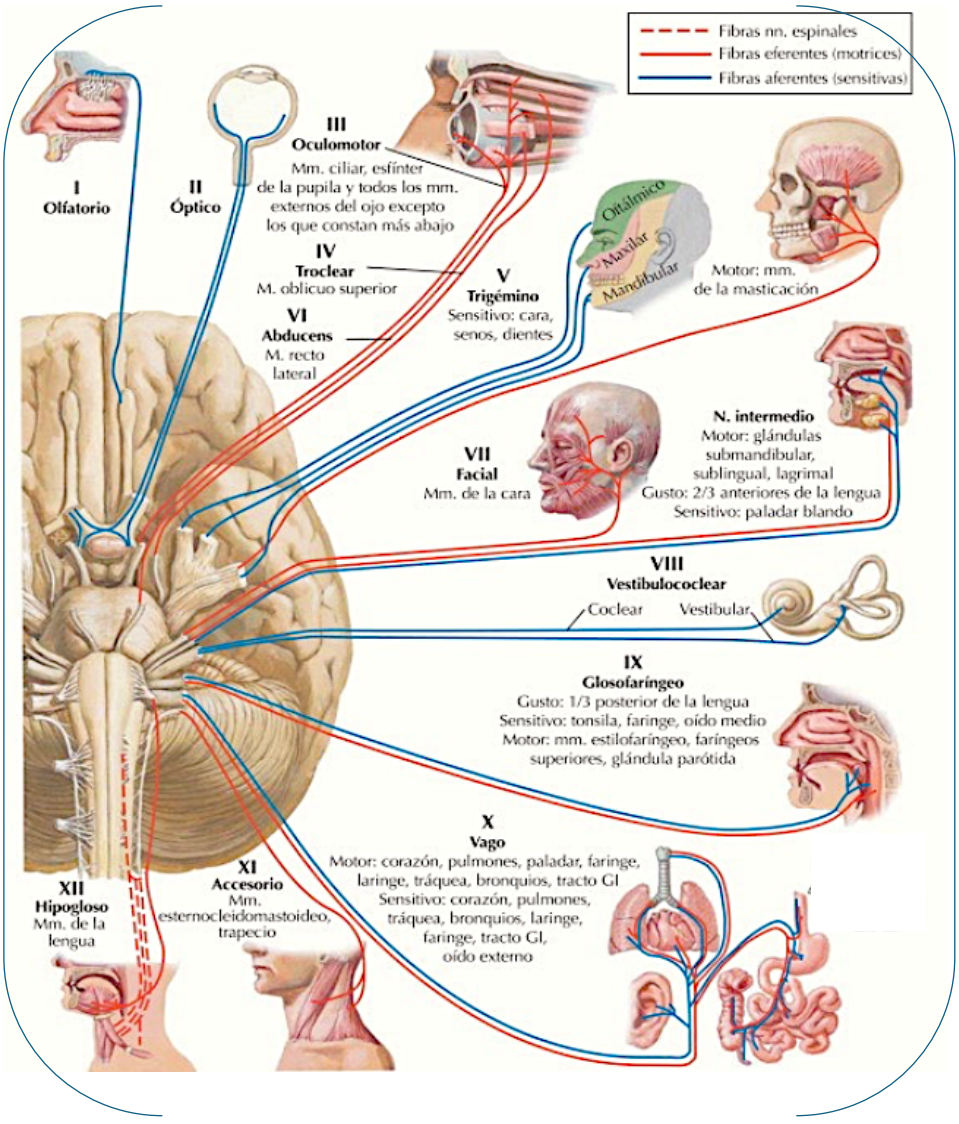
La médula espinal se organiza en regiones:

- **Cervical, torácica, lumbar, sacra y coxígea**, cada una con nervios espinales que conectan el SNC con todas las regiones del cuerpo.

El SNC es un entramado jerárquico donde cada estructura procesa un tipo de información y se comunica con las demás mediante vías ascendentes y descendentes.

⇒ NERVIOS CRANEALES

Son 12 pares de nervios los que representan la conexión directa del encéfalo (cerebro y tronco encefálico), en lugar de la médula espinal, y se unen con la cabeza y cuello, salvo el nervio vago que desciende hasta el tórax y abdomen.



Forman tres tipos funcionales:

- **Sensitivos:** olfatorio (I), óptico (II), vestibulococlear (VIII).
- **Motores:** oculomotor (III), troclear (IV), abducens (VI), accesorio (XI), hipogloso (XII).
- **Mixtos:** trigémino (V), facial (VII), glosofaríngeo (IX), vago (X).

Su función conjunta permite:

- Olfato, visión, audición y equilibrio.
- Movimientos oculares finos.
- Control de músculos faciales, lengua, faringe y laringe.
- Regulación de órganos internos (vago).

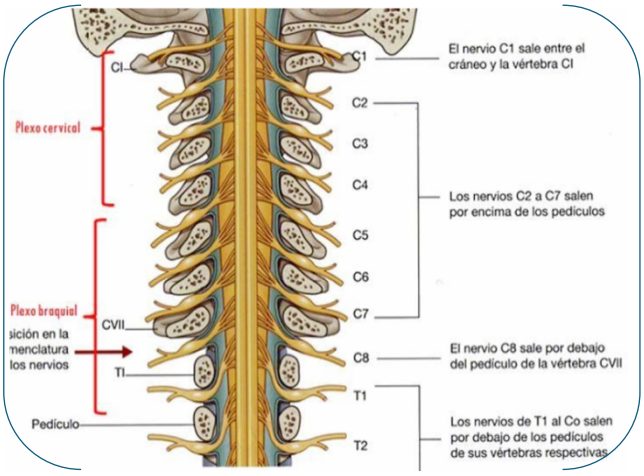
→ Son esencialmente "cables directos" del encéfalo hacia funciones críticas sensoriales y motoras.

Tabla de los 12 Pares Craneales y sus Funciones:

N.º	NOMBRE	TIPO PRINCIPAL	FUNCIÓN CLAVE
I	**Olfatorio**	Sensorial	Sentido del **olfato** (olor).
II	**Óptico**	Sensorial	Sentido de la **visión** (vista).
III	**Oculomotor**	Motor	Movimiento de la **mayoría de los músculos del ojo** y constricción de la pupila.
IV	**Troclear** (Patético)	Motor	Movimiento del músculo **oblicuo superior** del ojo.
V	**Trigémino**	Mixto	**Sensación facial** (dolor, tacto, temperatura) en la cara, y **masticación**.
VI	**Abducens** (Motor Ocular Externo)	Motor	Movimiento del músculo **recto lateral** del ojo (abducción del ojo).
VII	**Facial**	Mixto	**Expresión facial**, secreción de lágrimas y saliva, y sentido del **gusto** (dos tercios anteriores de la lengua).
VIII	**Vestibulococlear** (Auditivo)	Sensorial	**Audición** y **equilibrio**.
IX	**Glosofaríngeo**	Mixto	**Deglución**, gusto (tercio posterior de la lengua), y reflejo nauseoso.
X	**Vago** (Neumogástrico)	Mixto	Control **parasimpático** de las vísceras (corazón, pulmones, digestión), deglución y habla.
XI	**Accesorio** (Espinal)	Motor	Movimiento de los músculos **esternocleidomastoideo** y **trapecio** (movimiento de la cabeza y hombros).
XII	**Hipogloso**	Motor	Movimiento de la **lengua** (esencial para el habla y la deglución).

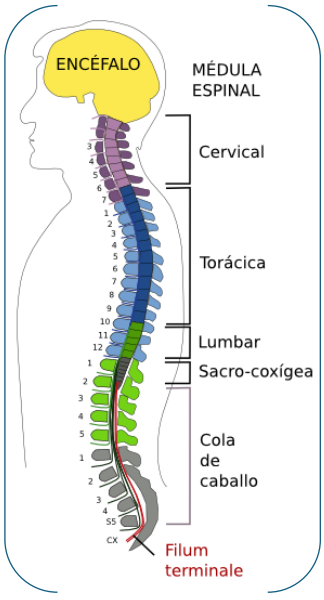
⇒ NERVIOS ESPINALES

Los 31 nervios espinales o raquídeos forman parte del SNP y son responsables de la comunicación entre la médula espinal y el resto del cuerpo, incluyendo el tronco, las extremidades y algunas áreas de la cabeza. Todos estos nervios espinales son **nervios mixtos**, lo que significa que contienen fibras **sensoriales** (aferentes, que llevan información al SNC) y **motoras** (eferentes, que llevan comandos del SNC).



Cada nervio espinal se forma por la unión de dos "raíces" que salen de la médula espinal:

- **Raíz Dorsal (Posterior):** Contiene el ganglio espinal o fibras sensoriales donde se ubican los cuerpos neuronales (aferentes) y el ganglio de la raíz dorsal.
- **Raíz Ventral (Anterior):** Contiene fibras motoras (eferentes), que llevan comandos a los músculos esqueléticos y glándulas.



REGIÓN	PARES DE NERVIOS	NOMENCLATURA
Cervical	**8 pares**	C1 a C8
Torácica	**12 pares**	T1 a T12
Lumbar	**5 pares**	L1 a L5
Sacra	**5 pares**	S1 a S5
Coccígea	**1 par**	Co1
Total	**31 pares**	

Estos nervios, envueltos en capas de tejido conectivo, distribuyen la información sensorial hacia arriba y las órdenes motoras hacia abajo.

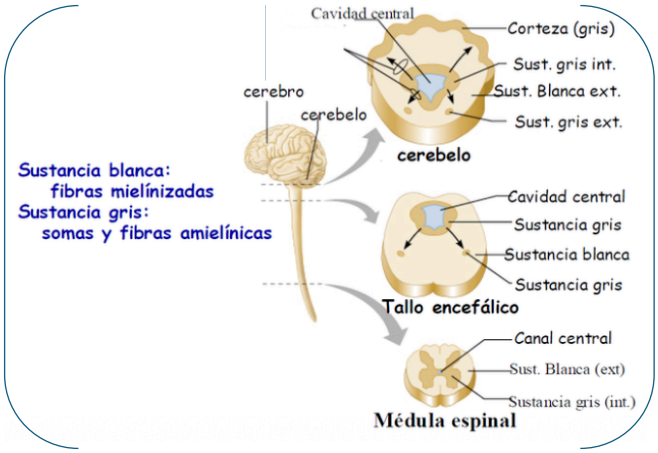
Su organización segmentaria permite que cada nivel de la médula controle regiones específicas del cuerpo.

⇒ ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

La **glía** se clasifica por su localización:

→ **En el SNC: oligodendrocitos, astrocitos, microglía, células ependimarias.**

→ **En el SNP: células de Schwann y células satélite.**



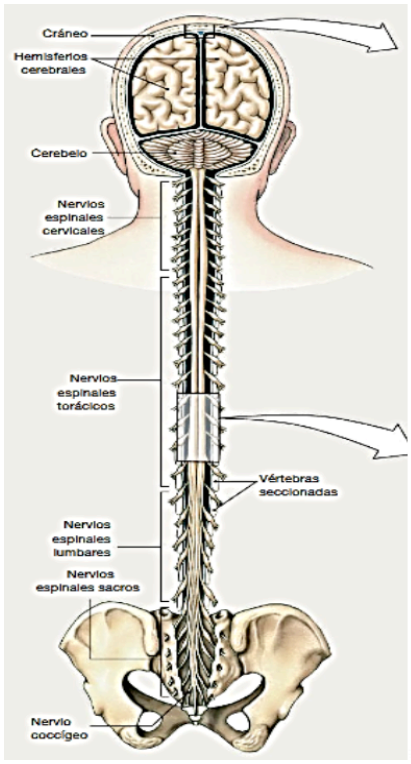
No solo sostienen a las neuronas:

- regulan el ambiente extracelular,
- modulan sinapsis,
- influyen en la plasticidad,
- participan en procesos inflamatorios,
- y determinan la velocidad de conducción.

La glía es el soporte funcional que permite al sistema nervioso operar con precisión de milésimas de segundo.

⇒ SISTEMAS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

El **Sistema Nervioso Central (SNC)**, compuesto por el encéfalo y la médula espinal, es una estructura vital que requiere una protección extremadamente estricta, dada su irreemplazabilidad y su sensibilidad a cambios mecánicos y químicos. Esta protección se logra mediante una combinación de capas de defensa **ósea**, **membranosa** y **líquida**:



1. Protección Ósea (Estructural)

Los componentes del SNC están encerrados en estructuras esqueléticas sólidas:

- **Encéfalo:** Protegido por el **cráneo** (o bóveda craneana), una estructura ósea rígida que previene daños mecánicos externos.
- **Médula Espinal:** Protegida por la **columna vertebral** (o espina dorsal), que, si bien es flexible, crea un canal óseo (el canal vertebral) que lo envuelve.

2. Protección Membranosa (Meninges)

Las **meninges** son tres capas de tejido conectivo que envuelven y protegen el SNC, ubicadas inmediatamente debajo de la protección ósea. De fuera hacia adentro, son:

1. **Duramadre (Dura Mater):** Es la capa más **externa** y **fuerte**. Es gruesa y resistente, actuando como la principal barrera protectora.
2. **Aracnoides:** Es la capa **intermedia**, llamada así por su apariencia de telaraña. Debajo de ella se encuentra el **espacio subaracnoideo**, crucial para la circulación del líquido cefalorraquídeo.
3. **Piamadre (Pia Mater):** Es la capa más **interna** y **delicada**. Está íntimamente adherida a la superficie del encéfalo y la médula espinal, siguiendo todos sus contornos. Contiene vasos sanguíneos que irrigan el tejido nervioso.

3. Protección Líquida (Líquido Cefalorraquídeo - LCR)

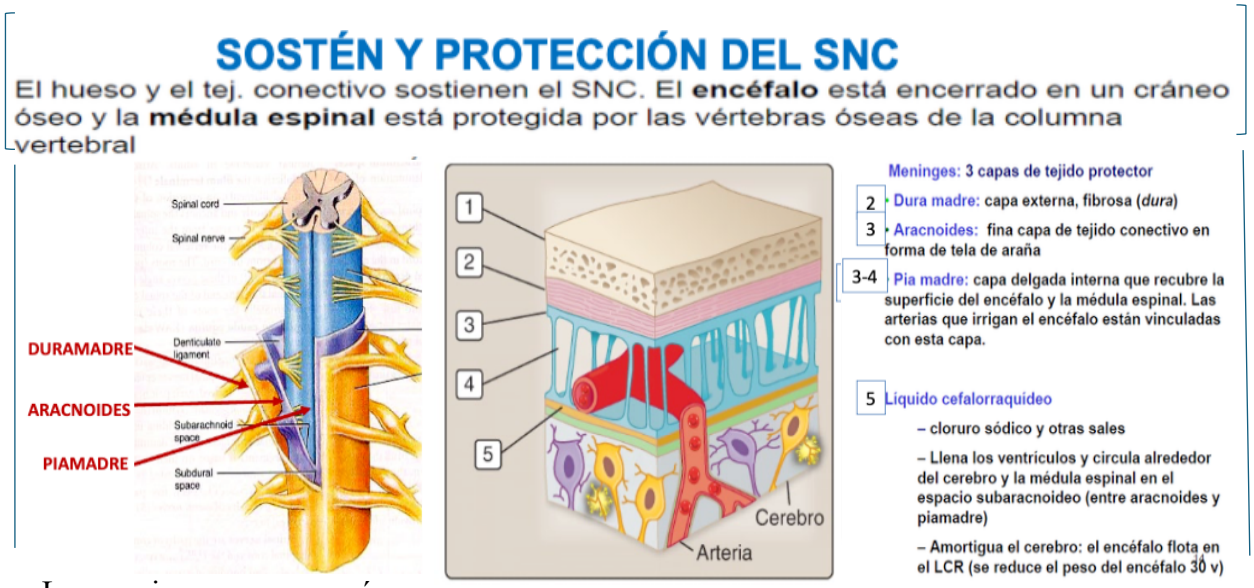
El **Líquido Cefalorraquídeo (LCR)** es un fluido acuoso, claro e incoloro que circula dentro y alrededor del SNC, proporcionando amortiguación y soporte.

- **Producción:** Se produce continuamente en los **plexos coroideos** (estructuras vasculares) dentro de los ventrículos cerebrales.
- **Función de Amortiguación:** El LCR rodea el cerebro y la médula espinal, permitiendo que "floten". Esto reduce significativamente el peso efectivo del encéfalo (de aproximadamente 1,500 g a solo 50 g), protegiéndolo de golpes y movimientos bruscos (**amortiguador hidráulico**).
- **Función Nutricional y de Desecho:** Ayuda a transportar nutrientes al tejido cerebral y elimina productos de desecho y mantiene el volumen intracraneal relativamente constante.

4. La Barrera Hematoencefálica (Protección Química)

Aunque no es una capa física en el sentido estricto, la **Barrera Hematoencefálica (BHE)** es un mecanismo de protección vital a nivel **químico y celular**.

- **Naturaleza:** Es una red de células endoteliales especializadas que recubren los capilares del cerebro, unidas por **uniones estrechas**.
  Función: Regula de manera estricta qué sustancias pueden pasar de la sangre al tejido cerebral, **impidiendo** la entrada de patógenos, toxinas y muchas moléculas grandes. Esto mantiene un entorno interno estable y seguro para la función neuronal.

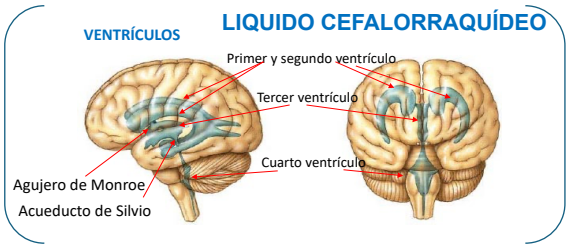


Las meninges se ven aquí en detalle:

- La **duramadre** es la capa más gruesa, con dos láminas que crean senos venosos.
- La **aracnoides** contiene el espacio subaracnoideo, donde circula el LCR.
- La **piamadre** es tan fina que sigue todos los pliegues del tejido nervioso.

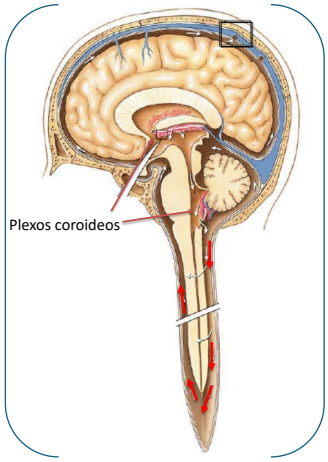
Este conjunto protege frente a golpes, mantiene el medio fluido adecuado y sirve de soporte vascular.

⇒ VENTRICULOS CEREBRALES - LIQUIDO CEFALORRAQUÍDEO



Los **ventrículos cerebrales** forman un sistema continuo lleno de **Líquido Cefalorraquídeo** (LCR).

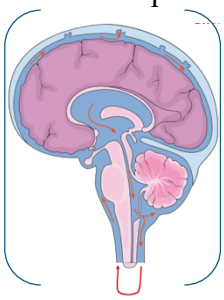
La producción se realiza en los **plexos coroideos**, que ajustan el volumen y la composición del líquido (120-150ml).



Funciones del LCR:

- Mantener la **composición iónica estable** necesaria para la actividad eléctrica.
- Eliminar desechos como metabolitos y restos celulares.
- Regular el volumen intracraneal (compensando aumentos de sangre).
- Facilitar la flotabilidad del encéfalo, reduciendo su peso efectivo.

→ El **contenido en ClNa** (cloruro de sodio) **es mayor que el del plasma** y su composición similar, lo que favorece la estabilidad eléctrica del tejido nervioso.



→ El recorrido del **líquido cefalorraquídeo (LCR)** sigue un circuito continuo y organizado que garantiza su renovación y circulación constante.

El LCR, producido en los plexos coroideos de los ventrículos, fluye desde el **cuarto ventrículo** hacia los **espacios subaracnoideos** que rodean tanto al encéfalo como a la médula espinal.



Estos espacios, ubicados entre aracnoides y piamadre, forman una red que permite que el líquido bañe toda la superficie del sistema nervioso central.

Tras circular por los surcos y cisternas, el LCR llega a las **vellosidades aracnoideas**, pequeñas prolongaciones que penetran los **senos venosos durales**, especialmente el seno sagital superior.

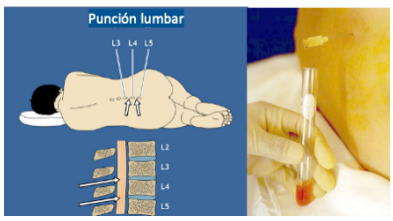
Ahí el LCR se **reabsorbe a la sangre venosa**, completando el ciclo.

Se mantiene un equilibrio estricto entre producción y reabsorción:

- Si aumenta la producción, se incrementa la presión intracraneal.
- Si falla la reabsorción (como en una meningitis), puede aparecer hidrocefalia.

Este mecanismo asegura que el SNC disponga de un entorno fluido estable, libre de desechos y protegido frente a impactos.

La **punción lumbar** que se realiza para obtener **líquido cefalorraquídeo** es una técnica diagnóstica fundamental. Se accede al espacio subaracnoideo en la región lumbar (entre L3–L4 o L4–L5), donde la médula ya no está presente, reduciendo el riesgo de lesión.



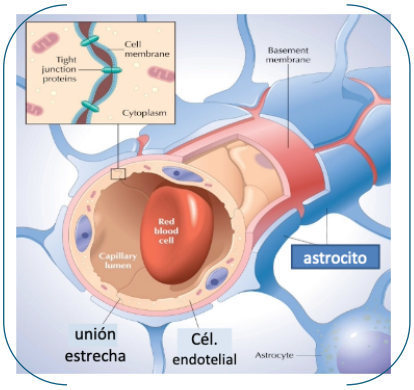
El LCR obtenido sirve para:

- **Diagnóstico**: infecciones como meningitis, hemorragias subaracnoideas, enfermedades inflamatorias, procesos autoinmunes.
- **Administración de fármacos**: antibióticos, quimioterapia, anestesia (epidural o intradural).
- **Estudios de presión intracraneal**.

El análisis del LCR proporciona información única sobre el estado bioquímico del SNC, porque refleja directamente lo que ocurre en su entorno interno, algo inaccesible por otros métodos.

⇒ BARRERA HEMATOENCEFÁLICA

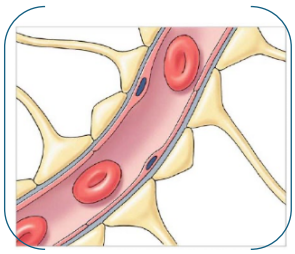
La **barrera hematoencefálica (BHE)** constituye la defensa final del Sistema Nervioso Central (SNC). Su función es impedir que sustancias potencialmente nocivas, fluctuaciones químicas o microorganismos presentes en la sangre alcancen el tejido nervioso.



Está formada por:

- **Células endoteliales** de los capilares cerebrales, unidas por **uniones estrechas** (*tight junctions*).
- **Astrocitos**, cuyas prolongaciones envuelven los capilares y regulan el intercambio.
- Ausencia de fenestraciones, lo que limita enormemente la filtración.

→ El paso de sustancias está muy controlado:



- El agua, el **O_2** (dioxígeno u oxígeno molecular), el **CO_2** (dióxido de carbono**)** y las moléculas pequeñas liposolubles (como el alcohol o anestésicos) sí pueden atravesarla.
- La mayoría de los fármacos hidrosolubles **no pasan**, lo que explica la dificultad de tratar infecciones del SNC.
- Existen transportadores específicos para glucosa, aminoácidos y otros nutrientes esenciales.

→ La BHE no es impermeable en todo el SNC. Hay áreas donde es deliberadamente más permeable para que el cerebro pueda controlar el ambiente interno del cuerpo:

- **Hipotálamo–hipófisis:** regulación hormonal.
- **Glándula pineal:** secreción de melatonina.
- **Centro del vómito**, sensible a toxinas circulantes.

▪ La BHE representa un compromiso: máxima protección, pero con la mínima restricción necesaria para el aporte de nutrientes vitales.

→ El propósito funcional de la **barrera hematoencefálica (BHE)** se entiende mejor cuando se repasan sus funciones:

▪ **Protección frente a sustancias nocivas y patógenos**

Evita la entrada de microorganismos, toxinas o moléculas que podrían alterar el equilibrio neuronal.

▪ **Estabilidad del entorno químico**

El tejido nervioso requiere concentraciones extremadamente constantes de iones, neurotransmisores y hormonas.

Pequeñas variaciones afectarían a la excitabilidad neuronal.

▪ **Selectividad**

No se trata de una muralla: permite el paso controlado de sustancias útiles mediante transportadores específicos.

El cerebro consume el 20 % de la glucosa corporal, pero no almacena glucógeno; por tanto, depende por completo de esta selectividad.

▪ **Excepciones funcionales**

En los órganos circunventriculares (hipófisis, pineal, área postrema), la filtración es necesaria para que el SNC detecte sustancias circulantes (como hormonas o toxinas).

Por todo ello la BHE delimita un "microcosmos químico" dentro del SNC, completamente diferente de la sangre.

Como complemento a este tema, vamos a ver con relación a “memoria y aprendizaje” la **Potenciación a Largo Plazo** (o **LTP**, por sus siglas en inglés: *Long-Term Potentiation*) es, en términos sencillos, el mecanismo biológico mediante el cual nuestro cerebro "escribe" los recuerdos.

Si el cerebro fuera una red de carreteras, la LTP sería el proceso de convertir un sendero de tierra en una autopista de seis carriles gracias al uso frecuente.

Veamos cómo funciona este fenómeno fundamental de la neurociencia:

1. El concepto: "Neuronas que disparan juntas, se mantienen juntas"

La LTP es un fortalecimiento duradero de la comunicación entre dos neuronas que resulta de la estimulación sincronizada. Cuando se aprende algo nuevo, ciertas neuronas se activan repetidamente. Este proceso hace que la conexión (sinapsis) sea más eficiente: la próxima vez, se necesitará menos esfuerzo para que la señal pase de una neurona a otra.

2. ¿Cómo ocurre a nivel celular?

Para que haya memoria, debe haber un cambio físico. La LTP ocurre principalmente en el **hipocampo** (el centro de la memoria) y sigue estos pasos:

- **Liberación de Glutamato:** La neurona "emisora" libera este neurotransmisor.
- **Activación de receptores:** El glutamato llega a la neurona "receptora" y activa receptores específicos llamados **AMPA** y **NMDA**.
- **Entrada de Calcio:** Cuando la estimulación es fuerte, el receptor NMDA permite que el calcio entre en la célula. Este es el "interruptor" que inicia el cambio.
- **Fortalecimiento:** El calcio provoca que se instalen **más receptores** en la membrana. Ahora, la neurona es mucho más sensible y "escucha" mejor a su vecina.

3. ¿Por qué es importante para el recuerdo?

La LTP es la base de la **plasticidad sináptica**. Sin ella, seríamos incapaces de retener información nueva.

CARACTERÍSTICA	IMPACTO EN EL APRENDIZAJE
Persistencia	Puede durar desde horas hasta meses, permitiendo la memoria a largo plazo.
Especificidad	Solo se fortalecen las conexiones que se usan activamente (por eso recordamos lo que practicamos).
Asociatividad	Permite relacionar conceptos (si huelo café y escucho una campana al mismo tiempo, las conexiones se refuerzan juntas).

- **Un ejemplo técnico (La fórmula del cambio)**

En neurociencia, la eficiencia de la conexión sináptica (w) aumenta tras una estimulación de alta frecuencia. Si representamos la respuesta postsináptica como V, tras la LTP observamos que:

$$V_{después} > V_{antes}$$

Para un mismo estímulo de entrada.

- **Dato curioso:** Lo contrario a la LTP es la **Depresión a Largo Plazo (LTD)**. El cerebro también necesita "debilitar" conexiones que ya no usa para no saturarse de información irrelevante. Es el arte de olvidar para poder aprender.

→ Para aprovechar al máximo la **Potenciación a Largo Plazo (LTP)** y convertir la información en recuerdos sólidos, se puede aplicar estas tres estrategias basadas en la neurociencia:

1. Repetición Espaciada (El "reforzamiento" de la vía)

Como la LTP requiere una activación repetida para que los receptores NMDA y AMPA se estabilicen, no sirve de mucho estudiar 5 horas seguidas un solo día.

- **La técnica:** Repasar la información en intervalos crecientes (1 día después, luego a los 3 días, a la semana, al mes). Esto obliga a las neuronas a reactivar la conexión justo cuando la "autopista" empezaba a debilitarse, consolidándola definitivamente.

2. Recuerdo Activo (Active Recall)

En lugar de releer un texto (que es un proceso pasivo), intentar explicar el concepto de memoria sin mirar los apuntes.

- **Por qué funciona:** Al esforzarse por recordar, se genera una descarga eléctrica más intensa en la sinapsis, lo que facilita la entrada de calcio en la neurona y acelera el proceso de potenciación.

3. Aprendizaje Asociativo (Crear redes)

La LTP es **asociativa**. Es mucho más fácil recordar algo si se vincula a un conocimiento que ya se tiene (un ejemplo personal, una canción o una imagen).

- **La técnica:** Usar analogías. Por ejemplo, relacionar la LTP con "entrenar un músculo": cuanto más peso (atención) y repeticiones se le dé, más fuerte (estable) se vuelve la conexión.

Este video es muy esclarecedor:
https://www.youtube.com/watch?v=rK1H7LifwTg

⇒ ¿QUÉ ES APRENDER DESDE EL PUNTO DE VISTA FISIOLÓGICO?

Aprender es **modificar la fuerza de las conexiones entre neuronas** en respuesta a la experiencia.
Esto ocurre en las **sinapsis**, donde una neurona se comunica con otra mediante neurotransmisores.

- Si una conexión se usa mucho → se **refuerza**
- Si no se usa → se **debilita**

Este principio es la base del aprendizaje y se conoce como:

- **Plasticidad neuronal** (capacidad del cerebro para cambiar)

1. La clave: la sinapsis

¿Qué ocurre exactamente?

Cuando dos neuronas se activan de forma repetida:

1. Aumenta la liberación de neurotransmisores (como el glutamato)
2. La neurona receptora responde con mayor intensidad
3. Se forman más receptores en la membrana
4. Incluso pueden crecer nuevas conexiones físicas

Resultado: **la señal pasa más fácilmente**

2. Potenciación a largo plazo

Este es el mecanismo más importante conocido del aprendizaje.

- Consiste en un aumento duradero de la eficacia sináptica, es decir, cuanto más se usa un circuito neuronal, más fácil es activarlo en el futuro. Esto ocurre sobre todo en el **hipocampo**.

3. Tipos de memoria (visión fisiológica)

a) Memoria a corto plazo

- Dura segundos o minutos
- No implica cambios estructurales profundos
- Se basa en actividad eléctrica temporal

b) Memoria a largo plazo

- Dura horas, días o toda la vida

- Requiere:
    - Síntesis de proteínas
    - Cambios estructurales en neuronas

Aquí ya hablamos de aprendizaje consolidado

4. Consolidación de la memoria

Proceso mediante el cual la memoria pasa de inestable a estable.

- Interviene el **hipocampo**
- Posteriormente se "redistribuye" a la corteza cerebral

Durante el sueño este proceso se intensifica:

- El cerebro "repite" los patrones aprendidos

5. Estructuras implicadas

No todo el cerebro hace lo mismo:

- **Hipocampo** → formación de recuerdos nuevos
- **Corteza cerebral** → almacenamiento a largo plazo
- **Amígdala** → memoria emocional
- **Cerebelo** → aprendizaje motor (automatismos)

6. Neurotransmisores clave

- **Glutamato** → principal excitador (clave en LTP)
- **GABA** → inhibidor (equilibra el sistema)
- **Dopamina** → motivación y recompensa (aprendizaje reforzado)
- **Acetilcolina** → atención y memoria

7. Un principio fundamental (conviene no olvidarlo)

El aprendizaje sigue una ley clásica: "**Las neuronas que se activan juntas, se conectan entre sí**"

Esto explica:

- La repetición
- La práctica
- El hábito

8. Consecuencia práctica

Desde la fisiología:

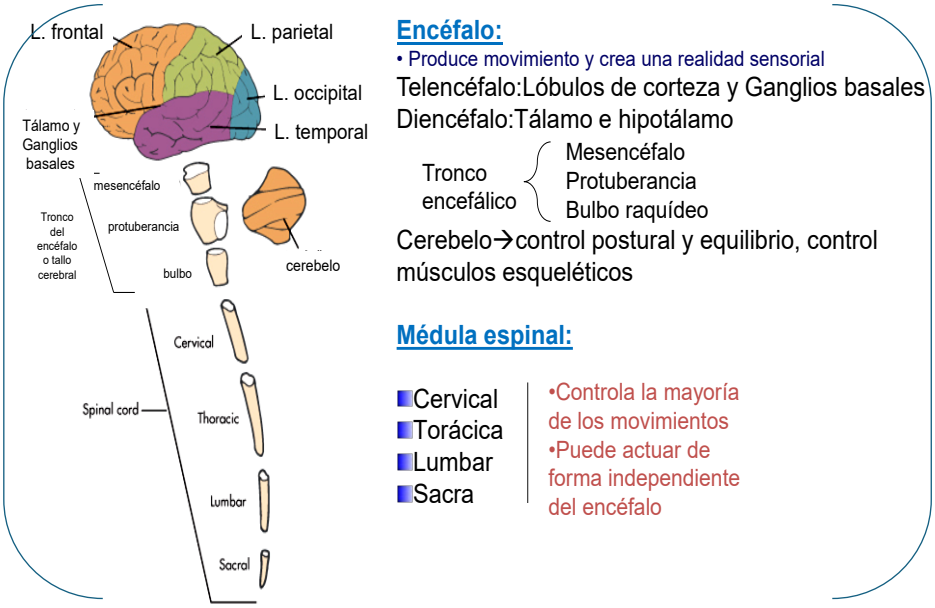
- **Aprender exige repetición**
- **El esfuerzo deja huella física en el cerebro**
- **Sin uso, se pierde**

No hay otros atajos biológicos.

⇒ SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

El sistema nervioso central está organizado como un conjunto jerarquizado de estructuras que cooperan para producir movimiento, percepción, emociones y homeostasis.

→ El encéfalo no es un bloque uniforme, sino un conjunto de divisiones altamente especializadas que funcionan como módulos que están interconectados.
Veamos cuales son:



- El **telencéfalo**, formado por la corteza cerebral y los ganglios basales, constituye la sede de las **funciones superiores**: pensamiento, lenguaje, planificación, memoria voluntaria, atención y control de la conducta. La corteza transforma señales eléctricas en experiencias conscientes: convierte la luz en visión, las vibraciones del aire en sonido y los impulsos táctiles en sensaciones complejas. Dentro del telencéfalo, los **ganglios basales** filtran y seleccionan los programas motores apropiados, garantizando que los movimientos voluntarios sean fluidos y eficientes.

- El **diencéfalo**, compuesto por **tálamo** e **hipotálamo**, desempeña tareas de coordinación crítica. El tálamo actúa como centro de distribución sensorial: casi toda la información aferente pasa por él, donde se filtra y organiza antes de llegar a la corteza. El hipotálamo, por otro lado, representa la instancia suprema de regulación homeostática. Controla la temperatura, el hambre, la sed, el sueño, el sistema endocrino y el sistema nervioso autónomo. Relaciona el estado corporal con la emoción a través de sus conexiones con el sistema límbico.

- El **mesencéfalo**, la **protuberancia** y el **bulbo raquídeo** forman el tronco encefálico, donde se integran los centros que controlan respiración, circulación, presión arterial y reflejos primarios como vómito, tos y deglución. Es la zona que mantiene la vida automáticamente.

- El **cerebelo** coordina postura, equilibrio y precisión del movimiento. Ajusta en tiempo real la ejecución motora y participa en el aprendizaje de destrezas.

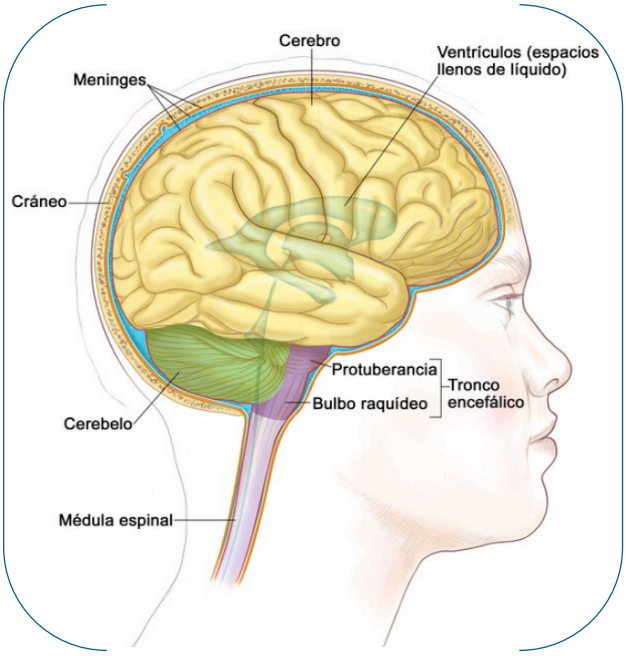
- La **médula espinal** completa el sistema central como vía de comunicación entre encéfalo y periferia, capaz de generar respuestas rápidas mediante reflejos sin intervención superior.

Es un panorama general donde cada nivel del SNC se organiza no solo anatómicamente, sino funcionalmente, constituyendo un sistema único de integración sensorial, cognitiva y motora.

⇒ EL ENCÉFALO

El encéfalo, visto desde un punto de vista global, refleja una organización sorprendentemente lógica: estructuras más profundas dedicadas a funciones vitales y automáticas, y regiones más superficiales encargadas de funciones complejas.

Esta imagen transmite una idea central: el encéfalo es un sistema verticalmente organizado, donde los niveles inferiores sostienen la vida automática y niveles superiores construyen la experiencia humana.



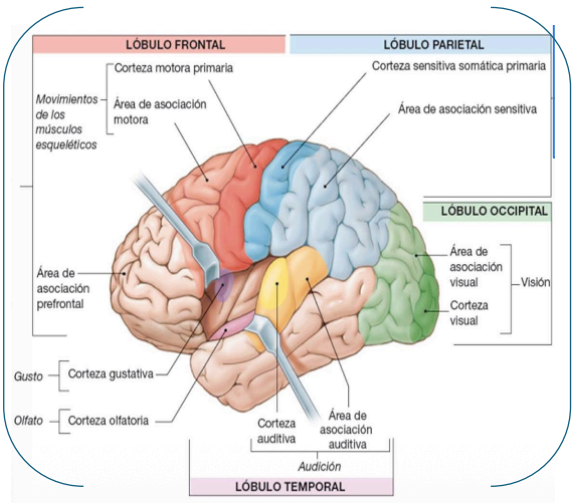
- El **tronco encefálico** —**mesencéfalo**, **protuberancia** y **bulbo raquídeo**— contiene los centros encargados de regular el latido cardíaco, la respiración, la tensión arterial y muchos reflejos esenciales. De él emergen la mayoría de los nervios craneales, que conectan directamente el encéfalo con cabeza, cuello y órganos internos. El bulbo raquídeo coordina la respiración y el ritmo cardiaco; la protuberancia participa en la transmisión de señales entre médula, cerebelo y corteza; el **mesencéfalo** regula la alerta, los reflejos visuales y auditivos.

- El **cerebelo**, situado en la base del cráneo, mantiene la postura y el equilibrio. Evalúa la posición del cuerpo en el espacio y ajusta la fuerza, el tiempo y la precisión del movimiento. Sus lesiones producen movimientos descoordinados, dificultad para mantener el equilibrio y alteraciones en la marcha.

- El **telencéfalo** se sitúa por encima del tronco, sede de las funciones más sofisticadas: percepción consciente, decisiones voluntarias, pensamiento simbólico, lenguaje, imaginación y regulación social de la conducta. Su arquitectura por lóbulos potencia la especialización: el lóbulo frontal domina la planificación y el control motor, el parietal integra la sensibilidad somática, el occipital procesa la visión, el temporal gestiona la audición y aspectos críticos de la memoria y emoción.

⇒ LA CORTEZA CEREBRAL

La corteza es el "teclado" de las funciones superiores. Aunque con apariencia uniforme, está dividida en regiones con tareas concretas gracias a una organización funcional extraordinariamente precisa.



- Las **áreas sensitivas** reciben la información procedente de los sentidos y la transforman en percepción consciente. El tacto, por ejemplo, no es la simple activación de un receptor: es una construcción cortical que identifica textura, presión, temperatura y localización espacial. La visión tampoco existe hasta que la corteza occipital interpreta las señales eléctricas provenientes de la retina.

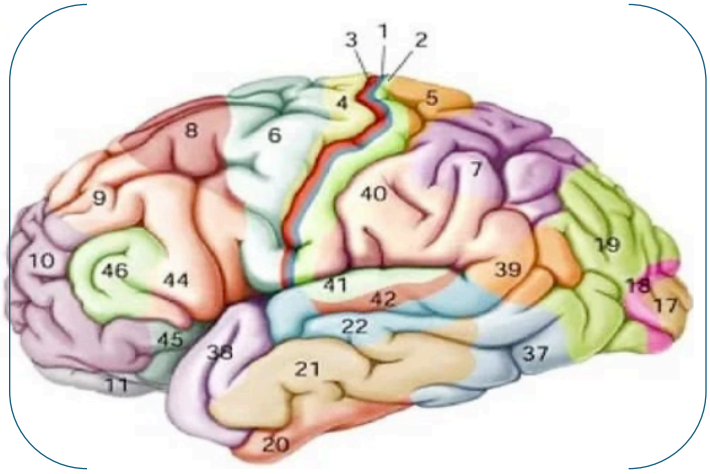
- Las **áreas motoras** elaboran los comandos que permiten los movimientos voluntarios. La corteza motora primaria activa directamente a las motoneuronas espinales; la corteza premotora y suplementaria planifican la secuencia del movimiento, anticipan la postura necesaria y organizan la acción.

- Las **áreas asociativas** constituyen la red más sofisticada: integran información de múltiples sentidos, la comparan con la memoria, la filtran según el contexto emocional y producen decisiones voluntarias. Son fundamentales para el razonamiento, la inteligencia práctica, el pensamiento abstracto, el lenguaje y la orientación espacial.

→ Esta división funcional no implica aislamiento. La corteza está intensamente interconectada, lo que convierte cada operación mental en un trabajo colectivo entre áreas especializadas.

⇒ LAS ÁREAS DE BRODMANN

- A principios del siglo XX, el neurocientífico alemán **Korbinian Brodmann** realizó una clasificación del cerebro humano que aún hoy sigue siendo esencial en el campo de la neurociencia. A través de estudios detallados de la corteza cerebral, Brodmann identificó 52 áreas, cada una asociada con funciones específicas. Este mapa, conocido como "las áreas de Brodmann," se creó observando diferencias microscópicas en las células del cerebro, y hoy sigue siendo la referencia clave para entender cómo funcionan distintos procesos como el lenguaje, la visión y el movimiento.



- Cada una de las áreas de Brodmann tiene un papel en el funcionamiento cerebral. Por ejemplo, las áreas 1, 2 y 3 están relacionadas con el procesamiento de la información sensorial; el área 17 se encarga de la visión, y el área 44, ubicada en el lóbulo frontal, es esencial para el lenguaje y se asocia con el **área de Broca**[5]. Este nivel de especificidad permite a los investigadores y médicos entender cómo se distribuyen las funciones cognitivas y sensoriales en el cerebro, facilitando el diagnóstico y tratamiento de trastornos neurológicos.

- Todo esto supone un impacto directo en la medicina y la neurocirugía, ya que el conocimiento de estas áreas no solo aporta a la comprensión teórica del cerebro, sino que también son útiles en la práctica médica. Al conocer qué áreas se activan en función de ciertas tareas, los neurocirujanos pueden planificar cirugías con mayor precisión para evitar daños en áreas cruciales para el habla, la memoria o el movimiento. Además, en enfermedades como el Alzheimer o el Parkinson, se pueden identificar áreas específicas afectadas, ayudando a mejorar los enfoques terapéuticos.

- Antes de Brodmann, el cerebro se veía como una masa uniforme de células. Sin embargo, su clasificación mostró que cada región cerebral tiene una estructura celular única, lo que influye en su función. Esta diferenciación ha sido la base para otros estudios sobre cómo ciertas áreas pueden modificar sus funciones en casos de lesión, un fenómeno conocido como plasticidad cerebral. Así, el trabajo de Brodmann no solo reveló cómo el cerebro está organizado, sino también cómo se adapta a distintas circunstancias.

- Aunque las áreas siguen siendo el marco de referencia para entender la corteza cerebral, los avances en neurociencia han permitido seguir explorando estos territorios con una precisión que él ni siquiera pudo imaginar. Hoy en día, las técnicas de neuroimagen permiten observar el cerebro en tiempo real y en alta resolución, refinando los hallazgos de Brodmann y permitiendo a los científicos conocer más sobre las conexiones entre distintas áreas. Su legado sigue vigente y continúa siendo fundamental en el avance de la neurociencia moderna.

[5] El Área de Broca es una región del lóbulo frontal del cerebro, principalmente en el hemisferio izquierdo, crucial para la producción y articulación del lenguaje hablado y escrito.

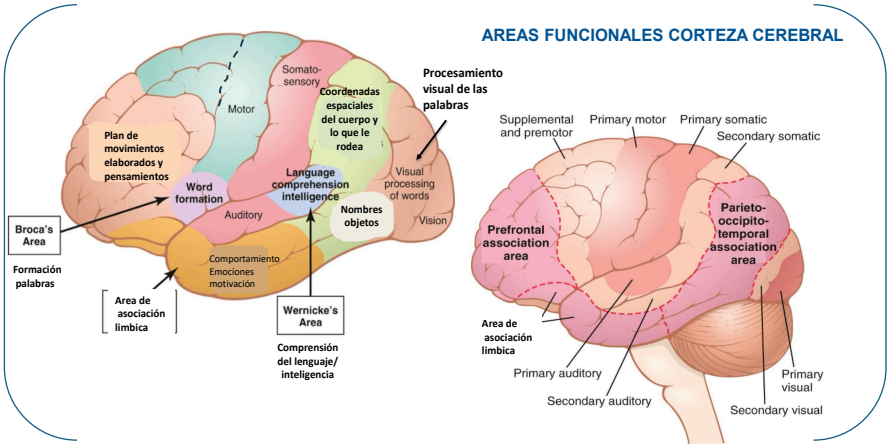
⇒ ÁREAS FUNCIONALES DE LA CORTEZA CEREBRAL

- Las **funciones superiores** —lenguaje, memoria, emoción, razonamiento, planificación motora— se apoya en redes distribuidas por varias áreas corticales. La capacidad humana de articular palabras implica la coordinación precisa entre corteza motora, áreas asociativas del lóbulo frontal, área de Broca y regiones temporales que gestionan la comprensión.

- El **área límbica** de asociación integra emociones, motivación y memoria autobiográfica, permitiendo que las decisiones no sean meras respuestas motoras, sino elecciones con valor personal y afectivo.

- Otras regiones permiten nombrar objetos, reconocerlos, imaginar trayectorias de movimiento o interpretar el lenguaje escrito.

→ El concepto fundamental es que la corteza no funciona por "departamentos", sino por circuitos interdependientes que transforman la percepción en acción o pensamiento.



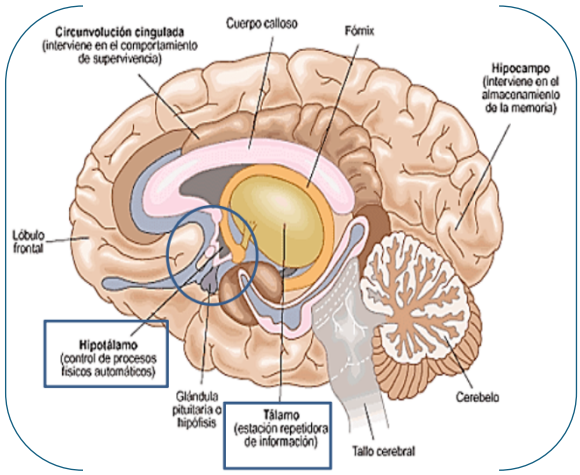
⇒ DIENCÉFALO - CENTROS PARA EL CONTROL DE LA HOMEOSTASIS

- El **diencéfalo** es una región central y vital del cerebro, situada entre los **hemisferios cerebrales** y el **tronco encefálico**, que actúa como un centro crucial de procesamiento sensorial, control autónomo y endocrino.

No solo distribuye información: da coherencia al estado corporal, emocional y conductual en cada momento del día. Está compuesto principalmente por el **tálamo**, **hipotálamo**, **epitálamo** y **subtálamo**, integrando información sensorial y regulando funciones corporales esenciales como la homeostasis, el sueño, el apetito y las emociones, conectando el cerebro con el resto del sistema nervioso. El tálamo y el hipotálamo son los centros decisivos para la vida consciente y la homeostasis.

- El **tálamo** recibe información visual, auditiva, somática y visceral, y actúa como un director de orquesta que decide qué señales deben llegar a la corteza y cuáles deben ser atenuadas. Si toda la información sensorial llegara a la conciencia sin filtro, la experiencia sería caótica. El tálamo evita esa sobrecarga organizando la entrada sensorial como un flujo comprensible.
- El **hipotálamo** dirige los comportamientos fundamentales para la supervivencia: comer, beber, regular la temperatura, mantener el equilibrio hídrico y controlar la secreción hormonal.

Su conexión con la hipófisis lo convierte en el "jefe" del sistema endocrino. Su comunicación con el sistema límbico explica por qué emociones intensas pueden alterar ritmo cardiaco, respiración o digestión.



- **Epitálamo:** Incluye la glándula pineal, que regula ritmos circadianos mediante la secreción de melatonina.
- **Subtálamo:** Participa en la modulación del control motor y tiene conexiones importantes con los ganglios basales.

⇒ TRASTORNOS RELACIONADOS CON EL DIENCÉFALO

Estas son algunas de las enfermedades asociadas a disfunciones del diencéfalo:

- **Insomnio y trastornos del sueño**: Alteraciones en el epitálamo y la producción de melatonina pueden interrumpir los ritmos circadianos.
- **Hipertermia o hipotermia**: Disfunciones en el hipotálamo pueden afectar la regulación de la temperatura corporal.
- **Hipopituitarismo**: Una lesión en el hipotálamo puede interferir con la secreción hormonal de la hipófisis.
- **Movimientos anormales**: Lesiones en el subtálamo pueden provocar temblores o distonías.

⇒ EFERENCIAS DEL TÁLAMO

→ **El tálamo como centro de distribución sensorial y motor:**

El tálamo funciona como un **nodo central** donde convergen casi todas las vías sensitivas del cuerpo. No es un simple "puente", sino un **procesador activo** que decide el destino de cada señal. La información que llega es reorganizada, filtrada y enviada a la región cortical correspondiente.

→ **Principio funcional**

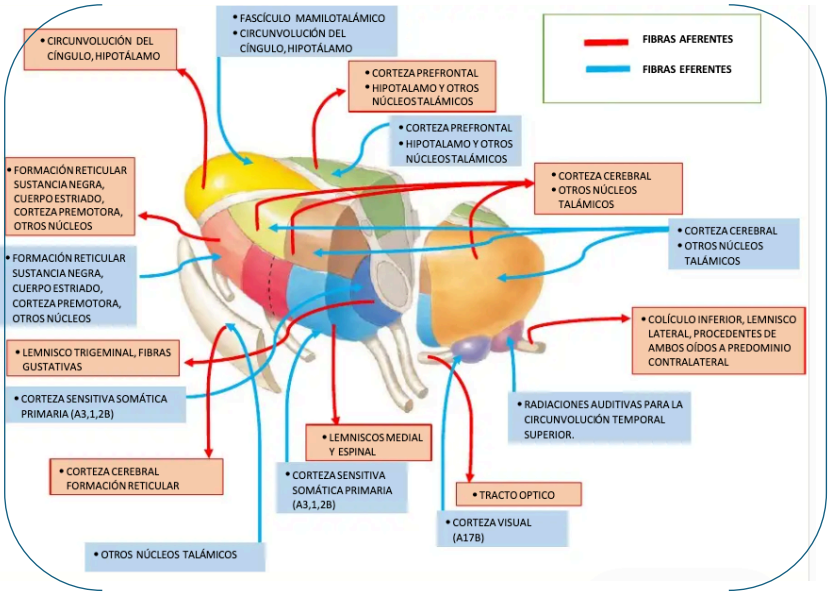
- **Todo estímulo sensorial relevante** (excepto el olfatorio) pasa por el tálamo.
- Cada modalidad (tacto, visión, audición, propiocepción, dolor…) tiene **su propio núcleo talámico**.
- La señal se **clasifica, modula y prioriza** antes de viajar a la corteza.

→ **Organización de las proyecciones talámicas**

El tálamo mantiene **conexiones recíprocas** con la corteza:

la corteza envía órdenes hacia el tálamo y el tálamo ajusta la información que retorna.

Este "diálogo" permite que el cerebro regule la atención, el nivel de alerta y la interpretación del entorno.



→ **Distribución típica de sus eferencias**

- **Lóbulos sensoriales** (primarios y asociativos): reciben información procesada del cuerpo y del mundo externo.
- **Corteza motora y premotora**: reciben información procedente de cerebelo y ganglios basales, permitiendo ajustar la planificación del movimiento.
- **Regiones límbicas**: reciben señales emocionales, motivacionales y de memoria.

→ **Control de la atención y la relevancia del estímulo**

El tálamo actúa como un **filtro dinámico**.

En situaciones de estrés o peligro, por ejemplo, potencia las aferencias visuales y auditivas mientras reduce otras menos urgentes.

Cuando el organismo está en reposo, prioriza señales internas (digestión, sensaciones viscerales) y modula la transición hacia el sueño.

→ **Funciones clave**

- **Seleccionar lo importante** y suprimir lo irrelevante.
- **Sincronizar** la corteza para facilitar la percepción consciente.
- **Colaborar con el cerebro motor** para coordinar el inicio y ajuste de movimientos voluntarios.

→ **Relación con el movimiento**

El tálamo no solo transmite información sensorial:

también recibe señales del **cerebelo** y de los **ganglios basales**, integrándolas y enviándolas a la corteza motora.

Esto permite que postura, equilibrio, movimientos finos y fuerza se ajusten antes de ejecutarse.

En resumen: el tálamo no es una estación de paso, sino un centro regulador que construye el flujo de información sensorial y motora de acuerdo con las necesidades del organismo.

⇒ HIPOTÁLAMO

→ **Centro supremo de la homeostasis**

El **hipotálamo** es el **órgano regulador por excelencia** del medio interno. Supervisa constantemente la temperatura corporal, la osmolaridad, el equilibrio energético, la actividad hormonal y las respuestas emocionales básicas.

→ **Regulación neuroendocrina**

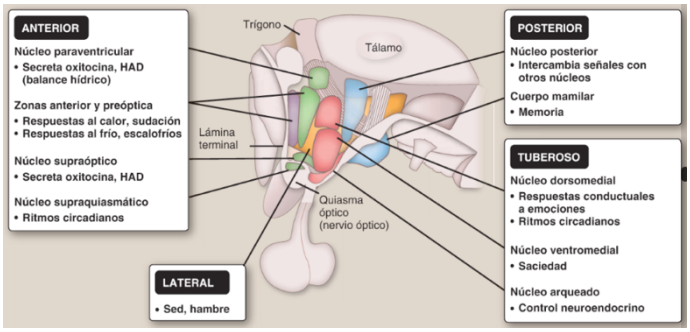
Controla la **hipófisis**, liberando hormonas que regulan tiroides, glándulas suprarrenales, gónadas, crecimiento, lactancia, metabolismo de agua y muchos otros procesos.

Esta relación crea el **eje hipotálamo–hipófisis**, la estructura hormonal más poderosa del organismo.

→ **Control del Sistema Nervioso Autónomo (SNA)**

El **hipotálamo** modula la actividad:

- **Simpática** (lucha o huida).
- **Parasimpática** (reposo y digestión).



Coordina respuestas como:

- aumento del pulso,
- cambios en la presión arterial,
- sudoración,
- regulación del apetito y saciedad,
- ajuste térmico (escalofrío, vasoconstricción, vasodilatación).

→ **Integración con el sistema límbico**

A través de conexiones con la amígdala y el hipocampo, confiere un **significado emocional** a las funciones corporales.

Por eso, estados emocionales intensos pueden causar:

- taquicardia,
- náuseas,
- sequedad bucal,
- temblores,
- aumento de la presión arterial.

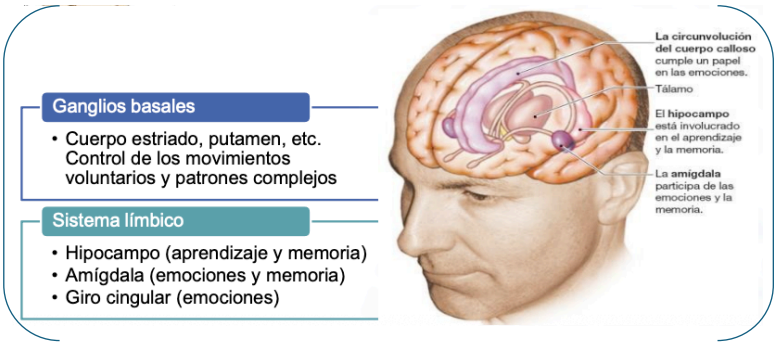
Por todo ello, podemos decir que el hipotálamo es donde **el cuerpo y la emoción se encuentran**.

⇒ GANGLIOS BASALES Y SISTEMA LÍMBICO

→ **Ganglios basales: arquitectos del movimiento voluntario**

El cuerpo estriado, putamen y globo pálido forman un sistema crucial para:

- iniciar movimientos voluntarios,
- modular su intensidad,
- ordenar su secuencia,
- suprimir movimientos inútiles o interferentes,
- ejecutar patrones motores aprendidos (escritura, hablar, tocar un instrumento).



Funcionan como un **filtro inteligente**:

- la vía directa facilita el movimiento; la vía indirecta lo inhibe.
- El equilibrio entre ambas determina la fluidez motora.

→ **Relación con enfermedades**

- Falta de dopamina (Parkinson): movimiento lento, rígido, tembloroso.
- Muerte de neuronas inhibitorias (Huntington): movimientos involuntarios, corea, alteración cognitiva y emocional.

→ **Sistema límbico: emoción, motivación y memoria**

Incluye:

- **Hipocampo** → memoria declarativa, orientación espacial.
- **Amígdala** → miedo, agresión, memoria emocional.
- **Giro cingular** → integración emocional, motivación, toma de decisiones.

→ Su función es dotar de **significado afectivo** a lo que percibimos y hacemos. Conecta con los ganglios basales, modulando la conducta según el estado emocional.

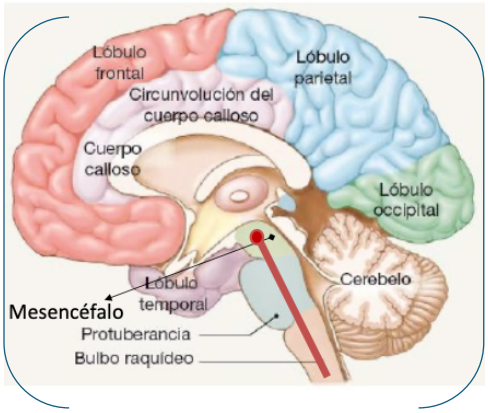
⇒ FORMACIÓN RETICULAR

→ **Red neuronal esencial para la vida**

La formación reticular, extendida por **mesencéfalo**, **protuberancia** y **bulbo raquídeo**, controla funciones automáticas sin las cuales no existiría la vida consciente.

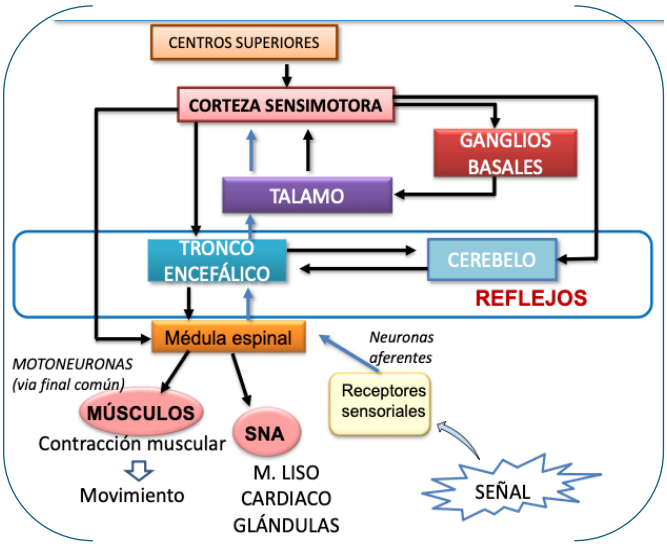
→ **Funciones principales**

- **Regulación del sueño y la vigilia**: determina el nivel de alerta, atención y conciencia.
- **Tono muscular**: ajusta la postura incluso sin darnos cuenta.
- **Coordinación respiratoria**: sincroniza ritmo e intensidad respiratoria.
- **Control cardiovascular**: regula la presión arterial y la frecuencia cardiaca.
- **Modulación del dolor**: permite que estímulos dolorosos sean amplificados o atenuados según necesidad (ej. estrés intenso → disminuye percepción del dolor).



→ Es un sistema continuo que mantiene el equilibrio entre vigilancia y reposo, seguridad y descanso.

⇒ INTEGRACIÓN SENSORIAL Y PROGRAMA MOTOR



→ **Del estímulo a la acción**

El sistema nervioso transforma la información sensorial (vista, tacto, posición corporal, equilibrio) en movimientos precisos y coordinados.

→ **Elementos que participan**

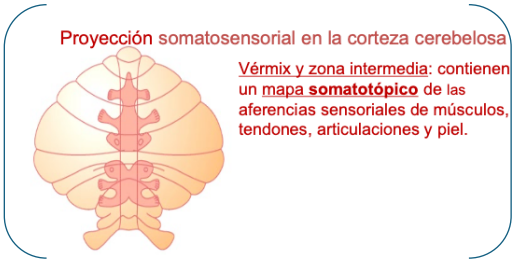
- **Corteza sensimotora**: recibe la información sensorial y planifica la acción.
- **Tálamo**: distribuye los estímulos y sincroniza los centros motores.
- **Tronco encefálico**: ajusta reflejos posturales, respiratorios y cardiovasculares.
- **Cerebelo**: corrige y afina el movimiento en tiempo real.
- **Ganglios basales**: seleccionan el programa motor adecuado.
- **Médula espinal**: envía la orden final a los músculos mediante las motoneuronas.

→ La integración sensorial garantiza que cada movimiento sea **coherente con la postura, el equilibrio y el entorno**.

⇒ MAPA SOMATOTÓPICO CEREBELOSO

→ **El cerebelo como cartógrafo del cuerpo**

El cerebelo contiene representaciones somatotópicas: mapas que reflejan la posición de músculos, tendones y articulaciones.



→ En el **vermis** y la **zona intermedia**, existen áreas que reciben información sobre:

- posición de las extremidades,
- tensión muscular,
- velocidad del movimiento,
- estado de la piel y articulaciones.

→ Estas regiones permiten ajustar en tiempo real la coordinación, corrigiendo la trayectoria o intensidad del movimiento antes de que se produzca el error.

⇒ FUNCIONES DEL CEREBELO

→ **Coordinador maestro del movimiento**

El cerebelo combina información sensorial y motora para producir un movimiento fluido, estable y preciso.

→ **Funciones motoras**

- Mantener **postura y equilibrio**.
- Coordinar la **secuencia y rapidez** de movimientos voluntarios.
- Anticipar el movimiento siguiente para que la transición sea suave.
- Detectar errores y corregirlos al instante, evitando trastornos como temblores o descoordinación.

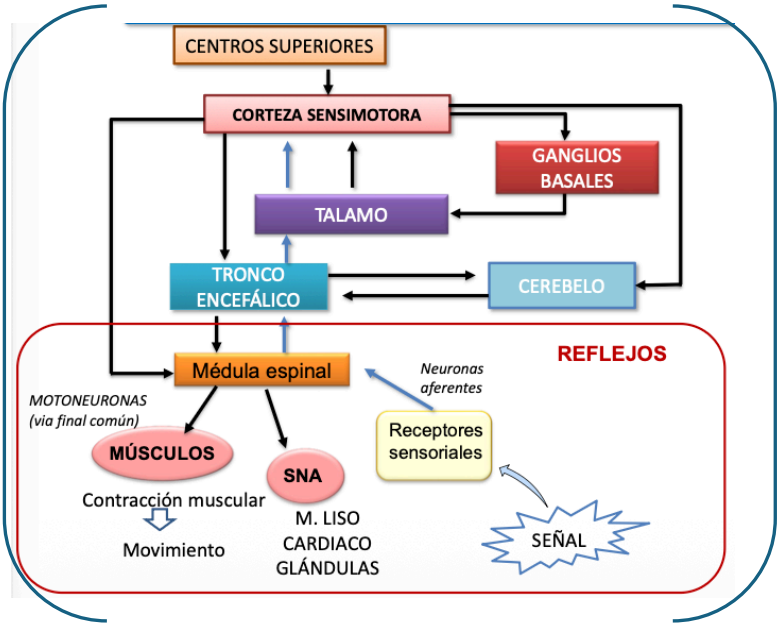
→ **Funciones no motoras**

- Participar en el aprendizaje de destrezas motoras (como montar en bicicleta o escribir).
- Contribuir al lenguaje, la memoria procedimental y ciertos aspectos del pensamiento.

→ Su participación es silenciosa pero decisiva: cuando el cerebelo falla, el movimiento pierde armonía.

⇒ INTEGRACIÓN SENSORIAL Y PROGRAMA MOTOR

→ Del estímulo a la acción: una cadena continua



- El sistema nervioso no funciona por compartimentos aislados, sino como una **cadena funcional continua** que transforma la información sensorial en acción motora. Esta diapositiva representa ese proceso completo, desde la entrada sensorial hasta la contracción muscular o la respuesta visceral.

- Todo comienza en los **receptores sensoriales**, que detectan cambios físicos o químicos del entorno externo (luz, sonido, presión, temperatura) y del entorno interno (estiramiento muscular, presión arterial, composición química de la sangre). Estas señales ascienden por las **vías aferentes** hacia el sistema nervioso central.

→ Centros que participan en la integración

La información no va directamente a producir movimiento. Antes pasa por varios niveles:

- **Corteza sensorial**: convierte la señal nerviosa en percepción consciente. Aquí "sabemos" qué está ocurriendo.
- **Tálamo**: actúa como distribuidor y modulador, decidiendo qué información es relevante.
- **Ganglios basales**: seleccionan el programa motor adecuado y bloquean otros movimientos competidores.
- **Cerebelo**: compara el movimiento planificado con el movimiento real y corrige errores.
- **Tronco encefálico**: ajusta el tono postural y los reflejos automáticos.
- **Médula espinal**: ejecuta la orden final a través de las motoneuronas, que son la **vía final común**.

→ Resultado funcional:

El movimiento que finalmente se produce **no es una simple contracción muscular**, sino una respuesta integrada que tiene en cuenta:

- la posición del cuerpo,
- el equilibrio,
- la intención,
- el contexto emocional,
- y el estado fisiológico general.

→ Por eso caminar, escribir o coger un vaso parecen actos simples, pero son el resultado de una integración neuronal extremadamente compleja.

⇒ PRIMER CENTRO DE INTEGRACIÓN NEURAL: MÉDULA ESPINAL



→ **Más que un cable de transmisión**

La médula espinal no es solo un conducto por el que pasan señales. Es un **centro activo de integración**, capaz de analizar información y generar respuestas sin necesidad de intervención consciente del encéfalo.

→ **Sustancia blanca y sustancia gris**

- La **sustancia blanca** contiene los **tractos ascendentes** (sensitivos) y **descendentes** (motores), que conectan la médula con el encéfalo.
- La **sustancia gris** alberga los cuerpos neuronales y es el lugar donde se integran **potenciales postsinápticos excitadores (PPSE)** e **inhibidores (PPSI)**.

- En la **sustancia gris** se decide si una señal sensorial debe:
  - generar un reflejo inmediato,
  - modular el tono muscular,
  - o enviarse al encéfalo para una respuesta más elaborada.

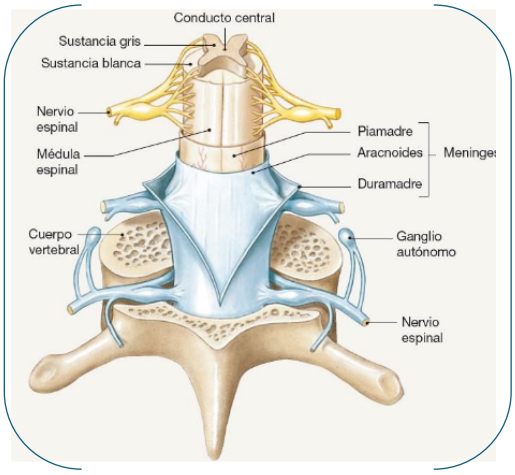
→ **Función esencial**

Gracias a la médula espinal, el organismo puede responder **rápidamente** a estímulos potencialmente peligrosos (por ejemplo, retirar la mano del fuego) sin esperar a la intervención consciente del cerebro. Esto es clave para la supervivencia.

⇒ PROTECCIÓN Y ESTRUCTURA DE LA MÉDULA ESPINAL

→ **Protección mecánica**

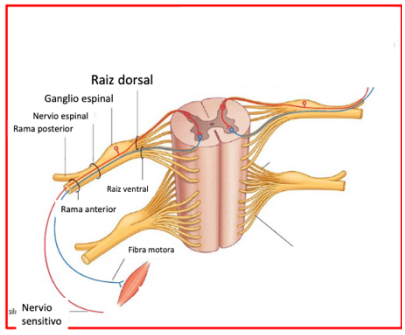
La médula espinal está alojada en el **canal vertebral**, protegida por las vértebras y las meninges. Esta protección es vital, ya que una lesión medular puede interrumpir la comunicación entre el encéfalo y el resto del cuerpo.



→ **Nervios raquídeos**

De la médula emergen los **nervios espinales**, que salen entre las vértebras y conectan cada segmento medular con regiones específicas del cuerpo. Esta organización segmentaria explica por qué una lesión en un nivel concreto produce déficits sensoriales o motores en zonas bien definidas.

⇒ RAÍCES DORSAL Y VENTRAL



→ **Separación funcional clara**

Cada nervio espinal se forma por la unión de dos raíces con funciones distintas:

- **Raíz dorsal (posterior)**: conduce información sensorial hacia la médula. Contiene el **ganglio espinal**, donde se localizan los cuerpos de las neuronas sensitivas.
- **Raíz ventral (anterior)**: conduce órdenes motoras desde la médula hacia los músculos y glándulas.

→ **Nervio espinal mixto**

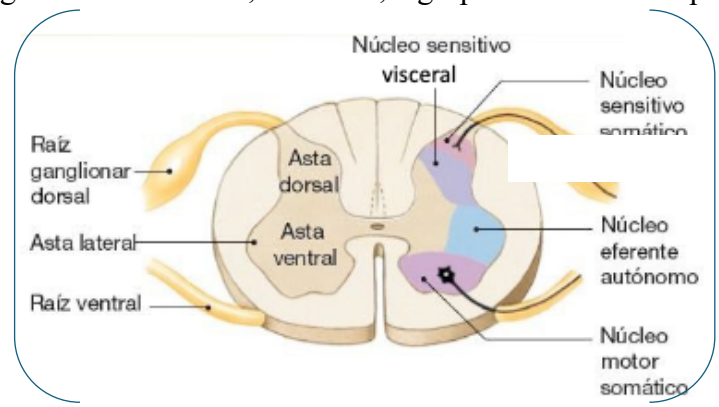
Al unirse ambas raíces se forma un nervio mixto, capaz de llevar información en ambos sentidos. Esta separación anatómica refleja una regla básica del sistema nervioso: **la entrada sensorial y salida motora están siempre diferenciadas**.

⇒ SUSTANCIA GRIS MEDULAR: NÚCLEOS SENSITIVOS Y MOTORES

→ Organización interna

La sustancia gris de la médula se organiza en **núcleos**, es decir, agrupaciones de cuerpos neuronales con función común:

- **Núcleos sensitivos**: reciben información procedente de los receptores.
- **Núcleos motores**: contienen las motoneuronas que inervan los músculos.
- **Interneuronas**: conectan ambos sistemas y permiten la integración local.



→ Importancia funcional:

Gracias a esta organización, la médula puede:

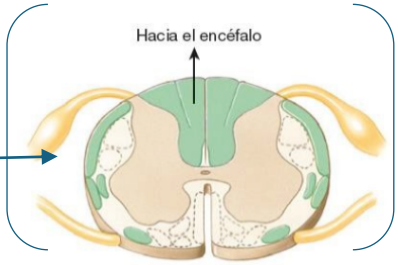
- modular la intensidad de la respuesta,
- coordinar músculos antagonistas,
- y generar patrones reflejos complejos.

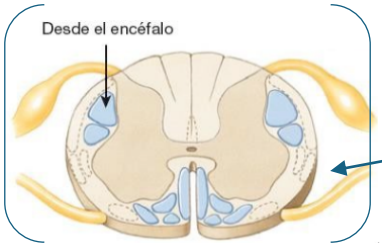
⇒ FUNCIONES DE LA MÉDULA: TRACTOS ASCENDENTES Y DESCENDENTES

→ Comunicación bidireccional

La médula espinal es una autopista de doble sentido:

- Los **tractos ascendentes** llevan información sensorial hacia el encéfalo (tacto, dolor, propiocepción).





- Los **tractos descendentes** transmiten órdenes motoras desde la corteza y otros centros hacia las motoneuronas.

→ Integración con centros superiores

El encéfalo no actúa directamente sobre los músculos: lo hace a través de la médula. Por eso, una lesión medular puede anular la movilidad voluntaria, aunque el cerebro esté intacto.

⇒ VÍAS DE CONDUCCIÓN

→ La médula como eje de comunicación

La médula espinal cumple una función esencial: **comunicar el encéfalo con el resto del cuerpo en ambos sentidos**.

No actúa de forma pasiva; organiza y dirige el tráfico de información nerviosa mediante **vías especializadas**, llamadas **tractos**.

Estas vías permiten que:

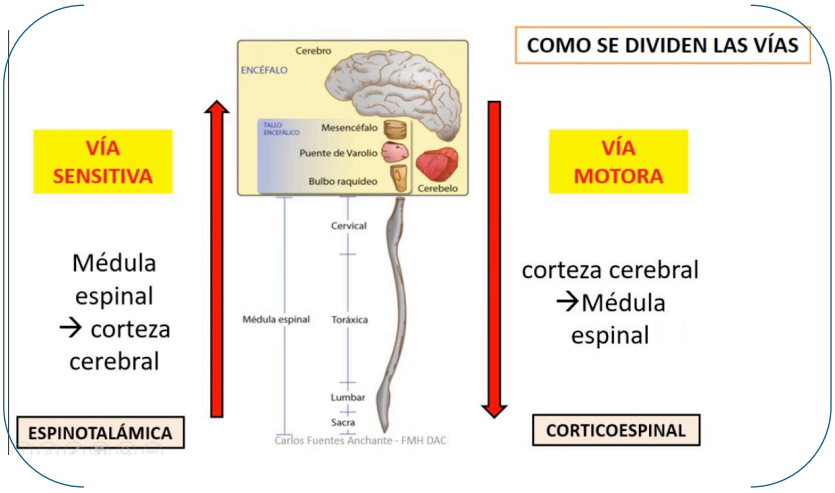
- la información sensorial llegue al cerebro,
- las órdenes motoras alcancen músculos y glándulas,
- y ambas cosas ocurran de forma simultánea y coordinada.

→ Tractos ascendentes: información sensitiva

Los **tractos ascendentes** transportan impulsos nerviosos **desde la periferia hacia el encéfalo**.
Conducen información procedente de receptores de la piel, músculos, articulaciones y vísceras.

Entre las modalidades que ascienden se encuentran:

- tacto fino y grosero,
- presión,
- dolor,
- temperatura,
- propiocepción (posición y movimiento del cuerpo).



Esta información no sube "en bruto".

A medida que asciende, va siendo:

- reorganizada,
- integrada,
- y dirigida a núcleos concretos del tronco encefálico y del tálamo.

El objetivo final es que llegue a la **corteza sensorial**, donde se convierte en percepción consciente.

→ **Tractos descendentes: órdenes motoras**

Los **tractos descendentes** conducen impulsos **desde el encéfalo hacia la médula**.

Son la vía por la que el cerebro ejerce control sobre el movimiento y la postura.

Transportan:

- órdenes voluntarias procedentes de la corteza motora,
- ajustes posturales automáticos,
- modulaciones del tono muscular.

Estas señales no suelen actuar directamente sobre el músculo.

Primero llegan a las **motoneuronas medulares**, que integran:

- la orden descendente,
- la información sensorial local,
- y la actividad refleja.

Solo entonces se genera la respuesta motora final.

→ **Coordinación entre ambas vías**

Una idea clave de esta diapositiva es que **las vías ascendentes y descendentes funcionan simultáneamente**.

Mientras el cerebro envía una orden motora, al mismo tiempo recibe información sensorial que le permite:

- comprobar si el movimiento se está ejecutando correctamente,
- corregir errores en tiempo real,
- ajustar fuerza, velocidad y precisión.

Este circuito continuo explica por qué el movimiento humano es adaptable y preciso, y no un simple "orden y ejecución".

→ **Importancia clínica**

El concepto de vías ascendentes y descendentes permite entender muchas patologías neurológicas:

- Si se lesionan **tractos ascendentes** → pérdida de sensibilidad, dolor o propiocepción.
- Si se lesionan **tractos descendentes** → parálisis, debilidad o alteraciones del tono muscular.
- Si la lesión es medular → se interrumpe la comunicación entre encéfalo y cuerpo, aunque ambos estén intactos.

Por eso, la médula espinal es **mucho más que un cable**:
es un **centro organizador del flujo nervioso** entre cerebro y periferia.

⇒ ARCO REFLEJO. LA MÉDULA ESPINAL COMO PRIMER CENTRO DE INTEGRACIÓN NEURAL

→ Qué es un arco reflejo

Un **arco reflejo** es el circuito nervioso más simple capaz de producir una respuesta. Permite que el organismo reaccione **de forma rápida y automática** ante un estímulo, sin que intervenga la corteza cerebral en el inicio de la respuesta.

Aquí aparece una idea fundamental:
👉 **la médula espinal puede integrar información y decidir**, no es solo una vía de paso.

→ Elementos que componen el arco reflejo

En la diapositiva se indica claramente que se trata de un **arco de tres neuronas**:

1. **Neurona aferente (sensitiva)**

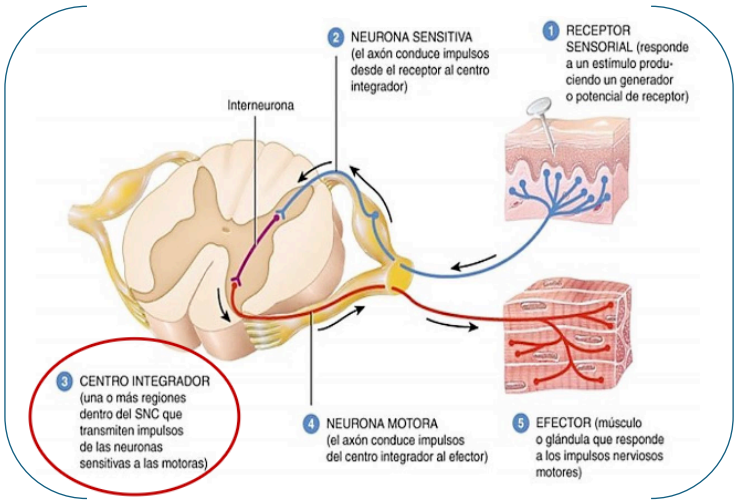
Recoge la información del receptor (dolor, estiramiento, presión) y la introduce en la médula por la **raíz dorsal**.

2. **Interneurona**

Se localiza en la **sustancia gris medular**. Su función es integrar la señal sensitiva y decidir la respuesta adecuada.
Puede excitar o inhibir distintas motoneuronas.

3. **Neurona eferente (motora)**

Sale de la médula por la **raíz ventral** y lleva la orden al músculo o glándula efectora.



→ Por qué es tan importante este mecanismo

El arco reflejo permite:

- **respuestas muy rápidas**,
- **protección frente a daños**,
- **descarga de trabajo del encéfalo**,
- y **mantenimiento de funciones básicas** incluso si los centros superiores están ocupados o dañados.

Ejemplo típico: retirar la mano del fuego **antes** de ser conscientes del dolor.

→ Relación con los centros superiores

Aunque el reflejo se inicia y se completa en la médula:

- la información **sí asciende después al encéfalo**,
- permitiendo percepción consciente, aprendizaje y modulación futura del reflejo.

Esto explica por qué los reflejos pueden **modificarse con la experiencia**, aunque su base sea automática.

⇒ EL ARCO REFLEJO DENTRO DE LA ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SNC

→ El reflejo como forma básica de integración nerviosa

El arco reflejo se sitúa **dentro del conjunto funcional del sistema nervioso**, no como un fenómeno aislado. La idea clave es entender que el reflejo **no es una excepción**, sino **la forma más simple del mismo principio que rige toda la actividad nerviosa**: detectar → integrar → responder.

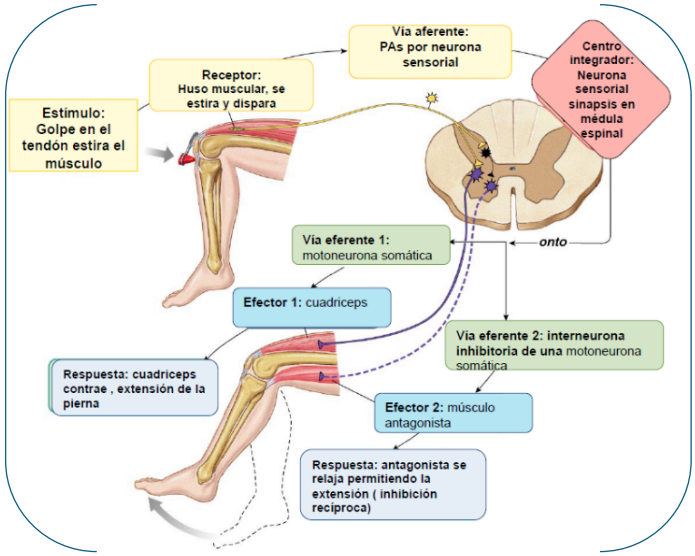
El reflejo representa el **primer nivel jerárquico** de integración neural. A partir de él, los niveles superiores (tronco encefálico, cerebelo, ganglios basales, corteza) añaden complejidad, modulación y conciencia, pero **no sustituyen** este mecanismo básico.

→ Reflejo y rapidez de respuesta

La gran ventaja funcional del reflejo es la **velocidad**.

Al integrarse en la médula espinal:

- se evita el tiempo de conducción hasta la corteza,
- se reduce el número de sinapsis necesarias,
- se produce una respuesta casi inmediata.



Desde el punto de vista fisiológico, esto supone una **ventaja evolutiva decisiva**, especialmente en situaciones de riesgo físico.

→ Reflejos y control del tono muscular

Muchos reflejos no producen movimientos visibles, sino que regulan de forma continua el **tono muscular**.

Esto nos permite mantener sin que seamos conscientes de ello:

- la postura erguida,
- el equilibrio,
- la estabilidad articular,

Aquí aparece un concepto importante:

👉 **gran parte de nuestra actividad motora cotidiana es refleja**, aunque la percibamos como voluntaria.

→ Modulación por centros superiores

Aunque el reflejo se integra en la médula, **no está aislado del encéfalo**.

Las vías descendentes pueden:

- **facilitar** un reflejo,
- **inhibirlo**,
- o bien, **modificar su intensidad**.

Por ejemplo:

- un reflejo puede disminuir con la costumbre,
- o amplificarse en situaciones de alerta o ansiedad.

Esto demuestra que el sistema nervioso funciona como una **red integrada**, no como niveles cerrados.

→ La idea central:

El arco reflejo es:

- el **modelo funcional básico** del sistema nervioso,

- el **primer escalón de integración**,
- y la **base sobre la que se construyen** los mecanismos más complejos de control motor y visceral.

⇒ REFLEJO FLEXOR O DE RETIRADA (REFLEJO POLISINÁPTICO)

→ Un reflejo diseñado para proteger

El **reflejo flexor o de retirada** es un ejemplo clásico de **reflejo polisináptico**, es decir, un reflejo en el que **intervienen varias interneuronas** además de la neurona sensitiva y la motora. Su finalidad es clara: **alejar rápidamente una parte del cuerpo de un estímulo potencialmente dañino**, como una quemadura o un objeto punzante.

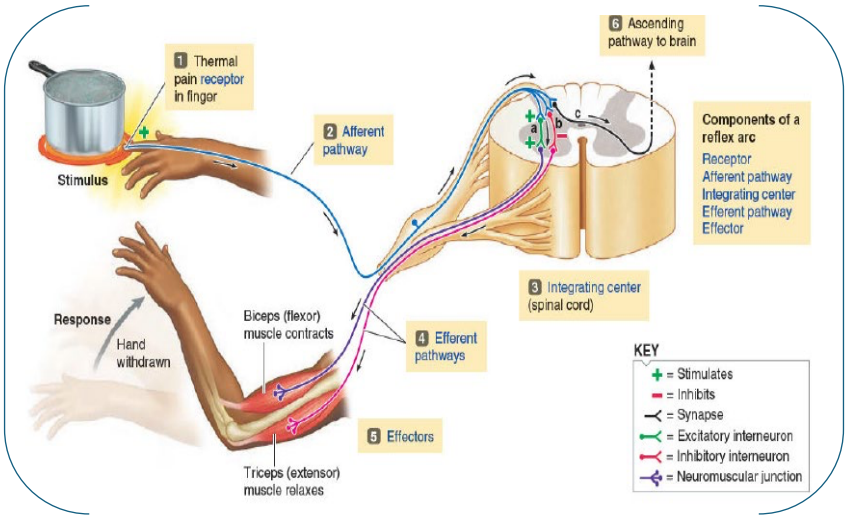
A diferencia de los reflejos simples (monosinápticos), aquí la respuesta no es puntual ni limitada a un solo músculo, sino **coordinada y compleja**.

→ Entrada sensorial: activación de nociceptores

El reflejo se inicia cuando los **nociceptores** de la piel detectan un estímulo doloroso intenso.

La neurona sensitiva conduce esta información a la médula espinal a través de la **raíz dorsal**.

La señal entra en la **sustancia gris**, donde no activa directamente a una única motoneurona, sino que se distribuye a múltiples interneuronas.



→ Integración medular compleja

Las **interneuronas** desempeñan aquí un papel central:

- **Excitan** a las motoneuronas que inervan los **músculos flexores** del miembro afectado.
- **Inhiben** simultáneamente a las motoneuronas de los **músculos extensores** del mismo miembro.

Este mecanismo se llama **inhibición recíproca** y es fundamental para que el movimiento sea eficaz: no tendría sentido contraer flexores y extensores al mismo tiempo.

→ Respuesta motora coordinada

Como resultado de esta integración:

- el miembro se **flexiona rápidamente**,
- se **retira del estímulo nocivo**,
- la respuesta se produce **antes de que exista percepción consciente del dolor**.

Después, la información asciende al encéfalo, permitiendo:

- sentir el dolor,
- localizar el estímulo,
- aprender de la experiencia.

→ Reflejo extensor cruzado

En muchos casos, especialmente cuando el estímulo afecta a una extremidad inferior, se activa además el **reflejo extensor cruzado**:

- el miembro contrario se **extiende**,
- ayudando a mantener el **equilibrio y la postura** mientras el otro se retira.

Esto demuestra que la médula espinal **coordina ambos lados del cuerpo**, no actúa de forma aislada.

→ **Importancia funcional**

Este reflejo ilustra varios principios clave del sistema nervioso:

- la médula puede **organizar respuestas complejas**,
- los reflejos pueden implicar **grupos musculares completos**,
- la integración no requiere conciencia para ser eficaz,
- y la protección del organismo tiene **prioridad absoluta** sobre cualquier otra función.

→ **Del reflejo medular al control encefálico**

Hay un **puente conceptual** entre los reflejos medulares y los mecanismos de integración más complejos del sistema nervioso central, por lo que es importante tener presente que **los reflejos no están aislados**, sino que forman parte de un sistema jerárquico.

La médula espinal puede iniciar respuestas reflejas, pero estas respuestas:

- pueden ser **moduladas**,
- **reforzadas**,
- o **inhibidas**

por centros superiores del encéfalo.

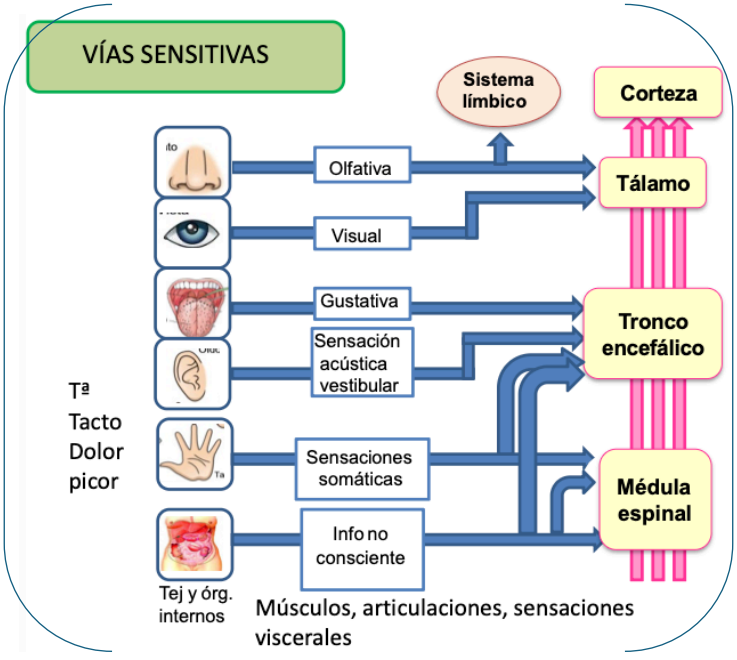
Esto permite adaptar la respuesta refleja al contexto. Por ejemplo, un reflejo doloroso puede atenuarse en situaciones extremas (estrés intenso, peligro vital), o potenciarse cuando el sistema está en estado de alerta.

⇒ NÚCLEOS DE RELEVO: INTEGRACIÓN CONVERGENTE DE LA INFORMACIÓN

→ **Qué se entiende por "núcleos de relevo"**

Los **núcleos de relevo** son **agrupaciones de cuerpos neuronales** dentro del sistema nervioso central cuya función principal es recibir información de múltiples orígenes, integrarla y redistribuirla hacia otros núcleos o hacia la corteza cerebral. No son estaciones pasivas: **procesan activamente** la señal.

Estos núcleos existen en todo el SNC, **pero predominan en el tálamo**, lo cual ya anticipa su papel central en la percepción consciente.



→ **Integración convergente: por qué es necesaria**

La información sensorial no llega al SNC en "canales aislados". A un mismo núcleo pueden llegar señales:

- de **tejidos y órganos internos** (sensaciones viscerales),
- de **músculos y articulaciones** (propiocepción),
- de **piel** (tacto, dolor, temperatura),
- de **sistemas especiales** (visión, audición, gusto, olfato),
- e incluso del **sistema límbico** (estado emocional).

La **convergencia** permite:

- comparar señales entre sí,

- ponderar su relevancia,
- modular la intensidad,
- y coordinar la respuesta posterior.

Sin esta convergencia, la percepción sería fragmentaria e incoherente.

→ **Tipos de neuronas que aparecen en los núcleos de relevo**

Hay dos grandes tipos celulares, con funciones muy diferentes:

1. Interneuronas locales

Permanecen dentro del propio núcleo.

Su función es **integrar, inhibir o facilitar** la señal entrante. Regulan el "volumen" y la prioridad de la información. Gracias a ellas, una señal puede:

- amplificarse,
- atenuarse,
- o incluso bloquearse.

2. Neuronas de proyección

Extienden **axones largos** que salen del núcleo y forman sinapsis:

- en otros núcleos de relevo,
- o directamente en la **corteza cerebral**.

Estas neuronas son las responsables de que la información **avance de nivel** dentro del SNC.

→ **Relación con la corteza cerebral**

Este es un punto clave:

Casi toda la información que entra o sale de la corteza cerebral se procesa previamente en núcleos de relevo talámicos.

Esto significa que la corteza:

- **no recibe información "en bruto"**,
- sino información **ya filtrada, integrada y modulada**.

Del mismo modo, muchas órdenes que parten de la corteza **vuelven al tálamo**, donde se ajustan antes de continuar su recorrido. Existe, por tanto, un **diálogo continuo tálamo–corteza**.

→ **Consecuencia funcional**

Gracias a los núcleos de relevo:

- la percepción es **selectiva**, no caótica,
- el SNC puede **priorizar estímulos relevantes**,
- la atención puede dirigirse a una modalidad concreta,
- y la respuesta motora puede adaptarse al contexto sensorial y emocional.

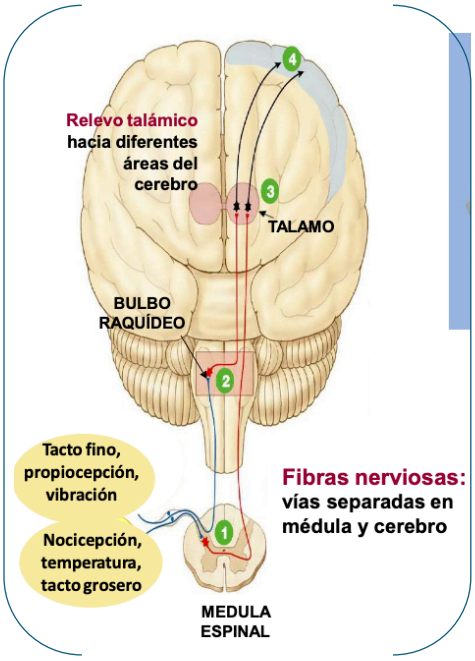
En términos funcionales, los núcleos de relevo son **centros de decisión intermedia**, imprescindibles para pasar del reflejo a la percepción consciente.

⇒ VÍAS SENSITIVAS SOMÁTICAS

→ **Sentido general de las vías sensitivas**

Las **vías sensitivas somáticas** son los circuitos nerviosos encargados de llevar la información sensorial desde la periferia del cuerpo hasta las áreas corticales donde se convierte en **sensación consciente**. No existe una única vía: el sistema nervioso ha desarrollado **vías separadas y especializadas** para cada modalidad sensorial.

Esta separación es esencial para que el cerebro pueda **distinguir con precisión** qué tipo de estímulo está recibiendo y dónde se produce.



→ **Modalidades sensitivas representadas**

En la imagen se diferencian claramente dos grandes sistemas de conducción:

1. Vías del tacto fino, la propiocepción y la vibración

Transportan información muy precisa sobre:

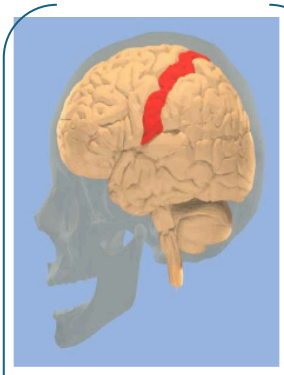
- la posición de músculos y articulaciones,
- el movimiento de las extremidades,
- la discriminación táctil fina,
- la vibración.

Estas vías permiten reconocer la forma de un objeto con los ojos cerrados o saber en qué posición está una mano sin mirarla.

2. Vías del dolor, la temperatura y el tacto grosero

Conducen información relacionada con:

- estímulos potencialmente dañinos,
- cambios térmicos,
- presión y tacto poco discriminativo.



Areas sensitivas: detrás de la cisura de Rolando y se extienden desde el surco interhemisférico hasta la cisura de Silvio

Su función principal es **protectora**, alertando al organismo de situaciones que requieren una respuesta rápida.

→**Recorrido anatómico general**

Aunque cada modalidad tiene su trayecto específico, el esquema común es el siguiente:

1. La información entra por la **médula espinal** a través de la raíz dorsal.
2. Asciende por **tractos separados** dentro de la médula y el tronco encefálico.
3. Hace relevo en el **tálamo**, que integra y distribuye la señal.
4. Llega a las **áreas sensitivas de la corteza cerebral**, situadas:
   - **detrás de la cisura de Rolando**,
   - extendiéndose desde el surco interhemisférico hasta la **cisura de Silvio**.

Esta disposición cortical explica la existencia del **homúnculo sensorial**, una representación ordenada del cuerpo en la corteza.

→ **Importancia de la separación de vías**

La existencia de vías diferenciadas permite que:

- una lesión pueda afectar solo a una modalidad (por ejemplo, perder el dolor, pero conservar el tacto fino),
- el SNC procese simultáneamente distintas informaciones,
- la respuesta motora se adapte al tipo de estímulo (no es lo mismo una caricia que una quemadura).

👉 Desde el punto de vista fisiológico, esta organización aporta **precisión, velocidad y seguridad**.

Todo esto nos lleva a entender que la sensibilidad corporal no es un fenómeno único y homogéneo.

👉 El sistema nervioso utiliza **vías específicas para cada modalidad sensorial**, que convergen en el tálamo y se proyectan a regiones corticales bien definidas, permitiendo una percepción clara, localizada y consciente del entorno y del propio cuerpo.

⇒ PRINCIPIO DE LA VÍA MARCADA

→ **Qué establece este principio**

El **principio de la vía marcada** afirma que **la cualidad de una sensación depende de la vía nerviosa activada y del área cortical donde termina**, no del tipo físico de estímulo que la haya provocado. Dicho de otro modo: **cada vía sensitiva está "etiquetada"** para una modalidad concreta.

Este principio explica por qué el sistema nervioso interpreta siempre la señal de la misma manera cuando se activa una vía específica.

→ **Consecuencia directa sobre la percepción**

Cuando se activa un **mismo grupo de fibras nerviosas**, la sensación resultante **siempre es de la misma modalidad**, aunque el estímulo sea diferente.

Por ejemplo:

- La estimulación mecánica o eléctrica del **nervio óptico** produce sensación visual (destellos), no dolor ni tacto.
- La activación de una **vía nociceptiva** genera dolor, aunque el estímulo no sea térmico ni químico.

La percepción, por tanto, **no está determinada por el estímulo**, sino por **el camino neural** que sigue la información.

→ **Relación con la corteza cerebral**

Cada vía sensitiva termina en un **área cortical específica**:

- Las vías visuales en la corteza occipital.
- Las vías auditivas en la corteza temporal.
- Las vías somatosensitivas en la corteza parietal.

La corteza **no "analiza" el estímulo desde cero**; interpreta la señal según el área que se activa.

Por eso, una activación anómala de una región cortical puede producir **sensaciones falsas** (alucinaciones, parestesias).

→ **Importancia fisiológica**

Este principio permite:

- una **organización clara y eficiente** del sistema sensorial,
- una **rapidez en la interpretación** de la información,
- y una **especialización funcional** muy precisa.

Además, explica fenómenos clínicos como:

- el **dolor fantasma** tras amputaciones,
- sensaciones anómalas por compresión nerviosa,
- percepciones erróneas en lesiones corticales.

👉 **Idea clave:**

La cualidad de una sensación **no depende del estímulo**, sino de:

- **qué vía nerviosa se activa**,
- y **en qué área del cerebro se procesa**.

Este principio es fundamental para entender **cómo el cerebro construye la experiencia sensorial** a partir de señales eléctricas.

⇒ SISTEMA NERVIOSO Y PROGRAMA MOTOR

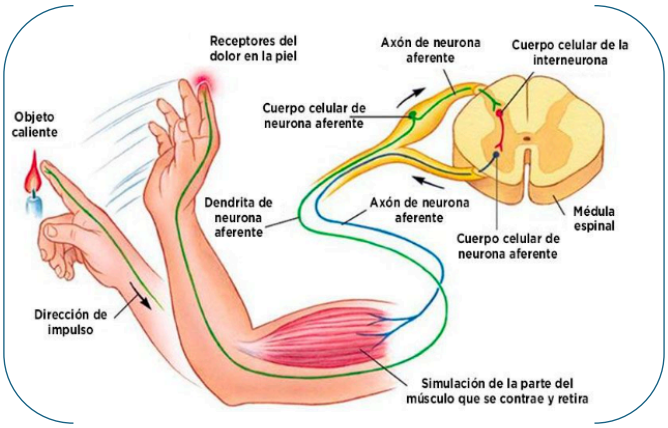
→ El movimiento como resultado de una planificación

El movimiento voluntario **no es una reacción inmediata**, ni una simple respuesta refleja. Es el resultado de un **programa motor**, es decir, de una secuencia de operaciones neuronales que el sistema nervioso **elabora antes** de que se produzca cualquier contracción muscular.

Este programa motor define **qué músculos se activan**, **en qué orden**, **con qué intensidad** y **durante cuánto tiempo**. Gracias a ello, los movimientos son coordinados y eficaces, y no una sucesión caótica de contracciones.

→ Información que se integra para crear el programa

Para construir un programa motor, el sistema nervioso integra varios tipos de información:



- **Información sensorial**: posición del cuerpo, estado de los músculos y articulaciones, contacto con el entorno, equilibrio.
- **Información almacenada en la memoria**: experiencias previas, movimientos aprendidos, hábitos motores (por ejemplo, escribir o caminar).
- **Estado emocional y motivacional**: influye en la intensidad y la selección del movimiento (no nos movemos igual relajados que bajo estrés).



- **Objetivo consciente**: la intención de realizar una acción concreta.

El programa motor es, por tanto, una **construcción compleja**, no un simple impulso.

→ Participación de distintas estructuras

Aunque la diapositiva es esquemática, su mensaje es claro: **el programa motor es un producto colectivo del SNC**. Intervienen:

- **Corteza cerebral**: define el objetivo y planifica la acción.
- **Ganglios basales**: seleccionan el programa motor adecuado e inhiben los no deseados.
- **Cerebelo**: ajusta la precisión, el tiempo y la coordinación.
- **Tronco encefálico y médula espinal**: preparan la postura y ejecutan la orden final.

Ninguna de estas estructuras, por sí sola, puede generar un movimiento voluntario normal.

→ Diferencia con el reflejo

Es importante distinguir claramente:

- **Reflejo**: respuesta automática, rápida, integrada en médula o tronco, sin planificación previa.
- **Programa motor**: acción planificada, adaptable, modulable, que puede modificarse en función del contexto y de la experiencia.



Esta diferencia explica por qué los reflejos son estereotipados, mientras que los movimientos voluntarios son **flexibles y aprendibles**.

👉 El sistema nervioso **no ordena directamente a los músculos que se contraigan**, sino que primero **elabora un programa motor** que integra información sensorial, memoria y emoción.

Solo después, ese programa se traduce en señales motoras que llegan a las motoneuronas y producen el movimiento.

⇒ PREPARACIÓN DEL MOVIMIENTO: AJUSTES POSTURALES Y CONTROL PREVIO

→ El movimiento empieza antes de moverse

Antes de que se ejecute cualquier movimiento voluntario visible, el sistema nervioso realiza una **preparación motora**. Esta preparación ajusta el cuerpo para que la acción sea **estable, eficaz y segura**. No es consciente: ocurre de manera automática y anticipatoria.

Este concepto es fundamental: **no se mueve solo el músculo que queremos usar**, sino que se ajusta todo el cuerpo para sostener ese movimiento.

→ Ajustes posturales anticipatorios

Cuando vamos a realizar una acción (por ejemplo, levantar un brazo), el sistema nervioso activa previamente:

- **Músculos posturales del tronco** para mantener el equilibrio.
- **Músculos antagonistas** para controlar la amplitud del movimiento.
- **Cambios en el tono muscular** que estabilizan las articulaciones implicadas.

Estos ajustes se llaman **ajustes posturales anticipatorios** y permiten que el movimiento principal se ejecute sin provocar caídas ni desequilibrios.

→ Integración sensorial previa

Para preparar el movimiento, el SNC utiliza información procedente de:

- **Propioceptores** (posición de músculos y articulaciones).
- **Sistema vestibular** (equilibrio y orientación de la cabeza).
- **Sistema visual** (posición del cuerpo respecto al entorno).

Esta información se integra principalmente en:

- el **tronco encefálico**,
- el **cerebelo**,
- y las **áreas premotoras** de la corteza.

El resultado es una representación interna actualizada del cuerpo en el espacio.

→ Diferencia con la ejecución

Es importante distinguir dos fases:

- **Preparación del movimiento**: ajuste postural, regulación del tono, anticipación.
- **Ejecución del movimiento**: activación de las motoneuronas específicas que producen la contracción muscular.

👉 **La preparación es tan importante como la ejecución**. Sin ella, el movimiento sería torpe, impreciso o incluso peligroso. Por este motivo el sistema nervioso **prepara el cuerpo antes de moverse**. Cada movimiento voluntario va precedido de ajustes automáticos que garantizan estabilidad, coordinación y eficacia. Estos ajustes explican por qué los movimientos normales parecen fluidos y naturales.

Reflejos PRIMITIVOS ayudan a la supervivencia del recién nacido con un sistema nervioso muy inmaduro



Reflejo de moro o sobresalto



Reflejo de marcha



Reflejo de presión



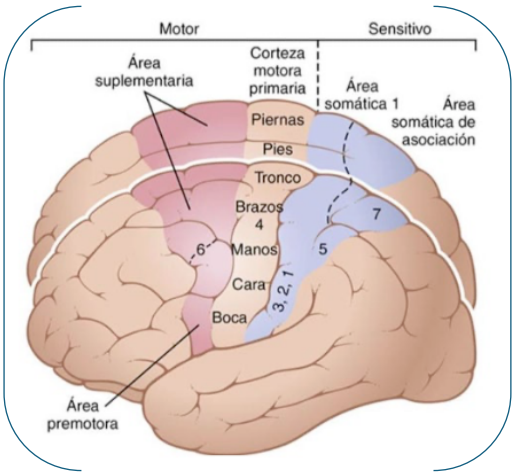
Reflejo de Babinski

⇒ PROGRAMA MOTOR VOLUNTARIO: CENTROS IMPLICADOS

→ El movimiento voluntario como trabajo en red

El movimiento voluntario es el resultado de la **cooperación de varios centros del sistema nervioso**, organizados en red. Ninguna estructura actúa sola ni de forma aislada: cada una aporta una función específica al programa motor.

La imagen pone el foco en **qué centros participan** y **qué aporta cada uno**.



→ Corteza premotora: planificación

La **corteza premotora** se encarga de **planificar el movimiento** antes de que se ejecute. Aquí se decide:

- qué tipo de movimiento se va a realizar,
- en qué dirección,
- con qué secuencia general.

Integra información sensorial y experiencias previas (movimientos aprendidos). Por ejemplo, al coger un vaso, la corteza premotora "sabe" cómo debe organizarse el gesto antes de activarlo.

→ Corteza motora primaria: ejecución

La **corteza motora primaria** es la encargada de **emitir la orden motora final**. Desde aquí parten las señales que descenderán por las vías motoras hasta las motoneuronas de la médula espinal.

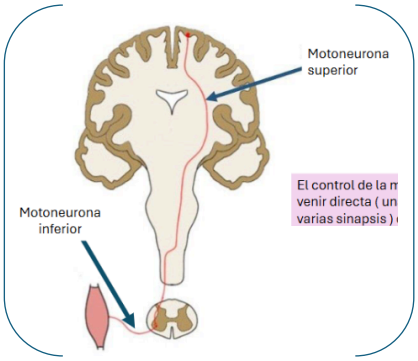
Cada región de esta corteza controla grupos musculares concretos, de forma somatotópica. La intensidad del impulso determina la fuerza de la contracción.

→ Tálamo: integración sensorial–motora

El **tálamo** actúa como **nodo integrador** entre información sensorial y motora. Recibe señales:

- del cerebelo,
- de los ganglios basales,
- de la corteza,

y las redistribuye hacia las áreas motoras corticales. De este modo, el movimiento se ajusta al estado sensorial del cuerpo.



→ **Ganglios basales: selección del programa**

Los **ganglios basales** no ejecutan el movimiento, pero son esenciales para:

- **seleccionar el programa motor adecuado**,
- **inhibir programas competidores**,
- ajustar la **intensidad y la secuencia** del movimiento.

Gracias a ellos, los movimientos voluntarios son fluidos y no aparecen contracciones innecesarias.

→ **Cerebelo: ajuste fino**

El **cerebelo** compara continuamente:

- el movimiento planeado,
- con el movimiento que se está realizando.

Si detecta un error, envía señales correctoras a la corteza motora a través del tálamo. Esto permite precisión, sincronización y coordinación.

→ **Tronco encefálico y médula espinal: ejecución final**

El **tronco encefálico** ajusta reflejos posturales y tono muscular.

La **médula espinal** transmite la orden final a las **motoneuronas**, que activan directamente las fibras musculares.

Aquí termina el programa motor y comienza la contracción.

→ **Idea clave:** El programa motor voluntario es el resultado de una **red jerárquica y cooperativa**:

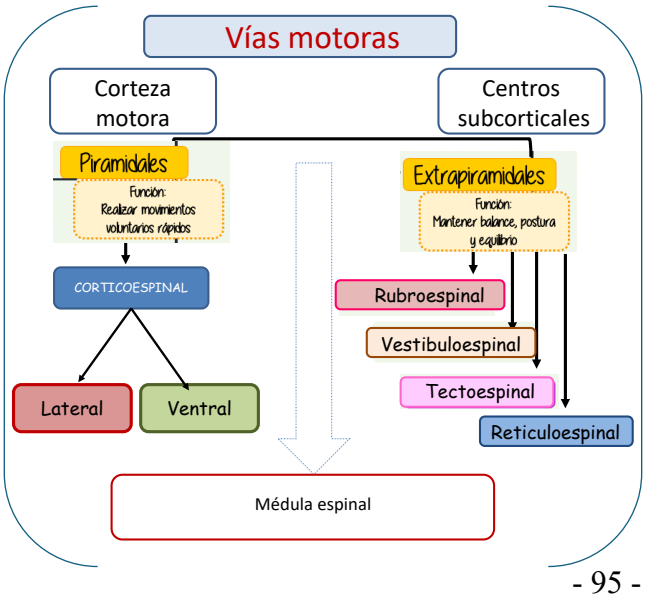
- la corteza planifica y ordena,
- los ganglios basales seleccionan,
- el cerebelo corrige,
- el tálamo integra,
- la médula ejecuta.

👉 Sin la participación coordinada de todos estos centros, el movimiento voluntario normal **no sería posible**.

⇒ VÍAS MOTORAS DESCENDENTES

→ **Cómo llega la orden motora al músculo**

Las **vías motoras descendentes** son los circuitos que conducen la orden elaborada en la corteza y en otros centros superiores **hasta las motoneuronas** de la médula espinal. Esta diapositiva introduce la **arquitectura general** de esas vías y distingue dos grandes sistemas con funciones complementarias.



→ **Dos sistemas de control motor**

El esquema diferencia claramente:

1. Sistema corticoespinal (piramidal)

Es el sistema encargado del **movimiento voluntario fino y preciso**, especialmente de la musculatura distal (manos, dedos, cara). Permite movimientos independientes y delicados.

2. Sistemas motores subcorticales (extrapiramidales)

Incluyen vías que parten de **centros subcorticales** (tronco encefálico) y se encargan de:

- la postura,
- el equilibrio,
- los movimientos automáticos,
- el ajuste del tono muscular.

Ambos sistemas **no compiten**: trabajan coordinadamente para que el movimiento sea eficaz y estable.

→ **Origen cortical de la vía corticoespinal**

La **corteza motora** (principalmente la corteza motora primaria) es el punto de partida de la vía corticoespinal. Desde allí, los axones descienden atravesando:

- la cápsula interna,
- el tronco encefálico,
- hasta llegar a la médula espinal.

En el recorrido aparecen dos componentes:

- **Corticoespinal lateral**,
- **Corticoespinal ventral (anterior)**,

que se detallarán en la siguiente diapositiva.

→ **Centros subcorticales implicados**

La diapositiva muestra varias vías que nacen en el tronco encefálico y actúan sobre la médula:

- **Rubroespinal**: relacionado con la coordinación de movimientos de las extremidades.
- **Tectoespinal**: orienta cabeza y ojos hacia estímulos visuales o auditivos.
- **Vestibuloespinal**: mantiene el equilibrio y la postura.
- **Reticuloespinal**: regula el tono muscular y los ajustes posturales automáticos.

Estas vías son esenciales para que el movimiento voluntario **no desestabilice el cuerpo**.

→ **Integración final en la médula**

Todas estas vías convergen finalmente en las **motoneuronas medulares**, que integran:

- la orden voluntaria,
- la información sensorial local,
- los reflejos,
- y el estado postural.

Solo tras esta integración se produce la **contracción muscular efectiva**.

👉 **Idea clave del tema:**

El control motor descendente se organiza en **dos grandes sistemas complementarios**:

- uno para la **precisión voluntaria** (corticoespinal),
- otro para la **estabilidad y el control automático** (vías subcorticales).

El movimiento humano normal surge del **equilibrio funcional entre ambos**.

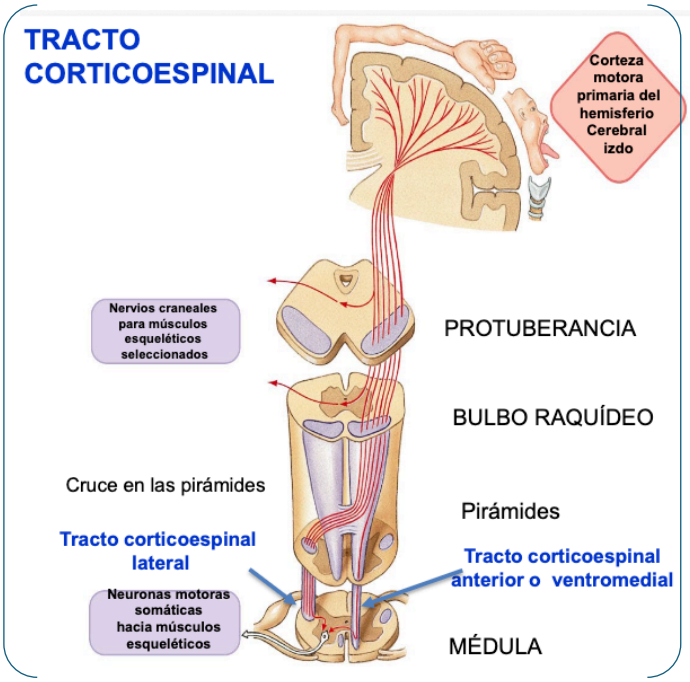
⇒ VÍAS CORTICOESPINALES: LATERAL Y VENTRAL (ANTERIORES)

→ **Dos componentes de una misma vía**

La vía **corticoespinal** no es homogénea. Se divide en **dos componentes** con funciones distintas pero complementarias:

- **Corticoespinal lateral**
- **Corticoespinal ventral (o anterior)**

Ambas se originan en la **corteza motora**, pero difieren en **dónde cruzan**, **qué músculos controlan** y **qué tipo de movimiento regulan**.



→ **Vía corticoespinal lateral: control fino y preciso**

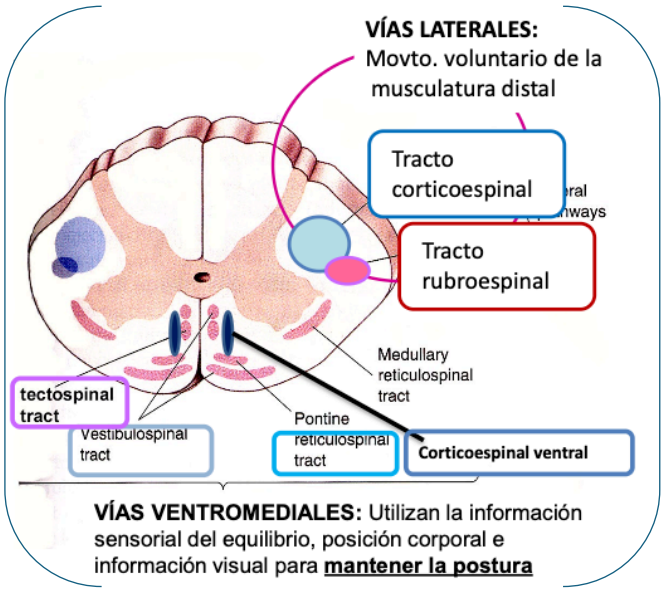
La **vía corticoespinal lateral** es la más importante para el **movimiento voluntario preciso**, especialmente de la musculatura distal de las extremidades (manos y dedos).

Recorrido esencial:

- Nace en la **corteza motora primaria**.
- Desciende por el tronco encefálico.
- **Cruza la línea media en las pirámides del bulbo raquídeo** (decusación piramidal).
- Continúa por el lado contrario de la médula espinal.

→ **Consecuencia funcional del cruce**:

cada hemisferio cerebral controla la musculatura del **lado opuesto** del cuerpo,



→ **Función principal**:

- movimientos voluntarios finos,
- control independiente de dedos,
- escritura, manipulación de objetos pequeños, gestos precisos.

Cuando esta vía se lesiona, aparecen déficits como:

- pérdida de destreza manual,
- debilidad contralateral,
- dificultad para movimientos fraccionados.

→ **Vía corticoespinal ventral: control postural**

La **vía corticoespinal ventral** tiene un papel distinto. Aunque también se origina en la corteza motora, su función está relacionada con la **postura y los movimientos globales del tronco**.

→ **Recorrido característico**:

- Desciende sin cruzar en el bulbo.
- Cruza **a nivel segmentario** en la médula, o bien actúa de forma bilateral.

→ **Función principal**:

- control de músculos axiales (cuello, tronco),
- estabilización postural durante el movimiento,
- coordinación bilateral del cuerpo.

Esta vía **no permite movimientos finos**, pero es esencial para que los movimientos voluntarios se realicen sobre una base estable.

→ **Relación entre ambas vías**

Las dos vías **no actúan por separado**, sino de manera coordinada:

- La vía lateral permite **precisión y detalle**.
- La vía ventral asegura **estabilidad y equilibrio**.

Por ejemplo, al coger un objeto con la mano:

- la vía lateral controla los dedos,
- la vía ventral ajusta el tronco y los hombros para mantener la postura.

→ **Idea clave de la diapositiva**

La vía corticoespinal se organiza en **dos componentes funcionales**:

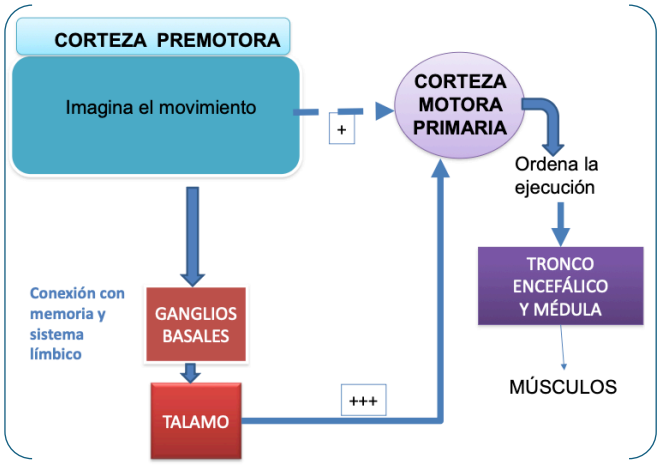
- uno especializado en el **movimiento voluntario fino y contralateral**,
- otro en el **control postural bilateral**.

La combinación de ambas explica por qué el movimiento humano es **preciso y estable a la vez**.

⇒ GANGLIOS BASALES: INTEGRACIÓN DEL PROGRAMA MOTOR

→ **El movimiento se decide antes de ejecutarse**

En esta diapositiva se muestra que los **ganglios basales** no producen directamente la contracción muscular, pero son **imprescindibles para que el movimiento voluntario sea posible y adecuado**. Su función principal es **integrar información motora, sensorial y cognitiva** para decidir **qué movimiento se inicia**, **cuándo** y **con qué intensidad**.



Aquí aparece una idea central:

👉 el sistema nervioso **imagina y prepara el movimiento** antes de ponerlo en marcha.

→ **Información que reciben los ganglios basales**

Los ganglios basales reciben señales de varias fuentes:

- **Corteza premotora y motora**: intención de movimiento y planificación.
- **Corteza asociativa**: información cognitiva (qué quiero hacer y por qué).
- **Sistema límbico**: estado emocional y motivación.
- **Información sensorial** ya integrada en niveles previos.

Gracias a esta convergencia, el movimiento no es solo mecánico, sino **contextualizado**: no nos movemos igual si estamos tranquilos, tensos o bajo presión emocional.

→ **Circuitos funcionales principales**

La diapositiva ilustra que los ganglios basales forman **circuitos cerrados** con la corteza cerebral a través del **tálamo**:

1. La corteza envía información a los ganglios basales.
2. Los ganglios basales procesan y modulan esa información.
3. El resultado vuelve a la corteza a través del tálamo.

Este circuito permite **ajustar el programa motor antes de su ejecución**, evitando movimientos innecesarios o desorganizados.

→ **Funciones motoras específicas**

Desde el punto de vista funcional, los ganglios basales permiten:

- **Activar patrones motores complejos aprendidos**
  (por ejemplo, escribir, tocar un instrumento, conducir).
- **Regular la cronología del movimiento**
  (cuándo empieza y cuándo termina).
- **Controlar la intensidad y la amplitud**
  (ni demasiado fuerte ni demasiado débil).
- **Coordinar movimientos automáticos** que no requieren atención consciente constante.

Estas funciones explican por qué las lesiones en ganglios basales no producen parálisis, sino **movimientos anómalos**.

→ **Relación con la emoción y la motivación**

La diapositiva subraya que los ganglios basales están conectados con el **sistema límbico**.

Esto permite que la **motivación y la emoción influyan en la acción**.

Por ejemplo:

- la falta de motivación puede reducir la iniciativa motora,
- la ansiedad puede alterar la fluidez del movimiento.

Esta conexión explica la presencia de **alteraciones emocionales y conductuales** en enfermedades de los ganglios basales.

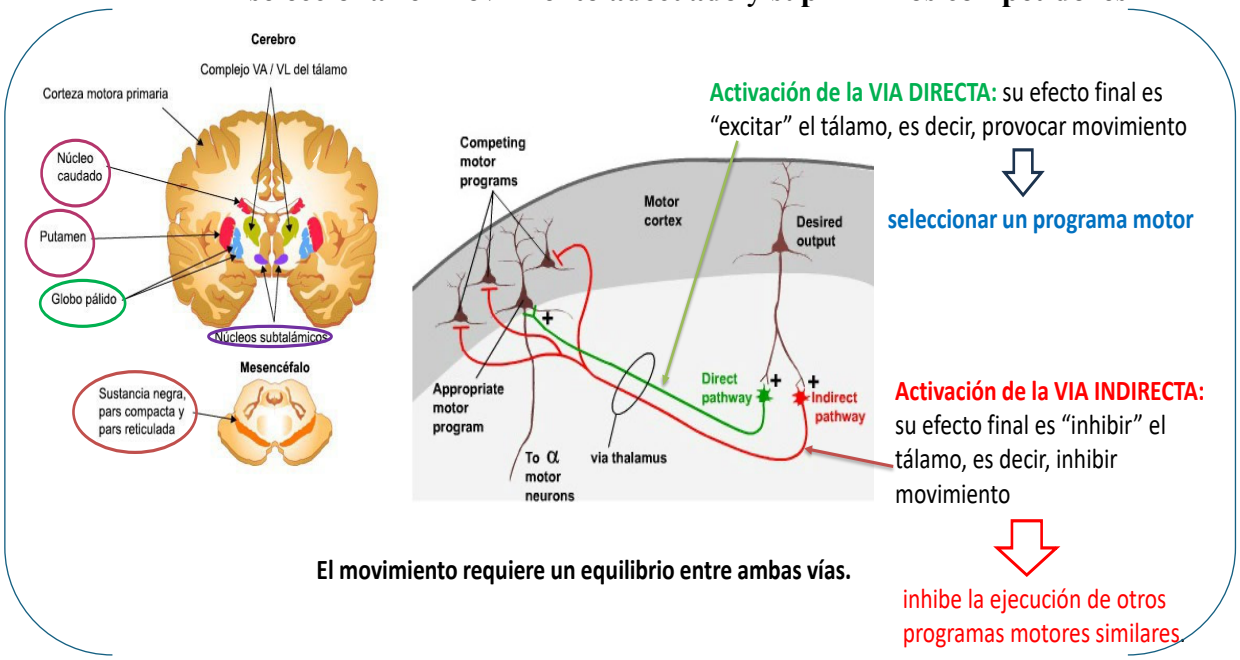
👉 **Idea clave:** Los ganglios basales son **el sistema de selección y ajuste del movimiento voluntario**. No ejecutan la acción, pero deciden **si se realiza**, **cómo se realiza** y **con qué intensidad**, integrando información motora, cognitiva y emocional.

⇒ GANGLIOS BASALES: VÍA DIRECTA Y VÍA INDIRECTA

→ **Por qué hacen falta dos vías**

Los **ganglios basales** no "encienden" o "apagan" el movimiento de forma simple. Operan mediante **dos circuitos funcionales opuestos y complementarios** que regulan el acceso del programa motor a la corteza a través del **tálamo**.

La finalidad es **seleccionar el movimiento adecuado** y **suprimir los competidores**.



→ **La vía directa: facilitar el movimiento**

La **vía directa** tiene como efecto final **excitar el tálamo**, lo que **facilita la activación de la corteza motora** y, por tanto, **favorece el inicio del movimiento**.

→ **Secuencia funcional (simplificada):**

1. La **corteza motora** envía señales excitadoras al **estriado** (putamen/caudado).
2. El **estriado inhibe** al **globo pálido interno** (GPi).
3. Al inhibirse el GPi, **disminuye la inhibición** que este ejerce sobre el **tálamo**.
4. El **tálamo queda más activo** y excita la corteza motora.

Resultado: el programa motor seleccionado **pasa** y puede ejecutarse.

La vía indirecta: inhibir movimientos no deseados

La **vía indirecta** tiene el efecto opuesto: **inhibir el tálamo**, lo que **reduce la activación cortical** y **frena el movimiento**.

Secuencia funcional (simplificada):

1. La corteza excita el **estriado**.
2. El estriado **inhibe** al **globo pálido externo** (GPe).
3. Al inhibirse el GPe, **se desinhibe** el **núcleo subtalámico**.
4. El **núcleo subtalámico excita** al **globo pálido interno**.
5. El GPi **incrementa la inhibición** sobre el **tálamo**.

👉 **Resultado:** el acceso del programa motor a la corteza **se bloquea**.

→ **Equilibrio dinámico: la clave del movimiento normal**

El movimiento voluntario normal **no depende de una vía sola**, sino del **equilibrio entre vía directa e indirecta**:

- La **vía directa** permite ejecutar el movimiento elegido.
- La **vía indirecta** suprime movimientos alternativos que interferirían.

Gracias a este equilibrio:

- los movimientos son **fluid os**,
- **precisos**,
- **bien secuenciados**,
- y **adaptados al contexto**.

→ **Selección de programas motores**

Un punto central de la imagen es este concepto:

👉 **Al activar un programa motor, los ganglios basales inhiben simultáneamente otros programas similares**.

Esto evita:

- movimientos simultáneos contradictorios,
- rigidez por exceso de coactivación,
- gestos innecesarios o erráticos.

Es un sistema de **priorización**: uno pasa, los demás se bloquean.

→ **Idea clave:** Los ganglios basales regulan el movimiento mediante **dos vías opuestas**:

- la **vía directa**, que **facilita** la ejecución,
- y la **vía indirecta**, que **inhibe** movimientos no deseados.

El **equilibrio entre ambas** es imprescindible para un movimiento voluntario normal.

⇒ LESIONES DE LOS GANGLIOS BASALES: PARKINSON Y HUNTINGTON

→ Qué ocurre cuando fallan los ganglios basales

Los **ganglios basales** no producen parálisis cuando se lesionan; producen **alteraciones del movimiento**. Esto es clave para entender esta diapositiva: el problema no es la falta de fuerza, sino la **mala regulación del inicio, la intensidad y la coordinación del movimiento**.

Las dos enfermedades que se presentan aquí —**Parkinson** y **Huntington**— ilustran perfectamente qué pasa cuando se rompe el equilibrio entre la **vía directa** y la **vía indirecta**.

→ Enfermedad de Parkinson: déficit de movimiento (hipocinesia)

Lesión principal

En el Parkinson se produce una **degeneración progresiva de las neuronas dopaminérgicas** de la **sustancia negra**.

La dopamina es un modulador esencial de los ganglios basales.

Consecuencia fisiológica

La falta de dopamina provoca:

- **disminución de la actividad de la vía directa** (se facilita menos el movimiento),
- **predominio de la vía indirecta** (se inhibe más el movimiento).

El resultado final es que el **tálamo queda excesivamente inhibido** y no estimula adecuadamente la corteza motora.

Manifestaciones clínicas

La diapositiva enumera los signos característicos:

- **Rigidez muscular** (aumento del tono),
- **Temblor en reposo**,
- **Aquinesia o bradicinesia** (lentitud para iniciar y ejecutar movimientos),
- **Alteraciones mentales** (deterioro cognitivo, demencia en fases avanzadas),
- **Alteraciones vegetativas** (trastornos del SNA: estreñimiento, hipotensión, etc.).

El paciente quiere moverse, pero el sistema que "da permiso" al movimiento no funciona bien.

→ Enfermedad de Huntington: exceso de movimiento (hipercinesia)

Lesión principal

En el Huntington se produce una **degeneración de neuronas gabaérgicas y colinérgicas** del **estriado** (especialmente de la vía indirecta).

Consecuencia fisiológica

Al fallar la vía indirecta:

- disminuye la inhibición del movimiento,
- el **tálamo queda excesivamente activo**,
- la corteza motora recibe demasiada estimulación.

Manifestaciones clínicas

La diapositiva señala:

- **Movimientos involuntarios** (corea),
- **Distonía y movimientos bruscos desorganizados**,
- **Cambios de personalidad o carácter**,
- **Alteraciones cognitivas progresivas**.

Aquí el problema no es iniciar el movimiento, sino **no poder frenarlo**.

→ Comparación funcional Parkinson vs. Huntington

- **Parkinson** → demasiada inhibición → **poco movimiento**.
- **Huntington** → poca inhibición → **demasiado movimiento**.

Ambas enfermedades muestran que el movimiento normal depende de un **equilibrio muy fino** entre facilitar e inhibir.

👉 **Idea clave:** Los ganglios basales no generan movimiento, pero **deciden cuánto, cuándo y cómo se mueve el cuerpo**.

Cuando su equilibrio se rompe:

- aparece rigidez y lentitud (Parkinson),
- o movimientos excesivos e incontrolados (Huntington).

⇒ CONSECUENCIAS FUNCIONALES DEL DESEQUILIBRIO DOPAMINÉRGICO

→ La dopamina como modulador del movimiento

Esta imagen explica **por qué la dopamina es decisiva** en el funcionamiento de los ganglios basales. No inicia el movimiento por sí misma, sino que **modula el equilibrio** entre la vía directa (facilitadora) y la vía indirecta (inhibidora). Su acción es, por tanto, **reguladora**, no ejecutora.

→ Situación en la enfermedad de Parkinson: "menos movimiento"

Cuando se pierde el **input dopaminérgico** procedente de la sustancia negra:

- **Falla la activación de la vía directa**, que normalmente facilita el movimiento.
- **La vía indirecta queda relativamente sobreactiva**, aumentando la inhibición.



Resultado fisiológico

- El **globo pálido interno** permanece **muy activo**.
- Este núcleo **inhibe con fuerza al tálamo**.
- El **tálamo estimula poco a la corteza motora**.

Consecuencia final:

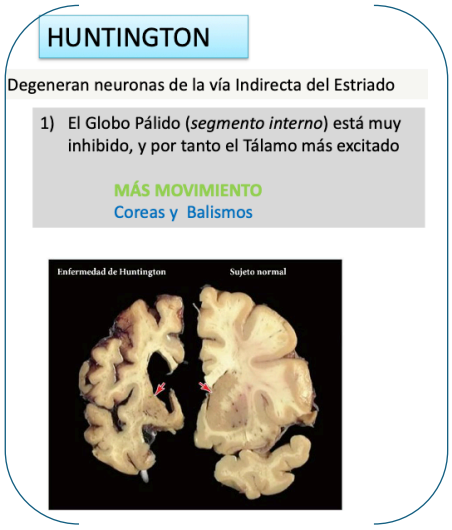
👉 **Disminuye la iniciación y la amplitud del movimiento** (hipocinesia).

El sistema "pone demasiados frenos".

→ Situación en la enfermedad de Huntington: "más movimiento"

En el Huntington ocurre lo contrario: se degeneran neuronas de la **vía indirecta** del estriado.

- **Falla la inhibición** que normalmente frena el movimiento.
- La vía directa queda relativamente predominante.



Resultado fisiológico

- El **globo pálido interno** queda **excesivamente inhibido**.
- El **tálamo se vuelve hiperactivo**.
- La **corteza motora recibe demasiada estimulación**.

Consecuencia final:

👉 **Aparecen movimientos excesivos e involuntarios** (coreas y balismos).

El sistema "pierde el freno".

→ Lectura fisiológica global

Esta diapositiva permite entender un principio central del control motor:

- El movimiento normal **no depende de activar o no activar**,
- sino de **regular finamente cuánto se facilita y cuánto se inhibe**.

La dopamina actúa como un **ajustador de precisión**.
Cuando falta → rigidez y lentitud.
Cuando el sistema inhibidor falla → exceso de movimiento.

→ **Importancia clínica**
Comprender este esquema explica:

- por qué el tratamiento del Parkinson intenta **aumentar la dopamina** o su efecto,
- y por qué el Huntington **no se trata "activando"**, sino intentando **reducir la hiperactividad motora**.

La clínica es la expresión directa de un **desequilibrio funcional**, no de una lesión muscular.

👉 **Idea clave:** El control del movimiento es un **equilibrio dinámico**.
La dopamina no mueve el cuerpo, pero **decide si el sistema facilita o frena la acción**.
Cuando ese equilibrio se rompe, aparecen los grandes síndromes motores de los ganglios basales.

⇒ EL CEREBELO COMO ÓRGANO DE AJUSTE Y CORRECCIÓN

El **cerebelo** no inicia los movimientos ni decide qué acción realizar, pero es **imprescindible para que el movimiento sea preciso, coordinado y estable**. Su función principal es **comparar continuamente lo que el sistema nervioso quiere hacer con lo que realmente está ocurriendo**.
Puede entenderse como un **sistema de control de calidad del movimiento**.

→ **Información que recibe el cerebelo**
El cerebelo recibe una enorme cantidad de información de distintas fuentes:

- **Corteza cerebral**: copia del programa motor que se va a ejecutar.
- **Músculos, tendones y articulaciones**: información propioceptiva sobre posición y movimiento real.
- **Sistema vestibular**: datos sobre equilibrio y orientación de la cabeza.
- **Tronco encefálico**: señales relacionadas con reflejos posturales.

Gracias a esta convergencia, el cerebelo dispone de una **imagen completa del movimiento**, tanto planificado como ejecutado.



→ **Cómo actúa sobre el movimiento**
El cerebelo **no envía órdenes directas a los músculos**. Actúa de forma indirecta:

1. Detecta diferencias entre el movimiento planeado y el movimiento real.
2. Calcula el error (demasiada fuerza, poca precisión, mala sincronización).
3. Envía señales correctoras a la **corteza motora**, a través del **tálamo**, y al **tronco encefálico**.

Estas correcciones se producen **en tiempo real**, muchas veces antes de que el error sea visible externamente.

→ **Consecuencias funcionales de su actividad**
Gracias al cerebelo:

- los movimientos son **suaves y fluidos**,
- la fuerza aplicada es la adecuada,

- la secuencia temporal de contracciones es correcta,
- el equilibrio se mantiene incluso durante movimientos complejos.

Cuando el cerebelo falla, el movimiento **no desaparece**, pero se vuelve torpe, descoordinado y mal calibrado.

→ **Relación con el aprendizaje motor**

El cerebelo es esencial para el **aprendizaje de habilidades motoras**.

Permite que movimientos inicialmente torpes (como aprender a escribir o montar en bicicleta) se vuelvan **automáticos y precisos** con la práctica.

Este aprendizaje se basa en la **modificación a largo plazo de los circuitos cerebelosos**, que almacenan patrones de corrección eficaces.

👉 **Idea clave:** El cerebelo no decide qué movimiento hacer, pero decide **cómo debe hacerse**.

Es el encargado de **afinar, corregir y perfeccionar** la acción motora, asegurando precisión, coordinación y equilibrio.

⇒ ORGANIZACIÓN SOMÁTICA Y AUTÓNOMA DEL SNP

→ **Dos grandes salidas del sistema nervioso**

Esta diapositiva introduce una distinción fundamental: **cómo sale la información del sistema nervioso central hacia el resto del cuerpo**. El **Sistema Nervioso Periférico** (SNP) no es un bloque único; se organiza en **dos grandes divisiones funcionales**, con objetivos y modos de acción distintos.



→ **División somática: control voluntario**

La **división somática** del SNP está especializada en el **control del músculo esquelético**. Es la vía que utilizamos para los movimientos voluntarios y conscientes.

→ **Características funcionales:**

- La orden motora parte del **SNC** y llega directamente al músculo esquelético.
- Utiliza **una sola neurona motora** desde la médula hasta la fibra muscular.
- Permite movimientos **precisos, rápidos y voluntarios**.

Gracias a esta división podemos caminar, escribir, hablar o manipular objetos de forma consciente.

→ **División autónoma: control involuntario**

La **división autónoma** del SNP regula la actividad de:

- **músculo liso**,
- **músculo cardíaco**,
- **glándulas exocrinas y endocrinas**.

Su función no es producir movimiento voluntario, sino **mantener la homeostasis interna** ajustando automáticamente el funcionamiento de los órganos.

→ **Características funcionales:**
- Actúa de forma **involuntaria**.
- La información motora llega al órgano a través de **dos neuronas en serie** (preganglionar y postganglionar).
- Sus efectos son generalmente **más lentos**, pero sostenidos.

→ **Tipos de información que maneja cada división**

Esta imagen muestra que ambas divisiones utilizan información procedente de:
- el **ambiente externo** (órganos de los sentidos),
- el **ambiente interno** (estado de vísceras, vasos, glándulas).

Sin embargo, la finalidad es distinta:
- la división somática traduce la información en **acción voluntaria**,
- la división autónoma la traduce en **ajustes fisiológicos** (frecuencia cardiaca, digestión, secreciones, tono vascular).

→ **Integración en el SNC**

Ambas divisiones están integradas en el **SNC**, que actúa como centro coordinador.
El encéfalo y la médula espinal deciden:
- cuando se activa una respuesta voluntaria,
- cuando se ajusta una función visceral.

En la práctica, **somático y autónomo actúan de forma simultánea y coordinada**. Por ejemplo, al hacer ejercicio:
- el sistema somático activa los músculos,
- el sistema autónomo aumenta la frecuencia cardiaca y la respiración.

👉 **Idea clave:** El Sistema Nervioso Periférico tiene **dos salidas complementarias**:
- una para **mover el cuerpo conscientemente** (somática),
- otra para **regular el funcionamiento interno sin intervención consciente** (autónoma).

La coordinación de ambas es lo que permite una acción eficaz y adaptada al entorno.

⇒ REFLEJOS AUTÓNOMOS

→ **Qué son los reflejos autónomos**

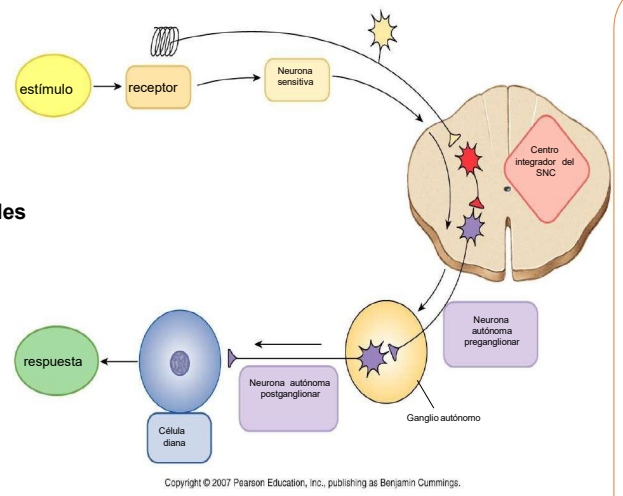
Los **reflejos autónomos** son circuitos nerviosos que regulan **funciones viscerales** de manera automática, sin control consciente. A diferencia de los reflejos somáticos (que actúan sobre músculo esquelético), estos reflejos actúan sobre:
- **músculo liso**,
- **músculo cardíaco**,
- **glándulas**.

Su finalidad es **mantener la homeostasis** ajustando continuamente el funcionamiento interno del organismo.

REFLEJOS AUTÓNOMOS

Ejemplos:

1. **Cambios en diámetro vascular por variaciones temp.**
2. **Sudoración por↑ Tª**
3. **Reflejos intestino-intestinales**
4. **Peristaltismo**
5. **R. de evacuación →vaciar vejiga o colon llenos.**



Polisinápticos
Actividad tónica constante→ tono vascular

Integración en:

-Médula→Micción o defecación Pueden ser inhibidos o estimulados por centros superiores

- Tronco encefálico→ salivación, vómito, tos, deglución

-Hipotálamo y tálamo→ centros que regulan la homeostasis (frecuencia, Presión, respiración etc)

Conexión con sistema límbico

→ **Estructura del arco reflejo autónomo**

Aunque el objetivo sea distinto, el esquema básico sigue siendo un **arco reflejo**, pero **más complejo y siempre polisináptico**:

1. **Receptor**
   Detecta cambios internos (presión, distensión, composición química, temperatura).
2. **Neurona sensitiva (aferente)**
   Conduce la información hacia el SNC.
3. **Centro integrador del SNC**
   Puede localizarse en:
   - **médula espinal**,
   - **tronco encefálico**,
   - **hipotálamo**,
   - y, en algunos casos, con modulación del **sistema límbico**.
4. **Neurona autónoma preganglionar**
   Sale del SNC hacia un ganglio autónomo.
5. **Ganglio autónomo**
   Punto de relevo entre neurona preganglionar y postganglionar.
6. **Neurona autónoma postganglionar**
   Llega al órgano diana.
7. **Órgano efector**
   Músculo liso, cardíaco o glándula, que ejecuta la respuesta.

→ **Niveles de integración**

Los reflejos autónomos **no se integran en un único nivel**, sino en varios, según la función:

- **Médula espinal**
  Controla reflejos como la **micción** o la **defecación**, que pueden ser modulados por centros superiores.
- **Tronco encefálico**
  Integra reflejos de **salivación, vómito, tos y deglución**.
- **Hipotálamo y tálamo**
  Regulan funciones globales de la homeostasis:
  frecuencia cardíaca, presión arterial, respiración, temperatura corporal.

Esta organización jerárquica permite respuestas rápidas y, al mismo tiempo, coordinación general del organismo.

→ **Actividad tónica constante**

Un concepto clave que aparece en la diapositiva es el de **actividad tónica constante**.

Muchos reflejos autónomos no se activan "a ráfagas", sino que mantienen un **nivel basal continuo** de actividad.

Ejemplo clásico:

- **Tono vascular**: los vasos sanguíneos están siempre parcialmente contraídos.

A partir de ese tono basal, el sistema nervioso autónomo puede aumentar o disminuir el diámetro vascular según las necesidades.

→ **Ejemplos de reflejos autónomos**

La diapositiva enumera varios ejemplos representativos:

- Cambios en el **diámetro vascular** en respuesta a la temperatura.
- **Sudoración** cuando aumenta la temperatura corporal.
- **Reflejos intestino–intestinales** y **peristaltismo**.
- Reflejos de **vaciamiento de vejiga y colon** cuando están llenos.

Todos ellos ocurren **sin intervención consciente**, aunque algunos pueden ser modulados voluntariamente hasta cierto punto.

→ **Relación con el sistema límbico**

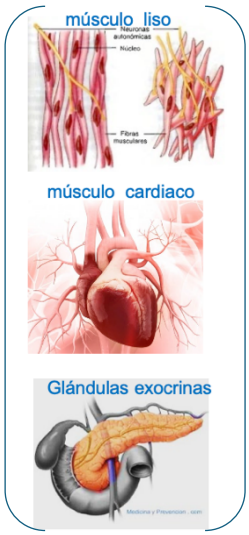
La conexión con el **sistema límbico** explica por qué los estados emocionales influyen en las respuestas autónomas:

- ansiedad → sudoración, taquicardia, alteraciones digestivas,
- miedo → palidez, aumento de frecuencia cardíaca, inhibición digestiva.

El reflejo autónomo no es puramente mecánico: está influido por el estado emocional.

👉 **Idea clave:** Los reflejos autónomos son **mecanismos automáticos y polisinápticos** que regulan la actividad visceral en distintos niveles del SNC, manteniendo la homeostasis mediante una actividad tónica constante y modulable por centros superiores y por la emoción.

⇒ EL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO (SNA)



→ **Función general del SNA**

El **sistema nervioso autónomo** es la parte del sistema nervioso encargada de **regular de forma involuntaria** la actividad de los órganos internos. Actúa continuamente para mantener la **homeostasis**, ajustando el funcionamiento de vísceras, vasos sanguíneos y glándulas según las necesidades del organismo.

A diferencia del sistema somático, el SNA **no controla movimientos conscientes**, sino procesos automáticos imprescindibles para la vida.

→ **Órganos y tejidos sobre los que actúa**

El SNA regula tres grandes tipos de efectores:

- **Músculo liso**

Presente en vasos sanguíneos, tubo digestivo, bronquios, vejiga, útero, etc.

Su contracción o relajación modifica el diámetro de los órganos y el paso de sustancias.

- **Músculo cardíaco**

El SNA ajusta la **frecuencia y la fuerza del latido**, adaptando el gasto cardíaco a cada situación (reposo, ejercicio, estrés).

- **Glándulas exocrinas y endocrinas**

Controla secreciones como saliva, sudor, jugos digestivos y la liberación de hormonas en determinadas glándulas.

→ **Divisiones del sistema nervioso autónomo**

El SNA se organiza en **tres divisiones funcionales**, cada una con un papel específico:

- **Sistema simpático**
  Especializado en preparar al organismo para situaciones de **actividad, esfuerzo o estrés**.
  Moviliza energía y ajusta múltiples órganos de forma coordinada.

- **Sistema parasimpático**
  Favorece las funciones de **reposo, mantenimiento y recuperación**.
  Promueve la digestión, el almacenamiento de energía y la conservación de recursos.

- **Sistema nervioso entérico**
  Se encarga de regular de manera casi independiente la **motilidad y secreción del tubo digestivo**. Aunque está influido por simpático y parasimpático, posee circuitos propios capaces de funcionar de forma autónoma.

→ **Doble inervación de los órganos**

Un concepto central de esta diapositiva es que **la mayoría de los órganos reciben doble inervación**:

- una simpática,
- y otra parasimpática.

Estas dos divisiones suelen ejercer **efectos opuestos**, lo que permite un control muy fino del órgano.

El estado funcional final depende del **equilibrio dinámico** entre ambas.

Ejemplo:

- el simpático acelera el corazón,
- el parasimpático lo frena.

→ **Importancia funcional**

Gracias al SNA:

- el organismo puede adaptarse rápidamente a cambios internos y externos,
- las funciones vitales continúan sin intervención consciente,
- y se mantiene un equilibrio estable incluso durante cambios bruscos de actividad.

→ **Idea clave de la diapositiva**

El sistema nervioso autónomo es el **regulador involuntario de la vida interna**.

Controla músculo liso, músculo cardíaco y glándulas mediante tres divisiones coordinadas, asegurando la homeostasis a través de un equilibrio constante entre simpático, parasimpático y sistema entérico.

⇒ ORGANIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

→ **Un sistema motor distinto del somático**

El sistema nervioso autónomo (SNA) se diferencia claramente del sistema motor somático en **cómo transmite la orden motora** y en **cómo actúa sobre el órgano diana**. Mientras que el sistema somático utiliza una única neurona motora para llegar al músculo esquelético, el SNA emplea una **cadena de dos neuronas**, lo que introduce un nivel adicional de regulación.

→ **Cadena de dos neuronas en serie**

La vía motora autónoma está formada por:

- **Neurona preganglionar**

Su cuerpo celular se encuentra en el **SNC** (médula espinal o tronco encefálico).
Su axón sale del SNC y se dirige hacia un **ganglio autónomo**.

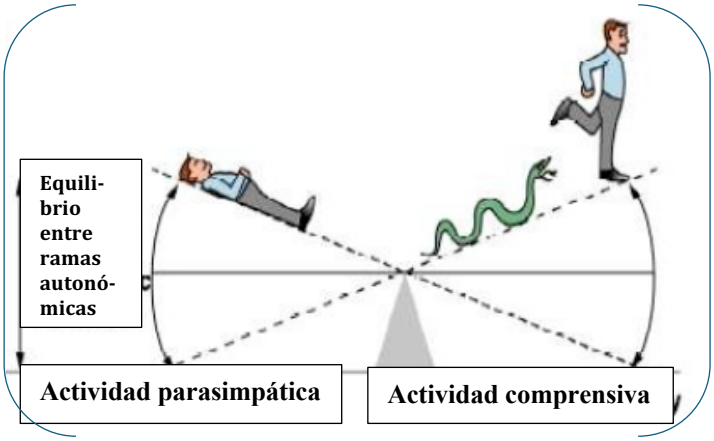
- **Neurona postganglionar**
  Su cuerpo celular está en el **ganglio autónomo**.
  Desde allí envía su axón hasta el **órgano efector** (músculo liso, músculo cardíaco o glándula).

Esta organización en dos escalones permite **modular, amplificar o diversificar** la señal antes de que llegue al órgano.

→ **Función de los ganglios autónomos**
Los **ganglios autónomos** no son simples estaciones de paso. En ellos:
- la señal puede **modificarse**,
- pueden activarse **múltiples neuronas postganglionares** a partir de una sola neurona preganglionar,
- se integran señales procedentes de distintos centros.

Esto explica por qué muchas respuestas autónomas son **difusas y coordinadas**, afectando a varios órganos a la vez.

→ **Comparación funcional con el sistema somático**
Esta diapositiva nos lleva a comparar ambos sistemas:
- **Sistema somático**
  - Una neurona desde el SNC al músculo.
  - Control voluntario.
  - Respuesta rápida y muy localizada.
- **Sistema autónomo**
  - Dos neuronas en serie.
  - Control involuntario.
  - Respuestas más lentas, modulables y sostenidas.



Esta diferencia estructural explica por qué el SNA es ideal para regular funciones continuas como la presión arterial o la digestión.

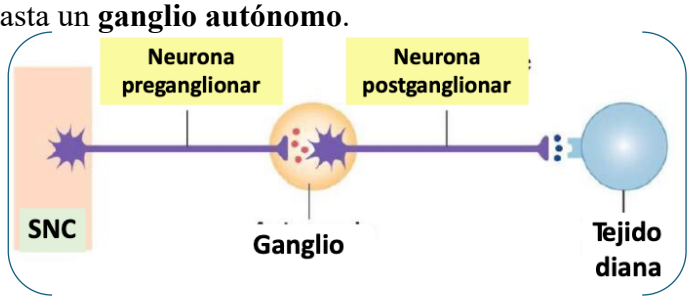
👉 **Idea clave de la diapositiva:** El sistema nervioso autónomo se organiza como una **vía motora de dos neuronas**, con un ganglio intermedio que permite un control fino, flexible y coordinado de la actividad visceral, muy distinto del control motor somático.

⇒ ESTRUCTURA DE LA VÍA MOTORA AUTÓNOMA

→ **Arquitectura básica del control visceral**
La vía motora autónoma presenta una **estructura constante** que explica cómo el SNC gobierna órganos internos de forma involuntaria. A diferencia del sistema somático, aquí **no hay una conexión directa** entre el SNC y el efector: existe un **relevo ganglionar** imprescindible.

→ **Primer eslabón: neurona preganglionar**
- **Localización del soma:** en el **SNC** (médula espinal o tronco encefálico).
- **Función:** llevar la orden desde el SNC hasta un **ganglio autónomo**.
- **Tipo de señal:** generalmente colinérgica (acetilcolina), lo que garantiza una transmisión fiable en el primer relevo.

Este primer eslabón fija **cuándo** y **en qué contexto** debe activarse una respuesta visceral.



→ **Segundo eslabón: neurona postganglionar**

- **Localización del soma:** en el **ganglio autónomo**.
- **Función:** transmitir la señal desde el ganglio hasta el **tejido diana**.
- **Efectores:** músculo liso, músculo cardíaco o glándulas.

Aquí la señal se **ajusta y se diversifica**. Una sola neurona preganglionar puede activar varias postganglionares, permitiendo respuestas **amplias y coordinadas**.

→ **El ganglio autónomo como centro modulador**

El **ganglio** no es un simple "enchufe". En él:

- se **modula la intensidad** de la señal,
- puede existir **convergencia** de varias preganglionares,
- se coordina la respuesta final antes de llegar al órgano.

Esta modulación explica por qué el SNA puede producir:

- respuestas suaves y mantenidas,
- o respuestas intensas y generalizadas (por ejemplo, en el estrés).

→ **Consecuencia funcional de esta estructura**

Gracias a la vía de **dos neuronas**:

- el control visceral es **flexible**,
- se adapta al estado general del organismo,
- puede integrarse con señales hormonales y emocionales,
- y no depende de la voluntad consciente.

Esto es esencial para funciones como la regulación cardiovascular, digestiva y respiratoria.

→ **Idea clave de la diapositiva**

La vía motora autónoma se organiza siempre en **dos neuronas en serie**, con un **ganglio intermedio** que permite modular, amplificar y coordinar la señal antes de que actúe sobre el órgano efector.

⇒ REFLEJOS AUTÓNOMOS Y TONO AUTÓNOMO

→ **Los reflejos autónomos como base de la homeostasis**

Los **reflejos autónomos** son mecanismos nerviosos que ajustan de forma continua el funcionamiento de los órganos internos para **mantener la homeostasis**. A diferencia de los reflejos somáticos, no buscan una respuesta rápida y puntual, sino una **regulación sostenida y precisa** de variables internas como la presión arterial, la frecuencia cardíaca o la motilidad intestinal.

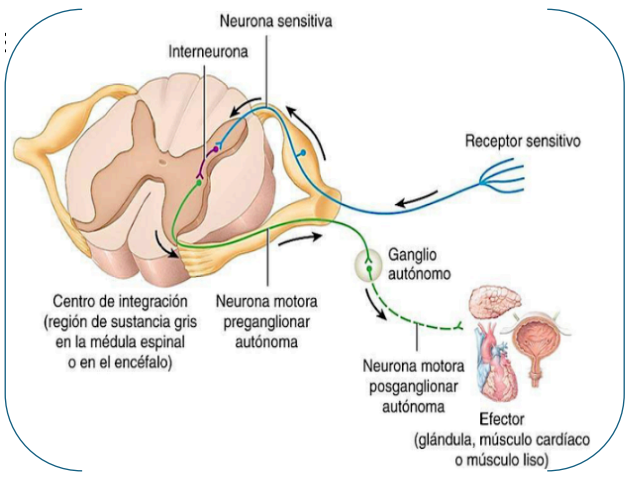
→ **Qué es el tono autónomo**

El **tono autónomo** es la **actividad basal constante** que ejercen las divisiones simpática y parasimpática sobre los órganos.

Los órganos **no están "apagados" y "encendidos"**, sino que funcionan alrededor de un **nivel medio de actividad**, sobre el cual el sistema nervioso puede actuar.

Por ejemplo:

- los vasos sanguíneos mantienen un **tono vascular basal**,
- el corazón late con una frecuencia modulada continuamente,
- el intestino presenta una actividad motora constante.



→ **Regulación central del tono autónomo**

La diapositiva señala que el **hipotálamo** es el principal regulador del tono autónomo.

Desde él se coordinan las respuestas simpáticas y parasimpáticas en función de:

- el estado metabólico,
- la temperatura corporal,
- el nivel de estrés,
- la información emocional procedente del sistema límbico.

El hipotálamo actúa como un **director de orquesta**, ajustando el equilibrio entre ambas divisiones.

→ **Doble inervación y ajuste fino**

La mayoría de los órganos reciben **inervación simpática y parasimpática simultánea**.

Para obtener un efecto concreto:

- **una división aumenta su actividad**,
- mientras **la otra la reduce**.

Este mecanismo permite cambios suaves y graduales, no respuestas bruscas.

Por ejemplo:

- para aumentar la frecuencia cardíaca, se incrementa la actividad simpática y se reduce la parasimpática;
- para disminuirla, ocurre lo contrario.

→ **Ventaja fisiológica de este sistema**

El control mediante tono autónomo permite:

- una **regulación continua**,
- una adaptación rápida a cambios internos y externos,
- y una gran estabilidad del medio interno.

Sin este sistema tónico, la función visceral sería inestable y poco eficiente.

👉 Los reflejos autónomos mantienen la homeostasis mediante un **tono basal constante**, regulado principalmente por el hipotálamo, en el que simpático y parasimpático actúan de forma coordinada ajustando su actividad relativa.

⇒ VÍA MOTORA AUTÓNOMA: PARASIMPÁTICA Y SIMPÁTICA

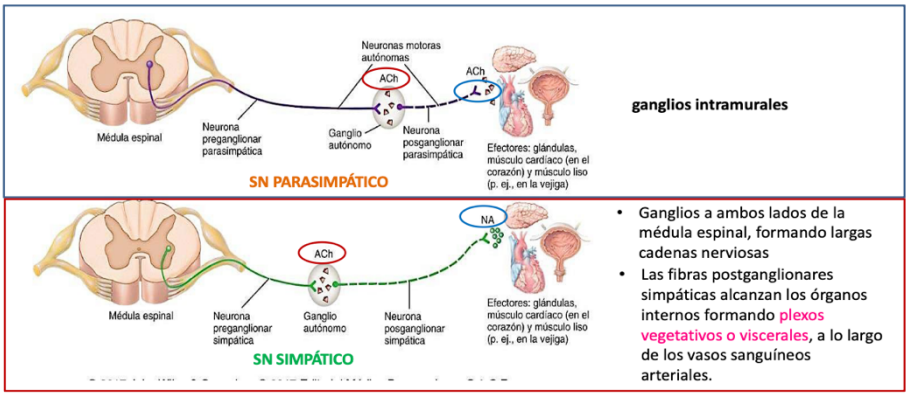
→ **Dos organizaciones anatómicas distintas para una misma función**

Esta diapositiva compara **cómo están organizadas anatómicamente** las vías motoras del **sistema nervioso parasimpático** y del **sistema nervioso simpático**. Aunque ambas cumplen la misma misión general —regular la actividad visceral—, su disposición es muy diferente, y esa diferencia explica el tipo de respuesta que producen.

→ **Vía parasimpática: control localizado y preciso**

En el **sistema parasimpático**, los **ganglios** se sitúan **muy cerca del órgano diana** o incluso **dentro del propio órgano** (ganglios intramurales).

→ **Consecuencias funcionales de esta organización:**



- Las **fibras preganglionares son largas** (desde el SNC hasta el órgano).
- Las **fibras postganglionares son cortas**.
- La respuesta es **muy localizada**, afectando solo al órgano estimulado.
- Permite un control **fino y específico**, ideal para funciones como:
  - digestión, secreción glandular,
  - micción, defecación.

Este diseño es coherente con la función parasimpática de **reposo, mantenimiento y conservación de energía**.

→ **Vía simpática: control difuso y coordinado**

En el **sistema simpático**, los ganglios se agrupan a ambos lados de la médula espinal formando **largas cadenas nerviosas** (cadena simpática paravertebral).

→ **Consecuencias funcionales de esta organización:**

- Las **fibras preganglionares son cortas**.
- Las **fibras postganglionares son largas**.
- Las fibras postganglionares alcanzan los órganos formando **plexos vegetativos o viscerales**, que discurren a lo largo de los vasos sanguíneos.
- Una sola neurona preganglionar puede activar **muchas neuronas postganglionares**.

El resultado es una respuesta:

- **difusa**,
- **coordinada**,
- que afecta a **muchos órganos simultáneamente**.

Esta organización es ideal para situaciones de **lucha o huida**, donde el cuerpo debe actuar como un todo.

→ **Comparación funcional implícita**

La diapositiva permite entender que:

- el parasimpático está diseñado para **regular órganos de forma individual**,
- el simpático está diseñado para **activar el organismo en bloque**.

No es una cuestión de "mejor o peor", sino de **adecuación funcional al tipo de respuesta necesaria**.

→ **Idea clave de la diapositiva**

La distinta localización de los ganglios en las vías parasimpática y simpática determina el tipo de respuesta autonómica:

- **parasimpática** → respuesta localizada, precisa y conservadora de energía,
- **simpática** → respuesta difusa, intensa y coordinada para la acción.

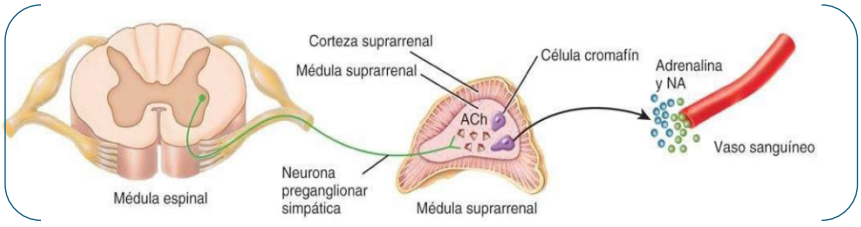
⇒ VÍA MOTORA AUTÓNOMA PARA LA MÉDULA SUPRARRENAL

→ **Una vía simpática especial**

Esta diapositiva describe una **variante singular del sistema nervioso simpático**: la vía que llega a la **médula suprarrenal**. Aunque pertenece funcionalmente al simpático, su organización **no sigue el esquema clásico de dos neuronas en serie**.

Aquí aparece una idea clave:

👉 **la médula suprarrenal actúa como un ganglio simpático modificado**.



→ **Organización anatómica de la vía**

En esta vía ocurre lo siguiente:

- La **neurona preganglionar simpática** sale del SNC.
- Su axón **no hace sinapsis en un ganglio simpático periférico**.
- Llega directamente a la **médula suprarrenal**.
- Allí sinapsa con **células cromafines**, que son equivalentes funcionales de neuronas postganglionares.

En consecuencia, **no existe una neurona postganglionar clásica**.

→ **Respuesta hormonal en lugar de respuesta nerviosa**

Las células cromafines de la médula suprarrenal, al recibir la señal nerviosa:

- liberan **adrenalina (epinefrina)** y **noradrenalina (norepinefrina)**,
- directamente a la **circulación sanguínea**.

Esto transforma una señal nerviosa puntual en una **respuesta hormonal sistémica**.

→ **Ventaja funcional de este diseño**

Este mecanismo proporciona varias ventajas fisiológicas:

- **Respuesta global**: afecta simultáneamente a múltiples órganos.
- **Mayor duración**: las hormonas permanecen más tiempo en sangre que un neurotransmisor en una sinapsis.
- **Amplificación de la respuesta simpática**: incluso órganos con poca inervación simpática directa responden.

Por eso esta vía es fundamental en situaciones de:

- estrés intenso,
- ejercicio físico,
- miedo,
- emergencia.

→ **Efectos fisiológicos principales**

La liberación de adrenalina y noradrenalina produce, entre otros efectos:

- aumento de la **frecuencia y fuerza cardíaca**,
- dilatación de **bronquios**,
- movilización de **glucosa y ácidos grasos**,
- redistribución del flujo sanguíneo hacia músculos y cerebro,
- inhibición transitoria de la digestión.

Todos estos cambios preparan al organismo para una **respuesta rápida y eficaz**.

→ **Idea clave de la diapositiva**

La vía simpática hacia la médula suprarrenal convierte una señal nerviosa en una **respuesta hormonal masiva y prolongada**, actuando como un potente mecanismo de amplificación del sistema nervioso simpático.

⇒ FUNCIONES DEL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO (SNA)

→ **Sentido funcional global**

Veamos un resumen de lo **que hace el SNA** en la práctica, es decir, **para qué sirve** su compleja organización anatómica. El SNA no actúa de manera ocasional, sino **de forma continua**, regulando funciones vitales que no pueden depender de la voluntad.

Su objetivo último es **garantizar la supervivencia** adaptando el funcionamiento interno del organismo a cada situación.

→ **Funciones del sistema parasimpático: "reposo y digestión"**

El **parasimpático** predomina en condiciones de tranquilidad y recuperación. Sus efectos están orientados a **conservar y restaurar la energía** del organismo.

Efectos fisiológicos principales:

- **Disminución de la frecuencia cardíaca**, reduciendo el gasto energético.
- **Estimulación de la digestión**, aumentando la motilidad intestinal y la secreción de jugos digestivos.
- **Promoción de la absorción de nutrientes**, favoreciendo el almacenamiento de energía.
- **Salivación y lagrimeo**, necesarios para la función digestiva y ocular.
- **Micción y defecación**, facilitando la eliminación de desechos.

Estos efectos no son puntuales: se mantienen mientras el organismo está en reposo.

→ **Funciones del sistema simpático: "lucha o huida"**

El **simpático** se activa cuando el organismo necesita responder a una demanda intensa: ejercicio, estrés, peligro o emergencia. Su función es **movilizar recursos rápidamente**.

→ **Efectos fisiológicos principales:**

- **Aumento de la frecuencia y la fuerza del latido cardíaco**, elevando el gasto cardíaco.
- **Redistribución del flujo sanguíneo**, priorizando músculos y cerebro.
- **Liberación rápida de energía**, mediante aumento de glucosa y ácidos grasos en sangre.
- **Inhibición de la digestión**, al no ser prioritaria en situaciones de urgencia.
- **Estimulación de la sudoración**, que ayuda a regular la temperatura corporal.

Podemos utilizar para mejor recordar la regla mnemotécnica de la **"E"**:

- **Excitar**,
- **Emergencia**,
- **Ejercicio**,
- **Emoción (vergüenza)**.

→ **Duración y alcance de los efectos**

Un aspecto importante que destaca la diapositiva es que:

- los **efectos simpáticos son más difusos**,
- afectan a **muchos órganos simultáneamente**,
- y **duran más tiempo** que los parasimpáticos, especialmente cuando interviene la médula suprarrenal.

Esto explica por qué, tras una situación de estrés, el cuerpo tarda un tiempo en volver al estado basal.

→ **Complementariedad, no oposición**

Aunque se describen como sistemas opuestos, simpático y parasimpático **no actúan como interruptores excluyentes**.

Funcionan de forma **complementaria**, ajustando su grado de actividad relativa según la situación. Un órgano no "apaga" uno y "enciende" el otro, sino que **modula el equilibrio entre ambos**.

👉 El sistema nervioso autónomo regula las funciones internas del organismo mediante dos divisiones complementarias:

- el **parasimpático**, orientado a la conservación y recuperación,
- y el **simpático**, orientado a la acción y la movilización de energía.

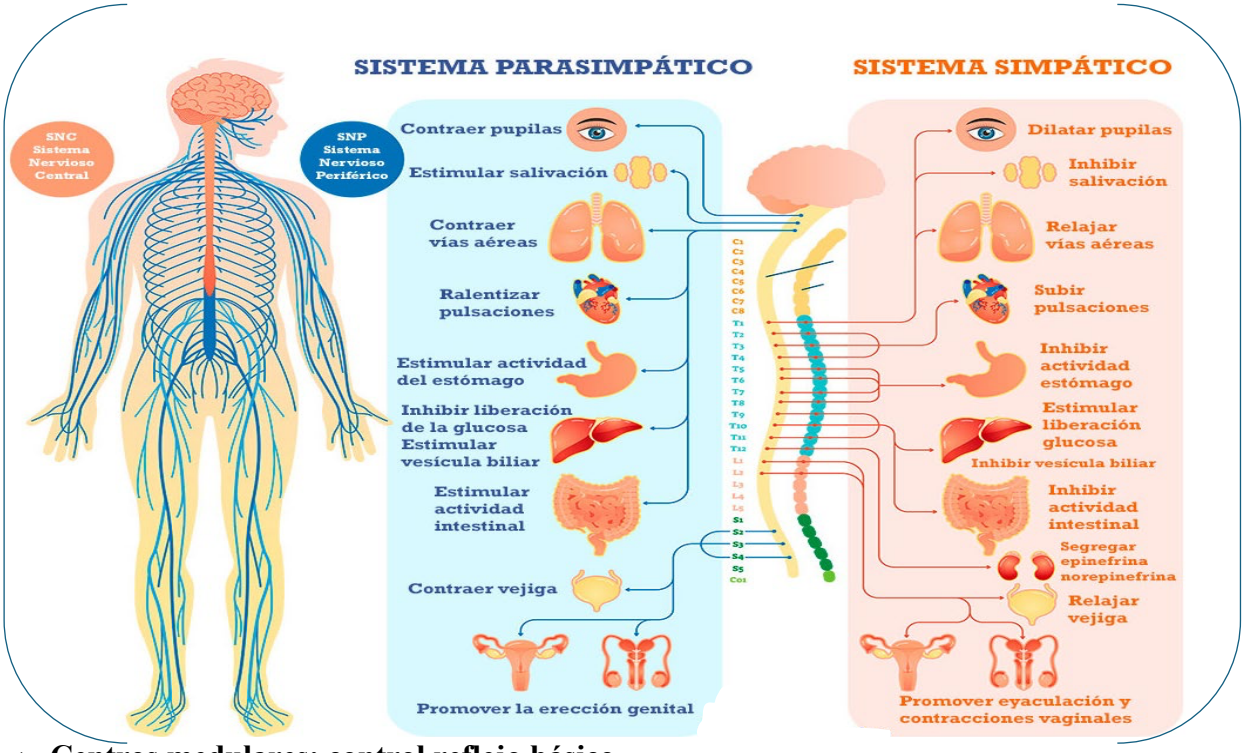
Este equilibrio dinámico permite adaptarse eficazmente a cualquier circunstancia.

⇒ CENTROS DE CONTROL DEL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

→ **El control autónomo no reside en un único centro**

El sistema nervioso autónomo (SNA) **no está gobernado por un solo "núcleo central"**, sino por una **red jerárquica de centros de control** distribuidos a distintos niveles del sistema nervioso. Esta organización permite respuestas rápidas, pero también una regulación global y coherente del organismo.

La diapositiva subraya que los **centros de control autónomo están presentes tanto en el encéfalo como en la médula espinal**.



→ **Centros medulares: control reflejo básico**

En la **médula espinal** se integran reflejos autónomos simples, especialmente relacionados con funciones viscerales básicas.

Ejemplos funcionales:

- reflejos de **micción** y **defecación**,
- ajustes vasculares segmentarios,
- respuestas locales del músculo liso.

Estos reflejos pueden funcionar de manera **automática**, aunque normalmente están **modulados por centros superiores**.

→ **Centros del tronco encefálico: funciones vitales**

El **tronco encefálico** (bulbo raquídeo y protuberancia) contiene núcleos autónomos esenciales para la vida.

Funciones reguladas a este nivel:

- **frecuencia cardíaca**,
- **presión arterial**,
- **ritmo respiratorio**,
- reflejos de **deglución, tos, vómito y salivación**.

Estos centros actúan de forma continua y automática, ajustando la actividad visceral segundo a segundo.

→ **Hipotálamo: centro integrador superior**

El **hipotálamo** es el **principal centro de coordinación del SNA**. Integra información:

- visceral,
- endocrina,
- térmica,
- metabólica,
- y emocional (procedente del sistema límbico).

Desde el hipotálamo se regula:

- el equilibrio entre simpático y parasimpático,
- el tono autónomo basal,
- la respuesta al estrés,
- la interacción entre sistema nervioso y sistema endocrino.

Por eso se considera el **director general de la homeostasis**.

→ **Influencia cortical y del sistema límbico**

Aunque el SNA es involuntario, **las emociones, la conducta y la experiencia consciente influyen sobre él**.

A través del sistema límbico y de áreas corticales:

- el miedo puede acelerar el corazón,
- la ansiedad puede alterar la digestión,
- la vergüenza puede provocar sudoración o rubor.

Esto demuestra que el control autónomo está **integrado con la vida psíquica**, no aislado de ella.

→ **Organización jerárquica del control**

La diapositiva permite resumir el control autónomo como una jerarquía:

- **Médula espinal** → reflejos viscerales básicos.
- **Tronco encefálico** → control vital continuo.
- **Hipotálamo** → integración global y homeostasis.
- **Sistema límbico y corteza** → modulación emocional y conductual.

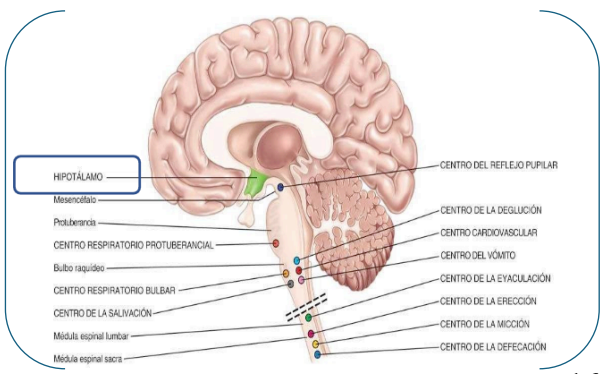
Esta jerarquía garantiza **rapidez, estabilidad y adaptación**.

👉 El sistema nervioso autónomo está controlado por **múltiples centros distribuidos jerárquicamente**, con el hipotálamo como principal integrador, permitiendo una regulación automática de las funciones vitales y su modulación por emociones y conducta.

⇒ CENTROS DE CONTROL AUTÓNOMO

→ **Distribución de los centros de control**

El control del sistema nervioso autónomo **no depende de un único centro**, sino de **varios niveles jerárquicos** distribuidos por el sistema nervioso central. Esta diapositiva insiste en que los **centros de control autónomo están presentes tanto en el encéfalo como en la médula espinal**, lo que permite respuestas rápidas y, al mismo tiempo, una regulación global del organismo.



Esta organización explica por qué algunas funciones viscerales pueden mantenerse incluso cuando los centros superiores están dañados.

→ **Centros medulares**

En la **médula espinal** se integran reflejos autónomos relativamente simples, relacionados sobre todo con funciones viscerales básicas.

Entre ellos destacan:

- reflejos de **micción**,
- reflejos de **defecación**,
- ajustes vasculares segmentarios.

Estos reflejos pueden funcionar de forma automática, pero en condiciones normales están **modulados por centros superiores**, lo que permite el control voluntario parcial (por ejemplo, retrasar la micción).

→ **Centros del tronco encefálico**

El **tronco encefálico** alberga núcleos autónomos fundamentales para la vida.

Regula de manera continua:

- la **frecuencia cardíaca**,
- la **presión arterial**,
- el **ritmo respiratorio**,
- reflejos como **tos, vómito, deglución y salivación**.

Estos centros actúan segundo a segundo y garantizan la estabilidad de las funciones vitales, independientemente del estado de conciencia.

→ **Hipotálamo como centro integrador principal**

El **hipotálamo** es el **principal centro de coordinación del sistema nervioso autónomo**. Integra información:

- visceral,
- endocrina,
- térmica,
- metabólica,
- y emocional (procedente del sistema límbico).

Desde él se regula:

- el equilibrio simpático–parasimpático,
- el tono autónomo basal,
- la respuesta al estrés,
- la interacción entre sistema nervioso y sistema endocrino.

Por este motivo se considera el **director de la homeostasis**.

→ **Influencia del sistema límbico y la corteza**

Aunque el SNA es involuntario, **la emoción y la conducta influyen claramente en él**. A través del sistema límbico y de conexiones corticales:

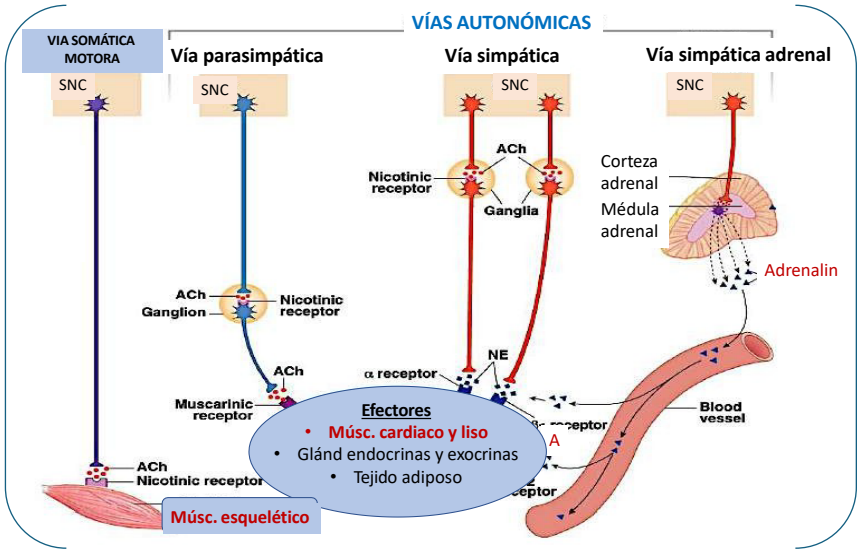
- el miedo acelera el corazón,
- la ansiedad altera la digestión,
- la vergüenza provoca sudoración o rubor.

⇒ VÍAS AUTONÓMICAS Y COMPARACIÓN CON LA VÍA SOMÁTICA MOTORA

→ **Tres tipos de vías autonómicas**

Esta diapositiva presenta una **visión final de conjunto** del sistema nervioso autónomo, mostrando **las tres vías de salida** con las que el SNC regula la actividad visceral:

1. **Vía parasimpática**
2. **Vía simpática**
3. **Vía simpática adrenal**



Cada una responde a una **lógica funcional distinta**, pero todas persiguen el mismo objetivo: **mantener la homeostasis y permitir la adaptación al entorno**.

→ **Vía parasimpática**

En la **vía parasimpática**, la información motora sale del SNC y llega al órgano diana mediante:

- **neurona preganglionar larga**,
- **ganglio intramural** (situado en el propio órgano o muy cerca),
- **neurona postganglionar muy corta**.

→ **Consecuencia funcional**

- Respuesta **localizada y precisa**.
- Actúa órgano a órgano.
- Ideal para funciones de **reposo, digestión y mantenimiento**.

Ejemplos:

- estimulación de la motilidad intestinal,
- secreción glandular,
- disminución de la frecuencia cardíaca.

→ **Vía simpática**

En la **vía simpática clásica**, la organización es inversa:

- **neurona preganglionar corta**,
- **ganglios simpáticos** situados cerca de la médula (cadena paravertebral),
- **neurona postganglionar larga** que alcanza el órgano siguiendo los vasos sanguíneos.

→ **Consecuencia funcional**

- Respuesta **difusa y coordinada**.
- Varios órganos se activan al mismo tiempo.
- Preparación global del organismo para la acción.

Ejemplos:

- aumento de frecuencia cardíaca,
- vasoconstricción periférica,
- inhibición digestiva.

→ **Vía simpática adrenal**

La **vía simpática adrenal** representa una forma especial de control:

- la neurona preganglionar llega directamente a la **médula suprarrenal**,

- no existe neurona postganglionar clásica,
- se liberan **adrenalina y noradrenalina a la sangre**.

→ **Consecuencia funcional**
- Respuesta **sistémica y prolongada**.
- Amplificación hormonal del sistema simpático.
- Ideal para situaciones de estrés intenso o sostenido.

→ **Comparación con la vía somática motora**
  - **Sistema somático**
- **Una sola neurona** desde el SNC al músculo.
- Control **voluntario**.
- Efector: **músculo esquelético**.
- Respuesta rápida y precisa.

  - **Sistema autónomo**
- **Dos neuronas en serie** (excepto vía adrenal).
- Control **involuntario**.
- Efectores: músculo liso, músculo cardíaco, glándulas y tejido adiposo.
- Respuestas más lentas, modulables y sostenidas.

Esta diferencia estructural explica por qué el control visceral es estable y continuo, mientras que el control somático es rápido y puntual.

👉 **Idea clave**

El sistema nervioso autónomo dispone de **tres vías de salida complementarias** que regulan la actividad visceral de forma localizada, difusa o sistémica, y se diferencia del sistema somático motor por su **organización en dos neuronas**, su **control involuntario** y su función esencial en la homeostasis.

TEMA 4: FISIOLOGÍA SENSORIAL

→ **Explicación desarrollada del tema**

La **fisiología sensorial** se ocupa de explicar **cómo el organismo capta información del medio externo e interno**, cómo esa información se transforma en **señales nerviosas**, cómo se **transmite por el sistema nervioso** y, finalmente, cómo el encéfalo la **interpreta como sensación y percepción**.

Aquí conviene dejar claras tres ideas fundamentales que vertebran todo el tema:

1. **No estudiamos los sentidos como órganos aislados**, sino como **sistemas funcionales**:
   - Receptor sensorial
   - Vías nerviosas aferentes
   - Centros de integración en el SNC
2. El objetivo final **no es el estímulo**, sino la **percepción consciente**:
   - La luz, el sonido o la presión **no "existen" para el cerebro** hasta que son transformados en actividad eléctrica.
   - Lo que percibimos es una **construcción neural**, no una copia directa de la realidad.
3. Este tema conecta directamente con:
   - Neurofisiología
   - Comportamiento
   - Adaptación al medio
   - Supervivencia del organismo

👉 **sin sistemas sensoriales no hay relación con el entorno**, y sin esa relación no hay conducta organizada.

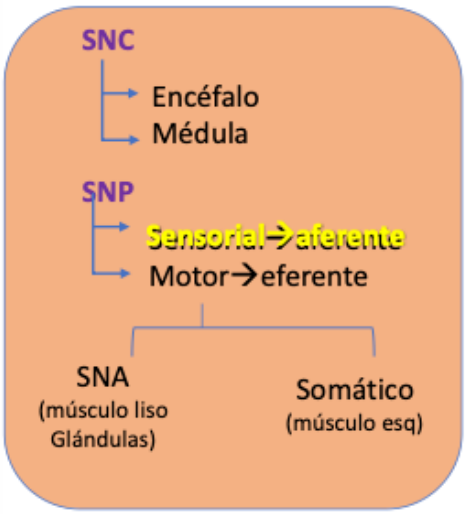
⇒ ORGANIZACIÓN FUNCIONAL

Se nos presenta una **visión global de la organización funcional del sistema nervioso**, distinguiendo:

- **Sistema sensorial** → adquiere y procesa información
- **Sistema motor** → genera movimiento
- **Sistemas de asociación** → funciones superiores

Además:

- Los **circuitos neuronales** que procesan información similar forman **sistemas neurales**.
- Diferenciación entre:
  - **SNC**: encéfalo y médula espinal
  - **SNP**: vías aferentes y eferentes
- Distinción funcional:
  - Sensitivo → **aferente**
  - Motor → **eferente**
- División motora:
  - **Sistema somático** (músculo esquelético)
  - **Sistema nervioso autónomo** (músculo liso y glándulas)



→ **Explicación desarrollada**

Tener estos conceptos claros es **clave**, porque sitúan a la fisiología sensorial **dentro del funcionamiento global del sistema nervioso**, no como un tema aislado.

1. Sistema sensorial

Su función es **captar información** del medio:

- Externo (luz, sonido, temperatura, presión…)
- Interno (posición corporal, estado visceral…)

Esta información **entra siempre por vías aferentes**, desde los receptores hacia el SNC.

👉 Idea fundamental: **el sistema nervioso no actúa sin información previa**.

2. Sistema motor

Es la **salida del sistema nervioso**:

- Convierte la información procesada en **respuesta**
- Utiliza vías **eferentes**

Se divide en:

- **Somático**: control voluntario del músculo esquelético
- **Autónomo**: control involuntario de vísceras y glándulas
-

Importante: la respuesta motora **depende directamente de la información sensorial previa**.

3. Sistemas de asociación

Aquí se sitúan las **funciones superiores**:

- Integración
- Memoria
- Aprendizaje
- Toma de decisiones

No reciben estímulos directamente ni ejecutan movimiento, sino que:
👉 **interpretan, comparan y elaboran respuestas complejas**.

4. Circuitos y sistemas neurales

El mensaje clave de este tema es: *Los circuitos neuronales que procesan información similar forman sistemas neurales.*

Esto explica por qué hablamos de:

- Sistema visual
- Sistema auditivo
- Sistema somatosensorial

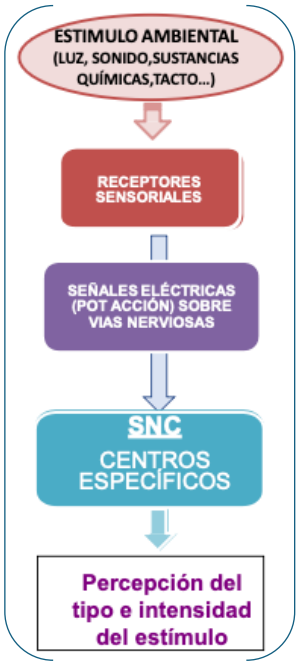
Cada uno tiene:

- Receptores específicos
- Vías definidas
- Áreas corticales concretas

→ **Idea esencial**

La fisiología sensorial **no puede entenderse sin esta organización**:
Entrada (sensorial) → Integración (asociación) → Salida (motora)

⇒ FISIOLOGÍA SENSORIAL: ETAPAS DEL PROCESO



Se esquematiza el **proceso completo de la información sensorial**, desde el estímulo hasta la percepción:

- **Estímulo ambiental**
  (luz, sonido, sustancias químicas, tacto…)
- **Receptores sensoriales**
- **Señales eléctricas**
  (potenciales de acción) que viajan por vías nerviosas
- **Sistema Nervioso Central**
  → centros específicos
- **Percepción** del tipo e intensidad del estímulo

Además, se enumeran las **etapas funcionales** del proceso sensorial:

1. Receptores sensoriales
2. Recepción
3. Transducción
4. Transmisión
5. Integración → percepción

→ **Explicación desarrollada**

Esto es **fundamental**, porque define el **modelo clásico de la fisiología sensorial**, que se repetirá en todos los sentidos.

Veamos su desarrollo:

1. Estímulo

El punto de partida es siempre una **forma de energía**:

- Mecánica (presión, vibración, sonido)
- Química (sustancias olorosas o gustativas)
- Electromagnética (luz)
- Térmica (calor/frío)

👉 El sistema nervioso **no "entiende" energía**, solo señales eléctricas.

2. Receptores sensoriales

Son **estructuras especializadas** capaces de:

- Detectar un tipo concreto de energía
- Responder solo a ese tipo (especificidad)

Cada receptor está "diseñado" para **una modalidad sensorial concreta**.
Esto introduce un principio clave:
👉 **principio de la especificidad del receptor**.

3. Recepción

Es la **capacidad del receptor para absorber la energía del estímulo**.

No hay todavía señal nerviosa:

- Solo interacción física o química
- El receptor "recibe" la energía

Ejemplo:

- El fotorreceptor absorbe fotones
- El mecanorreceptor se deforma por presión

4. Transducción
Aquí ocurre el paso decisivo.

La **transducción** es:
la conversión de la energía del estímulo en un cambio eléctrico de la membrana

Ese cambio se denomina:
- **Potencial de receptor** o **potencial generador**

Todavía **no es un potencial de acción**, pero ya es señal eléctrica.

Sin transducción:
👉 no hay información nerviosa.

5. Transmisión
Si el potencial de receptor alcanza umbral:
- Se generan **potenciales de acción**
- Estos viajan por las **vías aferentes** hacia el SNC

Aquí aparece la **codificación**:
- La intensidad del estímulo **no se codifica en amplitud**
- Se codifica en la **frecuencia de los potenciales de acción**

Esto es un principio fisiológico básico.

6. Integración y percepción
La señal llega a:
- Médula
- Tronco encefálico
- Tálamo
- Corteza cerebral específica

Allí se integra con otras señales y con la experiencia previa.
👉 **La percepción no está en el receptor**, está en el encéfalo.

→ **Idea clave**
Entre el estímulo físico y la experiencia consciente hay **una cadena ordenada de procesos**.
Si falla uno:
- No hay sensación
- No hay percepción

Esta estructura es la **columna vertebral** del resto del tema.

⇒ SENSACIÓN Y PERCEPCIÓN

En esta imagen ilustrativa se distinguen claramente tres conceptos:
- **Sensación**
- **Percepción**
- **Cognición**

Y los relaciona con:
- Los **sentidos** (vista, olfato, gusto, tacto, posición corporal)
- El **procesamiento cerebral** de la información

→ **Veamos cómo se produce**

Existe una **distinción conceptual esencial**, que a menudo se confunde, pero que en fisiología debe quedar **muy clara**.

1. Sensación

La **sensación** es: la experiencia inmediata y básica producida por la estimulación de los receptores sensoriales.

Características:

- Es **automática**
- Es **elemental**
- Depende directamente del estímulo físico
- No implica interpretación consciente elaborada



Ejemplos:

- Detectar luz
- Notar una presión
- Sentir frío o calor

La sensación es, por así decirlo, el **"material bruto"** que llega al sistema nervioso.

2. Percepción

La **percepción** es un paso más complejo: es la interpretación de las sensaciones, dándoles significado y organización.

Aquí el cerebro:

- Integra distintas señales
- Las compara con experiencias previas
- Construye una **representación coherente**

Ejemplo clásico:

- Sensación: cambios de luz en la retina
- Percepción: "veo una cara"

👉 Dos personas pueden tener **la misma sensación** y **una percepción distinta**.

3. Cognición

La **cognición** va todavía más allá.

Incluye:

- Adquisición del conocimiento
- Almacenamiento (memoria)
- Recuperación
- Uso del conocimiento

La cognición implica:

- Razón
- Reconocimiento
- Procesos conscientes superiores

Aquí ya intervienen:

- Corteza asociativa
- Memoria

- Aprendizaje
- Contexto cultural y personal

→ **Relación entre los tres conceptos**

Sensación → Percepción → Cognición

- Sensación y percepción son funciones **automáticas**
- La cognición introduce **interpretación consciente elaborada**

Desde un punto de vista clásico y riguroso:

👉 **el receptor no percibe**,
👉 **el cerebro interpreta**,
👉 **la mente conoce**.

→ **Idea clave de la diapositiva**

No vemos, oímos o tocamos con los órganos sensoriales: **vemos, oímos y tocamos con el encéfalo**.

Esta distinción es fundamental para entender:

- Ilusiones sensoriales
- Dolor referido
- Trastornos perceptivos
- Integración sensorial

⇒ **¿QUÉ PODEMOS SENTIR? SISTEMAS SENSORIALES**

Aquí tenemos una **tabla resumen** que relaciona los **sistemas sensoriales** y **sentidos somáticos**:

- **Sensación**
- **Tipo de receptor**
- **Tipo de energía** detectada

	SENSACIÓN	RECEPTOR	ENERGÍA
	OIDO	mecanoreceptor	Mecánica (onda de sonido)
	GUSTO	quimioreceptor	Química (Glucosa, Sal…)
	OLFATO	quimioreceptor	Química (mentol,
	VISTA	fotoreceptor	Electromagnética
SENTIDOS SOMÁTICOS	TACTO	mecanoreceptor	Mecánica
	Temperatura	termorreceptor	Térmica
	Dolor	nociceptor	Térmica/Mecánica/Química
	Picor/Prurito	pruriceptor	Química (histamina)

Incluye:

- **Oído** → mecanorreceptores → energía mecánica (ondas sonoras)
- **Gusto** → quimiorreceptores → energía química (glucosa, sal…)
- **Olfato** → quimiorreceptores → energía química (mentol, etc.)
- **Vista** → fotorreceptores → energía electromagnética
- **Tacto** → mecanorreceptores → energía mecánica
- **Temperatura** → termorreceptores → energía térmica
- **Dolor** → nociceptores → energía térmica, mecánica o química
- **Picor / prurito** → pruriceptores → sustancias químicas (histamina

→ **Explicación desarrollada para fijar los principios más sólidos de la fisiología sensorial.**

1. Solo percibimos lo que podemos captar

El organismo **no percibe todo**, sino únicamente aquellas formas de energía para las que tiene **receptores especializados**.
No hay receptor → no hay sensación.

Esto explica por qué:

- No vemos infrarrojos
- No oímos ultrasonidos
- No percibimos campos magnéticos (como algunos animales)

2. Especificidad receptor–energía

Cada tipo de receptor está especializado en **una forma concreta de energía**:

- **Mecanorreceptores**
  Detectan deformaciones físicas:
  - Sonido
  - Presión
  - Vibración
  - Tacto
- **Quimiorreceptores**
  Detectan sustancias químicas:
  - Gusto
  - Olfato
  - Cambios químicos internos
- **Fotorreceptores**
  Detectan radiación electromagnética:
  - Luz visible
- **Termorreceptores**
  Detectan cambios de temperatura
- **Nociceptores**
  Detectan estímulos potencialmente lesivos
  (no un tipo único de energía, sino peligro)

3. El dolor como sistema de alarma

El dolor merece mención aparte:

- Puede activarse por:
  - Energía mecánica
  - Energía térmica
  - Sustancias químicas
- No informa de "cómo es" el estímulo, sino de que **hay riesgo o daño**

Desde un punto de vista fisiológico clásico, podemos decir que:
👉 el dolor es **imprescindible para la supervivencia**.

4. Concepto de sentidos somáticos

- Tacto
- Temperatura
- Dolor
- Propiocepción (posición del cuerpo)

A diferencia de los sentidos especiales:

- Están distribuidos por todo el cuerpo
- Informan del **estado corporal**

→ **Idea clave a considerar**

Podemos sentir todas las señales (energías) que podamos captar del medio externo e interno. Y lo hacemos no a través de estímulos, si no a través de **receptores específicos** que convierten esas energías en **señales eléctricas generadas por receptores específicos**.

Lo que sentimos depende estrictamente de:

- El tipo de receptor
- La energía que puede captar
- La vía nerviosa que se activa

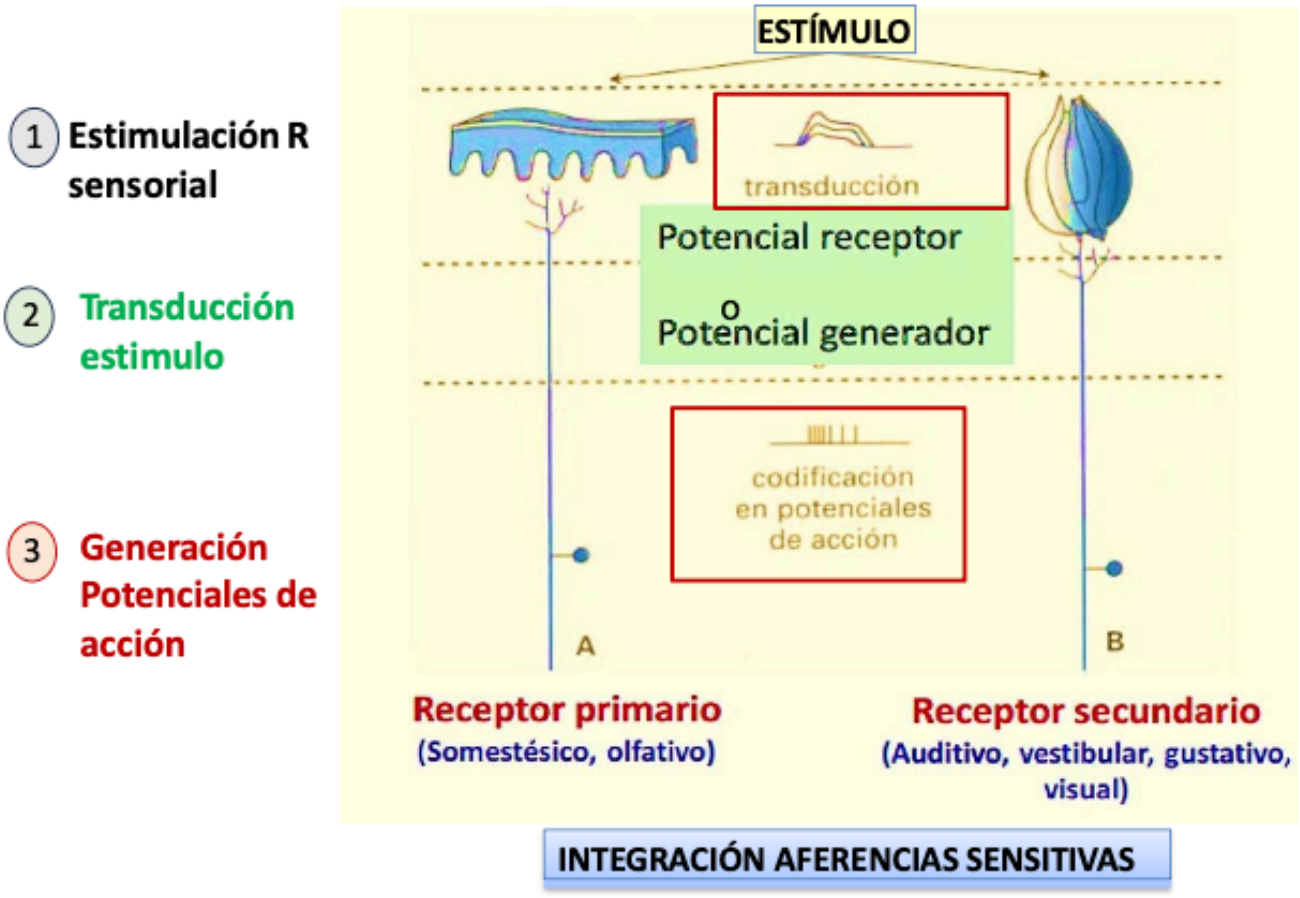
Este principio será esencial para entender:

- La modalidad sensorial
- La codificación
- Las vías específicas

⇒ TRANSDUCCIÓN SENSORIAL

Este otro es el **esquema secuencial** del proceso sensorial en tres pasos numerados:

1. **Estímulo**
2. **Estimulación del receptor sensorial y transducción del estímulo**
3. **Generación de potenciales de acción e integración de las aferencias sensitivas**



👉 Es un **diagrama funcional**, no anatómico.

→ **Vamos a fijar el concepto de transducción como núcleo del sistema sensorial**.

1. Estímulo
El proceso comienza siempre con un estímulo físico o químico:

- Presión
- Luz
- Sonido
- Sustancia química
- Calor o frío

Ese estímulo **no es aún información nerviosa**.

2. Estimulación del receptor y transducción
Aquí ocurre el paso decisivo.

El receptor sensorial:

- Interacciona con la energía del estímulo
- Sufre un cambio físico o químico
- Ese cambio se traduce en un **cambio del potencial de membrana**

Esto es la **transducción sensorial**: conversión de energía no eléctrica en una señal eléctrica

El resultado es un:

- **Potencial de receptor** (o generador)

Características importantes:

- Es graduado (no todo o nada)
- Su amplitud depende de la intensidad del estímulo

3. Generación de potenciales de acción
Si el potencial de receptor alcanza el umbral:

- Se generan **potenciales de acción**
- Estos se propagan por la neurona sensorial aferente

Aquí aparece un principio fundamental:
👉 **toda la información sensorial viaja por el SNC como potenciales de acción**.

4. Integración de aferencias sensitivas
Las señales no actúan de forma aislada:

- Convergen múltiples aferencias
- Se comparan
- Se modulan
- Se integran en médula, tronco, tálamo y corteza

La percepción final es el resultado de:

- La señal periférica
- La integración central

→ **Idea clave:**
Sin transducción:

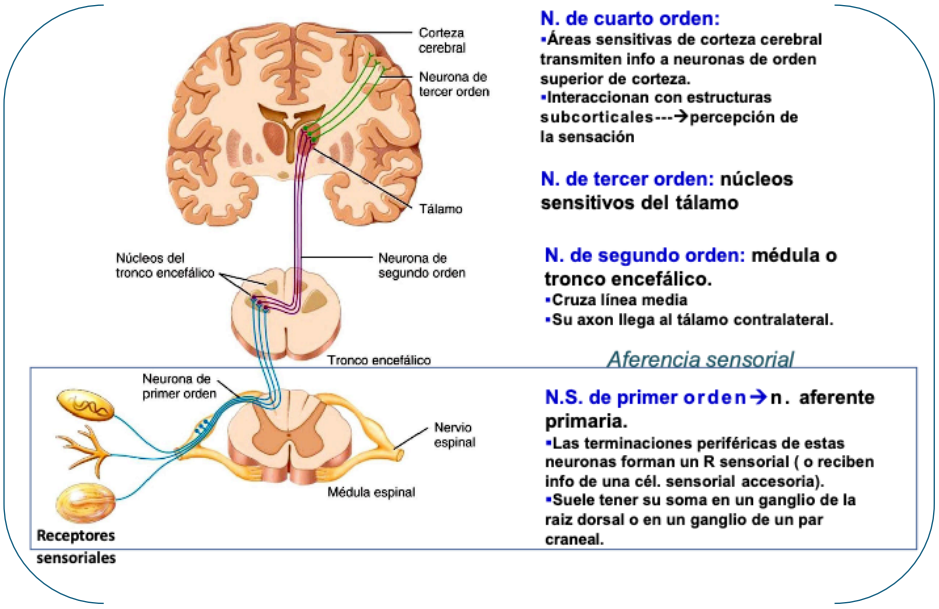
- No hay señal nerviosa
- No hay información
- No hay percepción

La transducción es el **puente obligatorio** entre el mundo físico y el mundo nervioso.

Esta idea explica por qué:
- Cada modalidad sensorial necesita receptores distintos
- No existe una "sensación general", sino modalidades específicas

⇒ VÍAS SENSITIVAS HACIA EL ENCÉFALO

Con esta imagen se describen las **vías nerviosas sensitivas ascendentes**, organizadas en **neuronas de distinto orden**:
- **Receptores sensoriales**
- **Neuronas sensitivas de primer orden**
- **Neuronas sensitivas de segundo orden**
- **Neuronas sensitivas de tercer orden**
- **Neuronas de cuarto orden (corteza cerebral)**



Se indica:
- Cruce de la línea media
- Paso por el tálamo
- Proyección cortical

→ Veamos la explicación desarrollada y la "arquitectura" clásica de las vías sensitivas, común a la mayoría de los sistemas sensoriales.

1. Neurona sensitiva de primer orden
- Es la **neurona aferente primaria**
- Sus terminaciones periféricas:
  - Son el propio receptor sensorial
  - O reciben información de una célula sensorial accesoria

Características:
- Su soma suele estar en:
  - Ganglio de la raíz dorsal (nervios espinales)
  - Ganglios de pares craneales

Función:
👉 llevar la información desde la periferia hasta el SNC.

2. Neurona sensitiva de segundo orden
- Se localiza en:
  - Médula espinal
  - Tronco encefálico
- Su función principal:
  - **Cruzar la línea media** (decusación)
  - Enviar la información al lado contrario del encéfalo

Este cruce explica por qué:
- El hemisferio izquierdo procesa la información del lado derecho del cuerpo
- Y viceversa

3. Neurona sensitiva de tercer orden

- Se sitúa en los **núcleos sensitivos del tálamo**
- El tálamo actúa como:
  - Estación de relevo
  - Centro de integración y modulación

Desde el tálamo:

- La información se proyecta a la corteza cerebral correspondiente

4. Neuronas de cuarto orden

- Se localizan en:
  - Áreas sensitivas primarias de la corteza cerebral
- Desde allí:
  - Se transmite la información a áreas corticales superiores
  - Se produce la **percepción consciente**

Importante:
👉 **la sensación se hace consciente en la corteza**, no antes.

5. Aferencia sensorial

El término **aferencia** indica:

- Entrada de información al SNC

Toda la vía descrita es:

- Ascendente
- Sensorial
- Aferente

→ **Idea clave:**
La información sensorial:

- No llega directamente a la conciencia
- Sigue un recorrido ordenado y jerárquico
- Es modulada en cada relevo

Este diseño permite:

- Precisión
- Integración
- Regulación de la intensidad sensorial

⇒ **<u>PROYECCIÓN CENTRAL DE LOS SISTEMAS SENSORIALES</u>**

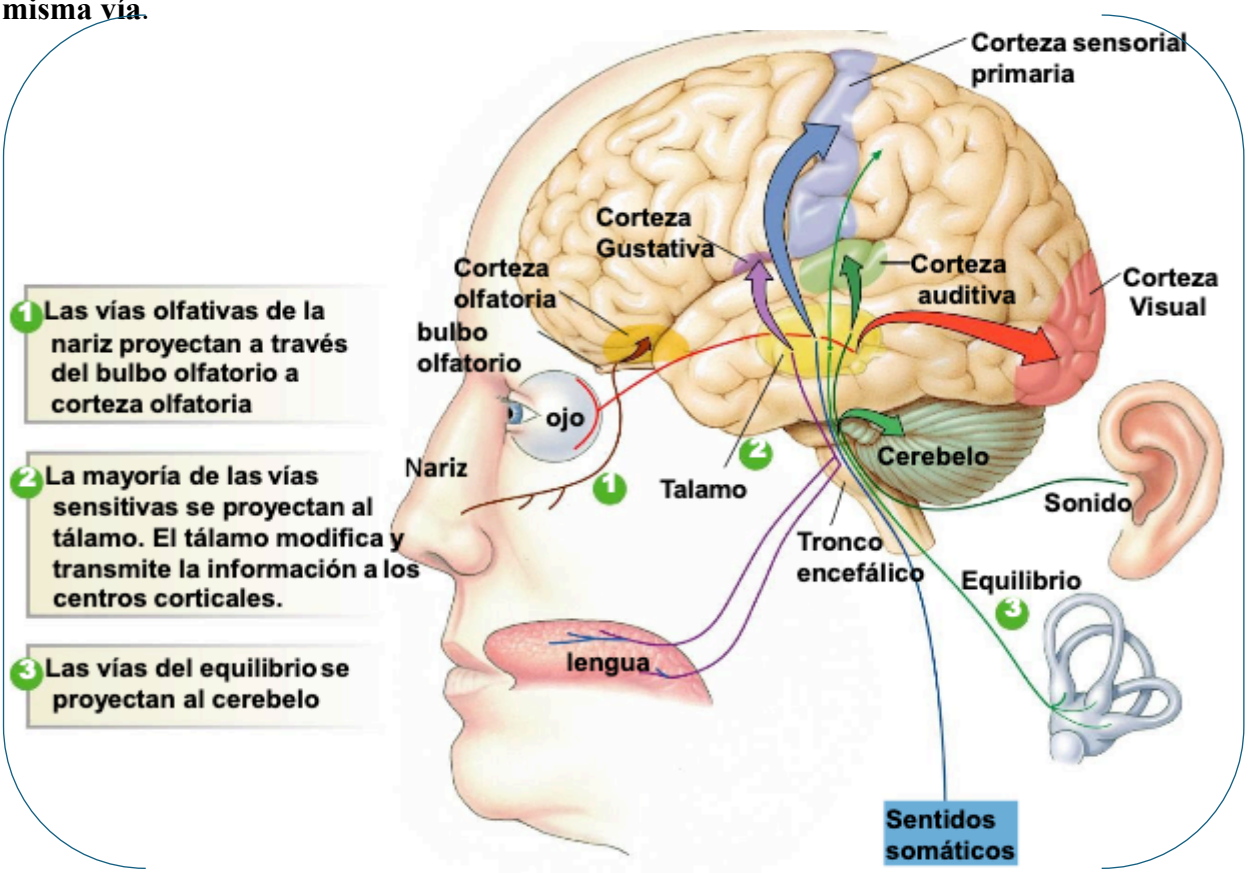
Vamos a ver el **destino central de la información sensorial**, distinguiendo:

- **Sentidos somáticos**
- **Vista**
- **Olfato**
- **Gusto**
- **Audición**
- **Equilibrio**

Estructuras implicadas:

- Bulbo olfatorio
- Tronco encefálico
- Tálamo
- Cortezas específicas
- Cerebelo (equilibrio)

👉 Es importante tener presente que **no todas las modalidades sensoriales siguen exactamente la misma vía**.



1. El papel central del tálamo

La mayoría de las vías sensitivas:

- Hacen sinapsis en el **tálamo**
- Desde allí se proyectan a la corteza específica

El tálamo:

- Modifica la información
- Filtra señales
- Coordina la transmisión cortical

Por eso se le considera el **gran centro de relevo sensorial**.

2. Excepción clave: el olfato

Aquí destacamos una excepción clásica:

- Las **vías olfatorias**:
  - Proyectan desde la nariz
  - Al **bulbo olfatorio**
  - Y de ahí directamente a la **corteza olfatoria**
  - **Sin pasar inicialmente por el tálamo**

Este hecho explica:

- La fuerte relación del olfato con:
  - Emociones
  - Memoria
  - Conducta instintiva

Es un sistema filogenéticamente antiguo.

3. Sentido del equilibrio

Las vías del equilibrio:

- Se proyectan al **cerebelo**
- Su función principal no es la percepción consciente inmediata, sino:
  - Control postural
  - Coordinación del movimiento
  - Estabilidad del campo visual

La percepción consciente del equilibrio es secundaria.

4. Cortezas sensoriales específicas

Cada modalidad sensorial tiene su propia corteza:

- Corteza visual
- Corteza auditiva
- Corteza gustativa
- Corteza olfatoria
- Corteza somatosensorial primaria

Esto garantiza:

- Especificidad
- Organización precisa de la información

→ **Idea clave**
La percepción sensorial depende de:

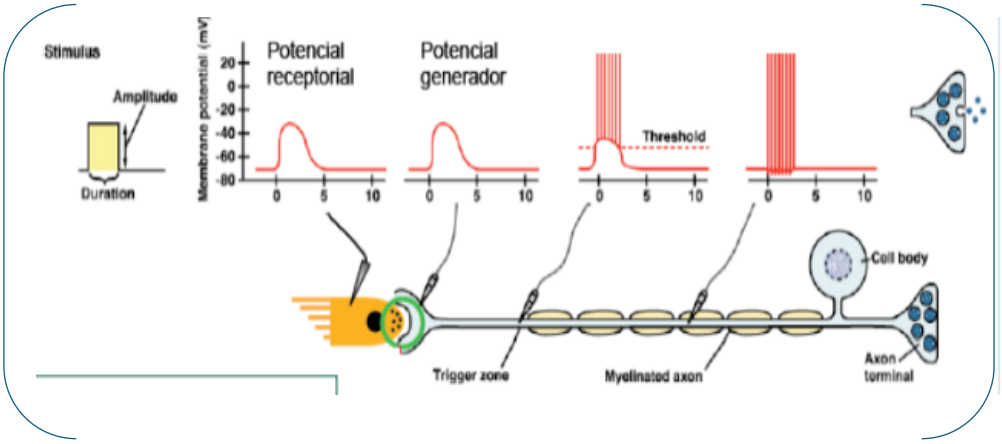
- La vía nerviosa seguida
- El centro de integración final
- La modalidad sensorial implicada

👉 No todas las sensaciones se procesan igual, aunque todas sigan el mismo principio general.

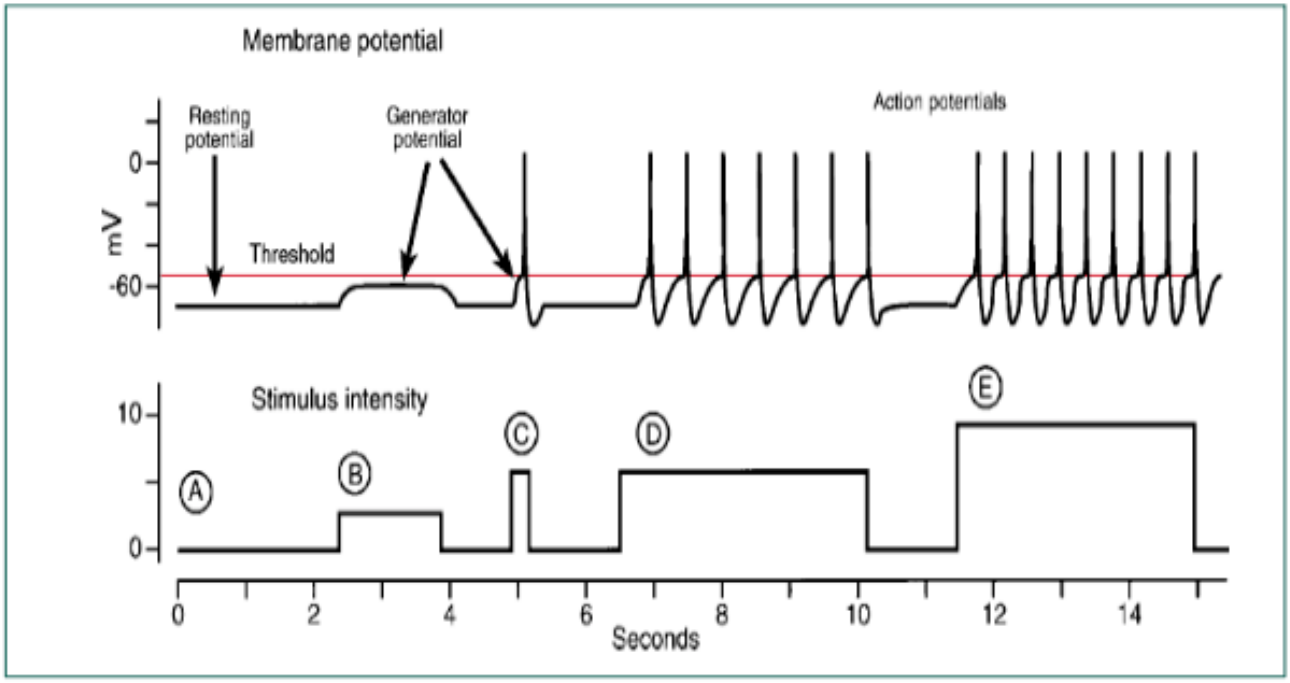
⇒ <u>CODIFICACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN SENSORIAL</u>

Veamos los **parámetros que el sistema nervioso puede extraer de un estímulo**:

- **Modalidad** (umbral)
- **Intensidad**
- **Duración** (adaptación)
- **Localización**
  - Campo receptor
  - Inhibición lateral



Se plantea la pregunta: ¿Qué información se puede obtener de un estímulo?
Y se indica que:



- La **intensidad** de un estímulo se codifica en forma de **trenes de potenciales de acción**.

→ **Explicación desarrollada**

👉 De qué manera se marca el paso desde la anatomía de las vías hacia un concepto más fino, es decir **¿cómo se representa la información en el sistema nervioso?**

1. Modalidad sensorial

La **modalidad** responde a la pregunta: ¿qué tipo de estímulo es?

Depende de:
- El tipo de receptor activado
- La vía nerviosa utilizada
- El área cortical de destino

Principio clásico: **principio de la línea marcada**
(el cerebro interpreta la modalidad según la vía activada, no según el estímulo en sí).

2. Intensidad

La intensidad responde a:
¿cuánto estímulo hay?

No se codifica en amplitud del potencial de acción (siempre igual), sino en:
- **Frecuencia de disparo**
- Número de fibras activadas

A mayor intensidad:
- Más potenciales de acción por unidad de tiempo
- Mayor número de receptores reclutados

3. Duración: adaptación

La duración indica: ¿cuánto tiempo persiste el estímulo?

Aquí aparece el fenómeno de **adaptación sensorial**:

- Disminución progresiva de la respuesta ante un estímulo constante

La adaptación:

- Permite detectar cambios
- Evita la saturación sensorial

4. Localización

La localización responde a: ¿dónde se produce el estímulo?

Se basa en dos mecanismos:

- **Campo receptor**: zona de la superficie sensorial que activa una neurona
- **Inhibición lateral**: mejora el contraste espacial

Cuanto más pequeño es el campo receptor:

- Mayor precisión
- Mejor discriminación espacial

👉 **Idea clave**

El sistema nervioso **no solo detecta estímulos**, sino que:

- Identifica su naturaleza
- Mide su intensidad
- Calcula su duración
- Determina su localización

→ Todo ello usando **potenciales de acción**, no imágenes ni copias del estímulo.

⇒ ADAPTACIÓN SENSORIAL: RESPUESTAS TÓNICAS Y FÁSICAS

Vamos a profundizar en el concepto de **adaptación sensorial**, para ello hay que distinguir:

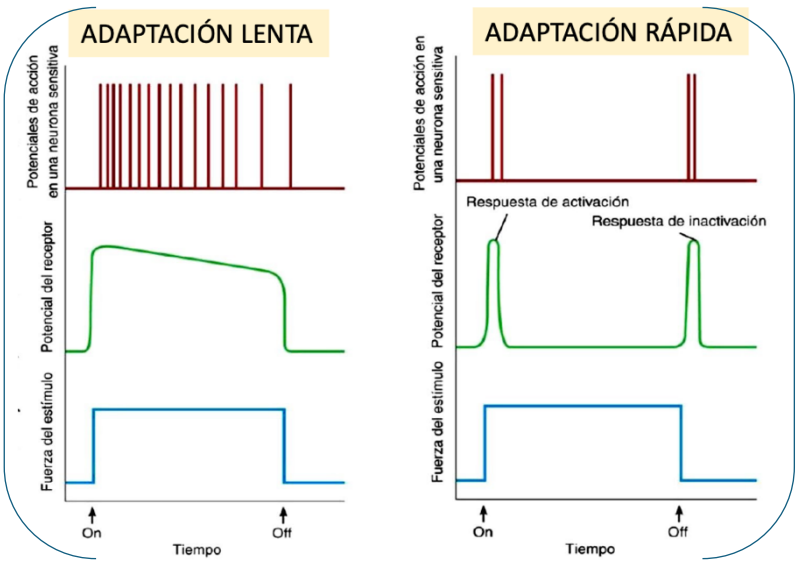
- **Adaptación lenta**
- **Adaptación rápida**

Y se asocian a dos tipos de respuesta:

- **Respuesta tónica**
- **Respuesta fásica**

Se relacionan con:

- Modalidad
- Intensidad
- Duración
- Localización



→ **Explicación desarrollada**

Veamos **cómo cambia la respuesta del receptor con el tiempo** cuando el estímulo se mantiene constante.

1. Adaptación sensorial

La adaptación es: la disminución de la respuesta del receptor ante un estímulo constante.

Ello no significa que el estímulo desaparezca, sino que:

- El sistema nervioso **deja de prestarle atención**

Este es un mecanismo fisiológico normal y necesario.

2. Receptores de adaptación lenta – Respuesta tónica

Características:
- Se adaptan poco
- Mantienen la descarga mientras dura el estímulo

Función:
- Informar de la **presencia continua** del estímulo
- Importantes para:
    - Postura
    - Presión mantenida
    - Posición corporal

Ejemplo típico:
- Receptores de estiramiento
- Receptores de fuerza

3. Receptores de adaptación rápida – Respuesta fásica

Características:
- Se adaptan rápidamente
- Responden, sobre todo:
    - Al inicio
    - Al final del estímulo

Función:
- Detectar **cambios**
- Detectar **movimiento**
- Detectar **variaciones de intensidad**

Ejemplos:
- Receptores de movimiento
- Receptores de vibración

4. Significado funcional

El sistema sensorial combina ambos tipos:
- Tónicos → estabilidad
- Fásicos → cambio

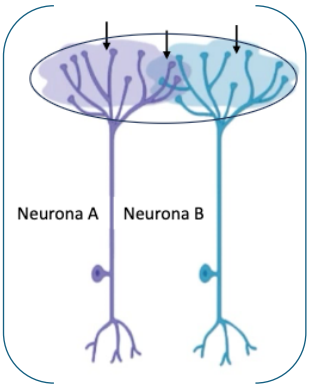
Gracias a esto:
- No somos conscientes de la ropa todo el tiempo
- Pero sí notamos cuando algo se mueve sobre la piel

👉 **Idea clave**
La adaptación permite al sistema nervioso:
- Priorizar información relevante
- Ahorrar recursos
- Detectar cambios importantes

Sin adaptación:
- Viviríamos saturados de estímulos irrelevantes

⇒ CAMPO RECEPTOR Y DISCRIMINACIÓN ESPACIAL

Se define el **campo receptor** y se relaciona con la **capacidad de discriminación espacial**.

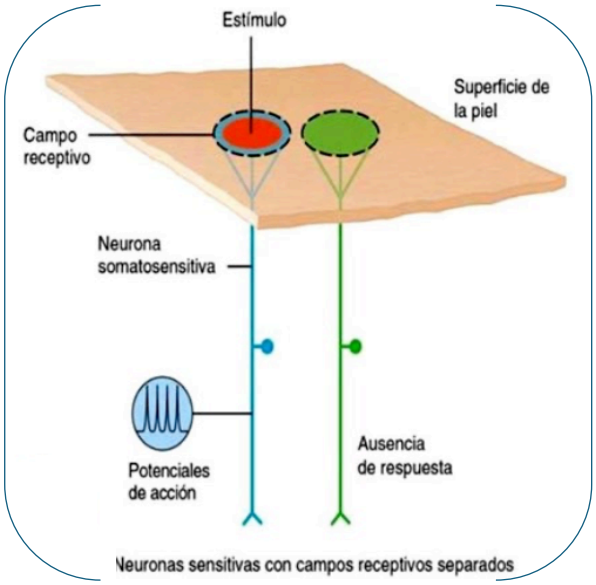


En esta imagen se muestra:

- Dos neuronas (A y B)
- Campos receptores de distinto tamaño

Se destacan las ideas:

- Tamaño del campo receptor
- Precisión en la discriminación



→ **Explicación desarrollada**

Veamos **cómo el sistema nervioso localiza un estímulo en el espacio**.

1. Campo receptor es:

La región de una superficie sensorial (piel, retina…) que, al ser estimulada, modifica el potencial de membrana de una neurona sensorial.

Cada neurona sensorial:

- Tiene su propio campo receptor
- Puede solaparse con otros

2. Tamaño del campo receptor

Este es el punto clave.

- **Campos receptores grandes**:
  - Una neurona recoge información de una zona amplia
  - Baja precisión espacial
  - Peor discriminación
- **Campos receptores pequeños**:
  - Zonas muy localizadas
  - Alta precisión
  - Mejor discriminación espacial

3. Relación con la percepción

En regiones del cuerpo donde:

- Hay muchos receptores
- Con campos pequeños

La percepción espacial es mucho más fina.

Ejemplos:

- Dedos
- Labios
- Cara

Frente a:
- Espalda
- Muslos

4. Función fisiológica

Este diseño permite:
- Detectar con precisión estímulos importantes
- Ahorro de neuronas en zonas menos críticas

Es un compromiso entre:
- Precisión
- Economía biológica

👉 **Idea clave**

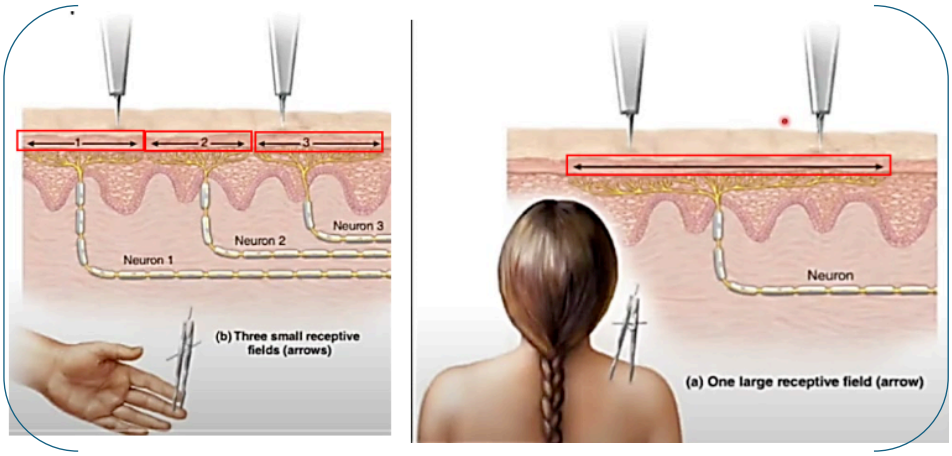
La calidad de la percepción espacial **no depende del tamaño del estímulo**, sino del tamaño y distribución de los campos receptores.

El cerebro interpreta el espacio a partir de esta organización.

⇒ DISCRIMINACIÓN ESPACIAL Y UMBRAL DE DOS PUNTOS

La **capacidad de discriminación espacial** en distintas regiones del cuerpo, está en relación con:
- **Densidad de inervación**
- **Tamaño de los campos receptores**
- **Umbral de discriminación entre dos puntos**

→ Datos concretos:
- **Labios y yemas de los dedos**: 2–4 mm
- **Palmas de las manos**: 8–15 mm
- **Espinillas y espalda**: 30–40 mm



Desarrollamos el tema completando y cuantificando lo explicado anteriormente, aportando para ello un criterio **experimental y funcional**.

1. Umbral de discriminación entre dos puntos

El **umbral de dos puntos** es:

la distancia mínima a la que dos estímulos simultáneos se perciben como separados y no como uno solo.

Es una medida clásica en fisiología sensorial y neurología clínica.

2. Relación con la densidad de receptores

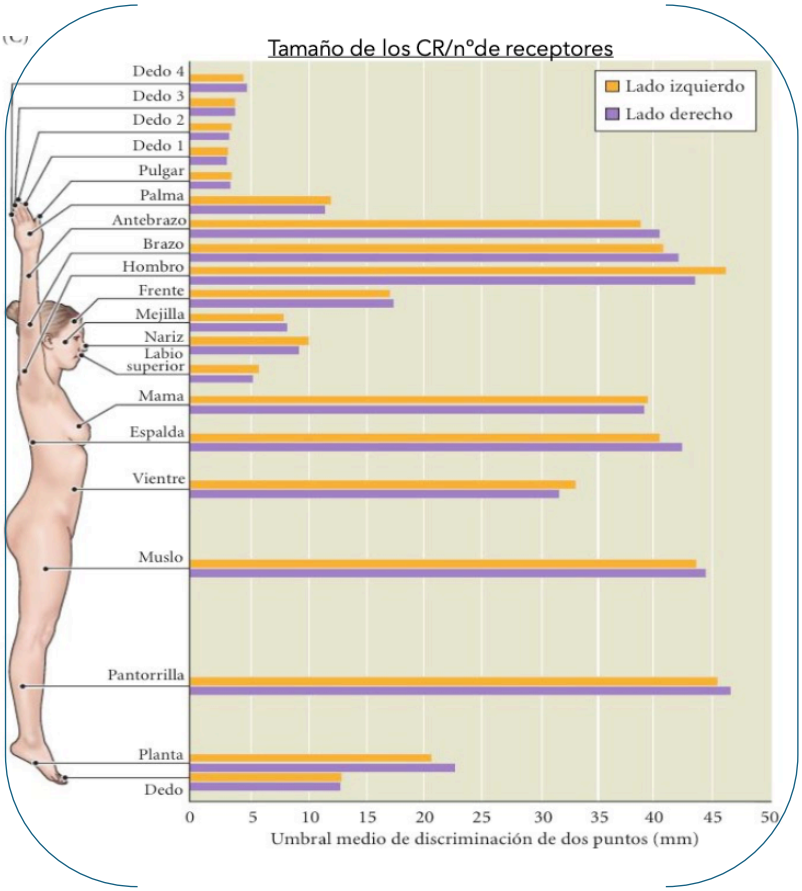
Cuanto mayor es:

- El número de receptores
- Y menor el tamaño de los campos receptores

👉 **mejor es la discriminación espacial**.

Por eso:

- En labios y dedos distinguimos dos puntos muy cercanos
- En espalda o piernas, dos estímulos próximos se perciben como uno solo



3. Significado funcional

Esta distribución no es casual:

- Las zonas implicadas en:
  - Exploración
  - Manipulación fina
  - Comunicación (labios)

tienen:

- Alta densidad de receptores
- Representación cortical amplia

Y las zonas menos críticas:

- Menor precisión
- Menor coste neuronal

4. Proyección cortical

Aunque no aparece explícito, la imagen anterior prepara el terreno para el concepto de:

- **homúnculo sensorial** (el homúnculo sensorial muestra cómo la corteza somatosensorial primaria procesa las sensaciones, como el tacto, el dolor y la temperatura. Al igual que en el **homúnculo motor**, las manos y la cara ocupan un espacio mayor debido a su alta sensibilidad).

Las regiones con mejor discriminación:

- Ocupan más superficie en la corteza somatosensorial

👉 **Idea clave**

La precisión con la que localizamos un estímulo depende de:

- La densidad de receptores
- El tamaño de los campos receptores
- La organización central

No del tamaño del estímulo ni de la fuerza aplicada.

⇒ CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS SENSORIALES

Pasamos a analizar estos cuatro grandes bloques:

i. **Los sentidos somáticos**
Incluyen:
- Tacto
- Presión
- Temperatura
- Dolor
- Propiocepción

ii. **Sentidos químicos: gusto y olfato**
Se agrupan porque:
- Ambos dependen de **quimiorreceptores**
- Detectan moléculas disueltas en aire o saliva

Diferencias importantes:
- El gusto es más limitado
- El olfato es más complejo y antiguo filogenéticamente
- Gran relación con emociones y memoria

iii. **Audición y sentido del equilibrio**
Comparten:
- Localización anatómica (oído interno)
- Tipo de receptor (células ciliadas)
- Mecanismos de transducción mecánica

Pero funciones distintas:
- Audición → percepción sonora
- Equilibrio → postura, orientación y estabilidad visual

iv. **Visión**
Se estudia como bloque independiente por:
- Complejidad
- Precisión
- Importancia funcional

Incluye:
- Óptica del ojo
- Retina
- Fototransducción
- Vías visuales

⇒ SENSIBILIDAD SOMÁTICA Y RECEPTORES DEL TACTO

→ Modalidades de la sensibilidad somática:
- Tacto discriminativo y presión
- Dolor
- Temperatura
- Propiocepción

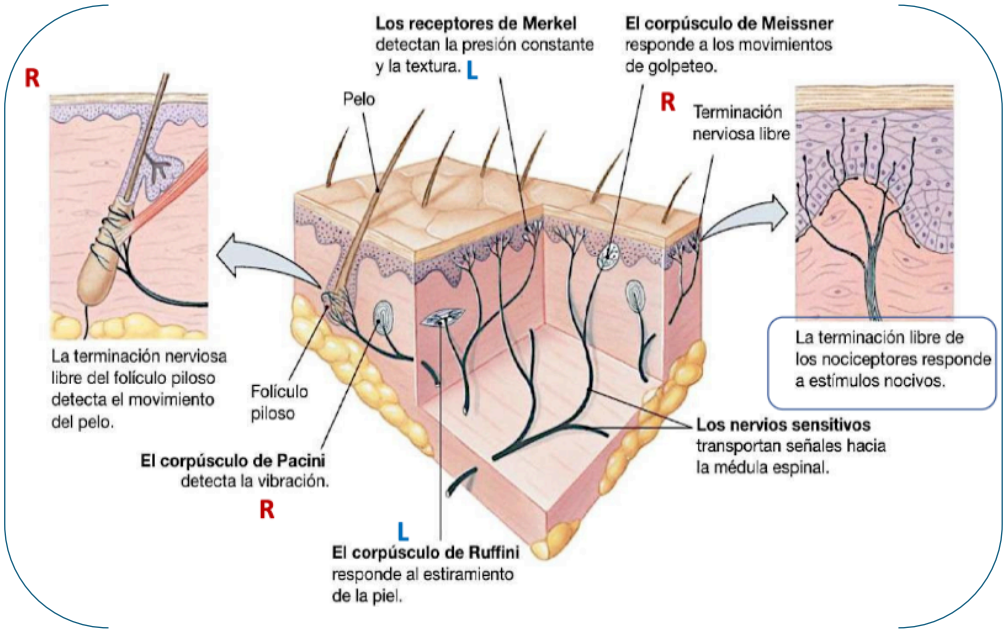
Se destaca que estas modalidades:
- Estructuran la información sensorial
- Construyen una **imagen o esquema corporal coherente.**

→ Las **modificaciones en la terminación nerviosa** determinan la **capacidad de adaptación** del receptor.
→ Los **sentidos somáticos**, esenciales para la relación del organismo consigo mismo y con el entorno inmediato.

1. Sensibilidad somática

La sensibilidad somática informa de:

- Lo que ocurre en la superficie corporal
- El estado interno de músculos y articulaciones



Permite:

- Localizar estímulos
- Ajustar movimientos
- Proteger el cuerpo

👉 Sin ella no habría control motor eficaz ni conciencia corporal.

2. Modalidades somáticas

a) Tacto discriminativo y presión

Permiten:

- Identificar forma
- Tamaño
- Textura
- Localización precisa
  → Son fundamentales para la manipulación fina.

b) Dolor

Sistema de alarma frente a:

- Daño real
- Daño potencial

Tiene componente:

- Sensorial
- Emocional

c) Temperatura

Permite:

- Detectar frío y calor
- Mantener la homeostasis

d) Propiocepción

Informa sobre:

- Posición del cuerpo

- Movimiento
- Tensión muscular
  → Opera en gran parte de forma inconsciente.

3. Esquema corporal

→ El sistema somatosensorial construye un esquema corporal coherente.
Esto significa que el cerebro:
- Integra señales táctiles, térmicas, dolorosas y propioceptivas
- Genera una representación unificada del cuerpo

Este esquema es la base de:
- Movimiento coordinado
- Identidad corporal
- Relación con el espacio

4. Adaptación y terminaciones nerviosas

→ La capacidad de adaptación de un receptor:
- No depende solo del estímulo
- Depende de la **estructura de la terminación nerviosa**

Modificaciones estructurales:
- Determinan si un receptor es fásico o tónico
- Ajustan la sensibilidad al tipo de información que debe transmitir

👉 **Idea clave**

La sensibilidad somática no es una sensación única, sino un **conjunto de sistemas altamente especializados**, cuya integración permite:
- Percibir el cuerpo
- Controlar el movimiento
- Proteger al organismo

⇒ <u>VÍAS DE LA SENSIBILIDAD SOMÁTICA Y HOMÚNCULO SENSORIAL</u>

Veamos las **principales vías de la sensibilidad somática** y su proyección central:
- **Tacto fino, propiocepción y vibración**
- **Dolor, temperatura y tacto grosero**

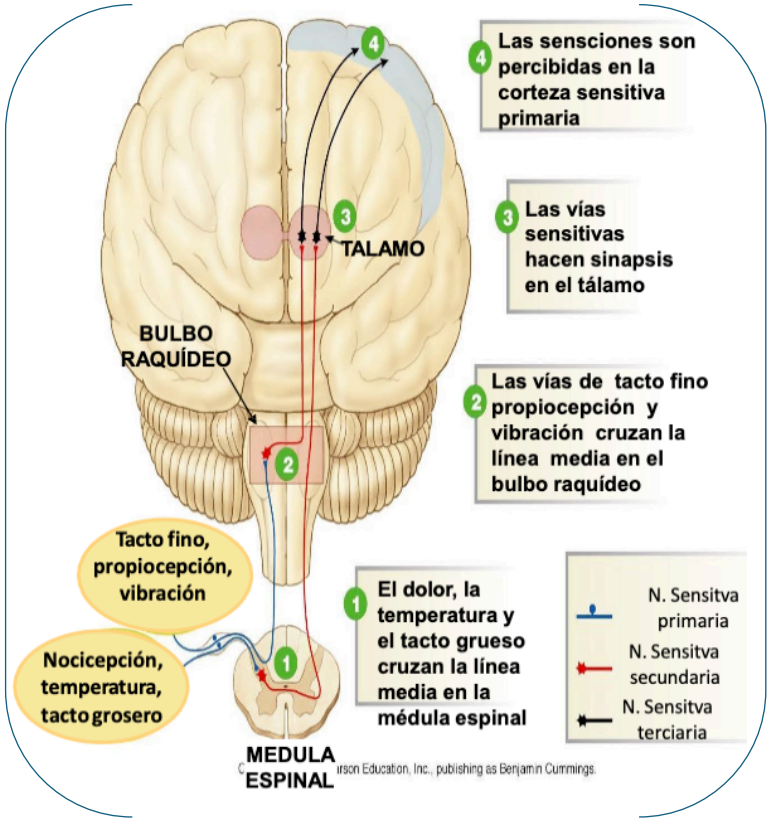
Estructuras señaladas:
- Médula espinal
- Bulbo raquídeo
- Tálamo
- Corteza somatosensorial primaria

Se introduce el **homúnculo sensorial**.

→ Este tema es **muy importante**, porque integra anatomía, fisiología y función.

1. Dos grandes sistemas de conducción somática

El sistema somatosensorial se organiza en **dos vías principales**, con funciones distintas.



a) Vía del tacto fino, propiocepción y vibración

(Cordones posteriores – lemnisco medial)

Características:

- Información precisa
- Alta discriminación espacial
- Movimientos finos y control postural

Recorrido:

1. Neurona sensitiva primaria entra en la médula
2. **Asciende sin cruzar**
3. Cruza la línea media en el **bulbo raquídeo**
4. Llega al **tálamo**
5. Proyección a la **corteza somatosensorial primaria**

b) Vía del dolor, temperatura y tacto grosero (Vía espinotalámica)

Características:

- Menor precisión espacial
- Función de alarma y protección

Recorrido:

1. Entrada en la médula
2. **Cruce inmediato de la línea media**
3. Ascenso contralateral
4. Tálamo
5. Corteza somatosensorial

2. Importancia del cruce de la línea media

Ambas vías:

- Son **contralaterales** en su destino cortical

👉 Esto explica un principio clínico fundamental: una lesión cerebral afecta a la sensibilidad del lado contrario del cuerpo.

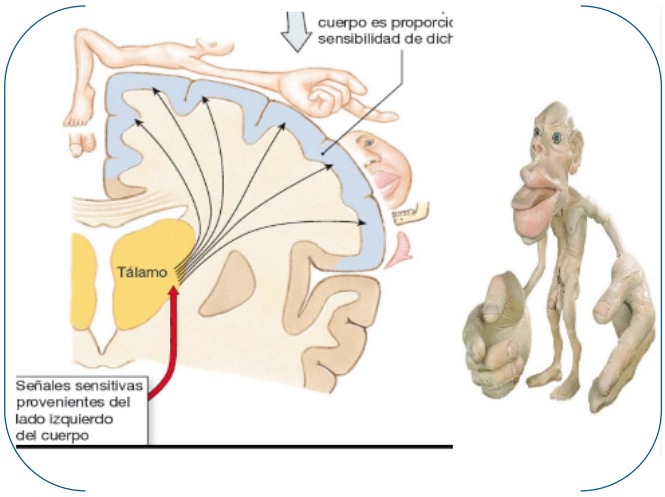
3. El papel del tálamo

El tálamo:

- Recibe todas las aferencias somáticas (excepto olfato)
- Modula y organiza la información
- La distribuye hacia la corteza adecuada

No es un simple “relevo”, sino un **centro activo de integración**.

4. Homúnculo sensorial



La imagen introduce el **homúnculo sensorial**, representación gráfica de:

- La proporción de corteza dedicada a cada parte del cuerpo
- No al tamaño físico real, sino a la **densidad sensorial**

Por eso:

- Manos, labios y cara aparecen sobredimensionados
- Tronco y piernas ocupan menos espacio cortical

Esto refleja:

- Mayor discriminación
- Mayor importancia funcional

👉 **Idea clave**

La sensibilidad somática:

- Usa vías distintas según la modalidad
- Cruza la línea media en puntos diferentes
- Se representa de forma desigual en la corteza

Todo ello responde a una **organización funcional precisa**, no arbitraria.

⇒ <u>SENSACIONES TÉRMICAS Y DOLOR (NOCICEPCIÓN)</u>

Ahora vamos a abordar dos modalidades de la sensibilidad somática:

I. Sensaciones térmicas

- Detectadas por **termorreceptores**
- Receptores de frío: activos entre **10–35 °C** (también responden al mentol)
- Receptores de calor: menos abundantes activos entre **30–45 °C**
- Receptores: **terminaciones nerviosas simples**

II. Dolor – nociceptores

- Definición de dolor
- Tipos de nociceptores: mecánicos, químicos y térmicos

→ Explicación desarrollada

Este tema introduce dos sistemas **estrechamente relacionados**, pero con funciones distintas: **temperatura** y **dolor**.

1. Sensaciones térmicas

Las sensaciones térmicas permiten:

- Detectar cambios de temperatura
- Proteger al organismo
- Mantener la homeostasis

Termorreceptores de frío

- Más abundantes
- Responden a descensos térmicos moderados
- Curiosidad fisiológica importante:
    - El mentol activa receptores de frío sin bajar la temperatura real

Termorreceptores de calor

- Menos numerosos
- Responden a incrementos térmicos
- Por encima de cierto umbral, se activan nociceptores

Ambos son:

- Terminaciones nerviosas simples
- De adaptación relativamente rápida

2. Dolor: nocicepción

El dolor se define como: una percepción sensorial asociada a lesión tisular real o potencial, acompañada de una experiencia emocional desagradable.

Esta definición deja claro que:

- El dolor no es solo físico
- Tiene un componente emocional inseparable

3. Función del dolor

Desde un punto de vista fisiológico clásico:
👉 el dolor es **imprescindible para la supervivencia**.

Permite:

- Activar reflejos de retirada
- Alertar al SNC
- Generar conductas de protección

4. Tipos de nociceptores

Los nociceptores pueden activarse por:

- Estímulos mecánicos (pinchazos, presión intensa)
- Sustancias químicas (ácidos, toxinas)
- Temperaturas extremas

Muchos son **polimodales**, respondiendo a más de un tipo de estímulo.

👉 **Idea clave**
Temperatura y dolor están funcionalmente conectados:

- El frío o calor extremos dejan de ser sensación térmica
- Se convierten en **dolor**

La frontera entre ambos sistemas es **funcional**, no rígida.

⇒ NOCICEPTORES: CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

Pasamos a describir las **características específicas de los nociceptores**, destacando:

- Umbral muy alto
- Activación ante estímulos lesivos
- Respuesta codificada en el rango de lesión
- Activación directa o indirecta
- Polimodalidad
- Sensibilización
- Baja velocidad de conducción de sus fibras nerviosas

→ **Explicación desarrollada**

Esto es lo **que hace especiales a los nociceptores** frente a otros receptores sensoriales:

1. Umbral alto

Los nociceptores:

- No responden a estímulos leves
- Se activan cuando la intensidad es potencialmente dañina

Esto evita:

- Falsas alarmas
- Activación innecesaria del sistema del dolor

2. Codificación en el rango de lesión

Mientras otros receptores:

- Saturan su respuesta antes del daño

Los nociceptores:

- Comienzan a disparar cuando otros ya han alcanzado su máximo
- Codifican información en el **rango peligroso**

Esto los convierte en verdaderos **sensores de alarma**.

3. Activación directa e indirecta

Pueden activarse:

- Directamente por el estímulo lesivo
- Indirectamente por sustancias liberadas tras la lesión:
    - Histamina
    - Bradiquinina
    - Bajo pH
    - Cambios iónicos

Esto explica:

- El dolor inflamatorio
- El dolor persistente tras la lesión

4. Polimodalidad

Muchos nociceptores cutáneos son:

- **Polimodales**
- Responden a estímulos mecánicos, térmicos y químicos

Esta característica aumenta la eficacia del sistema de alarma.

5. Sensibilización

Con la estimulación repetida:
- Disminuye el umbral de activación
- El dolor aparece con estímulos antes inocuos

👉 A este fenómeno es al que llamamos: **sensibilización**

Es la base de:
- **Hiperalgesia** (condición donde la sensibilidad al dolor aumenta exageradamente, haciendo que estímulos que normalmente no dolerían, o dolerían poco, se perciban como extremadamente dolorosos, a menudo por daño o cambios en las vías nerviosas, como el uso prolongado de opioides o inflamación).
- **Dolor crónico** (es una condición médica donde el dolor persiste por más de 3 a 6 meses, más allá del tiempo normal de curación, afectando la calidad de vida física y emocional).

6. Fibras de conducción lenta

Los nociceptores:
- Se asocian a fibras nerviosas de **baja velocidad de conducción**
- Especialmente fibras tipo C

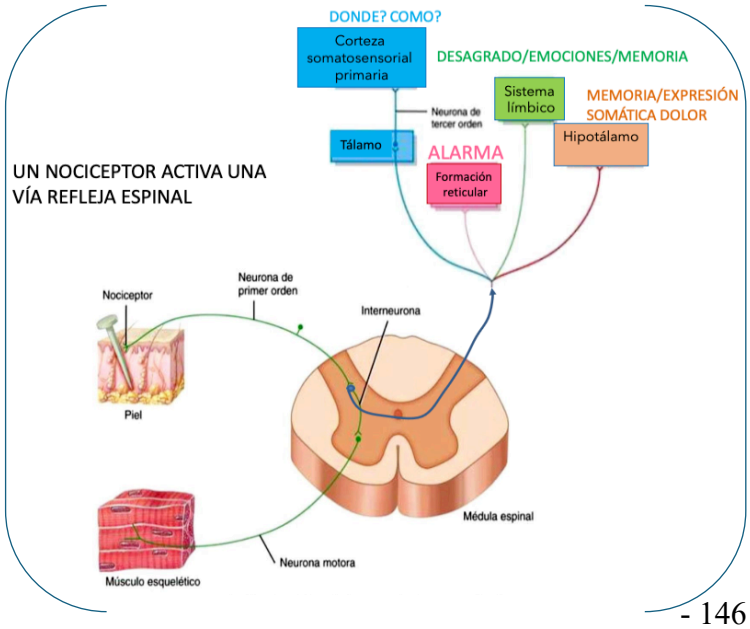
Esto explica:
- El dolor sordo
- El dolor persistente
- La sensación desagradable prolongada

👉 **Idea clave**
Los nociceptores no informan del estímulo, sino del **riesgo biológico**.
Son sistemas diseñados para:
- Proteger
- Alertar
- Modificar la conducta

Su activación es costosa, pero necesaria.

⇒ VÍAS NERVIOSAS DE LA NOCICEPCIÓN

Ahora pasamos al **procesamiento central del dolor**, mostrando que la información nociceptiva se distribuye a **múltiples centros**:
- **Médula espinal** → activación de vías reflejas
- **Tálamo**
- **Corteza somatosensorial primaria**
- **Sistema límbico**
- **Hipotálamo**
- **Formación reticular**
  Se destacan funciones como:
  - Alarma
  - Respuesta emocional
  - Memoria del dolor
  - Expresión somática del dolor



→ **Explicación desarrollada**
Esta imagen deja claro un punto esencial:
👉 **el dolor no es una sensación simple**, sino una experiencia compleja y distribuida.

1. Activación de vías reflejas espinales
Cuando un nociceptor se activa:
- La señal entra en la **médula espinal**
- Puede activar **reflejos de retirada** antes de que exista percepción consciente

Función:
- Protección inmediata
- Respuesta rápida e involuntaria

Esto explica por qué:
- Retiramos la mano antes de "sentir" el dolor conscientemente

2. Proyección al tálamo: alarma central
El tálamo:
- Recibe la información nociceptiva
- La distribuye a distintas áreas cerebrales

Aquí el dolor adquiere:
- Relevancia global
- Prioridad frente a otros estímulos

3. Corteza somatosensorial primaria
En esta corteza se analiza:
- Localización del dolor
- Intensidad
- Características espaciales

Es la parte **sensorial-discriminativa** del dolor:
- Dónde duele
- Cuánto duele

4. Sistema límbico
La proyección al sistema límbico explica:
- El componente emocional del dolor
- Sensaciones de desagrado, miedo o angustia

Por eso:
- El dolor no es solo información
- Es una experiencia afectiva intensa

5. Hipotálamo
Interviene en:
- Respuestas autonómicas
- Cambios cardiovasculares
- Sudoración
- Respuesta al estrés

El dolor activa al organismo como un todo.

6. Formación reticular

Relacionada con:

- Estado de alerta
- Atención
- Nivel de conciencia

El dolor:

- Despierta
- Mantiene la vigilancia
- Impide ignorar el estímulo

👉 **Idea clave**

El dolor:

- No sigue una única vía
- No se procesa en un único centro
- Involucra sistemas sensoriales, emocionales y autonómicos

Por eso es tan difícil de tratar y tan determinante en la conducta.

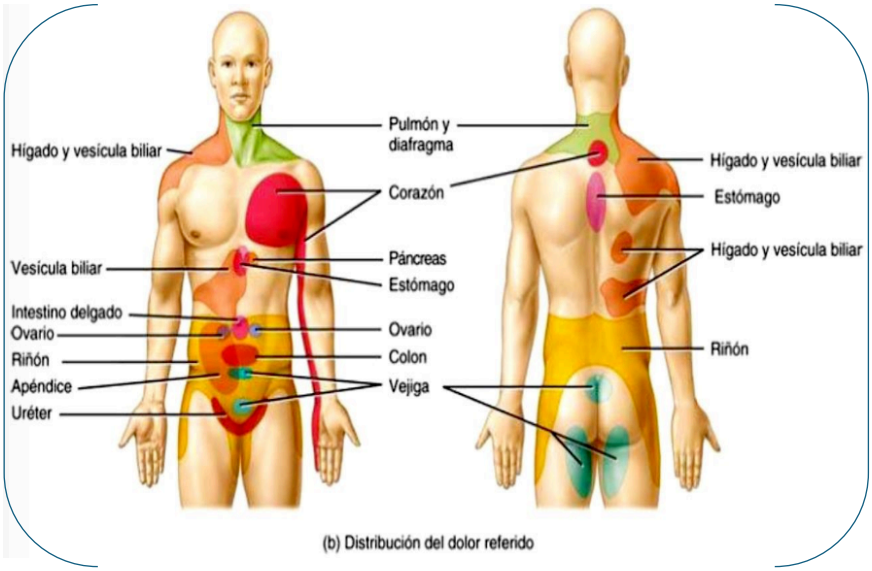
⇒ DOLOR REFERIDO/VISCERAL Y DERMATOMAS

Aquí se introduce el concepto de:

- **Dolor referido / visceral**
- **Dermatomas**

→ **Explicación desarrollada**

Esta imagen es un esquema corporal con la **distribución segmentaria de la sensibilidad cutánea**, es **constante** entre individuos, con pequeñas variaciones y es **clave para entender fenómenos clínicos muy habituales**, que a primera vista resultan paradójicos.



(b) Distribución del dolor referido

1. ¿Qué es un dermatoma?

Un dermatoma es un área específica de la piel inervada por una **única raíz nerviosa espinal**, formando un "mapa" o "mosaico" en el cuerpo humano, esencial para la neurología, ya que permiten localizar lesiones en la médula espinal o nervios periféricos, detectando problemas de sensibilidad como dolor, tacto o temperatura en esas zonas. Cada dermatoma corresponde a un nivel concreto de la médula, y su estudio ayuda a diagnosticar compresiones, hernias discales o afectaciones neurológicas.

Características:

- Cada segmento medular inerva una franja concreta de piel
- Los dermatomas se organizan de forma **segmentaria y ordenada**
- Hay solapamiento parcial entre dermatomas vecinos

2. Dolor visceral

El dolor visceral:

- Se origina en órganos internos
- Es difuso
- Mal localizado
- A menudo profundo y sordo

Ejemplos:
- Riñón
- Corazón
- Intestino

3. Dolor referido

El **dolor referido** ocurre cuando: un dolor originado en una víscera se percibe en una zona cutánea superficial.

Esto sucede porque:
- Las aferencias viscerales y cutáneas convergen en las **mismas neuronas de la médula espinal**

El cerebro:
- Está "acostumbrado" a recibir señales cutáneas
- Interpreta erróneamente la señal visceral como dolor en la piel

4. Base fisiológica del fenómeno

Mecanismo clásico:
- Estímulo visceral infrecuente
- Estímulo cutáneo habitual
- Convergencia medular
- Interpretación errónea cortical

👉 No es un error del órgano, sino del **sistema de interpretación central**.

5. Importancia clínica

El conocimiento de los dermatomas permite:
- Localizar lesiones neurológicas
- Identificar el origen visceral del dolor
- Diagnóstico clínico sin pruebas complejas

Ejemplos clásicos:
- Dolor cardíaco → brazo izquierdo
- Dolor renal → región lumbar
- Dolor gástrico → epigastrio

👉 **Idea clave**

El cerebro **no distingue el origen real del estímulo**, sino la vía por la que llega.

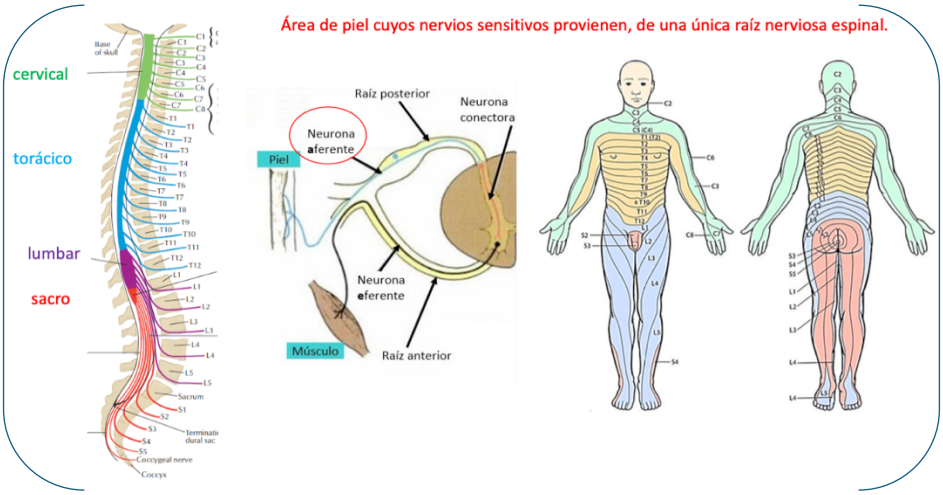
El dolor referido demuestra que:
- La percepción es una construcción
- No una copia fiel del origen del estímulo

⇒ DERMATOMAS: ORGANIZACIÓN SEGMENTARIA DE LA SENSIBILIDAD

Aquí se amplía el concepto de **dermatoma**, mostrando un esquema más detallado de la **distribución segmentaria** de la sensibilidad cutánea:

- Dermatomas **cervicales**
- **torácicos**
- **lumbares**
- **sacros**

Se define explícitamente como: área de piel cuyos nervios sensitivos proceden de una **única raíz nerviosa espinal**.



→ Explicación desarrollada

Con esta imagen se consolida la base **anatómica y funcional** del dolor referido y de la exploración neurológica.

1. Organización segmentaria de la médula espinal
La médula espinal está organizada en **segmentos**:

- Cada segmento da lugar a un par de nervios espinales
- Cada nervio recoge información sensitiva de una zona concreta de piel

Ese territorio cutáneo es el **dermatoma**.

2. Distribución de los dermatomas

- **Región cervical**
  Inerva cuello, hombros y miembros superiores
- **Región torácica**
  Inerva el tronco en bandas horizontales
  (muy útiles clínicamente)
- **Región lumbar**
  Inerva caderas y miembros inferiores
- **Región sacra**
  Inerva región glútea, perineal y parte posterior de las piernas

El esquema corporal de la diapositiva refleja esta **disposición ordenada y repetitiva**.

3. Solapamiento entre dermatomas
Aunque se hable de "un dermatoma – una raíz":

- Existe **solapamiento parcial**
- Esto aporta seguridad funcional
- Evita pérdida completa de sensibilidad ante una lesión leve

Sin embargo:

- La zona central del dermatoma es bastante específica

4. Importancia clínica directa
El mapa de dermatomas permite:

- Localizar lesiones radiculares
- Identificar hernias discales
- Reconocer el origen segmentario del dolor

Ejemplo:
- Dolor en banda torácica → afectación de raíz torácica concreta

5. Relación con el dolor visceral
Las vísceras también envían aferencias segmentarias:
- Corazón → segmentos torácicos
- Riñón → segmentos lumbares
- Intestino → toraco-lumbares

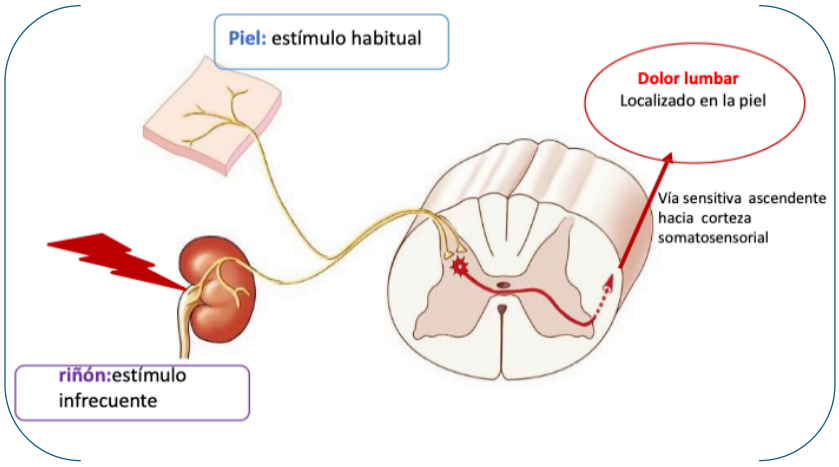
De ahí que el dolor visceral se proyecte a dermatomas concretos.

Idea clave de la diapositiva
El cuerpo está "cartografiado" en la médula espinal.
Comprender los dermatomas permite:
- Interpretar el dolor
- Entender síntomas aparentemente extraños
- Conectar anatomía, fisiología y clínica

⇒ DOLOR VISCERAL Y DOLOR REFERIDO: EJEMPLO FUNCIONAL

Aquí se muestra un **ejemplo concreto** que compara:
- **Dolor de origen visceral** (riñón)
- **Dolor percibido en la piel** (región lumbar)

Aparecen dos ideas clave:
- El estímulo visceral es **infrecuente**
- El estímulo cutáneo es **habitual**

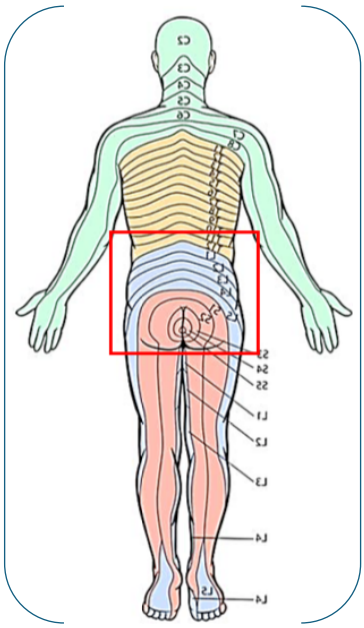


Ambos comparten una **vía sensitiva ascendente común** hacia la corteza somatosensorial.

→ **Explicación desarrollada**
Esta imagen **aplica de forma práctica** lo explicado en las dos anteriores, y es especialmente clara desde el punto de vista fisiológico.

1. Diferencia entre estímulo visceral y cutáneo
- **Vísceras (riñón)**:
  - Poca inervación sensitiva
  - Estímulos raros en condiciones normales
  - Dolor mal localizado
- **Piel**:
  - Alta densidad de receptores
  - Estímulos constantes a lo largo de la vida
  - Dolor bien localizado

El cerebro está, por tanto, **mucho más entrenado** para interpretar señales cutáneas.



2. Convergencia medular
Las aferencias:
- Del riñón
- De la piel lumbar

Convergen en:
- Las **mismas neuronas de la médula espinal**

Desde ahí:
- Siguen una **misma vía ascendente**
- Llegan a la **corteza somatosensorial**

👉 El sistema nervioso **no distingue el origen real** de la señal en ese punto.

3. Interpretación errónea cortical
Cuando llega la señal al cerebro:
- Se activa una vía conocida
- Habitualmente asociada a la piel

Resultado:
👉 el cerebro interpreta el dolor como **dolor lumbar superficial**, aunque el origen sea renal.
Esto no es un fallo patológico:
- Es una consecuencia lógica del diseño del sistema nervioso

4. Valor adaptativo
Desde un punto de vista evolutivo:
- Es preferible percibir dolor "aunque sea mal localizado"
- A no percibir una lesión interna grave

El sistema prioriza:
- Alarma
- Supervivencia

No precisión anatómica visceral.

👉 **Idea clave**
El dolor referido no es una ilusión:
- Es una interpretación coherente
- Basada en la organización segmentaria del sistema nervioso

La fisiología explica perfectamente un fenómeno clínico cotidiano.

⇒ MODULACIÓN DE LA NOCICEPCIÓN A NIVEL PERIFÉRICO (TEORÍA DE LA COMPUERTA)

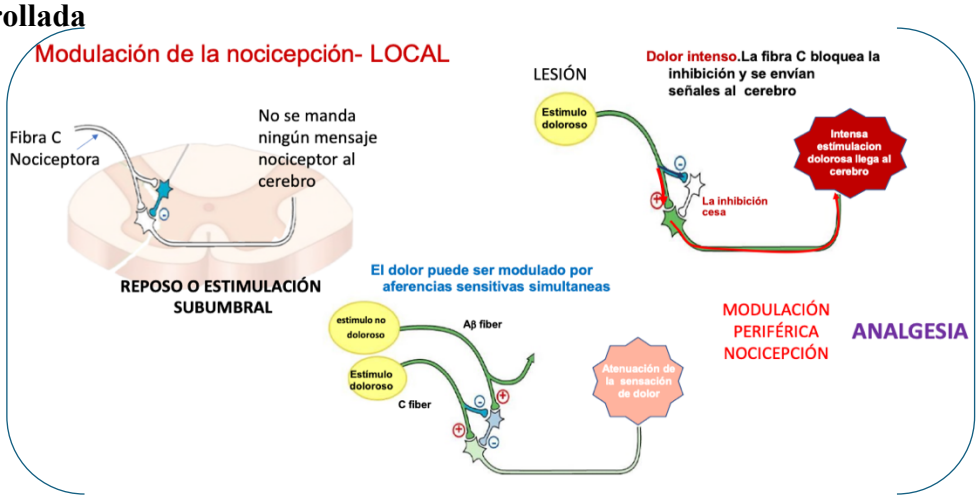
Aquí se explica cómo el **dolor puede ser modulado a nivel local**, antes de llegar al encéfalo, mediante la interacción entre distintas fibras nerviosas:
- **Fibras C** → nociceptoras (dolor)
- **Fibras Aβ** → tacto (no dolorosas)

Se ilustran situaciones como:

- Estímulo doloroso aislado
- Estímulo doloroso acompañado de tacto
- Analgesia por reposo o estimulación subumbral

→ **Explicación desarrollada**

Ahora vamos a ampliar uno de los conceptos más importantes y prácticos de la fisiología del dolor.



1. Idea central: el dolor se puede modular

👉 El mensaje clave es claro: **no todo estímulo doloroso llega necesariamente al cerebro**.

La intensidad del dolor percibido depende de:

- La actividad de los nociceptores
- La actividad simultánea de otros receptores sensoriales

2. Fibras implicadas

Fibras C

- Conducen dolor
- Lentas
- No mielinizadas
- Activan neuronas nociceptivas de la médula

Fibras Aβ

- Conducen tacto y presión
- Rápidas
- Mielinizadas
- Activan interneuronas inhibitorias

3. Teoría de la compuerta (gate control)

Cuando solo se activa una **fibra C**:

- La señal nociceptiva asciende
- El dolor llega al cerebro

Cuando se activan **fibras Aβ y C simultáneamente**:

- Las fibras Aβ activan interneuronas inhibitorias
- Se **atenúa la transmisión del dolor**

Ejemplo cotidiano:

- Frotarse la piel tras un golpe
- Presionar la zona dolorida

Esto tiene una base fisiológica sólida, no es un efecto psicológico.

4. Analgesia periférica

En la imagen también vemos que:

- En ausencia de estímulos nociceptivos intensos o con estimulación subumbral…
- No se envían señales de dolor al cerebro

Esto explica:

- El efecto del reposo
- La estimulación táctil suave
- Algunas técnicas físicas analgésicas

5. Límite del sistema

Cuando el estímulo doloroso es muy intenso:

- La fibra C "bloquea" la inhibición
- La compuerta se abre
- El dolor llega al cerebro

El sistema no elimina el dolor peligroso, solo lo **modula**.

👉 **Idea clave**

El dolor no es un mensaje fijo:

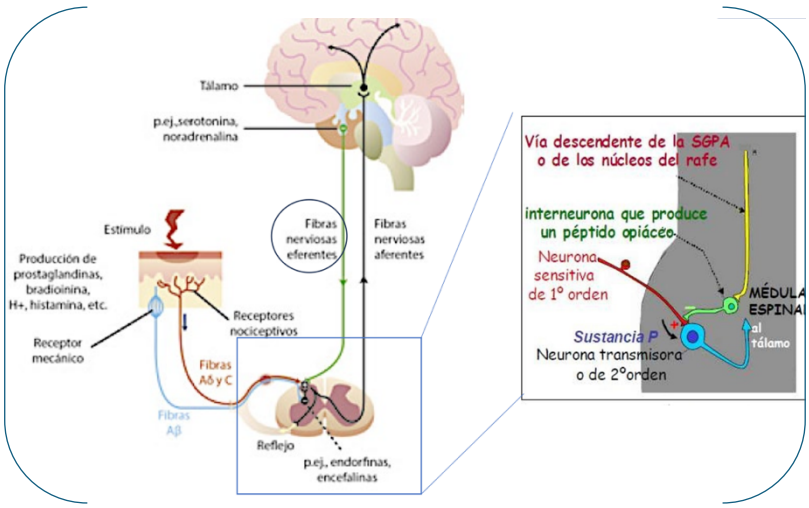
- Es un mensaje **regulable**
- Filtrado a nivel periférico y medular

Este principio explica muchas estrategias terapéuticas simples y eficaces.

⇒ MODULACIÓN CENTRAL DE LA NOCICEPCIÓN: OPIÁCEOS ENDÓGENOS

Vamos a ahondar en la **modulación del dolor a nivel central**, destacando la acción de los **opiáceos endógenos**:

- **Endorfinas**
- **Encefalinas**
- **Dinorfinas**



→ **Explicación desarrollada**

Completamos la explicación del tema anterior.

Si veíamos en la imagen anterior como el control del dolor era **periférico y medular**, aquí entramos en el **control central**, mucho más potente y sofisticado.

1. ¿Qué son los opiáceos endógenos?

Son **sustancias producidas por el propio sistema nervioso** que:

- Se unen a los mismos receptores que la morfina y derivados
- Tienen un potente efecto **analgésico**

No son fármacos:

👉 forman parte de la **fisiología normal del organismo**.

2. Tipos principales

- **Endorfinas**

Muy potentes; relacionadas con ejercicio intenso, estrés, situaciones extremas.

- **Encefalinas**
  Abundantes en médula espinal; modulan la transmisión nociceptiva local.
- **Dinorfinas**
  Implicadas en la regulación del dolor persistente y estados emocionales.

3. Mecanismo de acción
Actúan a distintos niveles del SNC:
- Médula espinal
- Tronco encefálico
- Áreas superiores

Su efecto fisiológico principal es:
- Inhibir la liberación de neurotransmisores excitadores
- Hiperpolarizar neuronas nociceptivas

Resultado:
👉 **disminución de la transmisión del dolor**.

4. Significado funcional
Este sistema permite:
- Soportar dolor en situaciones críticas
- Mantener la conducta adaptativa pese a lesiones
- Priorizar la supervivencia inmediata

Ejemplos clásicos:
- Personas que no sienten dolor en accidentes graves hasta pasado un tiempo
- Analgesia inducida por estrés

5. Relación con fármacos opiáceos
Los analgésicos opiáceos:
- No "inventan" un efecto nuevo
- **explotan un sistema fisiológico ya existente**

De ahí:
- Su gran eficacia
- Y también su riesgo de dependencia

👉 **Idea clave**
El dolor no solo se modula en la periferia:
El encéfalo dispone de **sistemas activos de control descendente** capaces de reducir drásticamente la percepción dolorosa.

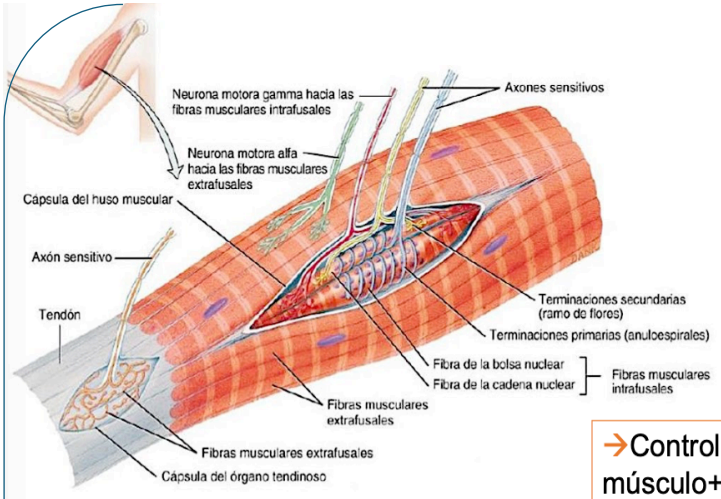
⇒ **<u>SENSACIONES PROPIOCEPTIVAS Y REFLEJOS</u>**

En este tema se introducen los **receptores propioceptivos** y los **reflejos asociados al control muscular**, destacando:
- **Huso muscular**
- **Órgano tendinoso de Golgi**
- **Propioceptores articulares**

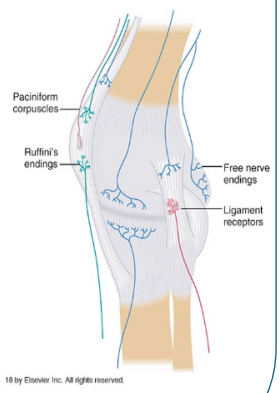
Se mencionan dos reflejos:
- **Reflejo miotático**
- **Reflejo miotático inverso**

Y se subraya que:

- Operan a nivel **subconsciente**
- Transmiten grandes cantidades de información a la médula espinal y a centros superiores
- Controlan músculo y articulación



- **HUSO MUSCULAR** R.MIOTÁTICO
- **ORGANO TENDINOSO DE GOLGI** R.MIOTÁTICO INVERSO
- **PROPIOCEPTORES ARTICULARES**



→Control del músculo+articulación
→ Operan a nivel subconsciente
→ Transmiten cantidades ingentes de info a médula y centros superiores

Con esta imagen se abre el bloque de la **propiocepción**, un sistema menos "consciente" que el tacto o el dolor, pero **absolutamente esencial** para el movimiento.

1. ¿Qué es la propiocepción?

La propiocepción es la capacidad de conocer la posición, el movimiento y la tensión de nuestro cuerpo sin necesidad de visión.

Gracias a ella:

- Sabemos dónde están nuestras extremidades
- Podemos movernos con precisión
- Mantenemos el equilibrio y la postura

La mayor parte de esta información **no llega a la conciencia**.

2. Huso muscular

Es un receptor situado:

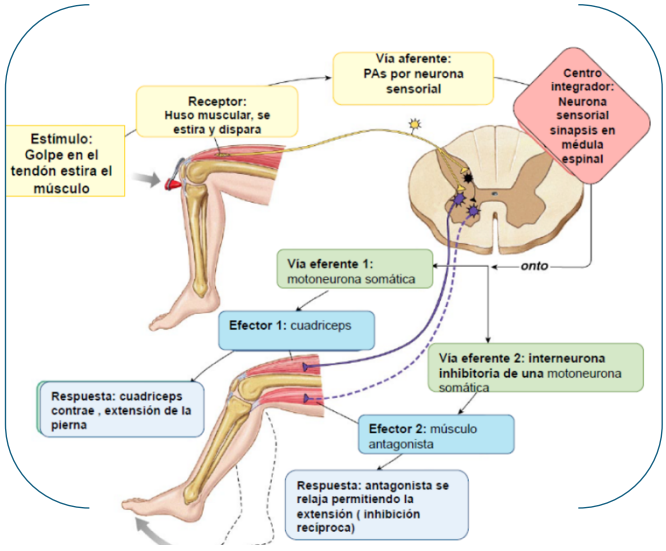
- Dentro del músculo esquelético

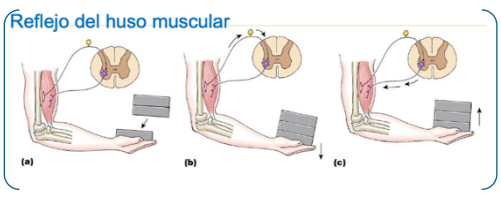
Detecta:

- El **grado de estiramiento**
- La **velocidad de estiramiento**

Función:

- Mantener el tono muscular
- Ajustar la contracción
- Permitir movimientos suaves y coordinados





Está directamente implicado en el **reflejo miotático**.

3. Propioceptores articulares

Se encuentran:

- En cápsulas articulares y ligamentos

Informan sobre:

- Posición articular
- Movimiento
- Cambios de dirección

Complementan la información muscular.

4. Reflejos miotáticos

- **Reflejo miotático (directo)**
  → Estiramiento del músculo
  → Contracción del mismo músculo
  → Mantiene la longitud muscular
- **Reflejo miotático inverso**
  → Exceso de tensión
  → Relajación del músculo
  → Protección frente a lesión

Ambos funcionan de manera automática.

👉 **Idea clave**

La propiocepción:

- No busca percepción consciente
- Busca **control motor eficaz**
  → Es el sistema que permite que el movimiento sea:
  - Preciso
  - Seguro
  - Continuo

→ Sin propiocepción, el movimiento voluntario sería torpe e inestable.

⇒ ÓRGANO TENDINOSO DE GOLGI Y REFLEJO MIOTÁTICO INVERSO

Pasamos a desarrollare el **órgano tendinoso de Golgi** y su papel en:

- La **protección del músculo** frente a cargas excesivas
- La **inhibición de la motoneurona α**
- El **reflejo miotático inverso**

Se contrasta implícitamente con el reflejo del huso muscular.

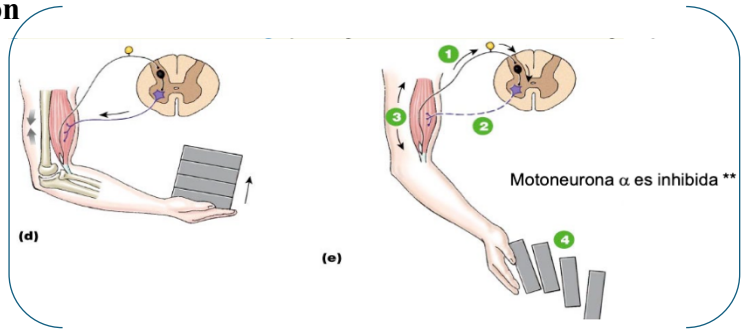
1. Localización y estructura

El **órgano tendinoso de Golgi**:

- Se sitúa en la **unión músculo–tendón**
- Está dispuesto **en serie** con las fibras musculares
- Es un receptor puramente sensorial

A diferencia del huso:

- No detecta longitud
- Detecta **tensión**.



2. ¿Qué detecta el órgano de Golgi?
Informa sobre:

- La **fuerza** que desarrolla el músculo
- La **tensión ejercida sobre el tendón**

Especialmente sensible a:

- Contracciones intensas
- Cargas pesadas

3. Reflejo miotático inverso
Cuando la tensión es excesiva:

1. Se activa el órgano de Golgi
2. La aferencia llega a la médula espinal
3. Se activan interneuronas inhibitorias
4. Se **inhibe la motoneurona α** del mismo músculo

👉 Resultado: **relajación del músculo**.
Este reflejo es:

- Protector
- Automático
- Subconsciente

4. Función protectora
El objetivo fisiológico es claro:

- Evitar desgarros
- Prevenir roturas tendinosas
- Limitar fuerzas potencialmente peligrosas

Es un sistema de **freno de seguridad**, frente al sistema de activación del huso.

5. Relación con el huso muscular
Ambos receptores actúan de forma complementaria:

- **Huso muscular**
  → detecta estiramiento
  → favorece la contracción
- **Órgano de Golgi**
  → detecta tensión excesiva
  → provoca relajación

Este equilibrio permite:

- Movimientos eficaces
- Fuerza controlada
- Protección del aparato locomotor

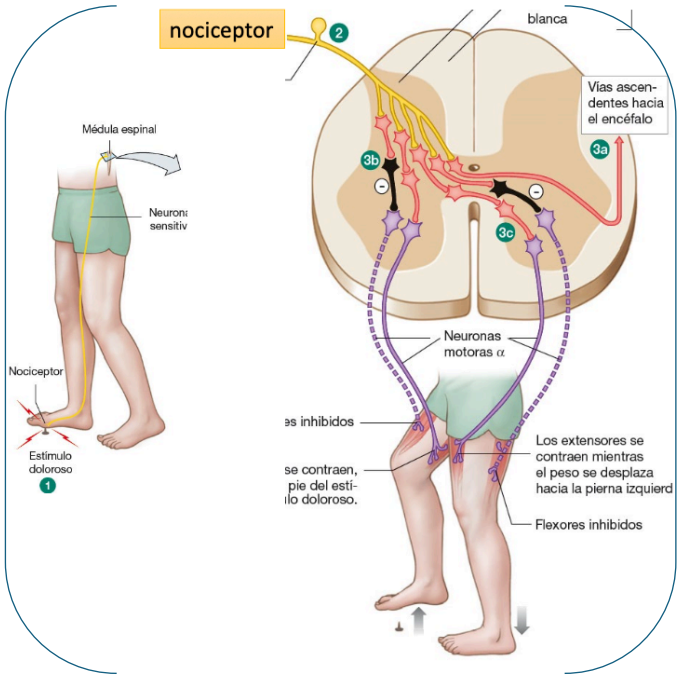
👉 El órgano tendinoso de Golgi es el **sensor de seguridad del músculo**.
Gracias a él, el sistema nervioso puede:

- Regular la fuerza
- Proteger los tejidos
- Mantener la integridad muscular

⇒ REFLEJOS POLISINÁPTICOS DE RETIRADA

En este tema se describen los **reflejos polisinápticos de flexión o retirada**, iniciados por la activación de un **nociceptor** (Recordemos que el nociceptor es una neurona sensorial especializada que detecta estímulos dañinos o potencialmente dañinos (mecánicos, térmicos o químicos) en el cuerpo y transmite estas señales como dolor al cerebro, actuando como un sistema de alerta para la protección del organismo. Están en la piel, músculos, articulaciones y órganos, y al activarse, inician la nocicepción, el proceso fisiológico de sentir dolor, crucial para que el cuerpo reaccione y se proteja).

Se explica el ejemplo clásico de **retirar una pierna ante un estímulo doloroso**, manteniendo al mismo tiempo el equilibrio.



Explicación desarrollada

Esta diapositiva muestra uno de los mejores ejemplos de **integración sensorial y motora automática**, con una complejidad muy superior a la de los reflejos miotáticos.

1. Reflejos polisinápticos

A diferencia del reflejo miotático (monosináptico), estos reflejos:

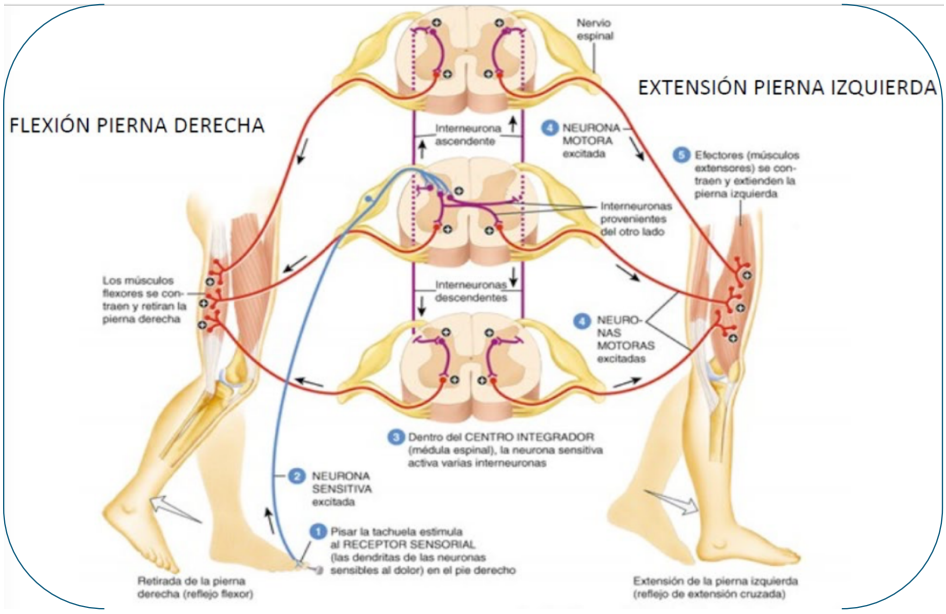
- Involucran **varias sinapsis**
- Activan múltiples interneuronas
- Coordinan varios grupos musculares

Su función no es local, sino **funcional y global**.

2. Activación por nociceptores

El proceso se inicia cuando:

- Un **nociceptor cutáneo** detecta un estímulo potencialmente lesivo
- La señal entra en la médula espinal



👉 El nociceptor: "avisa" al SNC de un peligro inmediato.

3. Retirada del miembro afectado

Para retirar la pierna dolorida, el sistema nervioso realiza de forma automática:

1. **Excitación del músculo flexor** (isquiotibiales)
2. **Inhibición simultánea del músculo extensor** (cuádriceps)

Esto permite:

- Flexionar la pierna
- Alejarla del estímulo nocivo

4. Reflejo cruzado de extensión
Pero la respuesta no acaba ahí.

Para no perder el equilibrio:
3. Se **excita el músculo extensor de la pierna contraria**
4. Se **inhibe su músculo flexor**

👉 Este mecanismo se llama: **reflejo extensor cruzado**
Gracias a él:

- El peso del cuerpo se transfiere a la pierna sana
- Se mantiene la postura y la estabilidad

5. Significado fisiológico
Este reflejo demuestra que:

- La médula espinal **no es un simple cable**
- Puede integrar información compleja
- Coordina respuestas bilaterales y funcionales

Todo esto ocurre:

- Sin intervención consciente
- En milisegundos

👉 **Idea clave**
Ante el dolor, el sistema nervioso:

- No solo retira el miembro
- Ajusta toda la postura corporal

Es un ejemplo perfecto de **inteligencia reflejo-medular**, orientada a la supervivencia.

https://www.youtube.com/watch?v=ybHbe25WISg

https://www.youtube.com/watch?v=VKpjOQzXW9k

https://www.youtube.com/watch?v=Z55eyfr53T8

→ Estos vídeos permiten observar en tiempo real:

- Activación rápida tras un estímulo doloroso
- Coordinación entre músculos flexores y extensores
- Participación simultánea de ambos lados del cuerpo
- Mantenimiento del equilibrio pese a la retirada del miembro

→ En fisiología, muchos procesos:

- Son difíciles de imaginar solo con esquemas
- Se comprenden mejor al ver el movimiento real
- Refuerzan la comprensión
- Ayudan a fijar los conceptos
- No sustituyen la explicación teórica, la complementan

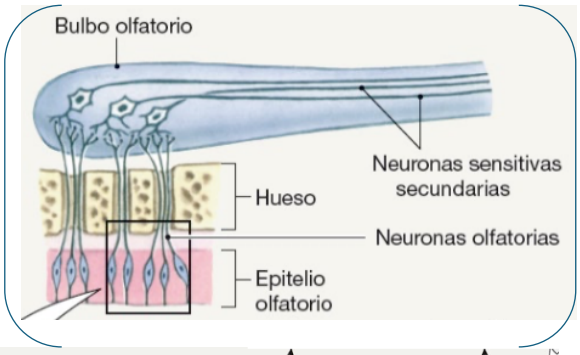
⇒ **SENTIDOS QUÍMICOS: OLFATO**

Vamos a entrar en el primero de los **sentidos químicos**, el **olfato**.

- La **transducción sensorial** del olfato (llamada así a la transformación de un tipo de señal o energía en otra distinta) ocurre en el **epitelio olfatorio**.

→ Este sentido es un sistema sensorial peculiar y filogenéticamente muy antiguo.

1. El olfato como sentido químico



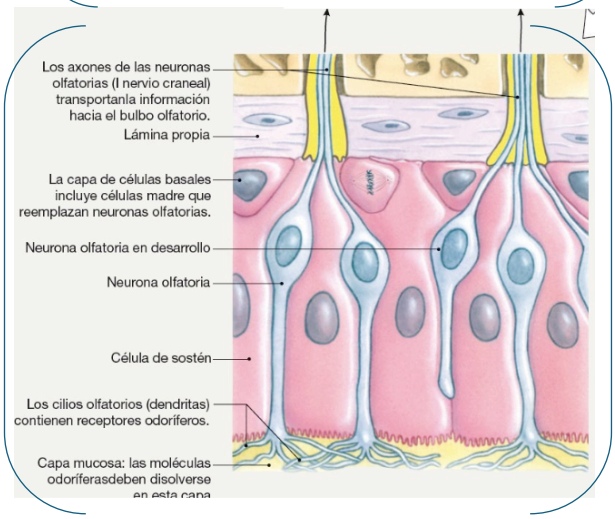
El olfato detecta:

- **Moléculas químicas volátiles**
- Disueltas en el aire
- Que entran en contacto con la mucosa nasal

A diferencia de otros sentidos:

- No detecta energía mecánica ni electromagnética
- Detecta **identidad molecular**

2. Epitelio olfatorio



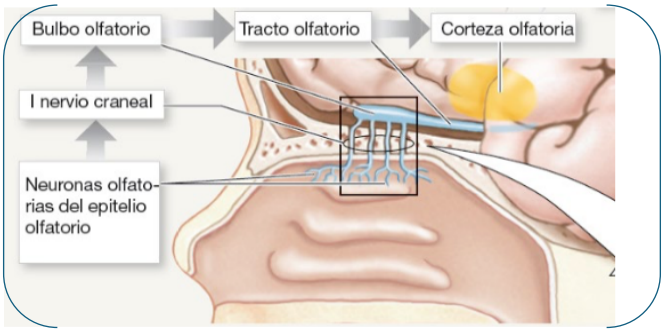
El **epitelio olfatorio** es la estructura donde ocurre todo el proceso inicial:

- Localización: parte superior de las cavidades nasales
- Función: transformar la presencia de moléculas olorosas en señales nerviosas

Es aquí donde tiene lugar:

- La **recepción**
- La **transducción**
- El inicio de la **codificación**

3. Transducción olfatoria



La transducción consiste en:

- Unión de la molécula olorosa a su receptor específico
- Activación de una cascada bioquímica
- Cambio del potencial de membrana
- Generación de potenciales de acción

Cada neurona olfatoria:

- Expresa un tipo concreto de receptor
- Responde a un conjunto limitado de moléculas

Esto permite:

- Una enorme capacidad discriminativa

4. Particularidades del sistema olfatorio

Conviene destacar desde ahora varios rasgos singulares:

- No pasa inicialmente por el tálamo
- Proyecta directamente a la corteza olfatoria
- Está íntimamente ligado al sistema límbico

Por eso:

- Los olores evocan recuerdos intensos
- Provocan respuestas emocionales inmediatas

5. Importancia funcional

Aunque en el ser humano no sea el sentido dominante, el olfato:

- Participa en la alimentación
- Detecta peligros (humo, gases, alimentos en mal estado)
- Influye en la conducta y la memoria

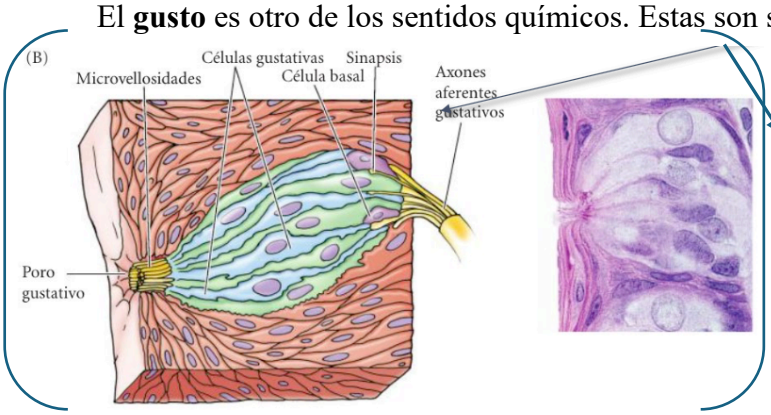
👉 **Idea clave**

El olfato es un sistema sensorial:

- Químico
- Altamente especializado
- Directamente conectado con áreas emocionales y mnésicas

⇒ SENTIDOS QUÍMICOS: GUSTO

El **gusto** es otro de los sentidos químicos. Estas son sus **estructuras receptoras**:



- **Corpúsculo gustativo**, formado por:
  - **50–150 células receptoras**
  - **Células de sostén**
  - **Células basales**

1. El gusto como sentido químico

El gusto detecta:

- Sustancias químicas **disueltas en la saliva**
- En contacto directo con la lengua

A diferencia del olfato:

- Requiere contacto
- Tiene un repertorio sensorial más limitado
- Está estrechamente ligado a la alimentación

3. Corpúsculo gustativo

El **corpúsculo gustativo** es la unidad funcional del gusto.

Características:

- Estructura ovoide
- Incrustada en las **papilas gustativas**
- Abre al exterior mediante un **poro gustativo**

Tipos celulares:

- **Células receptoras**: realizan la transducción
- **Células de sostén**: soporte estructural
- **Células basales**: regeneración (el epitelio gustativo se renueva)

Este recambio celular es importante:

👉 las células gustativas tienen vida corta.

3. Número de papilas y variabilidad individual

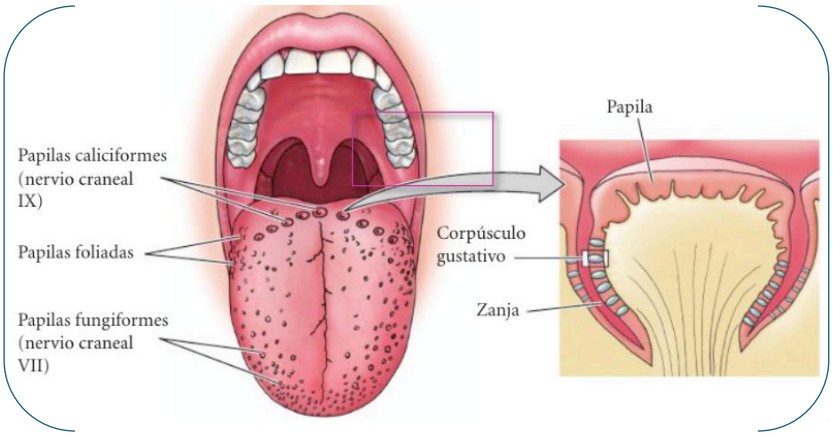
Existe gran **variabilidad individual** en el número de papilas gustativas:

- Población general: **2.000–5.000**
- *Los Supercatadores*: hasta **20.000**

Los llamados **supercatadores**:

- Tienen muchas más papilas
- Perciben sabores con mayor intensidad
- Suelen ser más sensibles a sabores amargos

Esto demuestra que la percepción gustativa no es igual en todas las personas.



4. Función biológica del gusto

El gusto cumple funciones esenciales:

- Selección de alimentos
- Rechazo de sustancias potencialmente tóxicas
- Regulación del apetito

Trabaja siempre en conjunto con:

- Olfato
- Textura
- Temperatura

La "sensación de sabor" real es **multisensorial**.

👉 **Idea clave**

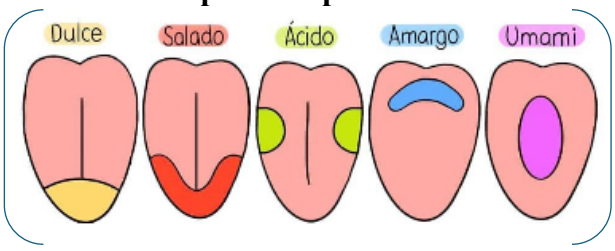
El gusto es un sentido químico:

- Estructuralmente organizado en corpúsculos
- Con gran variabilidad individual
- Diseñado más para **proteger y regular la alimentación** que para discriminar finamente, como el olfato.

⇒ **<u>GUSTOS PRIMARIOS Y VÍA GUSTATIVA</u>**

Aquí vemos dos ideas centrales:

1. **Cinco gustos primarios**, cada uno asociado a **moléculas receptoras específicas**:
   - Ácido
   - Amargo
   - Dulce
   - Salado
   - Umami (vocablo que significa sabor: Intenso y sabroso, debido especialmente al glutamato presente en algunos alimentos, como la salsa de soja o el queso curado)



2. **Vía gustativa**:
   - Se extiende desde los **receptores gustativos**
   - Hasta la **corteza cerebral**

Se indica además que:

- En cada papila pueden coexistir **varias categorías de receptores**
- Aunque ciertas regiones de la lengua son **más sensibles** a unos gustos que a otros

→ Ahora pasamos a explicar los **principios funcionales básicos del gusto**, desmontando algunas ideas simplistas muy extendidas.

1. Gustos primarios

El sistema gustativo reconoce **cinco modalidades básicas**, no infinitas:

- **Dulce** → asociado a hidratos de carbono (valor energético)
- **Salado** → asociado a sales minerales (equilibrio iónico)
- **Ácido** → relacionado con el pH (alimentos en mal estado)
- **Amargo** → asociado a sustancias potencialmente tóxicas
- **Umami** → asociado a aminoácidos (glutamato; proteínas)

👉 Desde un punto de vista clásico el gusto es un sistema **químico de selección y protección**, no de refinamiento.

2. Receptores y transducción

Cada gusto primario:

- Tiene **receptores específicos**
- Activados por moléculas concretas

Algunos utilizan:

- Canales iónicos (salado, ácido)
- Receptores acoplados a proteína G (dulce, amargo, umami)

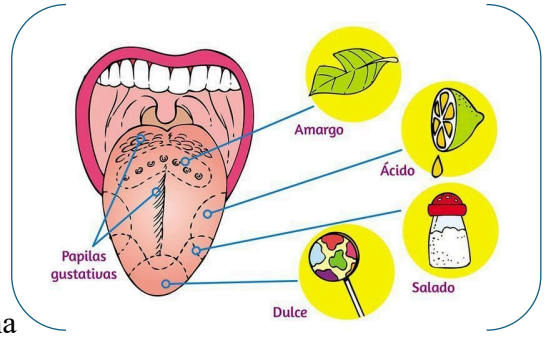
Esto explica:

- Diferencias en intensidad
- Diferencias en adaptación
- Diferencias en percepción individual

3. Distribución en la lengua

La diapositiva aclara un punto importante:

- **No existen zonas exclusivas** para cada sabor
- Todas las regiones pueden detectar todos los gustos
- Pero hay **diferencias de sensibilidad relativa**

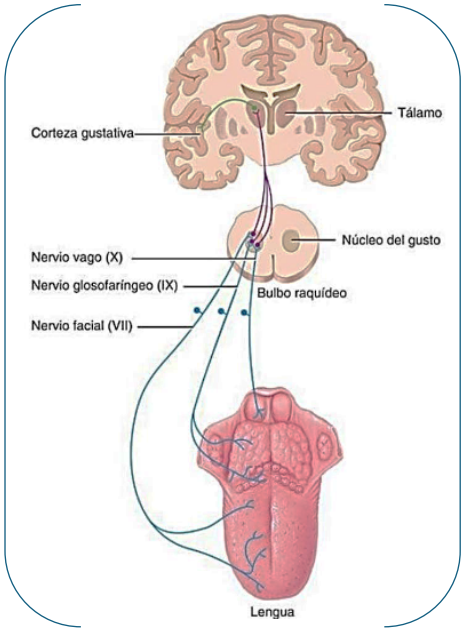


👉 El clásico "mapa rígido de la lengua" es una **simplificación didáctica**, no una realidad estricta.

4. Vía gustativa

La información gustativa:

- Viaja por nervios craneales
- Llega a núcleos del tronco encefálico
- Pasa por el tálamo
- Se proyecta a la **corteza gustativa**



A lo largo del recorrido:

- Se integra con información olfatoria
- Se conecta con sistema límbico e hipotálamo

Por eso:

- El gusto está ligado a placer, rechazo, hambre y saciedad

👉 **Idea clave**

El gusto es un sistema:

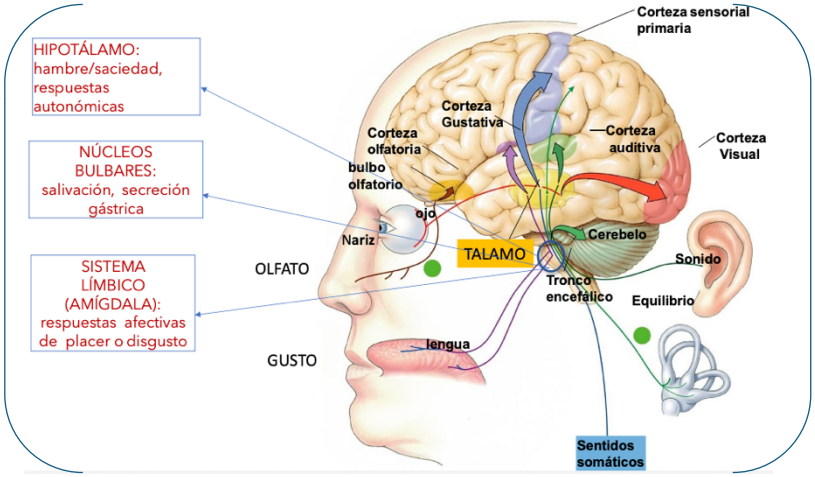
- Limitado en modalidades
- Altamente significativo desde el punto de vista biológico
- Estrechamente integrado con emociones y conducta alimentaria

No busca variedad estética, sino **seguridad y supervivencia**.

⇒ INTEGRACIÓN CENTRAL DEL GUSTO Y EL OLFATO

En esta imagen vemos el **destino central de las vías gustativa y olfatoria** y su integración con otros sistemas:

- **Tronco encefálico**
- **Tálamo**
- **Corteza gustativa**
- **Corteza olfatoria**
- **Sistema límbico (amígdala)**
- **Hipotálamo**
- **Núcleos bulbares** (salivación, secreción gástrica)



Conocer esto es muy importante porque explica **por qué el gusto y el olfato influyen tanto en la conducta**, mucho más allá de la simple percepción sensorial.

1. Integración gusto–olfato

Aunque se estudien por separado:

- Gusto y olfato **funcionan de manera conjunta**
- La percepción real del "sabor" es una **experiencia integrada**

Por eso:

- Con la nariz tapada, los alimentos "no saben igual"
- El olfato aporta la mayor parte de la complejidad perceptiva

2. Núcleos bulbares

Las vías gustativas y olfatorias proyectan a núcleos del bulbo que regulan:

- **Salivación**
- **Secreción gástrica**

Esto permite:

- Preparar el aparato digestivo
- Iniciar la digestión incluso antes de ingerir el alimento

Es un ejemplo claro de **anticipación fisiológica**.

3. Sistema límbico (amígdala)

La conexión con la amígdala explica:

- Respuestas afectivas de **placer o disgusto**
- Aversión a ciertos sabores tras experiencias negativas
- Preferencias alimentarias duraderas

El gusto y el olfato están profundamente ligados a la emoción.

4. Hipotálamo

El hipotálamo integra la información sensorial con:

- Hambre
- Saciedad
- Respuestas autonómicas

Por eso:

- Un olor puede abrir el apetito
- O provocar rechazo inmediato

Aquí se conecta la sensación con la **conducta alimentaria**.

5. Tálamo y corteza

- El **tálamo** actúa como estación de relevo (especialmente en el gusto)
- La **corteza gustativa y olfatoria** permiten la percepción consciente

Pero la respuesta fisiológica y emocional puede iniciarse **antes de la conciencia plena**.

👉 **Idea clave**

El gusto y el olfato:

- No son sentidos "neutros"
- Están diseñados para influir en la conducta
- Activan respuestas digestivas, emocionales y autonómicas

Son sistemas sensoriales con una **carga biológica y afectiva enorme**.

⇒ AUDICIÓN Y SENTIDO DEL EQUILIBRIO

Hasta ahora hemos visto:

- Sentidos somáticos → receptores distribuidos
- Sentidos químicos → interacción molecular directa

A partir de aquí entramos en sistemas que:

- Detectan **energía mecánica**
- Utilizan **células ciliadas** (células sensoriales especializadas) como receptores
- Están altamente especializados anatómicamente

1. Audición y equilibrio: un mismo origen anatómico

Ambos sentidos:

- Se localizan en el **oído interno**
- Comparten el tipo de receptor: **células ciliadas**
- Transducen energía mecánica en señales eléctricas

Pero su finalidad es distinta:

- **Audición** → percepción de sonido
- **Equilibrio** → control postural y orientación espacial

2. Importancia funcional

- La audición permite:
  - Comunicación
  - Localización de fuentes sonoras
  - Relación social
- El equilibrio permite:
  - Mantener la postura
  - Coordinar movimientos
  - Estabilizar la mirada

👉 En el equilibrio la percepción consciente es secundaria; prima el control automático.

3. Enfoque fisiológico clásico

Este bloque se estudiará siguiendo el mismo esquema ya visto, pero con una complejidad anatómica mayor:

- Tipo de estímulo
- Receptor
- Transducción
- Vías nerviosas
- Integración central

→ Pero no introduce nuevos conceptos.
Sirve para:

- Cerrar definitivamente el bloque químico
- Abrir el estudio de la **mecanotransducción auditiva y vestibular**
- Ordenar mentalmente el contenido que sigue

→ Y de esta manera entramos en sistemas donde:

- La precisión mecánica es fundamental
- La anatomía condiciona la función
- La integración sensorial es extremadamente fina

⇒ ONDAS SONORAS: CARACTERÍSTICAS DEL ESTÍMULO AUDITIVO

Se define el **estímulo auditivo** como **ondas sonoras**, indicando sus propiedades físicas fundamentales:

- Las ondas sonoras se generan por un **objeto que vibra**
- **Tono** → determinado por la **frecuencia**
- **Intensidad** → determinada por la **amplitud**
  - La intensidad se mide en **decibelios (dB)**

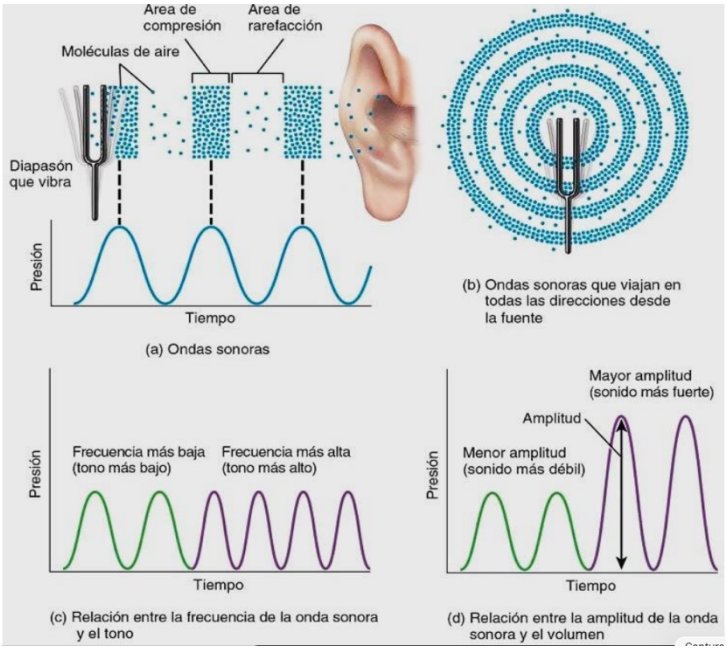
→ **Explicación desarrollada**
Antes de estudiar el oído, hay que entender **qué tipo de energía detecta**.

1. Naturaleza física del sonido
El sonido es:

- Una **onda mecánica**
- Que necesita un **medio material** para propagarse (aire, agua, sólidos)
- No se propaga en el vacío

Se produce cuando:

- Un objeto vibra
- Esa vibración se transmite al medio
- Genera variaciones de presión



2. Frecuencia y tono
La **frecuencia**:

- Es el número de vibraciones por segundo
- Se mide en hercios (Hz)

El **tono** es la percepción subjetiva de la frecuencia:

- Frecuencias altas → sonidos **agudos**
- Frecuencias bajas → sonidos **graves**

El oído humano es sensible, aproximadamente, a:

- 20 Hz – 20.000 Hz

(con variaciones individuales y con la edad)

3. Amplitud e intensidad
La **amplitud**:

- Es la magnitud de la vibración
- Depende de la energía de la onda

La **intensidad** es la percepción subjetiva de esa amplitud:

- Sonidos débiles → baja amplitud
- Sonidos fuertes → alta amplitud

Se mide en **decibelios (dB)**, una escala logarítmica.

4. Importancia fisiológica

El sistema auditivo debe ser capaz de:

- Detectar variaciones muy pequeñas de presión
- Distinguir frecuencias próximas
- Adaptarse a un rango enorme de intensidades

Esto explica la **complejidad del oído**, especialmente del oído interno.

👉 **Idea clave**

La audición es un sentido especializado en:

- Detectar vibraciones mecánicas
- Analizar su frecuencia (tono)
- Analizar su amplitud (intensidad)

Todo el sistema auditivo está diseñado para **transformar ondas físicas en percepción sonora**.

⇒ SISTEMA AUDITIVO Y SISTEMA VESTIBULAR

Aquí se nos presenta una **visión conjunta del oído interno**, indicando que en él existen **dos regiones funcionales diferenciadas**:

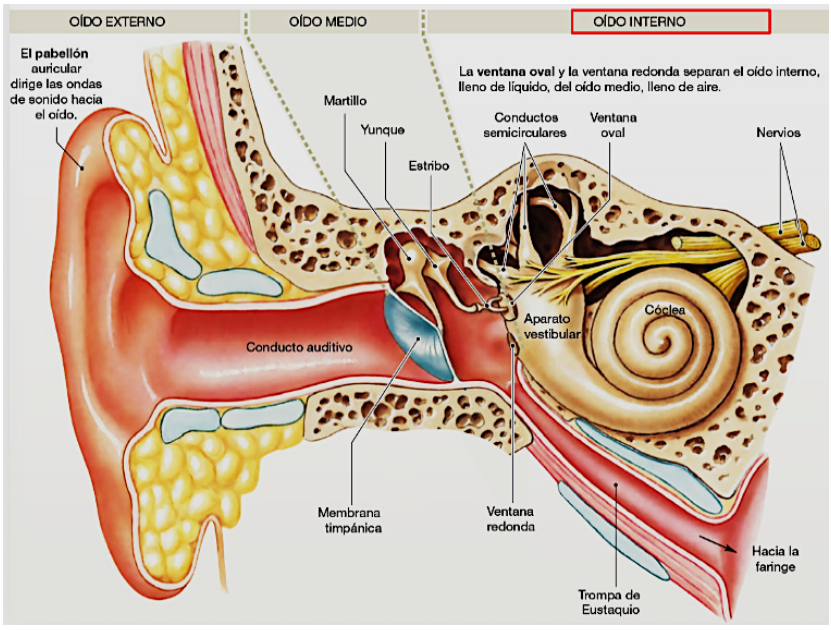
- **Sistema vestibular**
- **Cóclea**

Cada una está especializada en un tipo distinto de información sensorial.

→ **Explicación desarrollada**

Esta diapositiva es clave porque aclara algo fundamental:

👉 **el oído no es solo un órgano para oír**.



1. Oído interno: doble función sensorial

En el oído interno encontramos dos sistemas distintos, pero anatómicamente próximos:

- **Sistema auditivo** → percepción del sonido
- **Sistema vestibular** → equilibrio y orientación espacial

Ambos comparten:

- Tipo de receptor (células ciliadas)
- Principios de transducción mecánica

👉 Pero cumplen **funciones completamente diferentes**.

2. Sistema vestibular
El sistema vestibular es responsable de detectar:

- **Aceleración lineal**
- **Aceleración angular** de la cabeza

Es decir:

- Movimientos
- Cambios de posición
- Orientación respecto a la gravedad

Función principal:
👉 mantener el **equilibrio**, la **postura** y la **estabilidad de la mirada**.

La mayor parte de su actividad:

- No llega a la conciencia
- Se utiliza para ajustes automáticos

3. Cóclea
La **cóclea** contiene los receptores encargados de:

- Detectar las ondas sonoras
- Analizar frecuencia e intensidad
- Iniciar la percepción auditiva

Es el componente esencial del: **sistema auditivo propiamente dicho**.

4. Diferencia funcional clara
Aunque estén juntos:

- El sistema vestibular **no produce "sensaciones" claras**
- El sistema auditivo sí genera **percepción consciente**

El equilibrio se manifiesta sobre todo cuando falla por medio de:

- Mareo
- Vértigo
- Inestabilidad

5. Importancia fisiológica
Esta doble organización permite:

- Integrar sonido, movimiento y postura
- Coordinar cabeza, ojos y cuerpo
- Mantener una relación estable con el entorno

→ Desde un punto de vista clásico: es un ejemplo excelente de **economía anatómica y especialización funcional**.

👉 **Idea clave**
En el oído interno:

- La **cóclea** sirve para oír
- El **sistema vestibular** sirve para mantener el equilibrio

⇒ OÍDO MEDIO: CADENA DE HUESECILLOS Y FUNCIÓN PROTECTORA

Se describe la función del **oído medio**, destacando:

- **Concentración del sonido**: aproximadamente el **60 % de la energía sonora** captada por el tímpano alcanza la **ventana oval**.
- **Cadena de huesecillos**:
  - Martillo
  - Yunque
  - Estribo
- **Músculos del oído medio**:
  - Músculo tensor del tímpano
  - Músculo estapedio
- Función **protectora** frente a sonidos intensos y durante la fonación.



→ **Explicación desarrollada**

Esta diapositiva explica un paso **crítico** en la audición:
cómo se transmite y ajusta la energía sonora **antes de llegar al oído interno**, que es una estructura extremadamente sensible.

1. Función principal del oído medio

El oído medio actúa como:
👉 **sistema mecánico de adaptación de impedancias**.

Esto significa que:

- El sonido pasa del aire (baja impedancia)
- Al líquido del oído interno (alta impedancia)

Sin este sistema:

- La mayor parte de la energía sonora se perdería por reflexión.

2. Cadena de huesecillos

La cadena formada por martillo, yunque y estribo:

- Transmite la vibración del tímpano
- La concentra sobre la **ventana oval**
- Aumenta la presión ejercida



Este mecanismo permite:

- Amplificar eficazmente la señal sonora
- Mantener la sensibilidad auditiva

3. Concentración de la energía

La diapositiva señala un dato importante:

- Aproximadamente el **60 % de la energía sonora** llega a la ventana oval

Esto es fisiológicamente muy relevante:

- El oído interno necesita señales precisas
- Pero no excesivas

4. Función protectora: reflejo del oído medio

Los músculos del oído medio cumplen una función defensiva:

- **Músculo estapedio**
- **Músculo tensor del tímpano**

Cuando se activan:

- Reducen la transmisión de vibraciones
- Atenúan sonidos intensos

Este reflejo:

- Es automático
- Es relativamente lento
- Protege frente a sonidos sostenidos (no frente a explosiones súbitas)

También se activa:

- Al hablar
- Al masticar

Evita que nuestra propia voz nos dañe el oído.

5. Importancia funcional

El oído medio no "oye", pero:

- Ajusta
- Amplifica
- Protege

Es un **sistema de control previo**, indispensable para la audición normal.

👉 **Idea clave**

El oído medio:

- Optimiza la transmisión del sonido
- Protege el oído interno
- Regula la intensidad de la señal antes de la transducción

Sin este paso intermedio, la audición sería ineficaz y peligrosa.

⇒ LABERINTO ÓSEO Y LABERINTO MEMBRANOSO

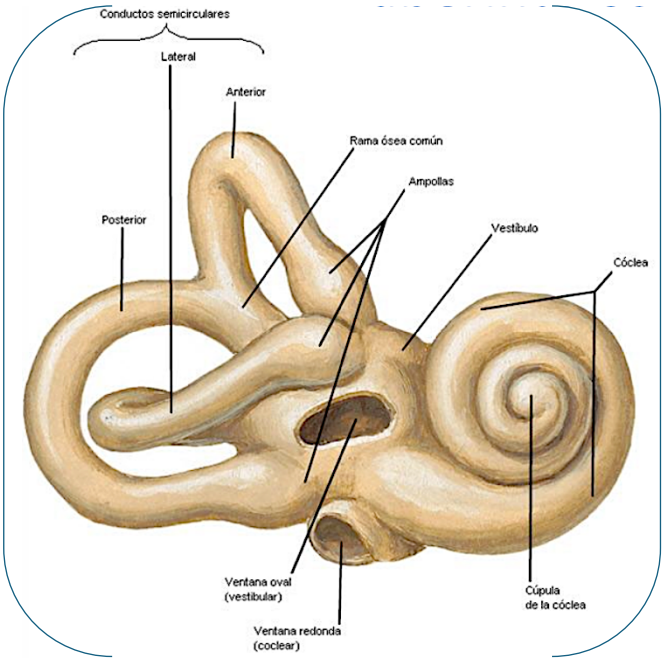
Aquí entramos en la **organización interna del oído interno**, distinguiendo claramente entre:

- **Laberinto óseo**
- **Laberinto membranoso**

Y los **líquidos** asociados a cada uno:

- **Perilinfa**
  - Alta concentración de **Na^+**
  - Baja concentración de **K^+**
- **Endolinfa**
  - Alta concentración de **K^+**
  - Baja concentración de **Na^+**

👉 El **laberinto membranoso** se encuentra **dentro** del laberinto óseo.



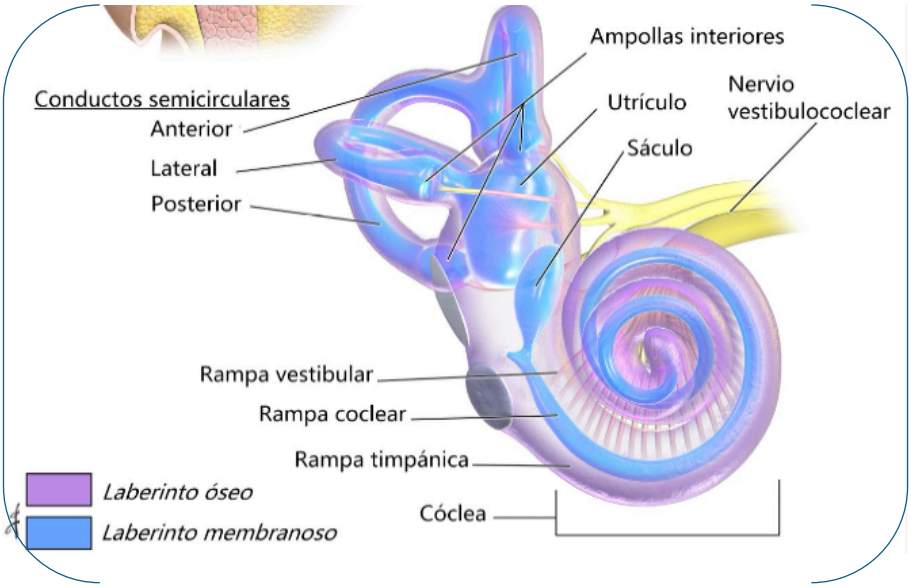
→ Pasamos a analizar estas imágenes ya que son **clave para entender la transducción auditiva y vestibular**, porque introduce un principio electrofisiológico fundamental.

1. Doble estructura del oído interno

El oído interno no es una cavidad única, sino un sistema doble:

- **Laberinto óseo**
  - Estructura rígida, excavada en el hueso temporal
  - Actúa como protección

- **Laberinto membranoso**
  - Sistema de conductos y sacos flexibles
  - Contiene los **receptores sensoriales**



Entre ambos:

- Circula la **perilinfa**

Dentro del laberinto membranoso:

- Circula la **endolinfa**

2. Composición iónica: dato esencial

La composición de los líquidos **no es casual**, es funcional.

- **Perilinfa**
  - Similar al líquido extracelular
  - Rica en **Na^+**
- **Endolinfa**
  - Composición **única en el organismo**
  - Rica en **K^+**

Este gradiente iónico es imprescindible para: la **despolarización de las células ciliadas**.

3. Importancia para la transducción

Cuando se mueven los estereocilios de las células ciliadas:

- Se abren canales iónicos mecano-dependientes
- El **K^+ entra** desde la endolinfa
- La célula se **despolariza**

Esto es excepcional, porque en la mayoría de las neuronas:

- La despolarización se produce por entrada de Na^+

👉 Aquí, el oído utiliza una solución distinta, muy eficaz y rápida.

4. Aplicación común a audición y equilibrio

Este sistema de líquidos:

- Es común a la **cóclea** (audición)
- Y al **aparato vestibular** (equilibrio)

Por eso:

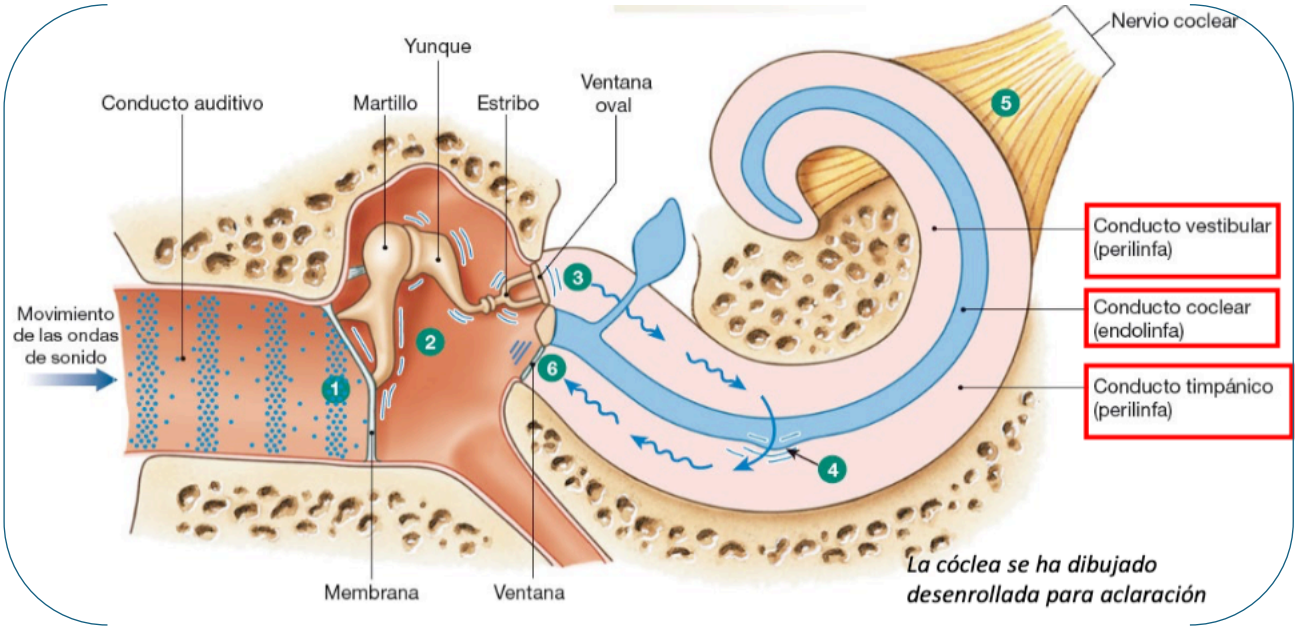
- Alteraciones en la endolinfa afectan a ambos sistemas
- Mareos y problemas auditivos suelen coexistir

👉 **Idea clave**

La separación entre laberinto óseo y membranoso, y la diferencia iónica entre perilinfa y endolinfa, son la **base físico-química** que hace posible la audición y el equilibrio.

Sin este diseño no existiría la mecanotransducción en el oído interno.

⇒ TRANSMISIÓN DE LAS ONDAS SONORAS POR LA CÓCLEA



Ahora vamos a ver **cómo se propagan las vibraciones sonoras dentro de la cóclea**, indicando que:

- La cóclea se representa **desenrollada** para facilitar la comprensión.
- Intervienen dos líquidos:
  - **Perilinfa** → alta concentración de Na^+
  - **Endolinfa** → alta concentración de K^+

Se muestra en la imagen el recorrido de la onda sonora a través de las cavidades cocleares, y describe el **paso previo inmediato a la transducción auditiva** cómo la energía mecánica que llega hasta el órgano receptor.

1. Entrada de la vibración en la cóclea

El proceso comienza cuando:

- El estribo vibra sobre la **ventana oval**
- Esa vibración se transmite a la **perilinfa**

La perilinfa se comporta como un fluido:

- Incompresible
- Transmisor fiel de la onda mecánica

2. Propagación de la onda

La vibración:

- Se propaga por la perilinfa del conducto vestibular
- Recorre la cóclea
- Genera desplazamientos en las estructuras internas

Como la cóclea es helicoidal:

- Se suele "desenrollar" en los esquemas
- Para visualizar mejor el recorrido de la onda

3. Papel de la endolinfa

La **endolinfa**, contenida en el conducto coclear:

- No recibe directamente la vibración del estribo
- Se mueve como consecuencia del desplazamiento de las membranas

Este movimiento es crucial porque:

- Es el que acaba deformando las **células ciliadas**
- Inicia la transducción sensorial

4. Relación con la frecuencia

Aunque aquí no se detalla aún:

- La propagación de la onda no es uniforme
- Cada frecuencia produce un máximo de vibración en una zona concreta de la cóclea

👉 Este principio será la base de la **tonotopía** (organización espacial de las frecuencias de sonido a lo largo de la cóclea del oído interno, donde diferentes frecuencias activan distintas ubicaciones físicas), que veremos después.

5. Importancia funcional

Este sistema permite:

- Transmitir vibraciones con gran precisión
- Separar frecuencias
- Preparar la señal para su análisis neural

Todo ello sin pérdida significativa de información.

👉 **Idea clave**

La cóclea no es un simple tubo:

- Es un sistema hidráulico muy preciso
- Diseñado para conducir vibraciones y transformarlas en señales nerviosas

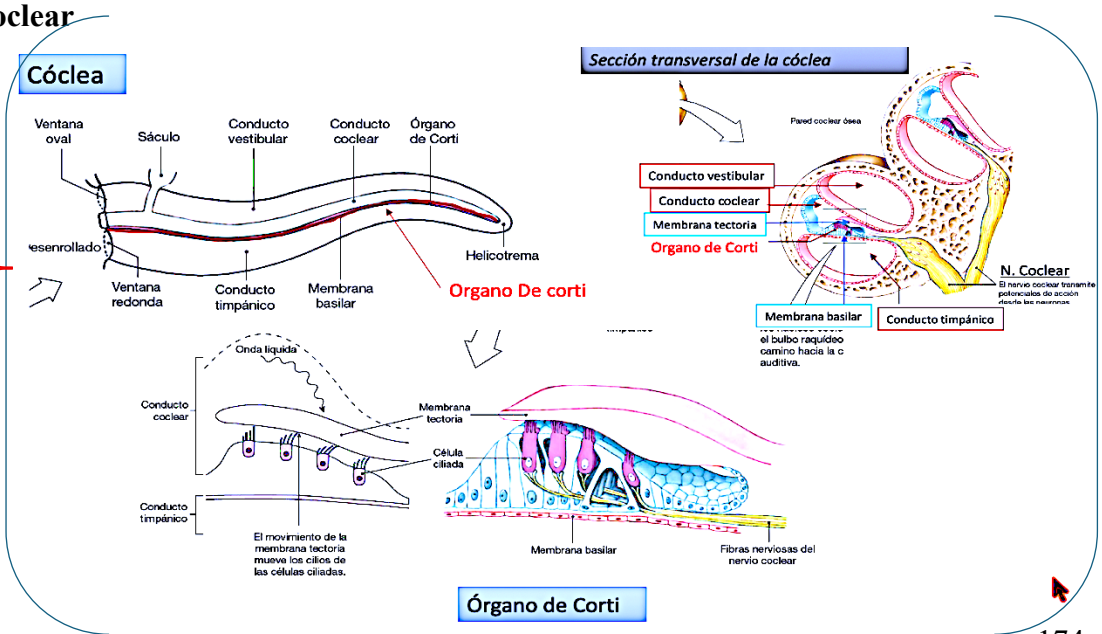
La transmisión por perilinfa y endolinfa es el paso indispensable antes de que el sonido se convierta en información neuronal.

⇒ CÓCLEA: SECCIÓN TRANSVERSAL Y ÓRGANO DE CORTI

Se muestra una **sección transversal de la cóclea**, identificando sus principales compartimentos y estructuras:

- **Conducto vestibular**
- **Conducto coclear**
- **Conducto timpánico**
- **Órgano de Corti**
- **Membrana basilar**
- **Membrana tectoria**
- **Nervio coclear**

- Esta imagen es importante ya que localiza con precisión **dónde ocurre la transducción auditiva.**



1. Los tres conductos de la cóclea
En la sección transversal aparecen claramente **tres compartimentos**:

- **Conducto vestibular**
  - Contiene perilinfa
  - Recibe directamente la vibración desde la ventana oval
- **Conducto coclear (o rampa media)**
  - Contiene endolinfa
  - Alberga el **órgano de Corti**
- **Conducto timpánico**
  - Contiene perilinfa
  - Termina en la ventana redonda

👉 Este diseño permite la transmisión eficaz de la onda y disipación controlada de energía.

2. Órgano de Corti
El **órgano de Corti** es el **auténtico receptor auditivo**.

Se asienta sobre la:

- **Membrana basilar**

Y está cubierto parcialmente por la:

- **Membrana tectoria**

Contiene:

- Células ciliadas internas y externas
- Células de sostén
- Terminaciones del nervio coclear

👉 Aquí es donde la vibración mecánica se transforma en señal eléctrica.

3. Membrana basilar
La **membrana basilar**:

- No vibra de forma uniforme
- Sus propiedades mecánicas cambian a lo largo de la cóclea

Esto es fundamental porque:

- Permite la **separación de frecuencias**
- Cada tono produce un máximo de desplazamiento en una zona distinta

👉 Es la base física de la **tonotopía**.

4. Membrana tectoria
La **membrana tectoria**:

- Se sitúa por encima de las células ciliadas
- Interactúa con los estereocilios al moverse la membrana basilar

Este movimiento relativo:

- Dobla los estereocilios
- Inicia la apertura o cierre de canales iónicos

5. Nervio coclear
Las células ciliadas:

- No generan potenciales de acción
- Liberan neurotransmisor sobre fibras del **nervio coclear**

Estas fibras:

- Transmiten la información auditiva al SNC

👉 **Idea clave**

La cóclea es un sistema finamente organizado donde:

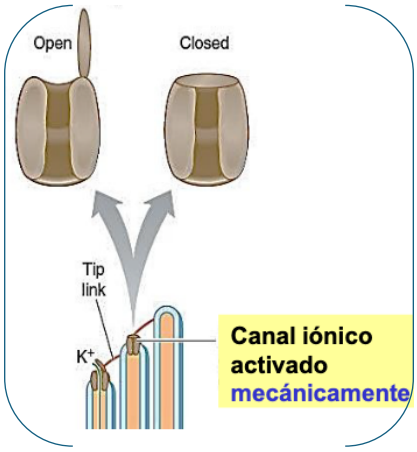
- La mecánica del sonido
- La anatomía
- Y la electrofisiología

Convergen en el **órgano de Corti**, que actúa como puente entre el mundo físico y la percepción sonora.

⇒ ÓRGANO DE CORTI: MECANOTRANSDUCCIÓN EN LAS CÉLULAS CILIADAS

Veamos **cómo las células ciliadas del órgano de Corti convierten la energía mecánica en señal eléctrica**, destacando:

- **Canales iónicos activados mecánicamente**
- **Estereocilios** unidos por **puentes proteicos**
- Diferencia entre:
  - **Excitación**
  - **Inhibición**
- En reposo, aproximadamente un **10 % de los canales están abiertos**



👉 Aquí ocurre el acto decisivo de la audición, la **mecanotransducción**.

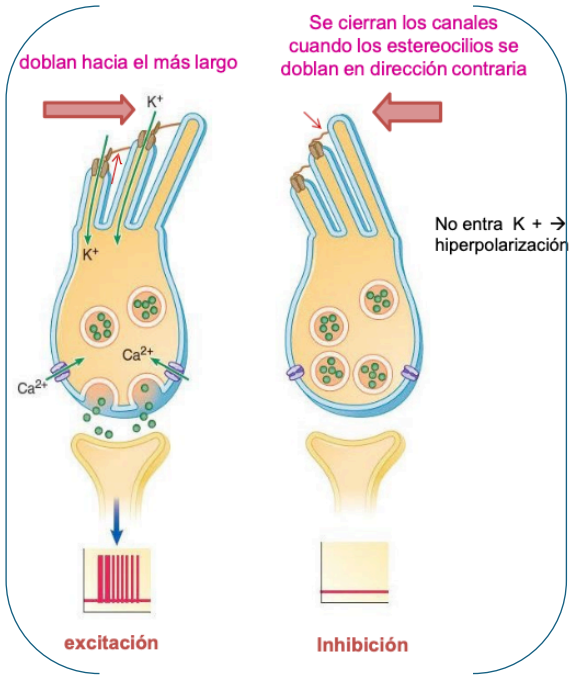
1. Células ciliadas: función básica

Las **células ciliadas**:

- No generan potenciales de acción
- Funcionan como **transductores**
- Transforman desplazamientos mecánicos en cambios eléctricos graduados

Su estructura clave son los:

- **Estereocilios**, dispuestos en filas de distinta altura



2. Canales iónicos mecanodependientes

Entre los estereocilios existen:

- **Puentes proteicos** (tip links)
- Conectados a canales iónicos sensibles al desplazamiento mecánico

Cuando los estereocilios:

- Se doblan → los canales se abren o se cierran según la dirección

👉 Este sistema es extremadamente rápido y preciso.

3. Excitación (despolarización)

Cuando los estereocilios se doblan:

- **Hacia el estereocilio más largo**:
  - Se tensan los puentes proteicos
  - Se abren los canales

- Entra **K^+ desde la endolinfa**
- La célula se **despolariza**

Consecuencia:

- Aumenta la liberación de neurotransmisor
- Se incrementa la frecuencia de descarga del nervio coclear

4. Inhibición (hiperpolarización)

Cuando los estereocilios se doblan:

- **En sentido contrario**:
  - Los canales se cierran
  - No entra K^+
  - La célula se **hiperpolariza**

Resultado:

- Disminuye la liberación de neurotransmisor
- Disminuye la señal enviada al SNC

5. Actividad basal en reposo

Un dato importante para considerar:

- En reposo, el ~**10 % de los canales están abiertos**

Esto permite:

- Codificar desplazamientos en **ambos sentidos**
- Aumentos y disminuciones de la señal
- Una representación muy fina del movimiento vibratorio

👉 **Idea clave**

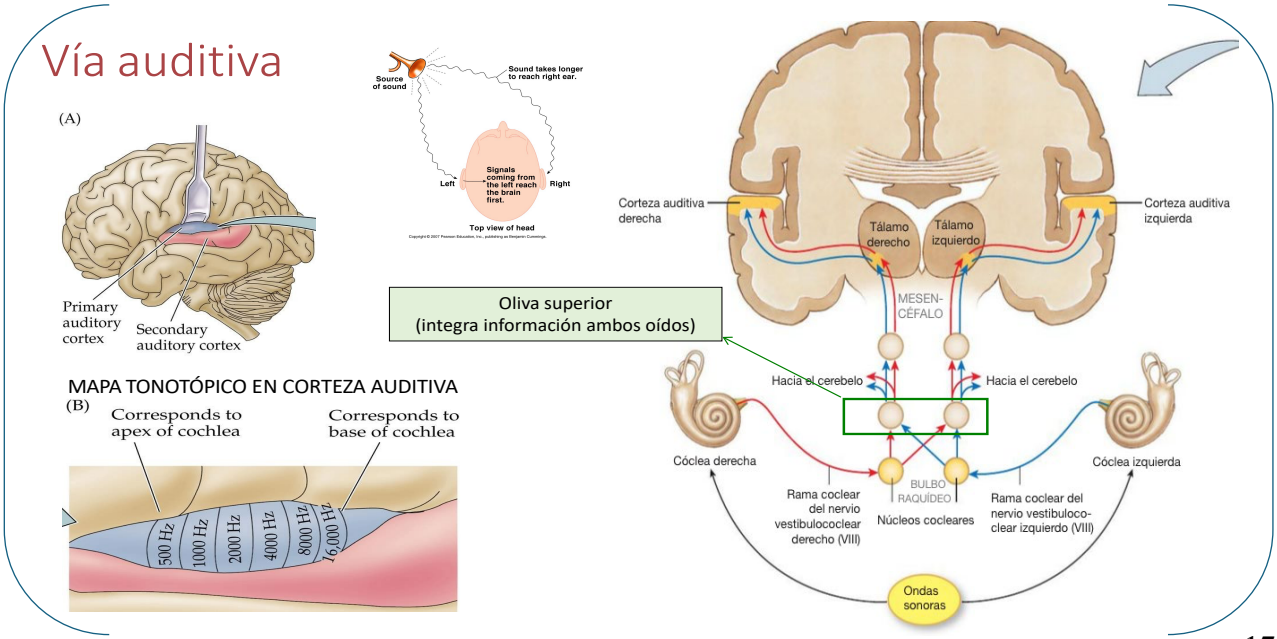
La audición no funciona con un "encendido/apagado":

- Funciona con variaciones continuas
- Basadas en la dirección y magnitud del desplazamiento de los estereocilios

El órgano de Corti es un ejemplo magistral de:

- Ingeniería biológica
- Precisión mecánica
- Eficacia electrofisiológica

⇒ VÍA AUDITIVA Y MAPA TONOTÓPICO CORTICAL



La imagen representa la **vía auditiva ascendente** y nos introduce en el concepto de:

- **Mapa tonotópico en la corteza auditiva**
- Participación de la **oliva superior**, que integra información de ambos oídos

→ Nos explica **cómo la información auditiva, ya transformada en señal nerviosa, se organiza y se integra en el encéfalo**.

1. Vía auditiva: esquema general

Tras la transducción en el órgano de Corti:

1. Las fibras del **nervio coclear** conducen la señal
2. Llegan a los **núcleos cocleares** del tronco encefálico
3. Parte de la información se proyecta bilateralmente
4. Interviene la **oliva superior**
5. Ascenso hacia centros superiores (tálamo)
6. Proyección final a la **corteza auditiva**

👉 Una característica clave: la vía auditiva es **bilateral** desde etapas muy tempranas.

2. Oliva superior: integración binaural

La **oliva superior** es fundamental para:

- Comparar la información que llega de ambos oídos
- Analizar diferencias de:
    - Tiempo de llegada
    - Intensidad del sonido

👉 Gracias a esto podemos **localizar la fuente sonora en el espacio**.
Es uno de los primeros centros donde el sonido deja de ser "unilateral".

3. Mapa tonotópico

El concepto de **tonotopía** es esencial.

Significa que:

- Las neuronas están organizadas según la **frecuencia** a la que responden
- Las frecuencias bajas (graves) y altas (agudas) ocupan zonas distintas

Este orden no se pierde en ningún relevo:

- Se mantiene desde la cóclea
- A lo largo de toda la vía auditiva
- Hasta la corteza cerebral

4. Corteza auditiva

En la **corteza auditiva**:

- El sonido se hace consciente
- Se analizan:
    - Frecuencia
    - Intensidad
    - Duración
    - Patrón temporal

La disposición tonotópica permite:

- Una discriminación muy fina de tonos
- Reconocimiento de sonidos complejos (voz, música)

👉 **Idea clave**

La audición no es solo detección de sonido:

- Es análisis espacial
- Es análisis frecuencial
- Es integración binaural

→ Todo ello se basa en una organización **ordenada y precisa** de la vía auditiva, culminando en el **mapa tonotópico cortical**.

⇒ CODIFICACIÓN DE LA FRECUENCIA: TONOTOPÍA (AGUDOS Y GRAVES)

Con esta imagen se refuerza el concepto de **tonotopía**, mostrando la separación funcional entre:

- **Sonidos agudos**
- **Sonidos graves**

Y subrayando que la **frecuencia** del sonido se codifica espacialmente.

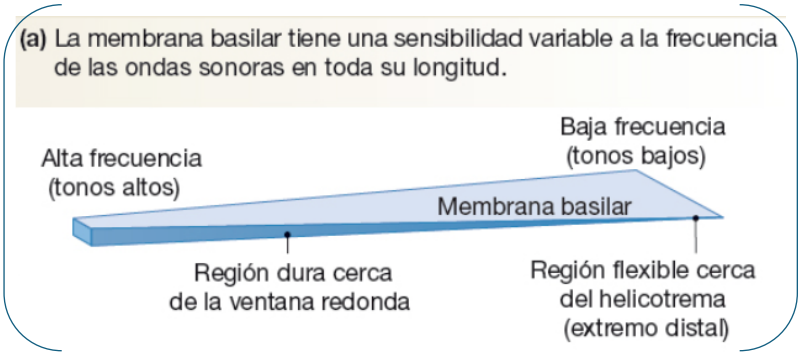
→ **Explicación desarrollada**

Aquí se consolida uno de los **principios más elegantes y clásicos de la fisiología auditiva**:

👉 **la frecuencia se representa por el lugar**, no solo por la intensidad de la señal.

1. ¿Qué es la tonotopía?

La **tonotopía** es: la organización ordenada del sistema auditivo según la frecuencia del sonido.



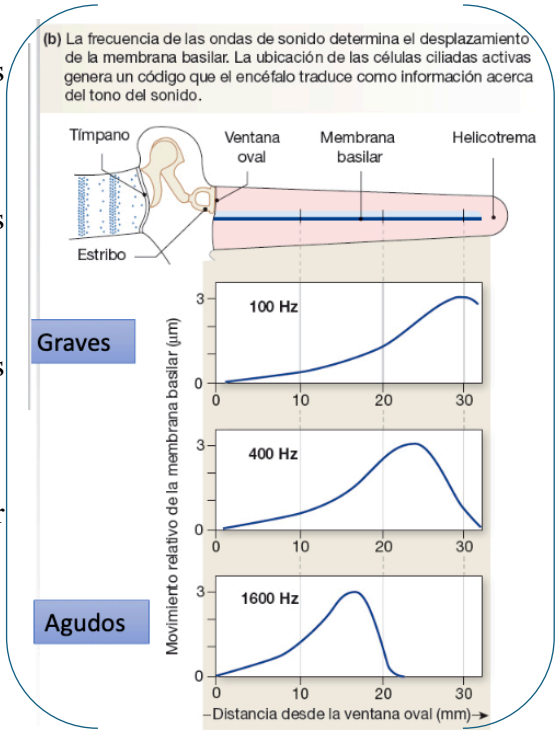
Cada frecuencia:

- Activa una **zona concreta** de la membrana basilar
- Y, por extensión, una **zona concreta** del sistema nervioso central

2. Membrana basilar: base mecánica

La base de la tonotopía está en las propiedades físicas de la **membrana basilar**:

- **Base de la cóclea**:
  - Más rígida
  - Responde a **frecuencias altas** (sonidos agudos)
- **Ápice de la cóclea**:
  - Más flexible
  - Responde a **frecuencias bajas** (sonidos graves)



Cada onda sonora:

- Produce un máximo de desplazamiento en su "lugar propio"

3. Conservación del mapa

Este orden:

- No se pierde al salir de la cóclea
- Se conserva en:

- Núcleos cocleares
- Oliva superior
- Tálamo auditivo
- Corteza auditiva

👉 Por eso hablamos de: **mapa tonotópico continuo**.

4. Significado funcional

Gracias a la tonotopía:

- Distinguimos tonos muy próximos
- Reconocemos melodías
- Comprendemos el habla

La audición no analiza el sonido "en bloque", sino **descomponiéndolo en frecuencias**.

👉 **Idea clave**

El sistema auditivo traduce la frecuencia sonora en **posición espacial** dentro del sistema nervioso.

Es un ejemplo claro de cómo:

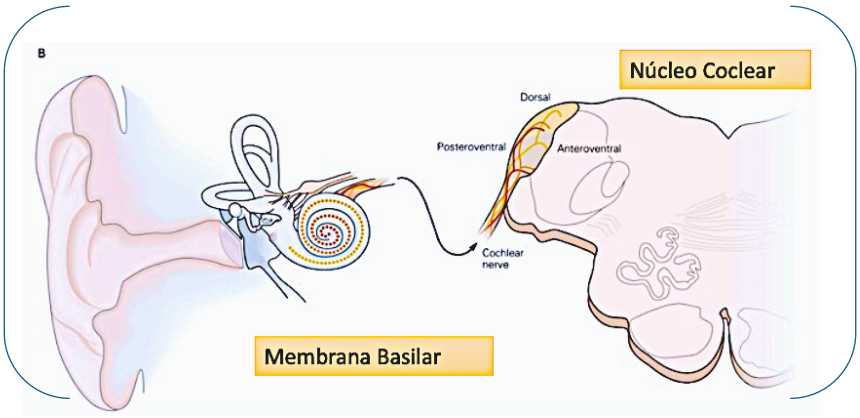
- La física del estímulo
- La anatomía
- Y la fisiología

Se integran para producir una percepción precisa.

⇒ NÚCLEO COCLEAR Y TONOTOPÍA INICIAL

Toda la **información auditiva**, procedente del nervio coclear, llega a los **núcleos cocleares** del tronco encefálico y **mantiene la organización tonotópica**:

- Las neuronas están **ordenadas según la frecuencia** a la que responden.
- Se destaca la relación entre:
  - **Membrana basilar**
  - **Nervio coclear**
  - **Núcleos cocleares**



Es importante subrayar un principio fundamental que conviene fijar bien:

👉 **la tonotopía nace en la cóclea y se conserva desde el primer relevo sináptico**.

1. Llegada de la información al tronco encefálico

Tras la transducción en el órgano de Corti:

- Las fibras del **nervio coclear** transportan la señal
- Cada fibra está "etiquetada" por la frecuencia que representa
- Esa información llega a los **núcleos cocleares**

→ Aquí ocurre la **primera sinapsis central** de la vía auditiva.

2. Núcleos cocleares

Los núcleos cocleares:

- No son un simple relevo pasivo
- Realizan un **primer procesamiento** de la señal auditiva

Pero, muy importante tener en cuenta que:
👉 **respetan el orden tonotópico** heredado de la membrana basilar.

→ Las neuronas están dispuestas:
- Según el tono al que responden
- Manteniendo la correspondencia espacial

3. Sentido funcional de esta organización
Gracias a esta disposición:
- El sistema nervioso "sabe" qué frecuencia está llegando
- No necesita recalcularla en cada nivel
- Puede combinar información de forma eficiente en etapas posteriores

Esto facilita:
- La integración binaural
- La localización del sonido
- El análisis de sonidos complejos

4. Continuidad del mapa auditivo
La diapositiva refuerza una idea que ya ha aparecido y que es clave:
- Cóclea → núcleos cocleares → oliva superior → tálamo → corteza
- **Siempre se conserva el mapa de frecuencias**

No hay ruptura ni mezcla caótica de la información.

👉 **Idea clave**
La vía auditiva está diseñada para **preservar la información frecuencial desde el primer momento**.
El núcleo coclear no "reordena" el sonido: lo **organiza y lo transmite** respetando la tonotopía original.

⇒ **TRANSDUCCIÓN AUDITIVA: APOYO AUDIOVISUAL**

http://youtu.be/eV_DnD3eIRw

Este vídeo nos sirve para:
- Visualizar el recorrido del sonido
- Comprender mejor el movimiento de las membranas cocleares
- Ver de forma dinámica:
  - El papel del órgano de Corti
  - El desplazamiento de los estereocilios
  - La apertura y cierre de canales iónicos

Es especialmente útil para fijar:
- La relación entre vibración mecánica y señal eléctrica
- La idea de **tonotopía** (se llama tonotopía a los tonos más agudos que tienen su punto máximo más cerca de la zona basal, mientras que los tonos más graves provocan una onda viajera con desplazamiento máximo en la región de la membrana más cercana al ápex coclear).

⇒ SENTIDO DEL EQUILIBRIO: FUNCIONES

Veamos las **funciones principales del sistema vestibular** (sentido del equilibrio):



- **Estabilidad de la marcha**
  → mantiene la postura vertical estable
- **Orientación espacial**
  → conserva el sentido de la posición en el espacio
- **Estabilidad del campo visual**
  → coordina los movimientos de la cabeza y los ojos

Hay que destacar que el equilibrio implica **distintas modalidades sensoriales** y se apoya en **reflejos vestibulares**.

1. Estabilidad de la marcha y la postura
La función primordial del sistema vestibular es:
👉 **evitar que nos caigamos**.

Detecta continuamente:
- Cambios de posición de la cabeza
- Aceleraciones
- Desplazamientos del cuerpo

Y ajusta de forma automática:
- El tono muscular
- La postura
- La distribución del peso

👉 Todo esto ocurre **sin intervención consciente**.

2. Orientación espacial
El sistema vestibular nos informa de:
- Dónde está la cabeza respecto a la gravedad
- Si nos estamos moviendo o no
- En qué dirección y con qué aceleración

Gracias a esto:
- Sabemos si estamos de pie, inclinados o tumbados
- Podemos orientarnos incluso con los ojos cerrados

👉 Es un sistema de referencia **interno**, independiente de la visión.

3. Estabilidad del campo visual
Uno de los aspectos más importantes —y menos evidentes— es este:
👉 mantener la imagen estable en la retina mientras movemos la cabeza.

Esto se consigue mediante:
- La coordinación entre sistema vestibular y músculos oculares
- El **reflejo vestíbulo-ocular**

Gracias a él:
- Podemos leer o fijar la mirada mientras caminamos
- El mundo no “salta” ni se vuelve borroso al movernos

4. Modalidades sensoriales implicadas

El equilibrio no depende solo del oído interno:

- Sistema vestibular
- Propiocepción
- Visión

El encéfalo integra todas estas señales para:

- Ajustar la postura
- Corregir movimientos
- Mantener la estabilidad

Cuando esta integración falla:

- Aparecen mareo, vértigo e inestabilidad

5. Reflejos vestibulares

Los reflejos vestibulares:

- Son rápidos
- Automáticos
- Vitales para la vida diaria

👉 No buscan percepción consciente, sino: **eficacia funcional inmediata**.

👉 **Idea clave**

El sentido del equilibrio no está diseñado para "sentirse", sino para **funcionar**.

Su éxito se mide por:

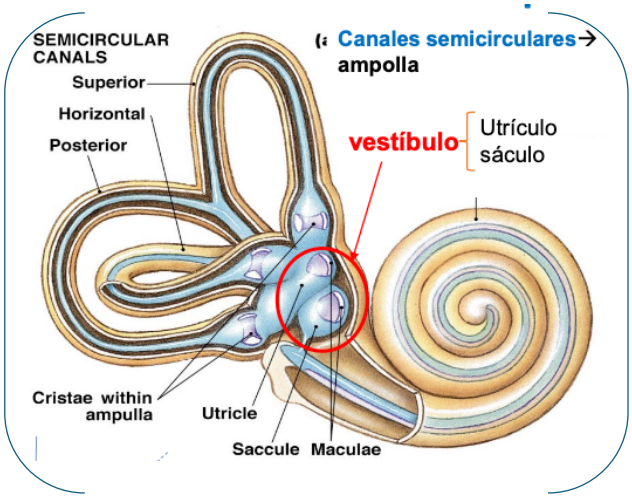
- La estabilidad
- La orientación
- La coordinación visual y postural

Cuando funciona bien, **pasa desapercibido**; cuando falla, domina toda la experiencia corporal.

⇒ APARATO VESTIBULAR: ÓRGANOS SENSORIALES

Ahora vamos a pasar a los **componentes anatómicos y funcionales del aparato vestibular**, destacando:

- **Canales semicirculares**
  - Con sus **ampollas**
  - Órgano sensorial: **cresta ampular**
- **Vestíbulo**:
  - **Utrículo**
  - **Sáculo**
  - Órgano sensorial: **mácula**
- Presencia de:
  - **Células ciliadas**
  - **Células de sostén**
  - **Otolitos**
- Inervación por la **rama vestibular del nervio vestibulococlear**



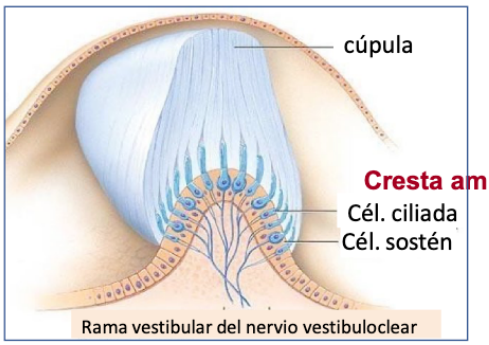
Se especifica la función de cada estructura:

- Canales semicirculares → **movimientos de rotación**
- Utrículo y sáculo → **aceleración lineal y gravedad**

→ Entramos ya en la **fisiología concreta del equilibrio**, explicando **qué detecta cada parte del sistema vestibular**.

1. Canales semicirculares

Son tres, dispuestos en planos casi perpendiculares entre sí.



Detectan:

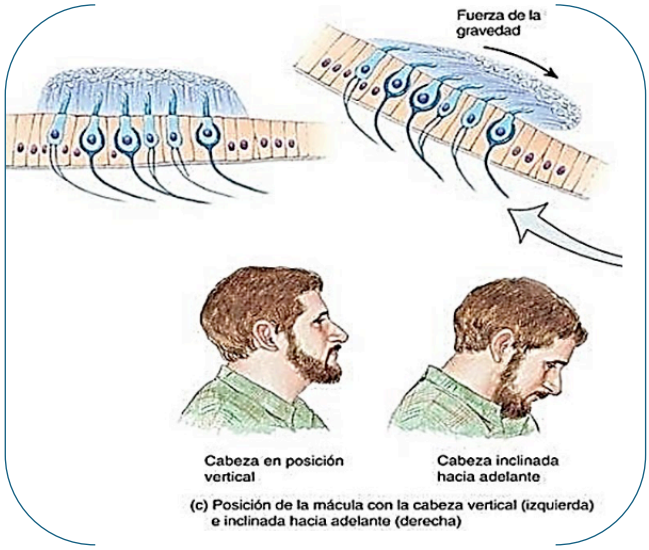
- **Aceleraciones angulares**
- Movimientos de **rotación de la cabeza**

Cada canal termina en una **ampolla**, donde se encuentra:

- La **cresta ampular**
- Con células ciliadas cubiertas por la **cúpula**

Cuando la cabeza gira:

- La endolinfa se desplaza
- Deforma la cúpula
- Dobla los estereocilios
- Se genera la señal nerviosa



👉 Son sensores de **movimiento**, no de posición estática.

2. Vestíbulo: utrículo y sáculo

El vestíbulo detecta **aceleraciones lineales** y la posición respecto a la gravedad.

- **Utrículo**
  - Más sensible a movimientos **horizontales**
  - Relacionado con desplazamientos hacia delante y atrás
- **Sáculo**
  - Más sensible a movimientos **verticales**
  - Relacionado con subir y bajar (gravedad)

Ambos contienen:

- **Máculas**
- Con células ciliadas cubiertas por una membrana gelatinosa
- Sobre la que se sitúan los **otolitos** (cristales de carbonato cálcico)

3. Papel de los otolitos

Los **otolitos**:

- Añaden peso a la membrana
- Permiten detectar:
  - Inclinación de la cabeza
  - Aceleración lineal

Gracias a ellos:

- El sistema vestibular puede "sentir" la gravedad

4. Células ciliadas vestibulares

Son similares a las del oído interno auditivo:

- Transductores mecano-eléctricos
- No generan potenciales de acción
- Liberan neurotransmisor en función del desplazamiento ciliar

👉 De nuevo: la **endolinfa rica en K^+** es clave para la despolarización.

5. Integración funcional

Cada parte del aparato vestibular aporta una pieza distinta:

- Canales semicirculares → rotación
- Utrículo y sáculo → traslación y gravedad

El encéfalo integra todo para:

- Mantener el equilibrio
- Coordinar postura y mirada
- Ajustar el movimiento

👉 **Idea clave**

El sistema vestibular no mide "equilibrio" en abstracto:

- Mide **movimiento** y **posición**
- En distintas direcciones y planos

→ Es un sistema de sensores altamente especializados, diseñado para **informar en tiempo real** sobre la situación de la cabeza en el espacio.

⇒ **INTEGRACIÓN CENTRAL DEL SISTEMA VESTIBULAR**

Veamos los **principales centros de integración** y las **vías de proyección** de la información vestibular:

- **Primer centro de integración**:

Núcleos vestibulares (tronco del encéfalo)

- Proyecciones hacia:
  - **Cerebelo** → ajustes posturales
  - **Corteza motora** → control motor
  - **Corteza somatosensorial** → percepción consciente
  - **Médula espinal** → reflejo vestíbulo-espinal
  - **Núcleos oculomotores** → reflejo vestíbulo-ocular
  - **Tálamo** → relevo hacia la corteza

Todo esto explica **por qué el equilibrio es un sistema global**, que afecta a postura, mirada y movimiento de forma coordinada.

1. Núcleos vestibulares: centro clave

Los **núcleos vestibulares**, situados en el tronco del encéfalo, son el **primer gran centro de integración**:

- Reciben información directa del aparato vestibular
- Integran señales de:
  - Ambos oídos
  - Propiocepción
  - Visión

Desde aquí se distribuye la información a múltiples destinos.

👉 No es un simple relevo, es un **centro de control**.

2. Proyección al cerebelo

La conexión con el **cerebelo** permite:

- Ajustes finos del tono muscular
- Corrección de errores posturales
- Coordinación precisa del movimiento

👉 El cerebelo no inicia movimientos, pero los **perfecciona**.

3. Proyección a la médula espinal
A través de las **vías vestíbulo-espinales**:
- Se ajusta el tono de los músculos antigravitatorios
- Se mantiene la postura erguida

Es un control:
- Rápido
- Automático
- Inconsciente

4. Núcleos oculomotores: reflejo vestíbulo-ocular
Esta conexión es esencial para:
- Mantener estable la imagen en la retina
- Coordinar movimientos de cabeza y ojos

Cuando movemos la cabeza:
- Los ojos se mueven en sentido contrario
- La imagen no se desplaza

👉 Este reflejo es uno de los **más rápidos y precisos** del sistema nervioso.

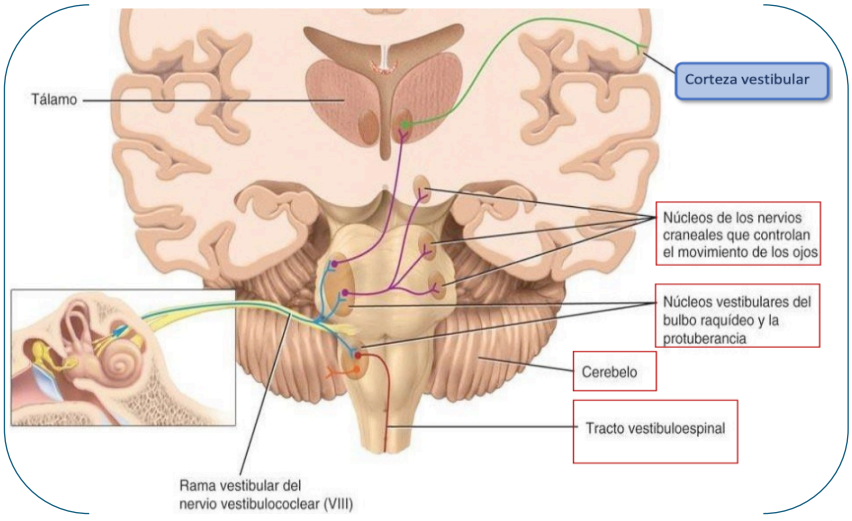
5. Proyección cortical y percepción consciente
Aunque el equilibrio es sobre todo automático:
- Parte de la información llega a la **corteza somatosensorial**
- A través del **tálamo**

Esto permite:
- Sensación consciente de movimiento
- Percepción de mareo o vértigo cuando algo falla

👉 **Idea clave**
El sistema vestibular:
- Actúa principalmente a nivel inconsciente
- Pero influye en todo el organismo
- Coordina postura, mirada y movimiento

⇒ CORTEZA VESTIBULAR

Es importante no olvidar la existencia de una **corteza vestibular**, es decir, áreas corticales donde la información del equilibrio **alcanza el nivel consciente**.



Y por su importancia nos vamos a apoyar en esta imagen que aclara un punto que suele generar confusión:

👉 aunque el equilibrio es sobre todo automático, **sí existe percepción cortical vestibular**.

1. Existencia de una corteza vestibular

A diferencia de la visión o la audición:

- No hay una "corteza vestibular" única y bien delimitada
- La información vestibular se distribuye en **varias áreas corticales**

Principalmente en:

- Corteza parietal
- Corteza insular
- Áreas somatosensoriales de asociación

Esto refleja la naturaleza **integradora** del equilibrio.

2. ¿Qué se percibe conscientemente?

La corteza vestibular no se dedica a:

- "Ver" el equilibrio
- "Oír" el movimiento

Permite percibir:

- Sensación de movimiento
- Cambios de orientación
- Aceleración
- Inclinación del cuerpo

Normalmente:

- Esta percepción pasa desapercibida
- Solo se hace evidente cuando hay conflicto sensorial

3. Relación con mareo y vértigo

Cuando la información vestibular:

- No coincide con la visual
- O no coincide con la propioceptiva

La corteza recibe señales contradictorias y aparece:

- Mareo
- Vértigo
- Sensación de inestabilidad

Esto explica:

- El mareo en barcos
- El mareo en vehículos
- El vértigo vestibular patológico

4. Integración multisensorial

La corteza vestibular:

- No funciona aislada
- Integra información de:
    - Sistema vestibular
    - Visión
    - Propiocepción

👉 El equilibrio consciente es siempre una **construcción multisensorial**.

5. Importancia funcional

Aunque secundaria frente al control reflejo:

- La corteza vestibular permite
    - Ajustes voluntarios
    - Conciencia del movimiento
    - Aprendizaje postural

Sin ella:

- El equilibrio automático seguiría funcionando
- Pero la experiencia consciente sería pobre o confusa

👉 **Idea clave**

El sistema vestibular:

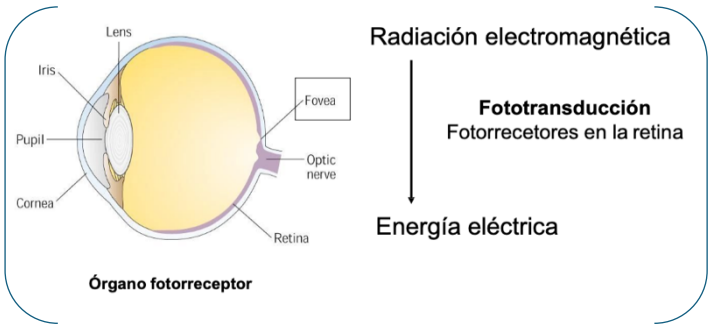
- Está orientado a la acción automática
- Pero también tiene representación cortical

→ La **corteza vestibular** no "mantiene el equilibrio", **nos hace conscientes de él**, especialmente cuando algo falla.

⇒ SISTEMA VISUAL: FUNCIÓN GENERAL

Comenzamos con una **visión global del sistema visual**, indicando sus funciones y elementos clave:

- **Detección y respuesta a la luz**
- **Formación de imágenes**
- Estímulo: **radiación electromagnética**
- **Fototransducción**
- **Fotorreceptores en la retina**
- Conversión de la energía luminosa en **energía eléctrica**
- El ojo como **órgano fotorreceptor**



1. Naturaleza del estímulo visual

La visión detecta:

- **Radiación electromagnética**
- En el rango visible del espectro

A diferencia del sonido o del tacto:

- No hay contacto mecánico
- No hay medio material deformado
- La información viaja a gran velocidad

👉 El sistema visual está diseñado para captar, enfocar y analizar luz.

2. Funciones del sistema visual

El sistema visual cumple dos funciones principales:

- **Detección de luz**
  → permite orientarse, regular ritmos biológicos, detectar cambios ambientales.
- **Formación de imágenes**
  → permite reconocer formas, colores, movimientos y profundidad.

👉 La visión no es solo "ver luz", sino **interpretar patrones complejos**.

3. El ojo como órgano fotorreceptor

El ojo:

- No "ve" por sí mismo
- Actúa como:
  - Sistema óptico
  - Sistema de enfoque
  - Sistema de captación de la señal

👉 La verdadera transducción ocurre en la **retina**, no en el cristalino ni en la córnea.

4. Fototransducción

La **fototransducción** es el proceso por el cual:

- La energía luminosa
- Se transforma en cambios eléctricos en los fotorreceptores

Este proceso:

- Es químico y eléctrico
- Altamente amplificado
- Extremadamente sensible (en algunos casos, a pocos fotones)

5. Conversión de energía

Es importante señalar un principio general de la fisiología sensorial:

👉 todos los sentidos convierten energía específica en **señales eléctricas**.

En la visión:

- Energía electromagnética → señal eléctrica
- A través de reacciones bioquímicas complejas

👉 **Idea clave**

El sistema visual es un sistema sensorial:

- Especializado en captar luz
- Capaz de formar imágenes
- Con una enorme capacidad de procesamiento central

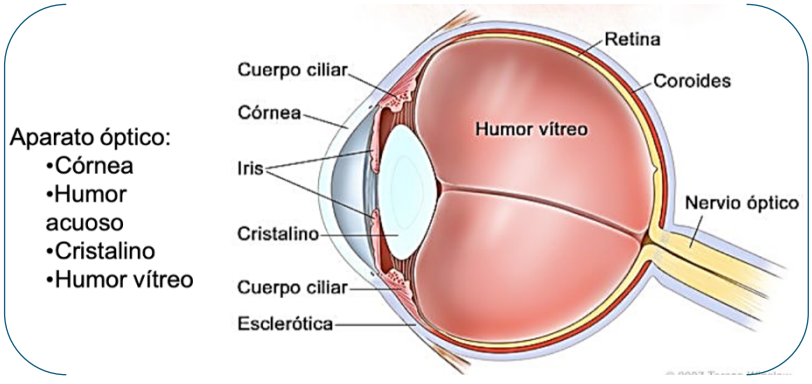
Esta diapositiva establece el **marco general** del bloque visual, sobre el que se apoyarán:

- La óptica del ojo
- La retina
- Los fotorreceptores
- Las vías visuales
- La corteza visual

⇒ COMPONENTES FUNCIONALES DEL OJO: APARATO ÓPTICO

Pasamos a detallar la **óptica del ojo**, es decir, cómo el ojo prepara la luz **antes** de que ocurra la transducción sensorial e identificar los **componentes del aparato óptico del ojo**, responsables de **conducir y enfocar la luz** hasta la retina:

- **Córnea**
- **Humor acuoso**
- **Cristalino**
- **Humor vítreo**



1. El aparato óptico: función general

El aparato óptico del ojo tiene una misión clara: **dirigir y enfocar los rayos de luz sobre la retina**, de forma precisa.

El ojo funciona, en términos clásicos, como:

- Un sistema de lentes
- Con superficies refringentes
- Ajustables a distintas distancias

2. Córnea

La **córnea**:

- Es la principal superficie refractiva del ojo
- Aporta la **mayor parte del poder dióptrico**
- Es transparente y curva

Función:

- Desviar los rayos luminosos
- Iniciar el enfoque de la imagen

👉 Cualquier alteración corneal afecta gravemente a la visión.

3. Humor acuoso

El **humor acuoso**:

- Es un líquido transparente
- Situado entre córnea y cristalino

Funciones:

- Contribuir a la refracción
- Nutrir estructuras avasculares (córnea y cristalino)
- Mantener la presión intraocular

👉 No es un elemento pasivo: su equilibrio es esencial para la visión normal.

4. Cristalino

El **cristalino**:

- Es una lente biconvexa
- Flexible
- Ajustable

Función principal:

- **Acomodación**
- Permite enfocar objetos a distintas distancias

Su elasticidad es clave:

- Con la edad, disminuye
- Aparece la presbicia

5. Humor vítreo

El **humor vítreo**:

- Es un gel transparente
- Ocupa la mayor parte del globo ocular

Funciones:

- Mantener la forma del ojo
- Permitir el paso de la luz
- Mantener la retina aplicada

6. Relación con la retina

Todos estos elementos:

- No detectan la luz
- No transducen energía

Su función es **preparar la imagen** para que la retina pueda analizarla con la máxima precisión posible.

👉 **Idea clave**

El ojo ve bien no solo por la retina, sino porque el **aparato óptico enfoca correctamente la luz**.
La calidad de la imagen retinal depende de:

- Transparencia
- Curvatura
- Acomodación
- Alineación de todos estos elementos

⇒ FORMACIÓN DE LA IMAGEN EN LA RETINA Y CONTROL DE LA ENTRADA DE LUZ

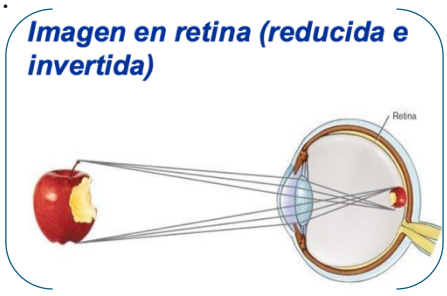
Existen tres aspectos fundamentales del sistema visual:

- **Imagen en la retina**:
  - Reducida
  - Invertida
- **Regulación de la entrada de luz por el iris**:
  - **Miosis** → contracción pupilar
  - **Midriasis** → dilatación pupilar
- **Acomodación del cristalino**:
  - Mediadas por las **fibras de la zónula**

1. Imagen retiniana: reducida e invertida

El sistema óptico del ojo forma en la retina una imagen que es:

- **Más pequeña** que el objeto real
- **Invertida** (arriba–abajo y derecha–izquierda)



Esto no supone ningún problema funcional porque:

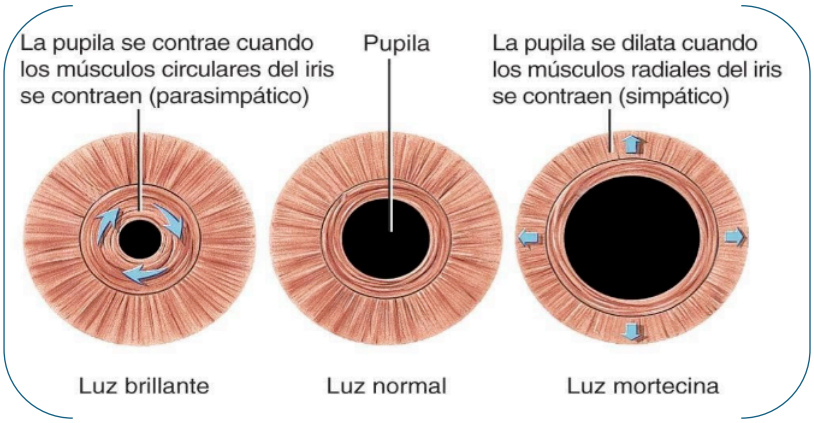
- El sistema nervioso central **reinterpreta automáticamente** la imagen
- La percepción final es coherente y estable

👉 Es un ejemplo claro de que **no vemos con el ojo, sino con el cerebro**.

2. Regulación de la luz: iris y pupila

El **iris** actúa como un diafragma que regula cuánta luz entra en el ojo.

- **Miosis**:
  - Contracción de la pupila
  - Ocurre con luz intensa
  - Protege la retina
  - Aumenta la profundidad de campo
- **Midriasis**:
  - Dilatación de la pupila
  - Ocurre con poca luz
  - Permite captar más fotones

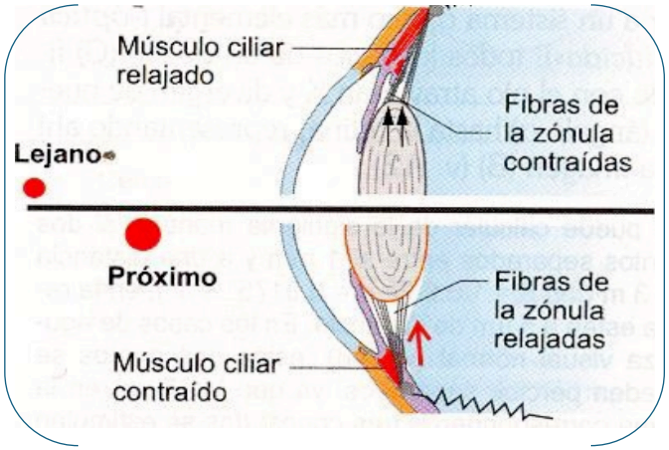


Este control es:

- Automático
- Rápido
- Regulador de la sensibilidad visual

3. Acomodación del cristalino

La **acomodación** permite enfocar objetos a distintas distancias.



Mecanismo básico:

- El cristalino cambia su curvatura
- Lo hace gracias a las **fibras de la zónula**
- Controlado por el músculo ciliar
- Para objetos cercanos:
  - El cristalino se vuelve más convexo
- Para objetos lejanos:
  - Se aplana

👉 Este mecanismo es esencial para la visión próxima.

4. Integración funcional

Estos tres procesos trabajan conjuntamente:

- Enfoque correcto
- Cantidad adecuada de luz
- Imagen proyectada con nitidez sobre la retina

👉 Cualquier fallo en uno de ellos degrada la calidad visual, aunque la retina esté sana.

👉 **Idea clave**

El ojo no es una cámara pasiva:

- Ajusta la entrada de luz
- Ajusta el enfoque
- Forma una imagen adecuada para la retina

La retina recibe **una imagen ya procesada ópticamente**, lista para ser analizada por los fotorreceptores.

⇒ ORGANIZACIÓN DE LA RETINA

Pasamos a ver la **estructura en capas de la retina**, destacando su organización neuronal.

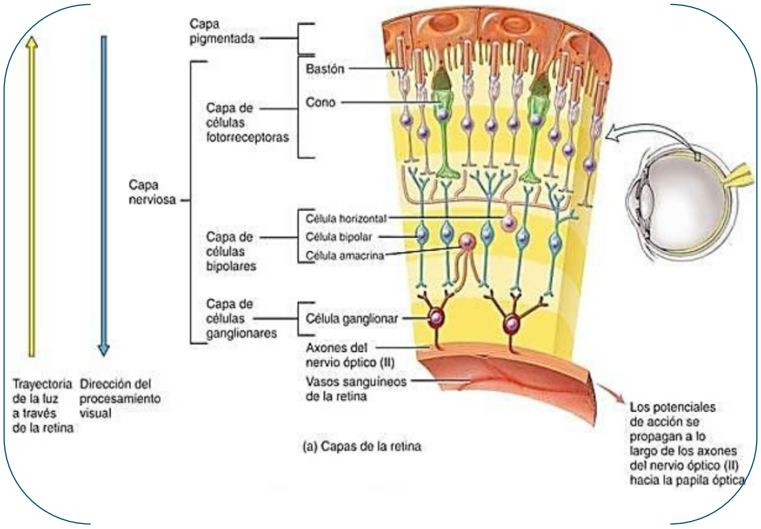
La retina **no es una simple "pantalla"**, sino una **estructura nerviosa compleja**, parte del sistema nervioso central.

→ Organización básica

La retina está organizada en **capas sucesivas** de neuronas:

- **Fotorreceptores** (bastones y conos)
- **Células bipolares**
- **Células ganglionares**
- **Células moduladoras**:
  - Horizontales
  - **Amacrinas** (las que permiten una modulación fina y compleja de las señales visuales antes de que lleguen al nervio óptico.

👉 La información visual **no viaja directamente del fotorreceptor al cerebro**, sino que es **procesada dentro de la retina**.



👉 **Idea clave:** La retina **analiza y transforma la imagen** antes de enviarla al encéfalo.
Ya aquí se procesa contraste, intensidad y organización espacial.

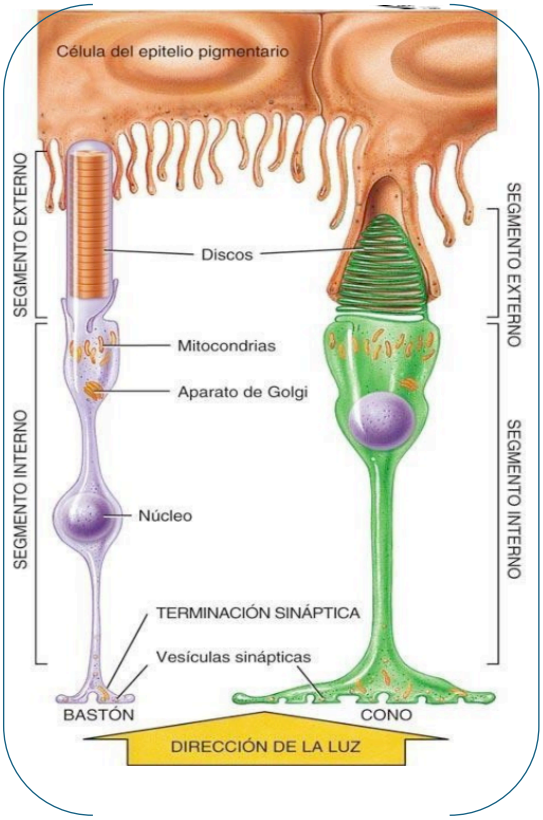
⇒ TIPOS CELULARES DE LA RETINA: BASTONES Y CONOS

Veamos los **tipos de neuronas retinianas**, con especial atención a los **fotorreceptores**:

- **Conos**
- **Bastones**

Y su conexión con:

- Células bipolares
- Células ganglionares
- Nervio óptico



Conos

- Menos sensibles a la luz (100 fotones)
- Visión **diurna**
- Alta resolución espacial
- Visión en **color**
- Concentrados en la **fóvea**
- Muy poca convergencia:
  - 1 cono → 1 bipolar → 1 ganglionar

👉 Máxima precisión visual.

Bastones

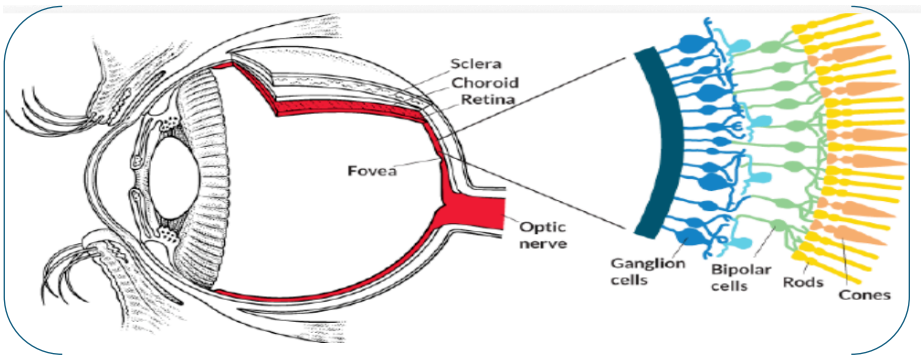
- Extremadamente sensibles (hasta 1 fotón)
- Visión **nocturna**
- Sin percepción de color
- Baja resolución espacial
- Situados en la **periferia**
- Mucha convergencia neuronal

👉 Máxima sensibilidad, poca nitidez.

La retina combina:

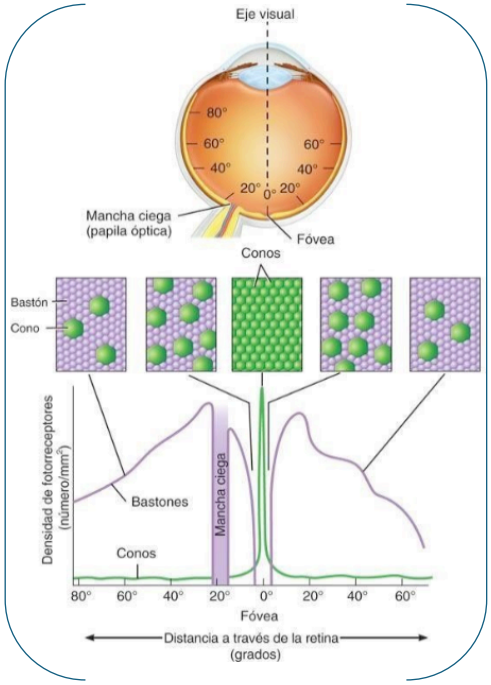
- **Conos** → precisión y color
- **Bastones** → sensibilidad en baja luz

No hacen lo mismo ni sirven para lo mismo.



⇒ DISTRIBUCIÓN DE BASTONES Y CONOS EN LA RETINA

Distribución espacial de bastones y conos sobre la retina:



→ La distribución **no es uniforme**:

- **Fóvea**:
  - Solo conos
  - Máxima agudeza visual
  - Visión en color
  - Zona de lectura y fijación
- **Periferia retiniana**:
  - Predominan bastones
  - Alta sensibilidad a la luz
  - Detección de movimiento

Esto explica por qué:

- Leemos con el centro de la visión
- Percibimos movimientos con la periferia
- De noche vemos mejor "de reojo"

👉 Y es que la retina está **funcionalmente especializada por zonas**, no diseñada de forma homogénea.

⇒ CONVERGENCIA NEURONAL EN LA RETINA

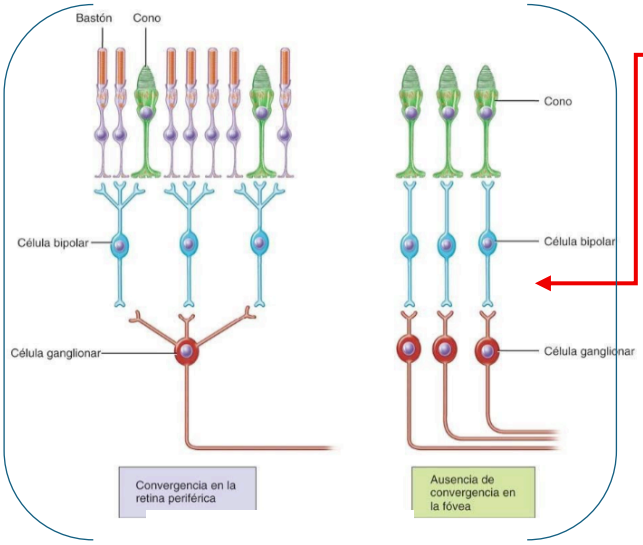


Ilustración de la **convergencia de fotorreceptores sobre neuronas ganglionares**.

La **convergencia** es un principio clave del procesamiento visual:

- **Alta convergencia**:
  - Muchos fotorreceptores → una neurona ganglionar
  - Mayor sensibilidad
  - Menor resolución espacial
  - Típico de bastones
- **Baja convergencia**:
  - Relación casi 1:1
  - Menor sensibilidad
  - Máxima precisión
  - Típico de conos (fóvea)

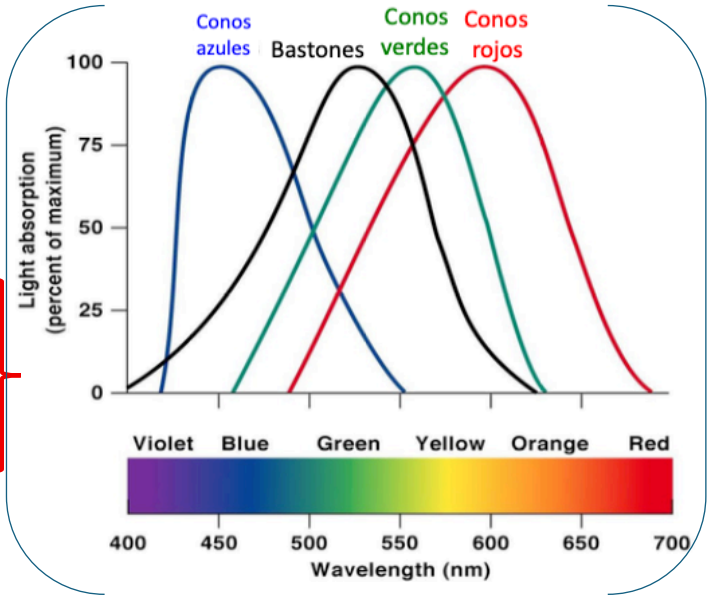
→ Esto es un compromiso clásico:
👉 **sensibilidad vs precisión**.

→ La retina sacrifica resolución en unas zonas para ganar sensibilidad, y al revés en otras.
→ Es un diseño funcional, no un defecto.

⇒ FOTOPIGMENTOS DE LOS FOTORRECEPTORES

Los fotorreceptores contienen un **fotopigmento** sensible a la luz (**fotopsinas**):

- **Bastones → rodopsina**
- **Conos → fotopsinas** específicas para:
  - Azul
  - Verde
  - Rojo



◈ Esta es la representación de la distribución correspondiente a los distintos tipos de conos e introduce la **base molecular de la visión**, especialmente de la visión en color.

1. Fotopigmentos

Los **fotopigmentos** son moléculas:

- Sensibles a la luz
- Situadas en los discos membranosos de los fotorreceptores
- Capaces de iniciar la fototransducción

Todos están formados por:

- Una proteína (opsina)
- Un cromóforo (retinal)

2. Rodopsina (bastones)

- Presente exclusivamente en los **bastones**
- Muy sensible a la luz
- Permite visión nocturna o escotópica
- No distingue colores

Es responsable de:

👉 la visión en condiciones de muy baja iluminación.

3. Fotopsinas (conos)

Los **conos** poseen tres tipos de fotopsinas:

- Sensibles a longitudes de onda **cortas** (azul)
- **Medias** (verde)
- **Largas** (rojo)

El color no se percibe por un solo cono:

👉 se percibe por la **comparación de la actividad relativa** entre ellos.

4. Importancia funcional

Gracias a esta organización:

- Podemos distinguir millones de colores
- La visión cromática es precisa
- Se integra con la alta resolución espacial de la fóvea

Si existen alteraciones en estos pigmentos producen:

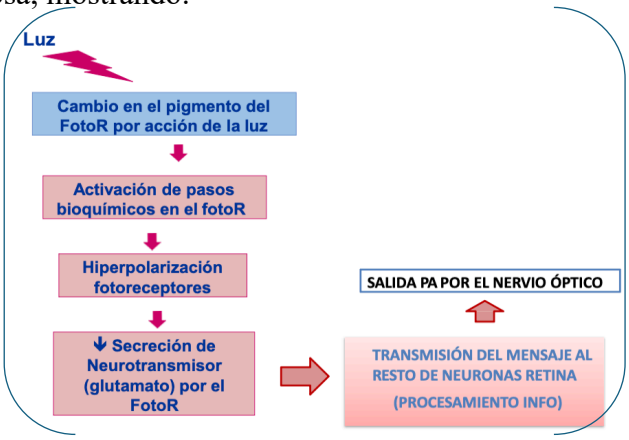
- Daltonismo
- Discromatopsias

👉 **Idea clave:** La visión en color es un fenómeno **comparativo y central**, basado en la existencia de **tres tipos de conos**, no en un "color por receptor".

⇒ FOTOTRANSDUCCIÓN

Aquí se esquematiza el proceso de **fototransducción** y describe perfectamente **el proceso central de la visión**: cómo la luz se convierte en señal nerviosa, mostrando:

- Entrada de luz
- Cambios bioquímicos en el fotorreceptor
- **Hiperpolarización** del fotorreceptor
- Disminución de la liberación de **glutamato**
- Transmisión de la señal al resto de neuronas de la retina
- Salida de potenciales de acción por el **nervio óptico**



1. Situación en oscuridad

En ausencia de luz:

- Los fotorreceptores están **despolarizados**
- Liberan glutamato de forma continua

👉 Esto es contrario a lo habitual en neuronas.

2. Acción de la luz

Cuando la luz incide sobre el fotopigmento:

- Se activa una cascada bioquímica
- Se cierran canales de Na^+
- El fotorreceptor se **hiperpolariza**
- Disminuye la liberación de glutamato

👉 La luz **reduce** la actividad del fotorreceptor.

3. Transmisión de la información

La señal se transmite a:

- Células bipolares
- Células ganglionares

👉 Las **células ganglionares** son las primeras que:

- Generan potenciales de acción
- Envían la señal por el nervio óptico

4. Significado funcional

La fototransducción permite:

- Amplificación de la señal luminosa
- Detección de pocos fotones
- Codificación precisa de la intensidad luminosa

👉 **Idea clave:** En visión, la luz **hiperpolariza** los receptores. Es un diseño inverso, pero extremadamente eficaz.

⇒ VÍA VISUAL

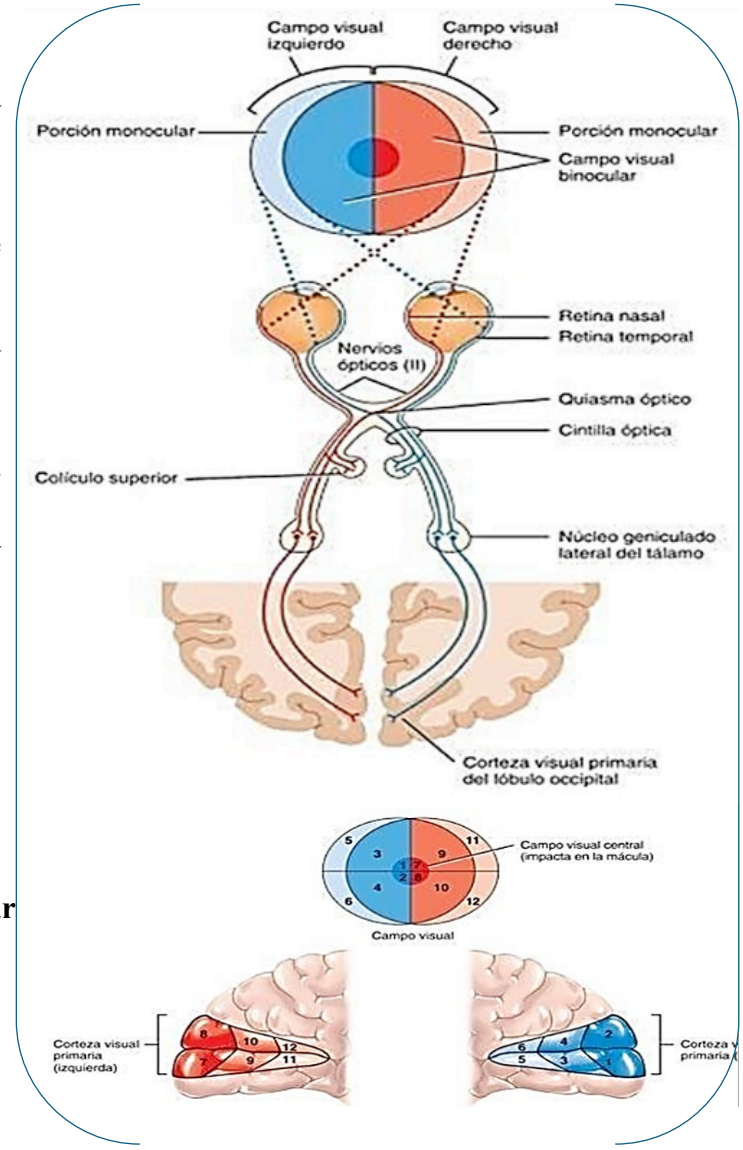
Se describe la **vía visual** desde la retina hasta el encéfalo, destacando:

- Proyección a áreas visuales
- Cruce parcial de fibras
- Existencia de una **vía extrageniculada**
- Funciones no directamente visuales

🔹 La imagen siguiente explica que **no toda la información visual se usa para "ver"**.

1. Vía visual principal

- La vía visual clásica:
  - Retina → nervio óptico → quiasma óptico
  - Tálamo (cuerpo geniculado lateral)
  - Corteza visual
- Cada hemisferio recibe información de:
  - Ambos ojos
  - Un solo campo visual (izquierdo y derecho)



2. Vía extrageniculada (no para la percepción visual)

Parte de la información visual se desvía hacia otros núcleos:

- **Colículo superior**
  → coordinación visomotora
- **Pretectum**
  → reflejo pupilar a la luz
- **Sistema óptico accesorio**
  → reflejos optocinéticos
- **Núcleo supraquiasmático**
  → ritmos circadianos
- **Núcleos supraóptico y paraventricular**
  → regulación neuroendocrina

3. Importancia funcional

Esto demuestra que:

- La visión regula reflejos
- Ajusta ritmos biológicos
- Influye en hormonas
- Coordina movimiento

No todo es percepción consciente.

👉 **Idea clave:** La visión es también un sistema de **regulación automática del organismo**, no solo un sentido perceptivo.

⇒ <u>CORTEZA VISUAL</u>

La **corteza visual** es el destino final de la información visual y **dónde se hace consciente la visión**.

1. Corteza visual primaria

La corteza visual:

- Se localiza en el lóbulo occipital
- Recibe información organizada topográficamente
- Mantiene la representación espacial del campo visual

Aquí se analizan:

- Contornos
- Orientación
- Contraste
- Movimiento básico

2. Áreas visuales secundarias

Desde la corteza primaria:

- La información se distribuye a áreas superiores
- Se analizan:
  - Forma
  - Color
  - Movimiento
  - Profundidad
  - Reconocimiento de objetos y rostros

◈ La percepción visual es **distribuida**, no localizada en un solo punto.

3. De esta manera culmina el proceso:

- Luz → retina → vías → corteza
- Energía física → percepción consciente

👉 **Idea clave final:** La visión no está en el ojo: **está en la corteza cerebral**.

◈ **El ojo capta, la retina procesa, el cerebro interpreta.**

⇒ **Y este video sirve para completar el tema:**

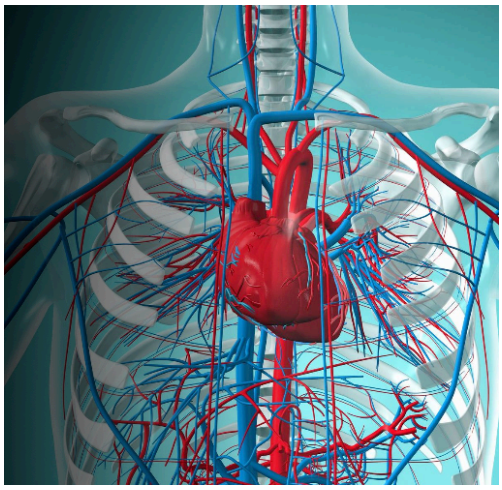
https://www.youtube.com/watch?v=pgKJzUBxX9s

TEMA 5: SISTEMA CARDIOVASCULAR I

→ EXPLICACIÓN DESARROLLADA DEL TEMA

👉 Este tema define **el sistema fisiológico más integrador del organismo**, porque está **en relación con todos los demás**.

El **sistema cardiovascular** no "hace cosas por sí mismo": **permite que todos los demás sistemas puedan funcionar**.



Si lo resumiéramos a una idea central clásica y clara podríamos decir que: e**l sistema cardiovascular es un sistema de transporte forzado, continuo y regulado**, que mantiene la persistencia del medio interno.

Aquí es importante pararse para ver tres ideas fundamentales que deben quedar muy estables desde el inicio.

1. Es un sistema, no un órgano

No estamos estudiando:

- solo el corazón
- solo la sangre
- solo los vasos

Sino un **sistema funcional integrado**, compuesto por:

- **Bomba** → corazón
- **Conductos** → arterias, capilares y venas
- **Fluido** → sangre

👉 Si falla uno de los tres, **el sistema entero colapsa**.

2. Un sistema cerrado y circulatorio

A diferencia de otros sistemas:

- el digestivo (abierto al exterior),
- el respiratorio (intercambio con el aire),

el cardiovascular es:

- **cerrado** (la sangre no sale de los vasos),
- **circular** (no termina en un punto, vuelve siempre al corazón).

👉 Esto tiene consecuencias fisiológicas muy importantes:

- la sangre se reutiliza continuamente,
- la presión es esencial,
- el gradiente de presión (**diferencia de presión entre dos puntos)** es el motor real del flujo.

3. Función global: mantener la vida celular

Desde el punto de vista fisiológico **más clásico y honesto**, el sistema cardiovascular existe para que **cada célula del organismo**:

- reciba oxígeno,
- reciba nutrientes,
- elimine desechos,
- reciba señales químicas (hormonas),
- esté protegida frente a agresiones.

👉 Es decir, el Sistema Cardiovascular no trabaja "para el corazón", trabaja **para los tejidos**.

4. Importancia del enfoque fisiológico

En este tema no vamos a aprender:

- anatomía descriptiva sin sentido,
- ni listas de nombres.

Vamos a preguntarnos siempre:

- **por qué la sangre circula así y no de otra forma**,
- **por qué unas zonas reciben más flujo que otras**,
- **cómo se regula el gasto cardíaco**,
- **cómo se mantiene la presión**,
- **cómo se adapta el sistema al reposo y al ejercicio**.

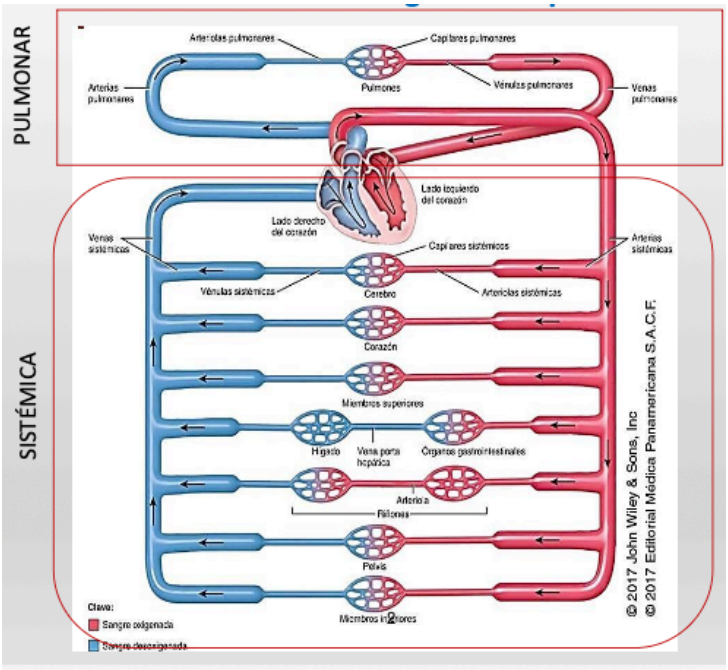
Porque en general, eso es **fisiología**, no memorística.

Así que, tengamos claro que es de suma importancia quedarse con esto:

- **El sistema cardiovascular es el gran sistema integrador del organismo, sin él, ningún otro sistema puede sostenerse en el tiempo.**

⇒ **<u>ORGANIZACIÓN DE LA CIRCULACIÓN Y FUNCIONES DEL SISTEMA CARDIOVASCULAR</u>**

- **Funciones del sistema cardiovascular**:
  - **Transporte**
    - O_2 / CO_2
    - Nutrientes
    - Desechos metabólicos
  - **Regulación**
    - Hormonas ej.: **Factor Natriurético Auricular** (hormona liberada por las aurículas del corazón en respuesta al aumento de la presión arterial y el estiramiento de sus paredes, con el fin de reducir el volumen sanguíneo y la presión
    - Temperatura
  - **Defensa**
    - Coagulación
    - Inmunidad
    - Distinción visual entre: **Circulación pulmonar** y **Circulación sistémica**



1. LA CIRCULACIÓN SISTÉMICA SE ORGANIZA EN PARALELO

Esto es fundamental y no es casual.

- **¿Qué significa "en paralelo"?**

Significa que:

- Todos los órganos reciben sangre **al mismo tiempo**
- Cada órgano está conectado a la aorta de forma **independiente**
- El flujo hacia un órgano **no tiene que pasar por otro antes**

Es decir:

- Riñón, cerebro, hígado, músculo, piel…etc.

→ todos reciben sangre directamente desde la circulación arterial principal.

🔹 Por qué NO es en serie

Si la circulación sistémica fuese en serie:

- La sangre pasaría primero por un órgano, luego por otro, luego…
- El último recibiría sangre pobre en O_2 y nutrientes
- Sería inviable para tejidos muy sensibles (cerebro, corazón)

👉 **La organización en paralelo garantiza que todos los tejidos reciban sangre "fresca".**

2. CIRCULACIÓN PULMONAR "*versus*" CIRCULACIÓN SISTÉMICA

Aunque están conectadas, cumplen funciones distintas:

- **Circulación pulmonar**
  - Intercambio gaseoso
  - Oxigenar la sangre
  - Eliminar CO_2
- **Circulación sistémica**
  - Distribuir la sangre oxigenada a los tejidos
  - Recoger desechos
  - Mantener el medio interno

Ambas funcionan en **serie entre sí**:

- Corazón → pulmones → corazón → tejidos → corazón

🔹 Pero **dentro de la sistémica**, los órganos están en **paralelo**.

3. FUNCIÓN DE TRANSPORTE

Es la función más evidente, pero conviene concretarla:

🔹 Oxígeno y dióxido de carbono

- El O_2 se transporta principalmente unido a la **hemoglobina**
- El CO_2 se transporta:
  - disuelto,
  - como bicarbonato,
  - unido a proteínas

👉 Sin transporte eficaz el metabolismo celular es imposible.

🔹 Nutrientes

- Glucosa
- Aminoácidos
- Lípidos
- Iones

La sangre conecta:

- aparato digestivo,
- hígado,
- tejidos periféricos.

🔹 Desechos metabólicos

- Urea
- Creatinina
- Ácido úrico
- CO_2

El sistema cardiovascular enlaza tejidos con:

- riñón,
- pulmones,
- hígado.

4. FUNCIÓN DE REGULACIÓN

Aquí la fisiología se vuelve más fina.

Hormonas

El sistema cardiovascular:

- no produce la mayoría de las hormonas,
- pero **las distribuye** y **modula su llegada** a los órganos.

Ejemplo clave citado:

- **Factor Natriurético Auricular (ANP)**
  Es una hormona potente que el corazón segrega para ayudar a regular la presión arterial y el equilibrio de líquidos en el cuerpo. Antes se veía el corazón solo como una "bomba", pero el descubrimiento de esta hormona reveló que el corazón también funciona como un **órgano endocrino**.
  De modo que, esta hormona cardíaca regula:
  - volumen sanguíneo,
  - presión arterial,
  - equilibrio de sodio.

Regulación de la temperatura

La sangre:

- transporta calor
- redistribuye energía térmica

Ejemplos:

- Vasodilatación cutánea → pérdida de calor
- Vasoconstricción → conservación de calor

👉 Sin sistema cardiovascular no hay termorregulación eficaz.

5. FUNCIÓN DE DEFENSA

Coagulación

- Plaquetas
- Factores plasmáticos
- Reparación rápida de lesiones vasculares

Evita:

- pérdidas de sangre incompatibles con la vida.

Inmunidad

- Transporte de leucocitos
- Distribución de anticuerpos
- Movilización rápida ante infección

La sangre es el **medio que tenemos para desplegar el sistema inmune**.

Idea clave

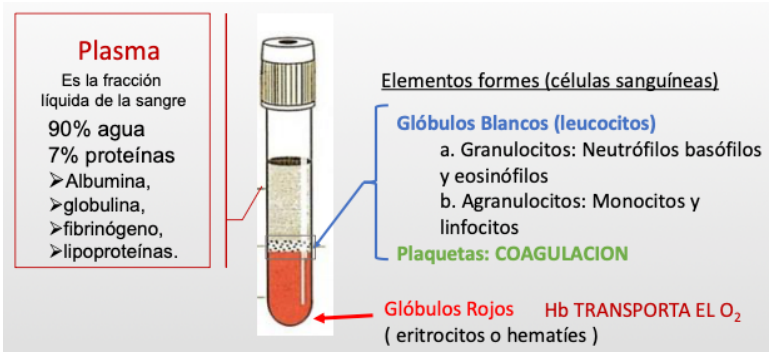
La circulación sistémica está organizada en paralelo para asegurar un suministro simultáneo, regulable y eficaz a todos los tejidos, permitiendo transporte, regulación y defensa.

Sin esta organización:

- no habría control fino del flujo,
- no habría prioridad de órganos,
- no habría adaptación al reposo, al ejercicio o a la enfermedad.

⇒ LA SANGRE: COMPOSICIÓN Y FUNCIONES

Esta tema nos va a dejar claro algo que a veces pasamos por alto, **la sangre no es solo un líquido que circula: es un tejido vivo y funcional.**



Veremos las distintas funciones de sus componentes:

- **Plasma** (fracción líquida)
- **Elementos formes o figurados (células sanguíneas)**:
  - **Glóbulos rojos (eritrocitos o hematíes)** → Hb transporta O_2
  - **Glóbulos blancos (leucocitos)**
    - *Granulocitos*: neutrófilos, eosinófilos, basófilos
    - *Agranulocitos*: monocitos y linfocitos
  - **Plaquetas** → coagulación

1. LA SANGRE COMO TEJIDO

Desde el punto de vista fisiológico:

- La sangre es un **tejido conectivo especializado**
- Circula, pero **no es pasiva**
- Interactúa continuamente con vasos y tejidos

Cumple funciones simultáneas:

- Transporte
- Defensa
- Regulación
- Reparación

2. PLASMA: EL MEDIO LÍQUIDO

El **plasma** constituye aproximadamente:

- **55 % del volumen sanguíneo**

Composición

- **90 % agua**
- **7 % proteínas plasmáticas**, entre las que destacan:
  - **Albúmina** → presión oncótica y transporte
  - **Globulinas** → transporte e inmunidad
  - **Fibrinógeno** → coagulación
  - **Lipoproteínas** → transporte de lípidos

Además:

- Iones
- Nutrientes
- Hormonas
- Desechos metabólicos

👉 El plasma es el **medio de transporte universal** del organismo.

3. GLÓBULOS ROJOS (ERITROCITOS)

Son las células más abundantes de la sangre.

Función principal

- Transporte de **oxígeno**
- En menor medida, CO_2

Lo hacen gracias a la:

- **Hemoglobina (Hb)**

Características fisiológicas clave:

- Carecen de núcleo
- Forma bicóncava
- Alta superficie de intercambio
- Flexibilidad para pasar por capilares

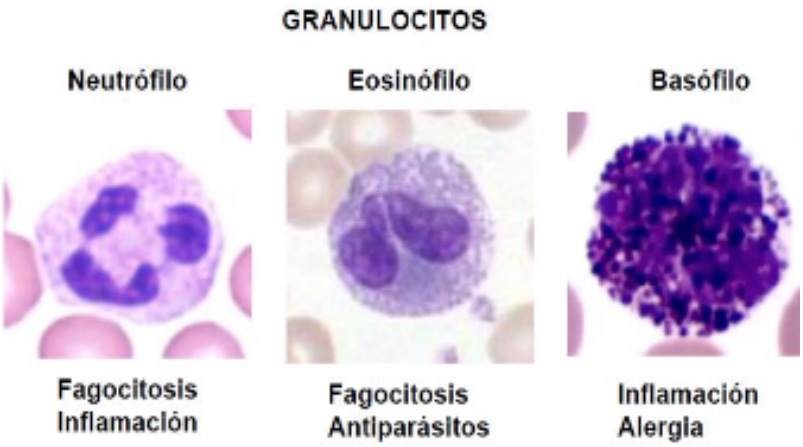
👉 Están diseñados exclusivamente para **transportar gases**.

4. GLÓBULOS BLANCOS (LEUCOCITOS)

Son las **células de defensa** del organismo.

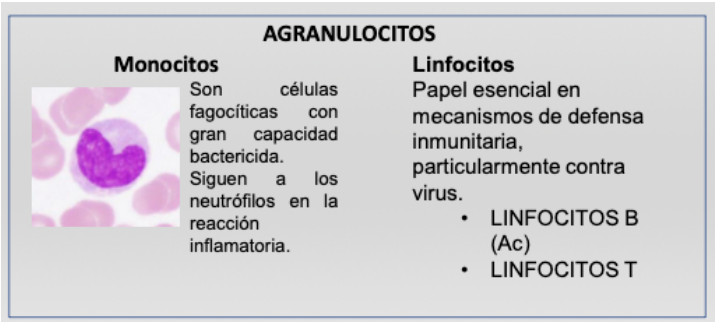
Granulocitos

- **Neutrófilos**
  - Fagocitosis (ingieren bacterias y hongos)
  - Trabajan en primera línea frente a bacterias
- **Eosinófilos**
  - Defensa frente a los parásitos
- **Basófilos**
  - Reacciones alérgicas e inflamatorias



Agranulocitos

- **Monocitos**
  - Fagocíticos
  - Precursores de macrófagos
  - Siguen a los neutrófilos en la inflamación
- **Linfocitos**
  - Defensa inmunitaria específica
  - **Linfocitos B** → anticuerpos
  - **Linfocitos T** → inmunidad celular



👉 La sangre es una **vía de despliegue del sistema inmune**.

5. PLAQUETAS

No son células completas, son fragmentos celulares.

Su función esencial:

- **Coagulación**
- Reparación de lesiones vasculares

Actúan:

- Rápidamente
- De forma localizada
- Coordinadas con factores plasmáticos

👉 Sin plaquetas, una simple herida sería potencialmente mortal.

Por todo ello, es de justicia decir que:

◈ **La sangre es un tejido vivo, dinámico y multifuncional, cuya composición está perfectamente adaptada al transporte, la defensa y la regulación del medio interno.**

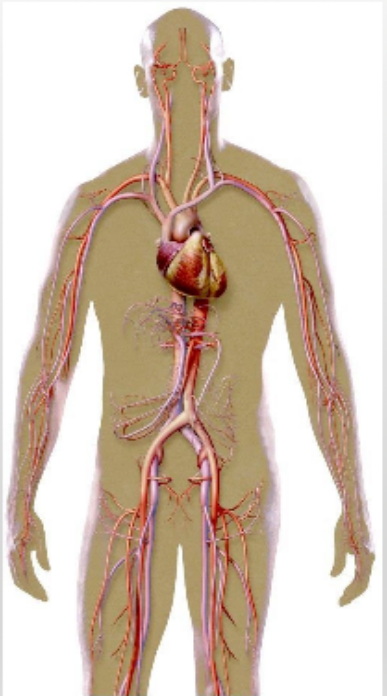
Nada en ella es accesorio:

◈ **Cada componente cumple una función vital**

◈ **Todos trabajan de forma coordinada**

⇒ COMPONENTES FÍSICOS DE LA CIRCULACIÓN

Vamos a identificar los **componentes físicos y funcionales** del sistema cardiovascular:



◈ Elementos funcionales

a) **Sistema distribuidor**

- **Arterias** → elevada presión
- **Arteriolas** → válvulas de control de presión y flujo

b) **Sistema de intercambio**

- **Capilares** → pared delgada que permite el intercambio de líquidos y nutrientes entre sangre y tejidos

c) **Sistema colector y reservorio**

- **Vénulas** → reciben sangre de los capilares
- **Venas** → transporte de regreso al corazón

◈ Bomba: Corazón

◈ EXPLICACIÓN EN PROFUNDIDAD

Este tema es muy importante porque **traduce la anatomía en función**. No se trata de "tipos de vasos", sino de **roles fisiológicos bien diferenciados**.

1. EL SISTEMA DISTRIBUIDOR (ARTERIAS Y ARTERIOLAS)

◈ Arterias

Las arterias:

- Son las encargadas de conducir la sangre **desde el corazón**
- Para ello, trabajan a **alta presión**
- Manteniendo el flujo durante todo el ciclo cardíaco

No son simples tubos:

- Su elasticidad **amortigua la presión** generada por el latido
- Transforman un flujo pulsátil en uno más continuo

👉 Su misión es **llevar sangre rápidamente a grandes territorios**.

◈ Arteriolas: el punto clave del control

Las **arteriolas** son, desde el punto de vista fisiológico, **el vaso más importante del sistema**.

Funciones:

- Regulación del **flujo hacia los tejidos**
- Regulación de la **presión arterial**
- Distribución selectiva de la sangre

Actúan como:

👉 **válvulas dinámicas**, capaces de:

- vasoconstricción,
- vasodilatación,
- redistribución del flujo según las necesidades.

Aquí se decide:

- qué órgano recibe más sangre,
- cuál recibe menos,
- en reposo o en ejercicio.

2. SISTEMA DE INTERCAMBIO: CAPILARES

- Los **capilares** son el verdadero objetivo del sistema cardiovascular.

Características:

- Pared extremadamente delgada (una sola capa celular)
- Gran superficie total
- Flujo lento

Función:

- Intercambio de:
  - O_2 y CO_2
  - Nutrientes
  - Desechos metabólicos
  - Agua y solutos

Importante:

👉 **la sangre no "alimenta" a los tejidos en las arterias, sino en los capilares**.

3. SISTEMA COLECTOR Y RESERVORIO (VÉNULAS Y VENAS)

- **Vénulas**

- Recogen la sangre que sale de los capilares
- Inicio del sistema venoso
- Todavía participan en intercambios limitados

- **Venas**

Funciones principales:

- Retorno de la sangre al corazón
- Actúan como **reservorio de volumen**

Características fisiológicas:

- Baja presión
- Alta capacitancia
- Gran distensibilidad

👉 Dato clave: **la mayor parte de la sangre del organismo está en las venas**, no en las arterias.

Esto permite:

- Ajustar rápidamente el volumen circulante efectivo
- Regular el retorno venoso y el gasto cardíaco

4. LA BOMBA: EL CORAZÓN

- El **corazón**:

- No distribuye
- No intercambia
- No almacena

Su función es una sola, pero es esencial:

👉 **generar el gradiente de presión que mueve la sangre**.

Sin diferencia de presión:

- no hay flujo,
- no hay circulación,
- no hay vida celular.

5. VISIÓN INTEGRADA DEL SISTEMA

Cada componente tiene un papel **no intercambiable**:

- **Corazón** → crea presión
- **Arterias** → conducen a alta presión
- **Arteriolas** → regulan flujo y presión
- **Capilares** → intercambian
- **Venas** → almacenan y devuelven

El sistema funciona como una **cadena funcional**, no como piezas aisladas.

- **El sistema cardiovascular está organizado funcionalmente para distribuir, regular, intercambiar y devolver la sangre, bajo la acción de una bomba central que genera el gradiente de presión** (Recordemos que el gradiente de presión es la diferencia de presión entre dos puntos del sistema vascular, necesario para impulsar el flujo sanguíneo desde una zona de alta presión a una de baja presión)**.**

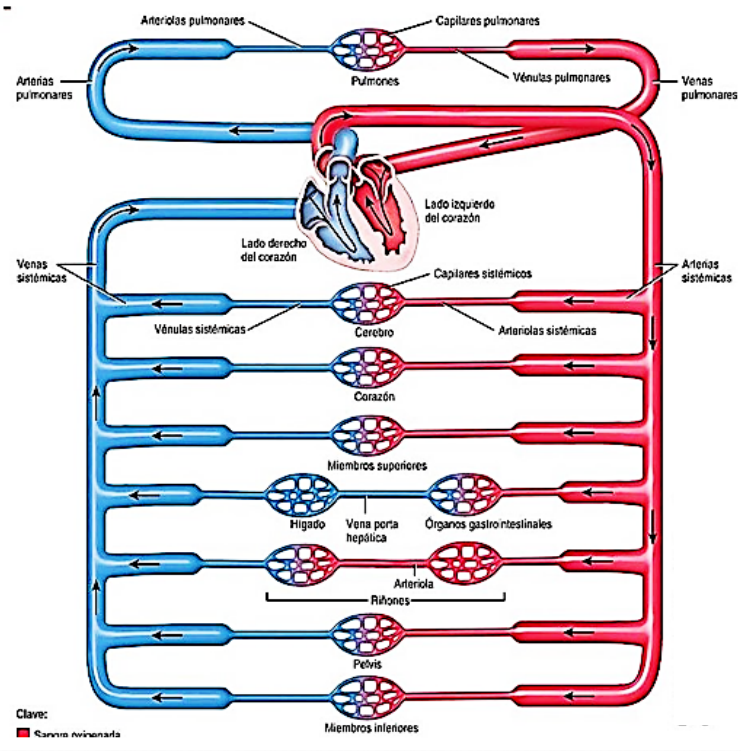
⇒ **<u>ESQUEMA GENERAL DE LA CIRCULACIÓN PULMONAR Y SISTÉMICA</u>**

Este esquema muestra un **esquema completo del recorrido de la sangre**, distinguiendo claramente:

- **Circulación pulmonar**
- **Circulación sistémica**
- Código de color:
  - **Sangre oxigenada (rojo)**
  - **Sangre desoxigenada (azul)**

Se identifican:

- Cavidades cardíacas derechas e izquierdas
- Grandes vasos
- Capilares pulmonares y sistémicos



EXPLICACIÓN EN PROFUNDIDA

1. LA CIRCULACIÓN ES ÚNICA, PERO CON DOS CIRCUITOS

Aunque hablemos de "dos circulaciones", en realidad existe **una sola circulación**, organizada en **dos circuitos conectados en serie**:

a) **Pulmonar**
b) **Sistémico**

La sangre:

- Nunca se detiene
- Nunca sale del circuito
- Nunca se mezcla entre sangre oxigenada y desoxigenada (en condiciones normales)

2. CIRCULACIÓN PULMONAR: FUNCIÓN EXCLUSIVA

Recorrido

- Ventrículo derecho → arteria pulmonar
- Pulmones → capilares pulmonares
- Venas pulmonares → aurícula izquierda

Función

- Oxigenar la sangre
- Eliminar CO_2

Características fisiológicas:

- Baja presión
- Baja resistencia
- Paredes vasculares más finas

👉 Está diseñada para **intercambiar gases**, no para soportar presión elevada.

3. CIRCULACIÓN SISTÉMICA: DISTRIBUCIÓN Y RECOGIDA

Recorrido

- Ventrículo izquierdo → aorta
- Arterias → arteriolas → capilares sistémicos
- Vénulas → venas → aurícula derecha

Función

- Distribuir O_2 y nutrientes
- Recoger desechos metabólicos
- Transportar hormonas
- Mantener el medio interno

Características:

- Alta presión
- Alta resistencia total
- Gran capacidad de regulación regional

4. IMPORTANCIA DEL CÓDIGO DE COLOR

El esquema usa colores porque ayuda a fijar una idea clave:

- **Rojo ≠ arteria**
- **Azul ≠ vena**

- Lo correcto es:
- **Arterias** → salen del corazón
- **Venas** → entran al corazón

Ejemplo fundamental:
- **Arteria pulmonar** → lleva sangre desoxigenada
- **Venas pulmonares** → llevan sangre oxigenada

👉 El criterio es **dirección del flujo**, no contenido de O_2.

5. RELACIÓN ENTRE AMBOS VENTRÍCULOS

- Ambos ventrículos:
- Expulsan **el mismo volumen de sangre por minuto**
- Funcionan en serie

- Si uno falla:
- El otro se ve afectado
- Aparecen congestiones (pulmonar o sistémica)

👉 Esto explica muchas patologías cardiovasculares.

6. VISIÓN FUNCIONAL DEL CONJUNTO

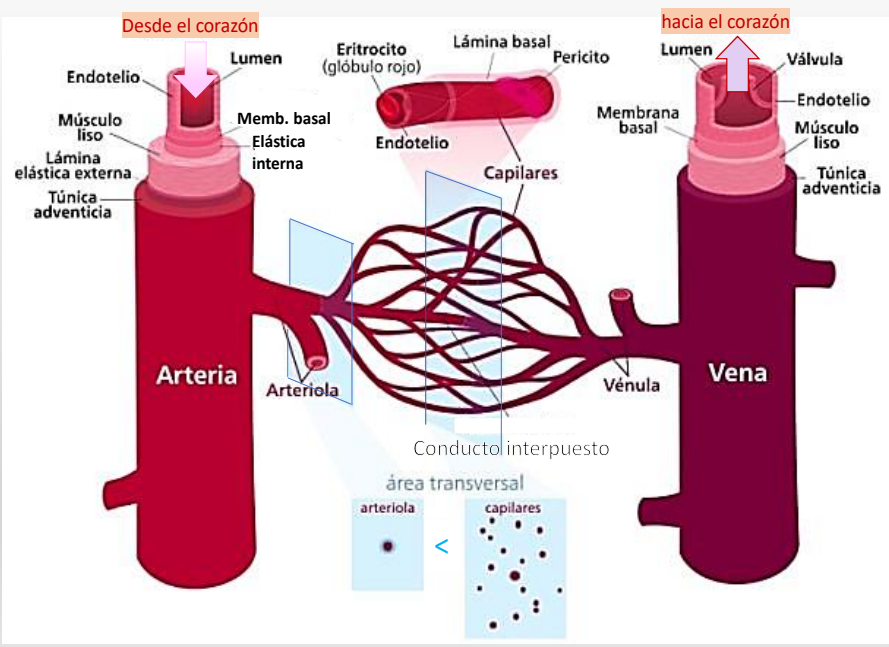
El esquema mostrado nos permite entender que:
- La sangre se oxigena en pulmones
- Se distribuye a todos los tejidos
- Regresa cargada de CO_2 y desechos
- Y vuelve a empezar

Todo ello en un circuito **cerrado, continuo y regulado**.

- **Por todo ello la circulación humana es un sistema cerrado, con dos circuitos en serie: uno pulmonar (intercambio gaseoso) y otro sistémico (distribución y recogida), impulsados por una única bomba: el corazón.**

⇒ **ESTRUCTURA DE LOS VASOS SANGUÍNEOS**

En este esquema se muestra la **estructura general de la pared vascular**, destacando:
- Organización en **capas**
- Presencia de:
  - **Endotelio**
  - **Membrana basal**
  - **Capa muscular**
  - **Lámina elástica interna**
- El sentido del flujo: **desde el corazón → hacia el corazón**



Vamos a ver **por qué cada tipo de vaso se comporta como lo hace**, y para ello debemos de tener presente que la función de un vaso **depende directamente de su estructura**.

1. PRINCIPIO GENERAL: VASOS CON LA MISMA ARQUITECTURA BÁSICA

Todos los vasos sanguíneos (arterias, venas y, con matices, capilares) comparten un **plan estructural común**, aunque con distinto desarrollo de cada capa.

De dentro hacia fuera:

1. **Endotelio**
2. **Membrana basal**
3. **Capa muscular lisa**
4. **Componentes elásticos** (especialmente en arterias)

2. ENDOTELIO: MUCHO MÁS QUE UN REVESTIMIENTO

🔹 El **endotelio**:

- Es una capa de **células vivas**
- No es pasiva ni inerte

Funciones fisiológicas clave:

- Regula el intercambio de sustancias
- Produce vasodilatadores (óxido nítrico)
- Produce vasoconstrictores
- Participa en coagulación
- Interviene en inflamación e inmunidad

👉 Hoy ya se conoce que el **endotelio** es **un órgano funcional en sí mismo**.

3. MEMBRANA BASAL

🔹 La **membrana basal**:

- Da soporte estructural
- Separa endotelio del músculo liso
- Contribuye a la integridad del vaso

Es especialmente importante en:

- Capilares
- Barreras selectivas (ej. barrera hematoencefálica)

4. CAPA MUSCULAR LISA

Esta capa:

- Determina el **diámetro del vaso**
- Es clave para la **resistencia vascular**
- Permite vasoconstricción y vasodilatación

Está muy desarrollada en:

- **Arteriolas** → control del flujo y la presión

Y poco desarrollada en:

- Capilares (prácticamente ausente)

5. COMPONENTES ELÁSTICOS

- Las **láminas elásticas**:

- Abundan en arterias grandes (aorta)
- Permiten:
  - Distensión durante la sístole
  - Retroceso durante la diástole

Esto transforma:

- El flujo pulsátil a flujo más continuo

👉 Es un mecanismo amortiguador de la presión arterial.

6. DIFERENCIAS FUNCIONALES SEGÚN EL TIPO DE VASO

Aunque la estructura básica sea común:

- **Las arterias**
  - Tienen mucha capa muscular y elástica
  - Soportan alta presión
- **Las venas**
  - Poseen menos músculo
  - Son más distensibles
  - Funcionan como reservorio
- **Capilares**
  - Solo **endotelio** (tejido formado por células aplanadas y dispuestas en una sola capa, que reviste interiormente las paredes capilares) + membrana basal
  - Están diseñados para el intercambio

7. DIRECCIÓN DEL FLUJO

- La sangre fluye **desde el corazón hacia los tejidos** y regresa **desde los tejidos al corazón**

Este flujo está gobernado por:

👉 **gradientes de presión**, no por "impulso" residual.

- **La pared de los vasos sanguíneos está diseñada de forma distinta según su función: conducción, regulación, intercambio o reserva, y esa función depende directamente de su estructura.**

Y es que nada en la arquitectura vascular es casual.

⇒ **<u>COMPARACIÓN FUNCIONAL DE LOS VASOS SANGUÍNEOS (ESQUEMA CLÁSICO)</u>**

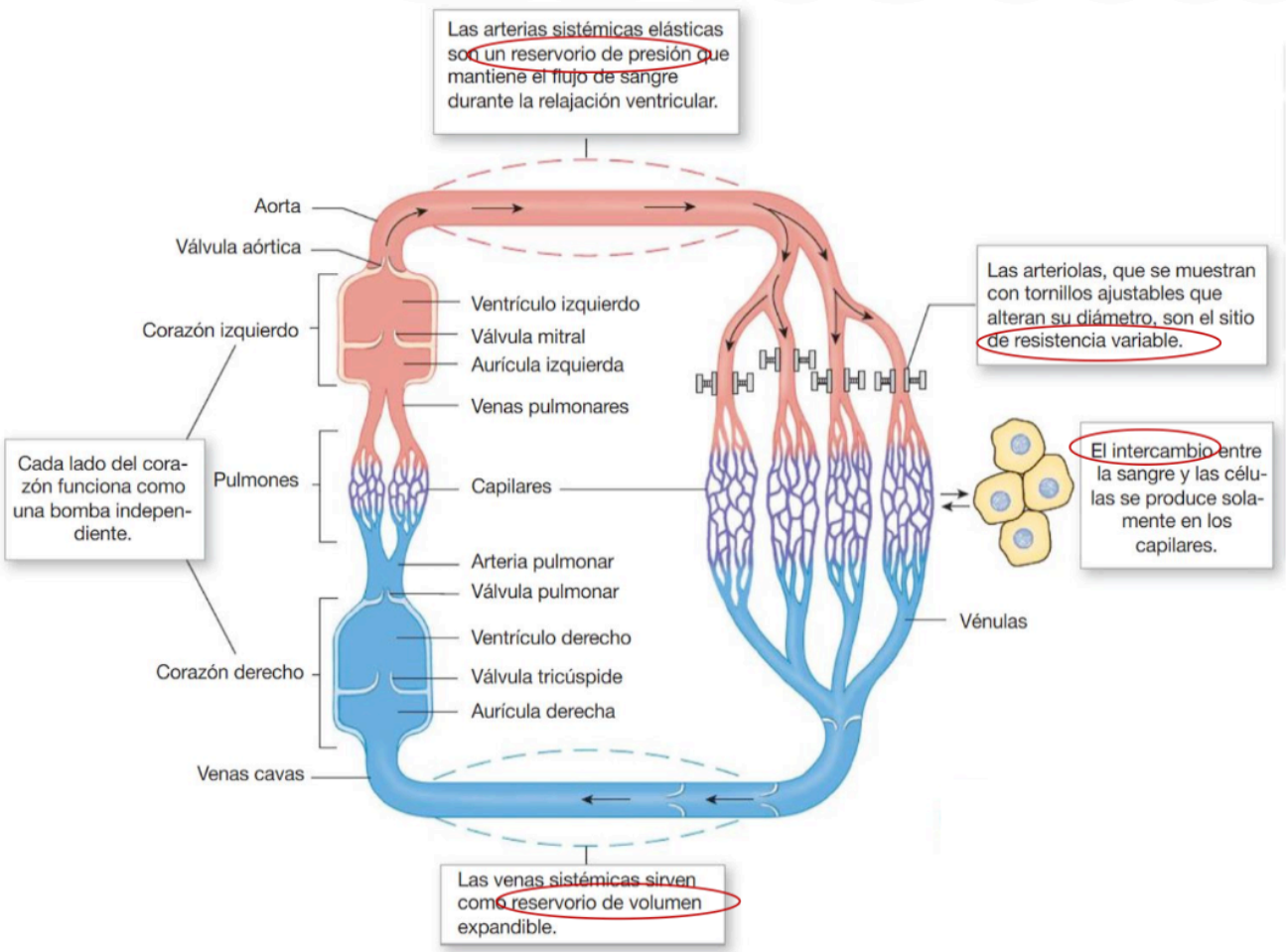
Vamos a ver, de manera integrada, las **diferencias estructurales y funcionales** entre:

- Arterias
- Arteriolas
- Capilares
- Vénulas
- Venas

En este tema, veremos con claridad algo fundamental en fisiología:

El sistema cardiovascular no es un conjunto de tubos iguales, sino una red jerarquizada, donde cada segmento cumple una función distinta e insustituible.

Vamos a recorrer el sistema **siguiendo el trayecto real de la sangre**.



1. ARTERIAS: CONDUCCIÓN A ALTA PRESIÓN

Características clave:

- Pared gruesa
- Abundante tejido elástico
- Soportan presiones elevadas

Función fisiológica:

- Conducir la sangre desde el corazón
- Amortiguar el pulso cardíaco

No regulan de forma fina el flujo:

👉 su papel es **conducción**, no distribución selectiva.

2. ARTERIOLAS: EL VERDADERO "GRIFO" DEL SISTEMA

Este es un punto muy importante.

Las **arteriolas**:

- Tienen una capa muscular muy desarrollada
- Presentan gran capacidad de vasoconstricción y vasodilatación

Funciones:

- Control del **flujo sanguíneo regional**
- Control de la **resistencia periférica total**
- Regulación directa de la **presión arterial**

Desde el punto de vista fisiológico clásico:

👉 **las arteriolas son el principal regulador del sistema cardiovascular**.

3. CAPILARES: INTERCAMBIO

Características:

- Pared de una sola capa celular (endotelio)
- Diámetro muy pequeño
- Flujo lento

Función:

- Intercambio de:
  - Gases
  - Nutrientes
  - Desechos
  - Agua y solutos

Aquí se produce la finalidad última del sistema:

👉 **servir a las células**. Ni arterias ni venas alimentan tejidos: **solo los capilares lo hacen**.

4. VÉNULAS: TRANSICIÓN

Las **vénulas**:

- Recogen la sangre de los capilares
- Aún permiten cierto intercambio
- Son zonas importantes en inflamación (salida de leucocitos)

Son el punto de enlace entre:

- Intercambio
- Retorno venoso

5. VENAS: RETORNO Y RESERVORIO

Características:

- Pared delgada
- Alta distensibilidad
- Baja presión

Funciones:

- Retorno de la sangre al corazón
- Almacenamiento de volumen sanguíneo

Dato fisiológico clave:

👉 **la mayor parte de la sangre del organismo está en el sistema venoso**.

Esto permite:

- Ajustes rápidos del retorno venoso
- Regulación del gasto cardíaco

  - El esquema deja clara una secuencia lógica:

Corazón → arterias → arteriolas → capilares → vénulas → venas → corazón

Cada segmento:

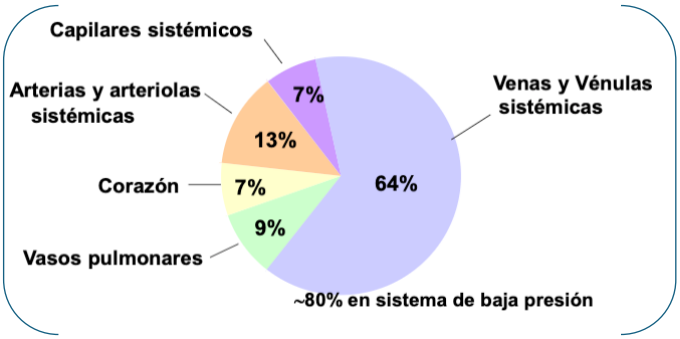
- tiene una estructura distinta,
- responde a controles distintos,
- cumple una función específica.

  - El sistema cardiovascular está funcionalmente jerarquizado: arterias conducen, arteriolas regulan, capilares intercambian y venas almacenan y devuelven la sangre.

⇒ **DISTRIBUCIÓN DEL VOLUMEN SANGUÍNEO EN EL SISTEMA CIRCULATORIO**

Veamos **cómo se reparte el volumen sanguíneo total** (≈ **4–5 L**) entre los distintos compartimentos del sistema cardiovascular:

- **Venas y vénulas sistémicas → 64 %**
- **Capilares sistémicos → 7 %**
- **Arterias y arteriolas sistémicas → 13 %**
- **Corazón → 7 %**
- **Vasos pulmonares → 9 %**



- Alrededor del **80 %** de la sangre está en el sistema de baja presión.

👉 Esto corrige una idea muy común (pero errónea): **la mayor parte de la sangre no está en las arterias**, sino en el sistema venoso.

1. EL SISTEMA VENOSO COMO GRAN RESERVORIO

Que **≈64 %** del volumen esté en **venas y vénulas** no es casual:

- Las venas trabajan a **baja presión**
- Tienen **alta capacitancia** (capacidad de un componente) (se disminuye mucho la tensión con pequeños cambios de presión)
- Pueden almacenar o liberar volumen según las necesidades

👉 Función fisiológica clave: **regular rápidamente el retorno venoso** y, con ello, el **gasto cardíaco**.

Ejemplo:

- Vasoconstricción venosa → más sangre vuelve al corazón
- Vasodilatación venosa → más sangre queda "almacenada" en periferia

2. CAPILARES: POCO VOLUMEN, MÁXIMA IMPORTANCIA

Aunque solo contengan **≈7 %** del volumen:

- Son el **lugar del intercambio**
- Tienen una **superficie enorme**
- El flujo es lento y eficiente

👉 Esto subraya una idea clave: **la función no depende del volumen almacenado, sino del papel fisiológico**.

3. ARTERIAS Y ARTERIOLAS: VOLUMEN BAJO, PRESIÓN ALTA

Con **≈13 %** del volumen total:

- Soportan **presiones elevadas**
- No están diseñadas para almacenar sangre
- Su misión es **conducir y regular**

Especialmente las arteriolas son las que:

- Ajustan la resistencia
- Redistribuyen el flujo

4. CORAZÓN Y VASOS PULMONARES

- **Corazón (≈7 %)**:
  - Volumen contenido en cavidades
  - Cambia a lo largo del ciclo cardíaco

- **Vasos pulmonares (≈9 %)**:
  - Baja presión
  - Alta distensibilidad
  - Capacidad de acomodar cambios de flujo sin grandes aumentos de presión

Esto es esencial para proteger los pulmones.

5. SISTEMA DE BAJA PRESIÓN: EL 80 %

Que **≈80 % del volumen esté en un sistema de baja presión** implica:

- Seguridad (menor riesgo de rotura)
- Flexibilidad (ajustes rápidos)
- Capacidad de compensación

👉 Desde el punto de vista fisiológico: **la regulación del volumen circulante efectivo se hace, sobre todo, en el lado venoso**. El sistema venoso es el principal reservorio sanguíneo del organismo y desempeña un papel decisivo en la regulación del retorno venoso y del gasto cardíaco.

De modo que, no es un "retorno pasivo": es un **elemento regulador activo**.

⇒ **DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO: TEJIDOS PRIORITARIOS**

Ahora pasamos a ver **cómo se reparte el gasto cardíaco en reposo** (≈ **5 L/min**) entre distintos tejidos u órganos, porque, **no todos los tejidos reciben la misma cantidad de sangre, ni la necesitan en el mismo grado.**

El sistema cardiovascular **distribuye el flujo de forma selectiva**, en función de la importancia funcional y de la actividad metabólica de cada órgano.

1. GASTO CARDÍACO EN REPOSO

En un adulto en reposo:

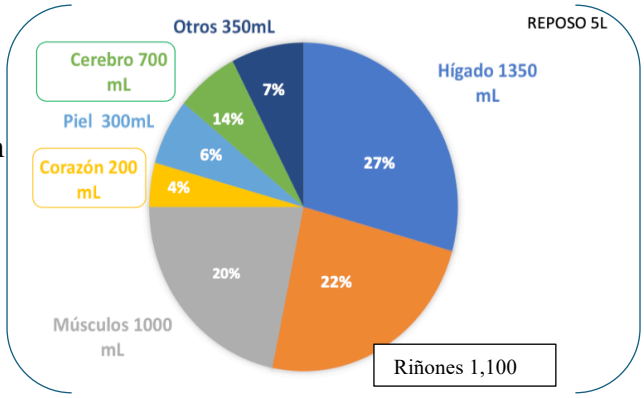
- Gasto cardíaco ≈ **5 L/min**

Ese volumen **no se reparte de forma homogénea**, sino según prioridades fisiológicas.

2. TEJIDOS PRIORITARIOS

Los **tejidos prioritarios** son aquellos que:

- Necesitan un suministro constante
- No toleran bien la isquemia (Disminución transitoria o permanente del riego sanguíneo)
- Mantienen funciones vitales



De manera convencional incluyen:

a) Cerebro

- Alto consumo de O_2
- Dependencia casi exclusiva de glucosa
- Sin reservas energéticas significativas

👉 Cualquier interrupción breve del flujo produce pérdida de conciencia o daño.

b) Corazón (circulación coronaria)

El propio corazón:

- Consume mucho oxígeno
- Extrae ya en reposo gran parte del O_2 de la sangre

Por eso:

👉 **cuando necesita más O_2, solo puede lograrlo aumentando el flujo**, no la extracción.

c) Riñón

Aunque su consumo metabólico no sea tan alto:

- Recibe gran cantidad de sangre

¿Por qué?

- Filtración del plasma
- Regulación de volumen y electrolitos
- Control de la presión arterial

👉 El flujo renal es clave para la homeostasis.

3. Otros tejidos:

- **Hígado y tubo digestivo**

- Importantes en reposo
- Especialmente tras las comidas
- Gran capacidad de variación del flujo

- **Músculo esquelético**

- En reposo recibe un flujo moderado
- Puede multiplicarlo varias veces durante el ejercicio

Esto muestra la **capacidad de redistribución** del sistema.

- **Piel**

- Flujo muy variable
- Depende mucho de la termorregulación

4. SIGNIFICADO FISIOLÓGICO DEL REPARTO

Este reparto demuestra que:

- El sistema cardiovascular **no reparte sangre "a partes iguales"**
- Prioriza órganos clave para la supervivencia
- Ajusta el flujo según el estado funcional (reposo, ejercicio, estrés)

👉 La clave está en: **la regulación arteriolar local**.

- **Muy importante**:

- Este esquema expuesto es **en reposo**
- Durante el ejercicio, el reparto cambia radicalmente:
  - Aumenta músculo
  - Disminuye tubo digestivo
  - Cerebro y corazón se mantienen

Esto lo vamos a tratar más adelante, pero la base conceptual está aquí.

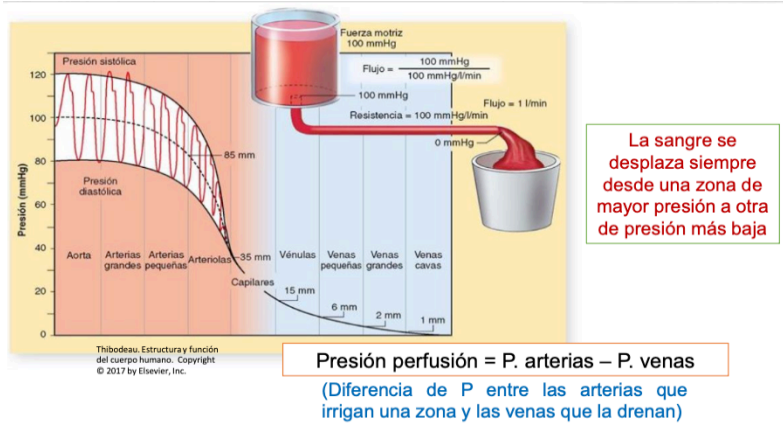
- El gasto cardíaco se distribuye de forma selectiva, priorizando órganos vitales, y puede redistribuirse dinámicamente según las necesidades del organismo.

Aquí empieza a verse el sistema cardiovascular como lo que realmente es: **un sistema regulador fino, no un simple circuito de bombeo**.

⇒ PRIMERA LEY DE LA CIRCULACIÓN DE LA SANGRE: EL PAPEL DE LA PRESIÓN

- **Primera ley de la circulación de la sangre**:
  La sangre se desplaza siempre desde una zona de mayor presión a otra de presión más baja.
- **Presión de perfusión = Presión arterial – Presión venosa**
  (diferencia de presión entre las arterias que irrigan un territorio y las venas que lo drenan).

◈ Es fundamental conocer esta **ley física** que gobierna toda la circulación, sin entenderla bien, el resto del tema (flujo, resistencia, gasto cardíaco) quedará cojo.



1. LA SANGRE SE MUEVE POR GRADIENTES DE PRESIÓN

La sangre **no se mueve porque el corazón "empuje" sin más**. Se mueve porque:

- Existe una **diferencia de presión** entre dos puntos del sistema.
- El flujo siempre va **a favor del gradiente**: de más presión a menos presión.

◈ Esto es una ley física general (aplicable a fluidos), no una peculiaridad biológica.

👉 **Si no hay diferencia de presión, no hay flujo**, aunque el corazón esté latiendo.

2. PRESIÓN ARTERIAL Y PRESIÓN VENOSA: NO SON EQUIVALENTES

- **Presión arterial**:
  - Alta
  - Generada por la eyección ventricular
  - Variable según el territorio y el momento del ciclo cardíaco
- **Presión venosa**:
  - Mucho más baja
  - Relativamente estable
  - Cercana a cero en la aurícula derecha

◈ La gran diferencia entre ambas es lo que **impulsa la sangre a través de los tejidos**.

3. PRESIÓN DE PERFUSIÓN: CONCEPTO CLAVE

La **presión de perfusión** es el **motor real del flujo tisular**.
{Presión de perfusión} = Presión arterial – Presión venosa}

Interpretación fisiológica:

- Si aumenta la presión arterial → aumenta la perfusión
- Si aumenta la presión venosa → disminuye la perfusión
- Si ambas cambian en el mismo sentido, el efecto puede anularse

👉 **No basta con mirar la presión arterial: hay que pensar siempre en la diferencia de presiones.**

4. IMPORTANCIA CLÍNICA Y FISIOLÓGICA

Este concepto explica fenómenos muy relevantes:

- **Hipotensión** → disminuye la **perfusión tisular** (proceso fisiológico de suministro de sangre oxigenada y nutrientes a través de la microcirculación hacia los tejidos y células)
- **Insuficiencia cardíaca** → aumenta la presión venosa → empeora la **perfusión** (paso o circulación de un fluido)
- **Edemas** → relacionados con aumento de presión venosa capilar (vasos sanguíneos más pequeños y finos del cuerpo, con un diámetro de apenas 5 a 10 μm (1000 micras=1 milímetro)
- **Shock** → colapso del gradiente de presión

Todo se entiende mejor si se piensa en **gradientes** (diferencia de concentración de una sustancia entre dos puntos), en lugar de hacerlo en valores aislados.

5. EL CORAZÓN COMO GENERADOR DEL GRADIENTE

El corazón:

- No "arrastra" la sangre por todo el sistema
- **Mantiene el gradiente de presión** entre el inicio y el final del circuito

Las arterias altas en presión y las venas bajas en presión **son consecuencia directa del trabajo cardíaco**.

- La circulación sanguínea existe porque hay una diferencia de presión entre arterias y venas; esa diferencia (presión de perfusión) es la causa directa del flujo**.**

Todo lo que ahora vamos a ver (resistencia, flujo, redistribución) es una **consecuencia de esta ley básica**

⇒ RELACIÓN ENTRE FLUJO SANGUÍNEO, PRESIÓN Y RESISTENCIA

La relación fundamental del sistema circulatorio **s**e define cuantitativamente:

- **Flujo sanguíneo (Q)**: volumen de sangre que pasa por un punto por unidad de tiempo (ml/min).
- **Relación básica**:

donde:

  - Delta P = diferencia de presión o presión de perfusión
  - R = resistencia vascular

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

Q= Flujo (ml/min)
P = Presión (mm Hg)
R= Resistencia (mm Hg/ml/min)

Esta fórmula es **el corazón conceptual de la fisiología cardiovascular**. Aquí se vinculan física y biología con una ley simple, pero poderosa.

1. QUÉ ES EL FLUJO (Q)

El **flujo sanguíneo** es:

- La **cantidad de sangre** que atraviesa un punto del sistema por minuto.
- Se expresa en **ml/min** o **L/min**.

Ejemplos:

- Gasto cardíaco total ≈ 5 L/min (en reposo).
- Flujo coronario, renal o cerebral: fracciones específicas de ese total.

👉 Importante: **flujo no es velocidad**. El flujo puede ser el mismo con velocidades distintas según el área del vaso.

2. LA ECUACIÓN Q = ΔP / R

Esta relación resume todo el comportamiento del sistema:

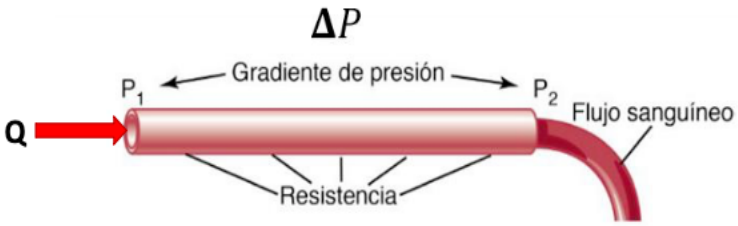
- **Si aumenta la diferencia de presión**, el flujo aumenta (si R es constante).
- **Si aumenta la resistencia**, el flujo disminuye (si ΔP es constante).

Esto análogo a la ley de Ohm en electricidad:

- Flujo ↔ corriente
- Presión ↔ voltaje
- Resistencia ↔ resistencia

3. PRESIÓN (ΔP): EL MOTOR

Ya lo vimos en la diapositiva anterior: ΔP = presión arterial − presión venosa.



Consecuencias fisiológicas:

- Subir la presión arterial **no siempre** aumenta el flujo si la resistencia también aumenta.
- Bajar la presión venosa (mejor retorno venoso) **mejora la perfusión**.

👉 El sistema regula el flujo **más por R** (resistencia) **que por ΔP** en condiciones normales.

4. RESISTENCIA (R): EL GRAN REGULADOR

La **resistencia vascular** depende de varios factores (que se desarrollarán después), pero ahora se adelanta lo esencial:

- Longitud del vaso
- Viscosidad de la sangre
- **Radio del vaso (factor dominante)**

👉 Desde el punto de vista fisiológico: **las arteriolas son el principal determinante de la resistencia**.

Pequeños cambios en su diámetro producen **grandes cambios en el flujo**.

5. IMPLICACIONES FUNCIONALES

Esta ecuación explica fenómenos cotidianos del organismo:

- Durante el ejercicio:
  - Vasodilatación muscular → ↓R → ↑Q muscular
- En piel con frío:
  - Vasoconstricción → ↑R → ↓Q cutáneo
- En shock:
  - Caída de ΔP y/o aumento de R → colapso del flujo tisular

🔹 Todo se entiende sin "memorizar": **sale de la ecuación**.

6. IDEA CLAVE A CONSIDERAR

Nunca hay que pensar:

- "El corazón manda sangre a los tejidos".

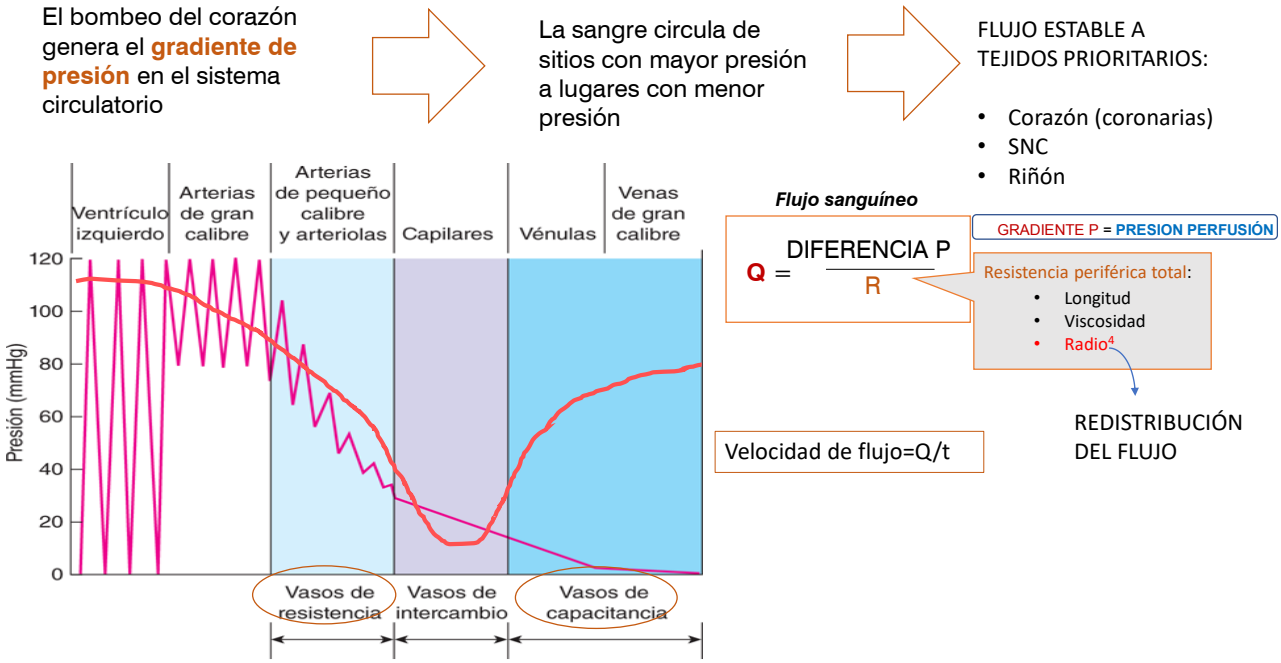
👉 Lo que hay que pensar es: **el corazón genera presión, las arteriolas regulan la resistencia y el flujo es el resultado de ambos**.

🔹 El flujo sanguíneo es directamente proporcional a la presión de perfusión e inversamente proporcional a la resistencia vascular; la regulación fisiológica del flujo se hace principalmente modificando la resistencia.

⇒ GRADIENTE DE PRESIÓN, RESISTENCIA PERIFÉRICA Y REDISTRIBUCIÓN DEL FLUJO

En esta diapositiva se integran varios conceptos clave:

- El **bombeo del corazón** genera el **gradiente de presión** del sistema.
- La sangre circula **de mayor a menor presión**.
- Se recuerdan **tejidos prioritarios**:
  - Corazón (coronarias)
  - SNC
  - Riñón
- Se redefine el flujo:
  Q=\frac {\Delta P} {R}
- Se introduce la **resistencia periférica total**, dependiente de:
  - Longitud del vaso
  - Viscosidad de la sangre
  - **Radio del vaso⁴**
- Aparece explícitamente el concepto de **redistribución del flujo**.



De modo que, aquí se **une todo lo anterior** y da un salto cualitativo: se explica **cómo el sistema cardiovascular decide a dónde va la sangre en cada momento**.

1. EL CORAZÓN CREA EL GRADIENTE, PERO NO DECIDE EL REPARTO

El corazón:

- Genera presión
- Mantiene el gradiente entre arterias y venas

Pero **no controla directamente**:

- qué órgano recibe más sangre,
- ni cuándo.

Eso depende, sobre todo, de la **resistencia periférica**.

👉 El corazón empuja; **las arteriolas deciden**.

2. RESISTENCIA PERIFÉRICA TOTAL (RPT)

La **resistencia periférica total** es la oposición global al flujo que ofrece el sistema vascular sistémico.

Depende de tres factores físicos:

a) Longitud del vaso

- Prácticamente constante en el adulto
- Poco relevante para la regulación aguda

b) Viscosidad de la sangre

- Depende del hematocrito
- Aumenta en deshidratación o policitemia
- Importante, pero de regulación lenta

c) Radio del vaso (factor clave)

Aquí está el núcleo de la fisiología:

R \propto \frac {1} {r^4}

👉 **Pequeños cambios en el radio producen enormes cambios en la resistencia**.

Por eso:

- La vasoconstricción de las arteriolas aumenta mucho R
- La vasodilatación la reduce drásticamente

3. TEJIDOS PRIORITARIOS: PROTECCIÓN FISIOLÓGICA

Aunque el flujo total cambie, hay órganos que el organismo **protege siempre**:

- **Cerebro** → conciencia y control central
- **Corazón** → bomba imprescindible
- **Riñón** → regulación de volumen y presión

Mecanismos:

- Autorregulación local
- Preferencia de perfusión incluso en situaciones adversas

👉 El sistema cardiovascular **no reparte de forma "democrática"**, reparte de forma **adaptativa**.

4. REDISTRIBUCIÓN DEL FLUJO: EL CONCEPTO CLAVE

La **redistribución del flujo** significa que:

- El gasto cardíaco puede mantenerse constante
- Pero el reparto entre órganos cambia

Ejemplos fisiológicos clásicos:

- **Ejercicio** → ↑ flujo muscular, ↓ flujo digestivo
- **Frío** → ↓ flujo cutáneo
- **Hemorragia** → prioridad a corazón y cerebro

> 🔹 Todo esto se logra **sin cambiar necesariamente el gasto cardíaco**, solo modificando resistencias locales.

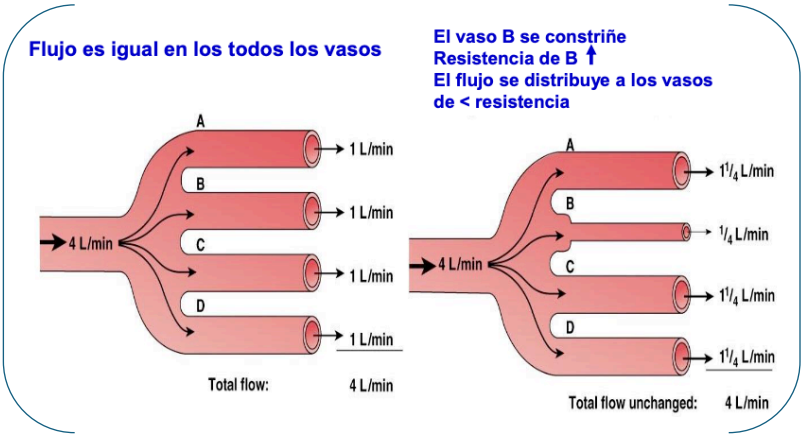
5. GRADIENTE DE PRESIÓN = PRESIÓN DE PERFUSIÓN

- El flujo depende del **gradiente de presión**
- Ese gradiente es la **presión de perfusión**

👉 Importante recordar:

- Aumentar presión arterial **no garantiza** mejor perfusión si la resistencia también aumenta.
- Reducir resistencia puede aumentar flujo incluso con presión moderada.
- El corazón genera el gradiente de presión, pero la distribución del flujo sanguíneo a los distintos órganos depende fundamentalmente de la resistencia periférica, controlada sobre todo por el radio arteriolar.

⇒ REDISTRIBUCIÓN DEL FLUJO: EFECTO DE LA RESISTENCIA VASCULAR



Aquí se muestra un **esquema sencillo pero muy ilustrativo**:

- Dos vasos (A y B) con **igual flujo inicial**.
- El **vaso B se constriñe**.
- Aumenta la **resistencia del vaso B**.
- El flujo se **redistribuye** hacia los vasos de **menor resistencia**.

Esta diapositiva es la **traducción gráfica** de la ecuación que hemos visto más arriba:

Q=\frac {\Delta P} {R}

Aquí se demuestra visualmente **cómo funciona de verdad la redistribución del flujo**.

1. SITUACIÓN INICIAL: RESISTENCIAS IGUALES

Al inicio:

- Ambos vasos tienen **resistencias similares**
- La diferencia de presión es la misma para los dos
- El flujo se reparte de forma equivalente

👉 Esto es importante porque: **el sistema no "elige" tejidos**, responde a resistencias.

2. VASOCONSTRICCIÓN DEL VASO B

Cuando el vaso B se constriñe:

- Disminuye su radio
- Aumenta mucho su resistencia (recuerda: R \propto 1/r^4)
- El flujo a través de B disminuye

Nada más ha cambiado:

- ni el corazón,
- ni la presión global,
- ni el volumen total.

👉 Solo ha cambiado: **el radio de un vaso**.

3. REDISTRIBUCIÓN AUTOMÁTICA DEL FLUJO

La sangre que ya no puede pasar fácilmente por B:

- No desaparece
- No "se acumula"

Se dirige hacia:

- El vaso A
- Que mantiene menor resistencia

👉 Resultado: **el flujo aumenta en A sin que nadie lo "ordene"**.

Este punto es clave:

- No hace falta control central directo
- Es una consecuencia física del sistema

4. APLICACIÓN FISIOLÓGICA REAL

Este mecanismo explica situaciones reales:

- Durante el ejercicio:
  - Vasoconstricción en tubo digestivo
  - Vasodilatación en músculo
  - → el flujo va al músculo
- En frío:
  - Vasoconstricción cutánea
  - → se reduce pérdida de calor
- En hemorragia:
  - Vasoconstricción periférica
  - → se mantiene perfusión cerebral y coronaria

👉 Todo se logra: **modificando resistencias locales**, no "repartiendo sangre a mano".

5. PAPEL CENTRAL DE LAS ARTERIOLAS

Es importar reforzar una idea que ya debe quedar muy clara: **Las arteriolas son el elemento clave de la redistribución del flujo sanguíneo.**

Son:

- Altamente musculares
- Rápidas en su respuesta
- Controladas por:
  - factores locales,
  - sistema nervioso autónomo,
  - hormonas.

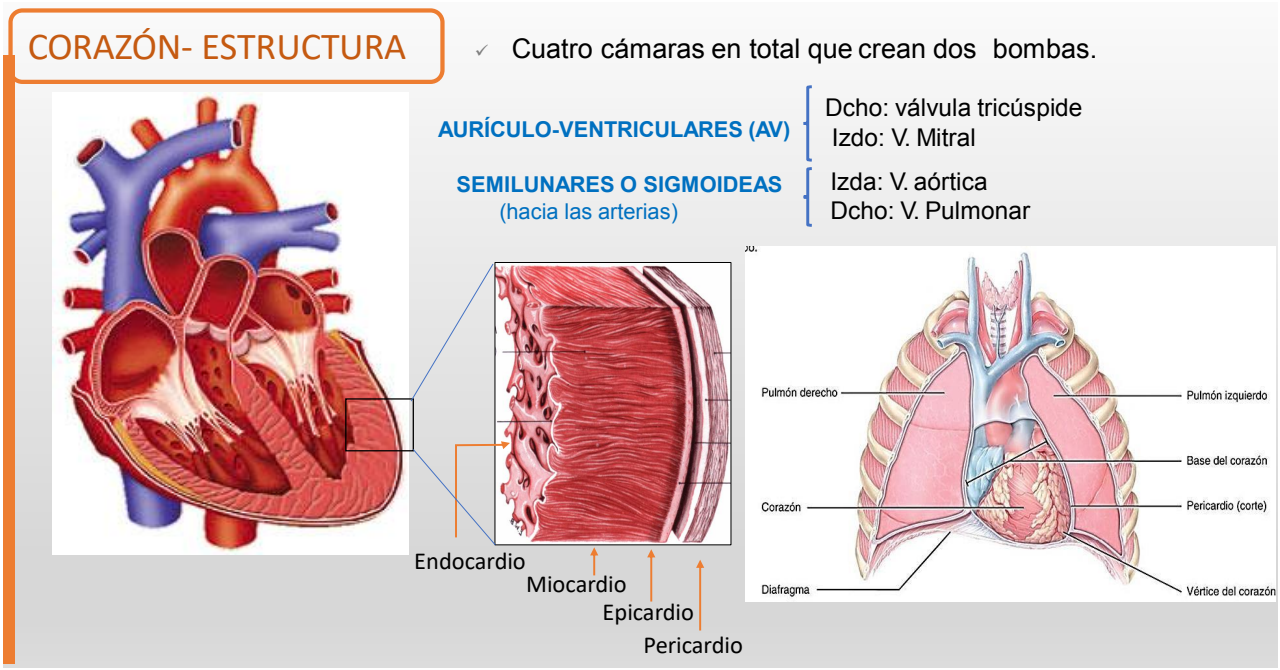
🔹 La redistribución del flujo sanguíneo es una consecuencia directa de los cambios en la resistencia vascular: la sangre fluye preferentemente hacia los territorios con menor resistencia.

⇒ **<u>CORAZÓN: ESTRUCTURA GENERAL</u>**

Vamos a ver la **estructura anatómica básica del corazón**, en la diapositiva siguiente se destaca:

- **Cuatro cámaras**, organizadas como **dos bombas**:
  - Lado derecho
  - Lado izquierdo
- **Válvulas cardíacas**:
  - **Auriculoventriculares (AV)**
    - Derecha: **tricúspide**
    - Izquierda: **mitral (o bicúspide)**
  - **Semilunares (sigmoideas)**, orientadas hacia las arterias:
    - **Pulmonar** (lado derecho)
    - **Aórtica** (lado izquierdo)
- **Capas de la pared cardíaca**:
  - **Endocardio**
  - **Miocardio**
  - **Epicardio**
- **Pericardio** como envoltura externa.

Algo importante, no veamos el corazón **como un "órgano único"**, sino como una **máquina fisiológica perfectamente organizada** para mover sangre en un sistema de doble circuito.



1. CUATRO CÁMARAS, DOS BOMBAS

El corazón humano está dividido funcionalmente en **dos bombas que trabajan en serie**:

Bomba derecha

- Aurícula derecha + ventrículo derecho
- Recibe sangre desoxigenada
- La envía a la **circulación pulmonar**

Bomba izquierda

- Aurícula izquierda + ventrículo izquierdo
- Recibe sangre oxigenada
- La envía a la **circulación sistémica**

Ambas bombas:

- Expulsan **el mismo volumen de sangre por minuto**
- Están sincronizadas
- No pueden funcionar de manera independiente

👉 Si una falla, la otra también se ve afectada.

2. FUNCIÓN DE LAS AURÍCULAS Y LOS VENTRÍCULOS

- **Aurículas**:
  - Cámaras de recepción
  - Facilitan el llenado ventricular
  - No generan grandes presiones
- **Ventrículos**:
  - Cámaras de bombeo
  - Generan la presión necesaria para mover la sangre
  - El ventrículo izquierdo tiene una pared mucho más gruesa

Esto refleja una adaptación funcional:

👉 **bombear a pulmón no es lo mismo que bombear a todo el cuerpo**.

3. VÁLVULAS CARDÍACAS: FLUJO UNIDIRECCIONAL

Las válvulas:

- No bombean
- No regulan el flujo fino
- **Aseguran que la sangre no retroceda**

→ **Válvulas auriculoventriculares**

- Se abren durante el llenado ventricular
- Se cierran durante la sístole
- Evitan el reflujo hacia las aurículas

→ **Válvulas semilunares**

- Se abren durante la eyección ventricular
- Se cierran cuando la presión arterial supera a la ventricular
- Evitan el reflujo desde las arterias

👉 El corazón es una **bomba con válvulas pasivas**, que responden a diferencias de presión.

4. CAPAS DE LA PARED CARDÍACA

→ **Endocardio**

- Revestimiento interno
- En contacto directo con la sangre
- Continuo con el endotelio vascular

→ **Miocardio**

- Tejido muscular cardíaco
- Responsable de la contracción
- Espesor variable según la cámara

👉 Es la **parte funcionalmente más importante**.

→ **Epicardio**

- Capa externa del corazón
- Parte del pericardio

5. PERICARDIO: PROTECCIÓN Y LIMITACIÓN

→ El **pericardio**:

- Envuelve al corazón
- Lo fija en el mediastino
- Reduce la fricción durante el latido
- Limita la distensión excesiva

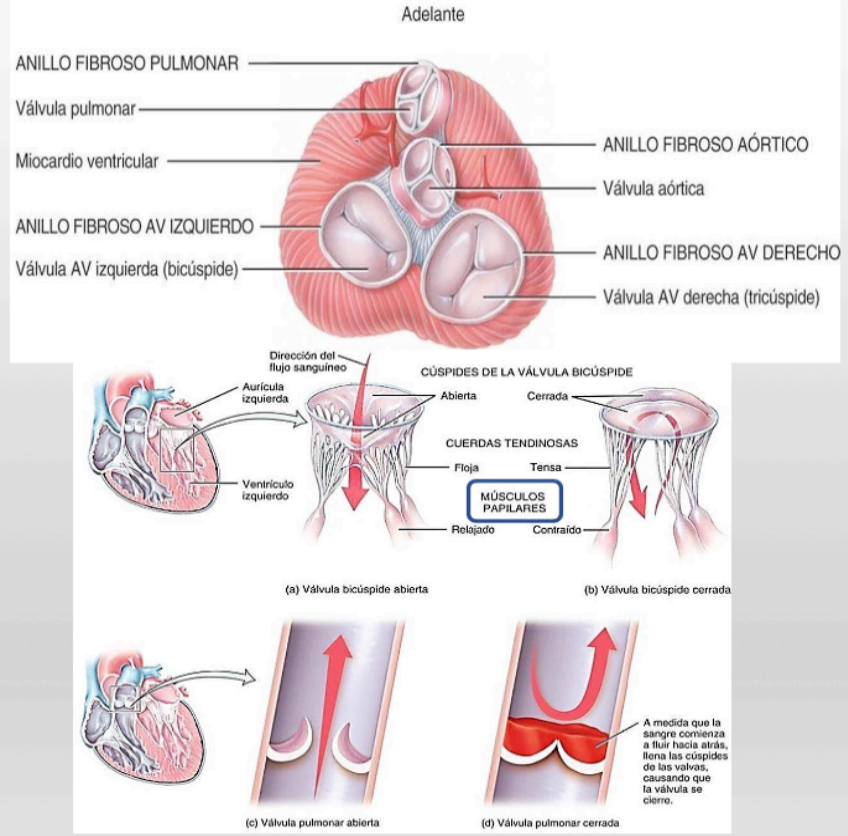
👉 No participa en el bombeo, pero: **protege y estabiliza el órgano**.

- El corazón está organizado como dos bombas sincronizadas, dotadas de válvulas que aseguran un flujo unidireccional, y formadas por capas especializadas, siendo el miocardio el elemento activo del bombeo.

⇒ VÁLVULAS CARDÍACAS: FUNCIÓN FISIOLÓGICA

En este esquema se detallan las **válvulas del corazón** y su misión:

- **Función general**: asegurar el **flujo unidireccional** de la sangre.
- **Lado derecho**:
  - Válvula **auriculoventricular tricúspide**
  - Válvula **semilunar pulmonar**
- **Lado izquierdo**:
  - Válvula **auriculoventricular mitral o bicúspide**
  - Válvula **semilunar aórtica**
- Se indica que las válvulas poseen un **esqueleto fibroso**, cuya función es **impedir el estiramiento**.



Aquí se aclara un punto esencial:

👉 **las válvulas no impulsan la sangre; solo impiden que retroceda**.

1. PRINCIPIO BÁSICO: VÁLVULAS PASIVAS

Las válvulas cardíacas:

- **No se contraen**
- **No se abren "por orden nerviosa"**
- Funcionan **pasivamente**, respondiendo a:
  - diferencias de presión entre cámaras

  ◈ Se abren o se cierran **automáticamente** según cambian las presiones durante el ciclo cardíaco.

2. VÁLVULAS AURICULOVENTRICULARES (AV)

→ **Tricúspide (derecha)**

- Entre aurícula y ventrículo derechos
- Permite el paso de sangre durante la diástole ventricular
- Se cierra al inicio de la sístole

→ **Mitral o bicúspide (izquierda)**

- Entre aurícula y ventrículo izquierdos
- Cumple la misma función, pero en el circuito sistémico

Función común:

👉 **evitar que la sangre vuelva a las aurículas cuando el ventrículo se contrae**.

3. VÁLVULAS SEMILUNARES

→ **Pulmonar**

- Entre ventrículo derecho y arteria pulmonar

→ **Aórtica**

- Entre ventrículo izquierdo y aorta
  - Se abren: Durante la sístole ventricular
  - Se cierran: Cuando la presión arterial supera a la ventricular, al inicio de la diástole

Función:
👉 **evitar el reflujo desde las arterias hacia los ventrículos**.

4. ESQUELETO FIBROSO: ESTABILIDAD MECÁNICA
El **esqueleto fibroso**:

- Da soporte a las válvulas
- Mantiene la forma de los orificios valvulares
- Evita el estiramiento excesivo durante la contracción

→ **Importancia fisiológica**:

- Garantiza un cierre eficaz
- Permite soportar presiones elevadas (especialmente en el lado izquierdo)

Sin este soporte:
👉 las válvulas perderían competencia.

5. IMPORTANCIA FUNCIONAL GLOBAL
→ Las válvulas:

- Permiten que el corazón funcione como una **bomba eficaz**
- Mantienen la dirección del flujo
- Hacen posible el ciclo cardíaco ordenado

→ Cuando fallan:

- Aparecen soplos
- Disminuye el gasto cardíaco
- Se altera la perfusión tisular

🔹 Las válvulas cardíacas son estructuras pasivas que aseguran el flujo unidireccional de la sangre, funcionando exclusivamente por diferencias de presión y apoyadas en un esqueleto fibroso que garantiza su eficacia mecánica.

⇒ **<u>TEJIDO MUSCULAR CARDÍACO Y DISCOS INTERCALARES</u>**

Veamos las **características del tejido muscular cardíaco**:

- **Tipos de músculo cardíaco**:
  - Auricular
  - Ventricular
  - Fibras musculares especializadas de excitación
- **Ley del todo o nada**
- **Discos intercalares**, con:
  - **Uniones gap**
  - **Uniones adherentes**
- El miocardio actúa como un **sincitio funcional**
- La contracción cardíaca es más **prolongada** que la del músculo esquelético

→ **Explicación en profundidad**
¿Por qué el corazón se comporta de manera distinta a cualquier otro músculo del organismo?

1. EL MIOCARDIO COMO TEJIDO MUSCULAR ESPECIAL

El **tejido muscular cardíaco** comparte rasgos con:

- el músculo esquelético (estriado),
- y con el músculo liso (automatismo parcial),
  → pero constituye un **tipo propio**, con propiedades exclusivas.

Características generales:

- Estriado
- Involuntario
- Altamente especializado para la contracción rítmica y coordinada

2. TIPOS DE FIBRAS CARDÍACAS

a) Músculo auricular y ventricular

- Son las fibras **contráctiles**
- Generan la fuerza que impulsa la sangre
- Se contraen de forma similar al músculo esquelético, pero:
  - con una **duración de contracción mayor**
  - con un período refractario prolongado

👉 Esto impide la tetanización del corazón, algo vital.

b) Fibras musculares especializadas de excitación

- Forman el **sistema de conducción**
- Son **autoexcitables**
- Apenas se contraen
- Generan y transmiten potenciales de acción rítmicos

👉 Su función no es bombear, sino **coordinar el latido**.

3. DISCOS INTERCALARES: LA CLAVE DEL SINCITIO

Las células musculares cardíacas **no funcionan de forma aislada**. Están unidas por los **discos intercalares**, que contienen:

a) Uniones gap

- Permiten el paso directo de iones
- Transmiten el potencial de acción de una célula a otra
- Garantizan la **propagación rápida de la despolarización**

b) Uniones adherentes

- Proporcionan cohesión mecánica
- Evitan que las células se separen durante la contracción

Gracias a estas uniones:

👉 el miocardio se comporta como un **sincitio funcional** (llamado así al grupo de células que, aunque estructuralmente separadas, actúan como una única unidad coordinada debido a conexiones que permiten el rápido paso de impulsos eléctricos y moléculas):

- Posee muchas células,
- pero una sola contracción coordinada.

4. LEY DEL TODO O NADA EN EL CORAZÓN

En el miocardio:

- **si una fibra se despolariza, lo hace completamente**

- la contracción no es graduable fibra a fibra

La fuerza del latido:
- no se regula reclutando más fibras (como en el músculo esquelético),
- sino modificando:
  - la frecuencia,
  - la contractilidad,
  - el llenado ventricular.

5. IMPORTANCIA DEL PERÍODO REFRACTARIO LARGO

La duración prolongada del potencial de acción y del período refractario:
- Impide contracciones sostenidas
- Obliga a una secuencia:
  - contracción → relajación → llenado

👉 Esto asegura: **un latido rítmico y eficaz**, compatible con la vida.

🔹 El miocardio es un tejido muscular especializado que, gracias a los discos intercalares y a las uniones gap, actúa como un **sincitio funcional**, permitiendo una contracción coordinada y rítmica no sostenida.

⇒ **<u>PROPIEDADES DEL MIOCARDIO</u>**

Veamos las **propiedades fisiológicas fundamentales del miocardio**:
1. **Automatismo**
2. **Conducción – excitabilidad**
3. **Latido ordenado** (válvulas y ciclo cardíaco)
4. **Regulación de la actividad cardíaca** por:
   - Nervios eferentes (SNA)
   - Adrenalina circulante

Además, tiene tres conceptos clásicos de regulación:
- **Cronotropismo** → frecuencia
- **Inotropismo** → fuerza de contracción
- **Dromotropismo** → velocidad de conducción

1. AUTOMATISMO CARDÍACO

El **automatismo** significa que:

El corazón presenta actividad eléctrica intrínseca y rítmica, sin necesidad de estímulo nervioso externo.

→ Esto es una propiedad exclusiva del tejido cardíaco.
- Existen células **autoexcitables**
- Generan potenciales de acción de forma espontánea
- Determinan el ritmo básico del corazón

👉 Consecuencia fundamental: **el corazón late incluso aislado del sistema nervioso** (mientras tenga oxígeno y nutrientes).

El sistema nervioso **no inicia** el latido: solo lo **modula**.

2. CONDUCCIÓN Y EXCITABILIDAD
Estas dos propiedades están estrechamente ligadas.

→ **Conducción**
Capacidad de:
- transmitir ese potencial de acción
- a lo largo del miocardio

→ **Excitabilidad**
Capacidad del tejido cardíaco para:
- responder a un estímulo eléctrico
- generar un potencial de acción

Esto se logra gracias a:
- fibras especializadas,
- uniones gap,
- organización anatómica precisa,

👉 **La despolarización**: se propaga de forma rápida y ordenada por todo el corazón.

3. LATIDO ORDENADO
El corazón **no se contrae al azar**.

→ El latido ordenado implica:
- Secuencia correcta:
  - aurículas → ventrículos
- Apertura y cierre coordinados de válvulas
- Alternancia rítmica de:
  - **sístole**
  - **diástole**

→ Esto permite:
- Llenado eficaz
- Eyección eficiente
- Flujo unidireccional

👉 Un latido sin orden **no sería funcional**.

4. REGULACIÓN DE LA ACTIVIDAD CARDÍACA
Aunque el corazón es automático, **no es rígido**.
Su actividad se ajusta mediante:
- **Sistema nervioso autónomo**
- **Hormonas circulantes** (adrenalina)

→ **Actividades**:
a) Cronotropismo
Se refiere a la:
- **frecuencia de formación del impulso**
- Cronotropismo positivo → aumenta la frecuencia
- Cronotropismo negativo → disminuye la frecuencia

Regulado principalmente en:
- el **nodo sinoauricular**

b) Inotropismo

Se refiere a la:

- **fuerza de contracción**
- Inotropismo positivo → contracción más potente
- Inotropismo negativo → contracción más débil

Clave para:

- Ajustar el volumen sistólico
- Adaptarse a ejercicio o estrés

c) Dromotropismo

Se refiere a la:

- **velocidad de conducción del impulso**

Especialmente importante en:

- nodo auriculoventricular

Permite:

- sincronizar aurículas y ventrículos
- evitar contracciones simultáneas ineficaces

5. VISIÓN INTEGRADA

- El corazón genera su propio ritmo, pero la intensidad, frecuencia y coordinación del latido se ajustan continuamente a las necesidades del organismo.
- Ni es una bomba rígida, ni depende totalmente del sistema nervioso.
- Es un sistema **autónomo pero regulable**.

- El miocardio posee automatismo, excitabilidad y capacidad de conducción que permiten un latido ordenado, cuya frecuencia, fuerza y velocidad pueden ser moduladas por el sistema nervioso autónomo y las hormonas.

⇒ **AUTOMATISMO CARDÍACO Y SISTEMA DE CONDUCCIÓN**

Vamos a ver cómo se desarrolla la **propiedad de automatismo** del corazón y de qué manera se produce el **sistema de conducción cardíaco**. Para ello, identificaremos:

1. **Nodo sinoauricular (SA)**
2. **Vías internodales**
3. **Nodo auriculoventricular (AV)**
4. **Haz de His**
5. **Ramas derecha e izquierda del Haz de His**
6. **Fibras de Purkinje**

Además, veremos como:

- Estas fibras forman una **red de células musculares automáticas**
- Son **autoexcitables**
- Apenas se contraen
- Generan **potenciales de acción rítmicos**
- Constituyen el **marcapasos cardíaco**
- Se muestra el **potencial de acción del nodo SA** (Na^+, Ca^{2+}, K^+)

Todo esto es **clave**, porque se explica **por qué el corazón late solo y cómo ese latido se ordena en el tiempo y el espacio**.

1. AUTOMATISMO: EL CORAZÓN NO NECESITA ÓRDENES EXTERNAS

El **automatismo cardíaco** significa que:

- **Existen células capaces de generar potenciales de acción espontáneamente, de forma rítmica y continua.**

Estas células:

- No requieren estimulación nerviosa
- No esperan una señal externa
- Se despolarizan solas

👉 Esto es fisiológicamente decisivo: el sistema nervioso **no inicia** el latido; solo lo **modula**.

2. EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN: UNA RED ESPECIALIZADA

El corazón contiene una **red organizada de fibras musculares especiales**, distintas de las contráctiles.

Características de estas fibras:

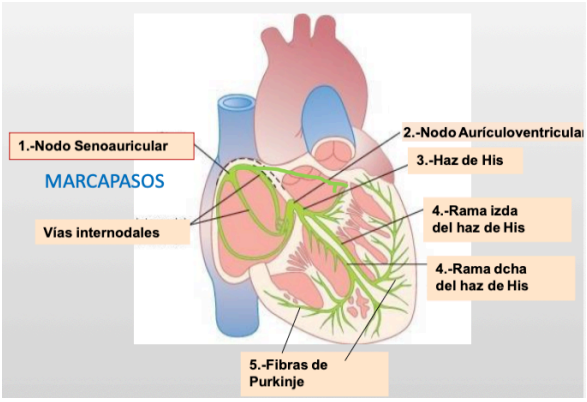
- Son musculares (no nerviosas)
- Tienen automatismo
- Conducen rápidamente el impulso
- Generan muy poca fuerza contráctil

👉 Su función es: **coordinar el latido**, no producir presión.

3. NODO SINOAURICULAR (SA): EL MARCAPASOS

El **nodo SA**:

- Se localiza en la aurícula derecha
- Es la estructura con:
  - mayor frecuencia de descarga espontánea



👉 Por eso: **impone su ritmo al resto del corazón**.

Aunque otras zonas puedan generar impulsos:

- El nodo SA descarga más rápido
- Las demás quedan "silenciadas"

👉 Este fenómeno se llama: **dominancia del marcapasos sinusal**.

4. RECORRIDO ORDENADO DEL IMPULSO

El potencial de acción sigue un trayecto preciso:

1. Nodo SA → despolariza las aurículas
2. Vías internodales → conducen hacia el nodo AV
3. Nodo AV → introduce un **retardo fisiológico**
4. Haz de His → conduce a los ventrículos
5. Ramas derecha e izquierda
6. Fibras de Purkinje → despolarización rápida y simultánea del miocardio ventricular

Este orden asegura:

- Primero contracción auricular (llenado)
- Después contracción ventricular (eyección)

5. EL RETARDO DEL NODO AV: DETALLE CRUCIAL

El **nodo AV**:

- Conduce lentamente
- Retrasa el impulso unos milisegundos

👉 Esto permite: que las aurículas se vacíen **antes** de que se contraigan los ventrículos.

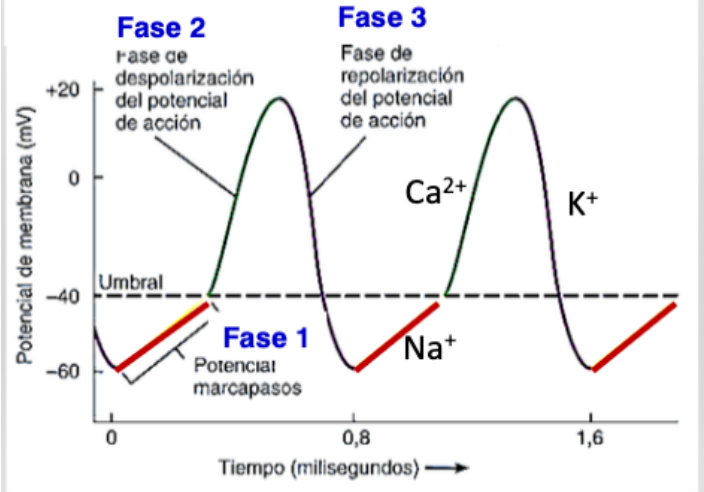
Sin este retardo:

- El latido sería desorganizado
- El llenado ventricular sería ineficaz

6. POTENCIAL DE ACCIÓN DEL NODO SA

El potencial de acción del nodo SA es **distinto** al de las fibras contráctiles:

- No existe un potencial de reposo estable
- Hay una **despolarización lenta espontánea**
- Intervienen:
  - Canales de Na^+ (corriente lenta)
  - Canales de Ca^{2+}
  - Canales de K^+



Este diseño explica:

- El automatismo
- La frecuencia cardíaca basal
- La posibilidad de modulación por el SNA

7. CONCEPTO DE MARCAPASOS

El término **marcapasos** no es solo un aparato artificial: **El corazón posee un marcapasos natural: el nodo sinoauricular.**

Los dispositivos artificiales **imitan** este sistema fisiológico cuando falla.

🔹 IDEA CLAVE

El latido cardíaco se origina de forma espontánea en el nodo sinoauricular y se propaga de manera ordenada por un sistema de conducción especializado, asegurando una contracción secuencial y eficaz del corazón.

⇒ <u>CONDUCCIÓN, EXCITABILIDAD Y POTENCIAL DE ACCIÓN DEL MIOCARDIO CONTRÁCTIL</u>

Aquí desarrollamos las propiedades de **conducción y excitabilidad** del miocardio, destacando:

- Iones implicados en el potencial de acción: **Na^+, Ca^{2+}, K^+**
- **Período refractario absoluto (PRA)**
- **Período refractario relativo (PRR)**
- Diferencia entre:
  - **Células autorítmicas** (nodales)
  - **Células miocárdicas contráctiles**

Este tema es crucial porque explica **cómo el impulso eléctrico se traduce en contracción eficaz**, y por qué el corazón **no puede tetanizarse** como el músculo esquelético.

1. CÉLULAS CONTRÁCTILES VS CÉLULAS NODALES

Conviene separar claramente ambos tipos:

Células autorítmicas (nodales)

- Generan el impulso
- Se despolarizan espontáneamente
- Apenas producen fuerza

Células miocárdicas contráctiles

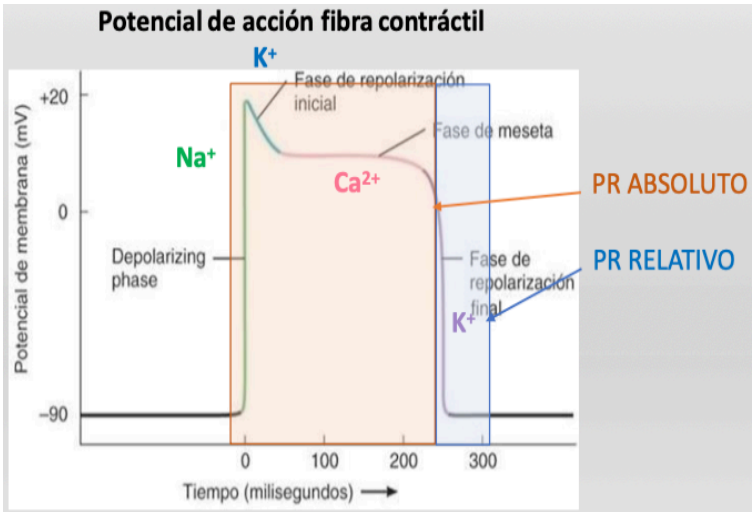
- **No tienen automatismo**
- **No se despolarizan solas**
- Solo generan potenciales de acción cuando reciben un estímulo del sistema de conducción
- Su función es **producir fuerza**

👉 Esta separación de funciones es fundamental para un latido ordenado.

2. POTENCIAL DE ACCIÓN DEL MIOCARDIO CONTRÁCTIL

El potencial de acción ventricular es **largo y complejo**, y consta de varias fases bien definidas:

- **Fase 0 (despolarización rápida)**
  Entrada masiva de **Na^+**
- **Fase 1 (repolarización inicial)**
  Salida transitoria de K^+
- **Fase 2 (meseta)**
  Entrada sostenida de **Ca^{2+}**
  (fase característica del corazón)
- **Fase 3 (repolarización)**
  Salida de **K^+**
- **Fase 4 (reposo estable)**
  Potencial de membrana estable



La **fase de meseta** es el rasgo distintivo del músculo cardíaco.

3. SIGNIFICADO DE LA MESETA (CA^{2+})

La entrada prolongada de **Ca^{2+}**:

- Mantiene la despolarización
- Permite una contracción larga y potente
- Acopla electricidad y mecánica (acoplamiento excitación–contracción)

👉 Además: es la base del **período refractario prolongado**.

4. PERÍODOS REFRACTARIOS

🔹 Período refractario absoluto (PRA)

Durante este período:

- **No puede generarse otro potencial de acción**
- Aunque el estímulo sea muy intenso

Coincide prácticamente con la **sístole ventricular**.

👉 Consecuencia vital: **el corazón no puede tetanizarse** (provocar estado tetánico, o contracciones o espasmos continuos).

- **Período refractario relativo (PRR)**

En esta fase:

- Puede generarse un potencial de acción
- Solo con estímulos más intensos
- La respuesta es anómala o incompleta

Tiene importancia clínica en:

- Arritmias
- Extrasístoles

5. RELACIÓN ENTRE ELECTRICIDAD Y MECÁNICA

El esquema deja claro que:

- **La contracción sigue al potencial de acción**
- El corazón solo es excitable:
  - al final de la diástole
- Durante la sístole:
  - el miocardio es eléctricamente inexitable

Esto asegura:

- Ritmo estable
- Alternancia contracción–relajación
- Llenado ventricular eficaz

6. IMPORTANCIA FISIOLÓGICA Y CLÍNICA

Todo esto explica:

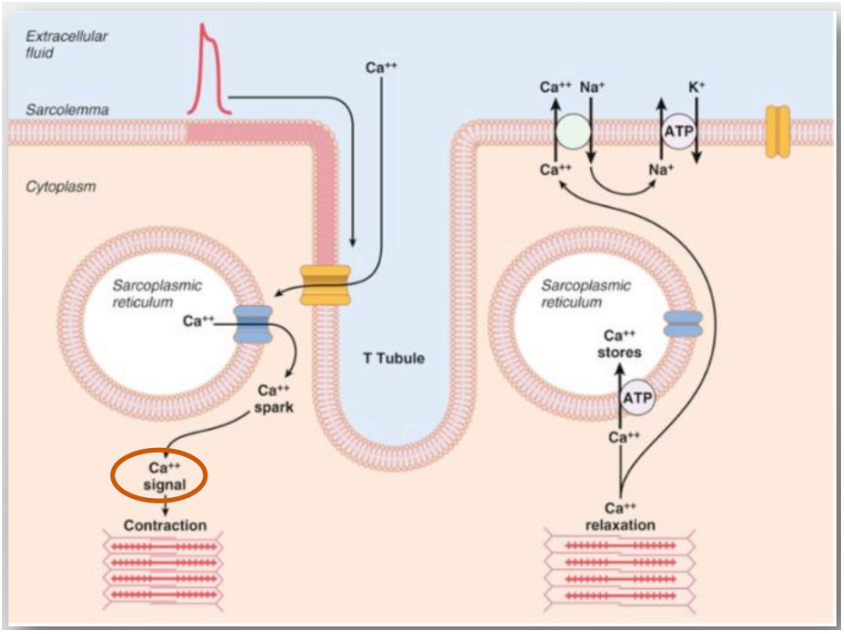
- Por qué el corazón no entra en contracción sostenida
- Por qué ciertos fármacos (bloqueadores de Ca^{2+}) afectan a la contractilidad
- Por qué las alteraciones iónicas producen arritmias

- Las células miocárdicas contráctiles solo responden a estímulos del sistema de conducción y presentan un potencial de acción largo, con un período refractario prolongado que impide la tetanización y garantiza un latido rítmico y eficaz.

⇒ **<u>LATIDO ORDENADO: RELACIÓN ENTRE ACTIVIDAD ELÉCTRICA Y CICLO CARDÍACO</u>**

Veamos de qué manera se vinculan directamente las **propiedades eléctricas del miocardio** con el **ciclo mecánico del corazón**, destacando:

- **La contracción sigue al potencial de acción**
- **La sístole coincide con el período refractario absoluto**
- **Inexcitabilidad sistólica**
- **Recuperación de la excitabilidad al final de la diástole**



Esta diapositiva es esencial porque explica **por qué el corazón late de forma ordenada y no caótica**, y cómo se sincronizan electricidad y mecánica.

1. PRINCIPIO CLAVE: LA ELECTRICIDAD MANDA

En el corazón se cumple rigurosamente:
No hay contracción sin despolarización previa.

Es decir:

- Primero ocurre el **potencial de acción**
- Después se inicia la **contracción mecánica**

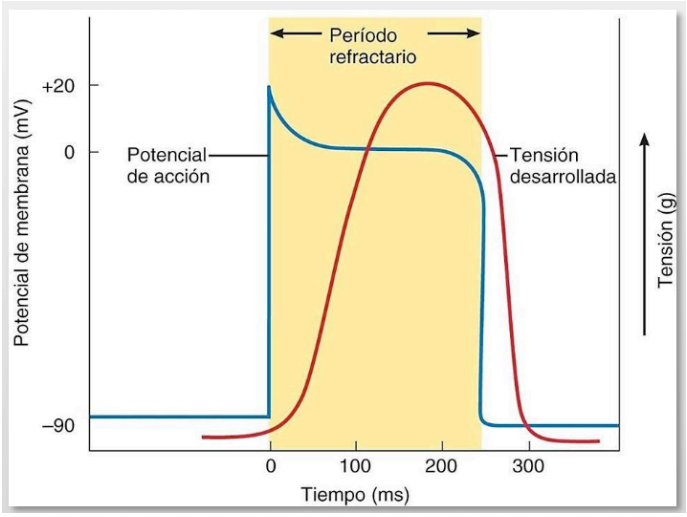
Esto garantiza que:

- la contracción esté sincronizada,
- no sea errática,
- afecte a todo el miocardio de forma coordinada.

2. SÍSTOLE Y PERÍODO REFRACTARIO ABSOLUTO

Durante la **sístole ventricular**:

- El miocardio está en **período refractario absoluto**
- Las células **no pueden excitarse de nuevo**
- No importa la intensidad del estímulo



👉 Este hecho es fisiológicamente decisivo ya que **impide contracciones superpuestas**.

Si el corazón pudiera reexcitarse durante la sístole:

- Entraría en tetania
- No habría fase de llenado
- El bombeo sería ineficaz y letal

3. INEXCITABILIDAD SISTÓLICA

La **inexcitabilidad sistólica** significa que:

- Durante la contracción,
- el miocardio no responde a nuevos estímulos eléctricos.

Esto asegura:

- Una sola contracción por latido
- Eyección eficaz de la sangre
- Respeto del orden aurícula → ventrículo

4. DIÁSTOLE: RECUPERACIÓN Y PREPARACIÓN

Durante la **diástole**:

- El miocardio se relaja
- Se restablecen los gradientes iónicos
- Se recupera la **excitabilidad**

Al final de la diástole:

- El corazón **vuelve a ser excitable**
- Puede iniciarse un nuevo potencial de acción
- Se prepara el siguiente latido

👉 La diástole no es un “descanso pasivo”, es una **fase activa de recuperación funcional**.

5. CONSECUENCIA FISIOLÓGICA GLOBAL

Este acoplamiento entre:

- potencial de acción largo,
- período refractario prolongado,
- contracción mecánica,

permite:

- Ritmo estable
- Frecuencia regulable
- Bombeo continuo y eficaz

👉 Es una adaptación **imprescindible para la vida**.

La sístole ventricular coincide con el período refractario absoluto del miocardio, lo que hace al corazón inexitable durante la contracción y garantiza un latido único, ordenado y eficaz en cada ciclo cardíaco.

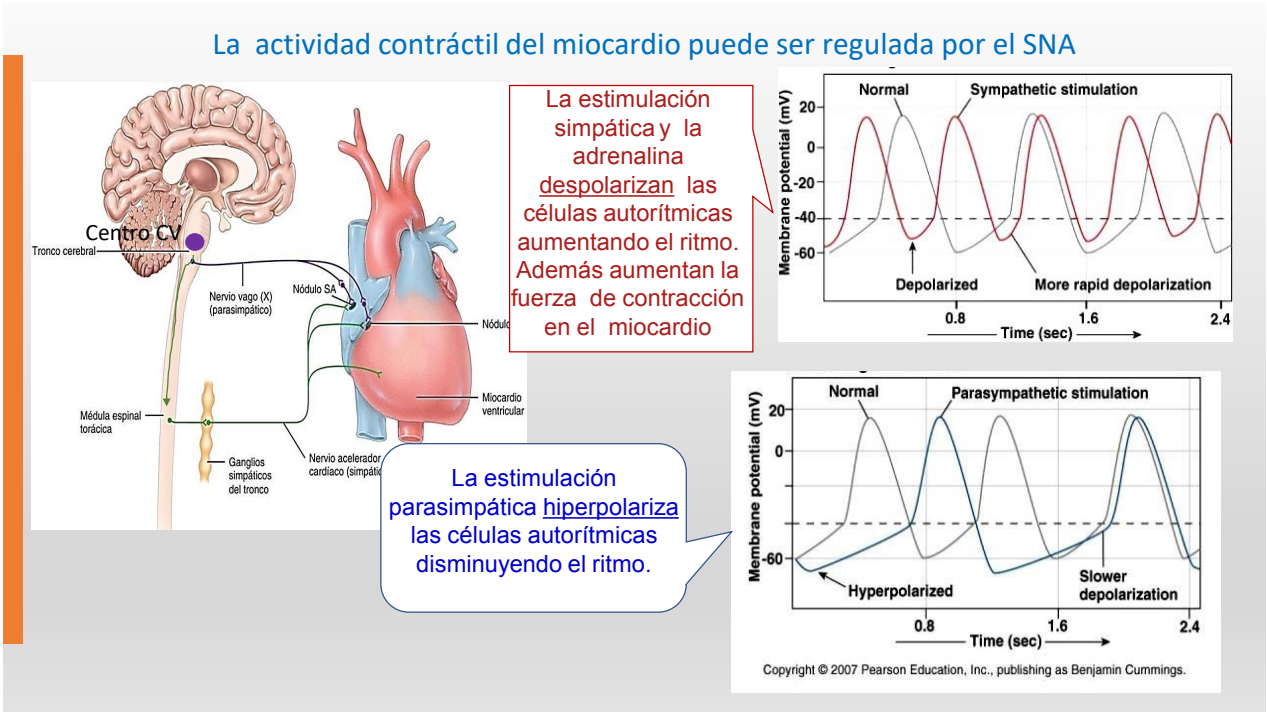
⇒ REGULACIÓN DE LA ACTIVIDAD CARDÍACA POR EL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

Veamos cómo la **actividad contráctil del miocardio** es modulada por el **Sistema Nervioso Autónomo (SNA)**:

- **Estimulación simpática** y **adrenalina circulante**:
  - Despolarizan las células autorítmicas
  - **Aumentan el ritmo cardíaco**
  - **Aumentan la fuerza de contracción**
- **Estimulación parasimpática**:
  - Hiperpolariza las células autorítmicas
  - **Disminuye el ritmo cardíaco**
- Intervención del **centro cardiovascular (CV)**

→ **El corazón es automático, pero no independiente del sistema nervioso.**

El SNA **no inicia el latido**, pero **ajusta finamente su comportamiento** para adaptarlo a las necesidades del organismo.



1. SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO Y CORAZÓN

El corazón recibe inervación de:

- **Sistema simpático**
- **Sistema parasimpático**

Ambos actúan principalmente sobre:

- **Células autorítmicas** (nodo SA y nodo AV)
- **Miocardio contráctil** (sobre todo el simpático)

El resultado es un control dinámico y continuo del latido.

2. ESTIMULACIÓN SIMPÁTICA

La **estimulación simpática** (y la adrenalina de la médula suprarrenal):

a) Efecto sobre la frecuencia (cronotropismo +)

- Aumenta la pendiente de la despolarización espontánea del nodo SA
- El umbral se alcanza antes
- El corazón late más rápido

b) Efecto sobre la fuerza (inotropismo +)

- Aumenta la entrada de Ca^{2+} en las fibras contráctiles
- La contracción es más potente
- Se incrementa el volumen sistólico

c) Efecto sobre la conducción (dromotropismo +)

- Aumenta la velocidad de conducción, especialmente en el nodo AV
- Se acorta el retraso auriculoventricular

👉 Todo esto prepara al organismo para **situaciones de actividad, estrés o ejercicio**.

3. ESTIMULACIÓN PARASIMPÁTICA

El **parasimpático** produce (principalmente a través del nervio vago):

a) Efecto sobre la frecuencia (cronotropismo −)

- Hiperpolariza las células del nodo SA
- Disminuye la pendiente de despolarización espontánea
- El umbral tarda más en alcanzarse

Resultado:

👉 **disminuye la frecuencia cardíaca**

b) Efecto sobre la conducción (dromotropismo −)

- Disminuye la velocidad de conducción en el nodo AV
- Aumenta el retraso AV

c) Efecto limitado sobre la fuerza

- Escasa inervación parasimpática ventricular
- El efecto inotrópico negativo es pequeño

El parasimpático predomina:

👉 **en reposo**, manteniendo la frecuencia cardíaca basal baja.

4. CENTRO CARDIOVASCULAR (CV)

El **centro cardiovascular**, situado en el tronco del encéfalo:

- Integra información de:
  - Barorreceptores
  - Quimiorreceptores
  - Centros superiores
- Ajusta la actividad simpática y parasimpática

Gracias a este centro:

- El corazón responde en segundos a cambios de presión, postura o esfuerzo

5. EQUILIBRIO FUNCIONAL

En condiciones normales:

- Existe un **tono parasimpático basal**
- El corazón late más lento de lo que lo haría por su automatismo puro

Este equilibrio permite:

- Ahorro energético
- Capacidad de respuesta rápida ante demanda

👉 **IDEA CLAVE**

El sistema nervioso autónomo regula la frecuencia, la fuerza y la velocidad de conducción del corazón, modulando un órgano que es automático por naturaleza para adaptarlo continuamente a las necesidades del organismo.

⇒ EFECTOS DEL SNA SOBRE EL CORAZÓN Y "ESCAPE DEL VAGO"

Estos son los **efectos específicos** del **Sistema Nervioso Autónomo** sobre el corazón:

- **Estimulación simpática**:
  1. ↑ tasa de descarga del **nodo sinoauricular (SA)**
  2. ↑ **velocidad de conducción**
  3. ↑ **fuerza de contracción** del miocardio
- **Estimulación parasimpática**:
  - ↓ frecuencia de excitación del nodo SA
  - ↓ excitabilidad del **nodo auriculoventricular (AV)**
  - **Enlentecimiento** de la transmisión del estímulo a los ventrículos

1. EFECTOS DEL SIMPÁTICO: RESPUESTA DE ACTIVACIÓN

La **estimulación simpática** actúa sobre receptores β_1-adrenérgicos y produce una respuesta global de **activación**:

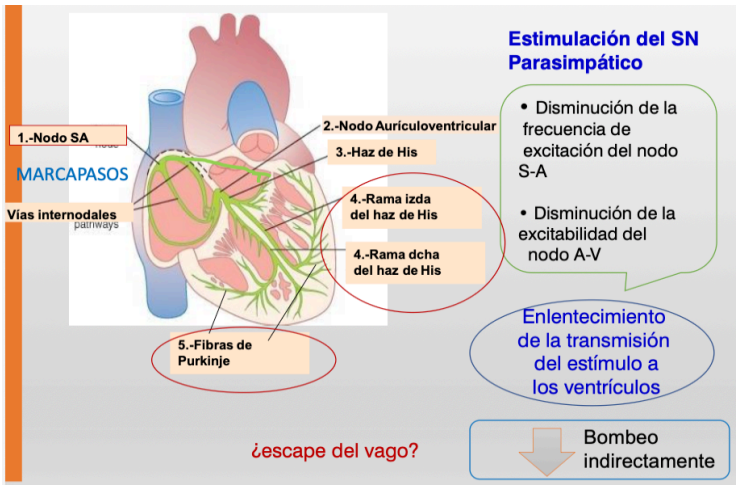
- **Cronotropismo positivo**:
  el nodo SA alcanza antes el umbral → **aumenta la frecuencia**.
- **Dromotropismo positivo**:
  la conducción (especialmente en el nodo AV) es más rápida → **mejor sincronía a altas frecuencias**.
- **Inotropismo positivo**:
  mayor entrada de Ca^{2+} en el miocardio → **contracción más potente**.

👉 Resultado funcional: aumento del **gasto cardíaco** para cubrir demandas elevadas (ejercicio, estrés).

2. EFECTOS DEL PARASIMPÁTICO: FRENO FISIOLÓGICO

El **parasimpático** (vagal) ejerce un **control inhibidor** predominante en reposo:

- **Cronotropismo negativo**:
  - Hiperpolariza el nodo SA
  - Disminuye la pendiente de despolarización espontánea
  - ↓ frecuencia cardíaca
- **Dromotropismo negativo**:
  - ↓ excitabilidad del nodo AV
  - ↑ retraso AV
- **Efecto inotrópico**:
  - Muy limitado en ventrículos
  - Más evidente en aurículas



Resultado funcional:

👉 **economía energética** y estabilidad del ritmo en reposo.

3. ¿QUÉ ES EL "ESCAPE DEL VAGO"?

Aquí está el concepto clave de esta diapositiva.

→ El **escape del vago** se refiere a que: **Aunque la estimulación parasimpática sea intensa, el corazón no se detiene indefinidamente.**

→ **Mecanismo**

- El vago puede:
  - frenar el nodo SA,
  - enlentecer el nodo AV,
- pero **no bloquea completamente** el sistema de conducción ventricular.

Si el nodo SA queda muy inhibido:

- **otros marcapasos latentes** (nodo AV o His–Purkinje) **asumen el ritmo**, aunque más lento.

👉 Esto garantiza: **seguridad eléctrica** del corazón.

4. MARCAPASOS JERÁRQUICOS

El corazón tiene una **jerarquía de marcapasos**:

1. **Nodo SA** → mayor frecuencia (normal)
2. **Nodo AV** → frecuencia menor
3. **Sistema His–Purkinje** → frecuencia aún menor

🔷 Regla fisiológica: **El marcapasos más rápido domina**; si falla, el siguiente toma el control.

5. IMPORTANCIA FISIOLÓGICA Y CLÍNICA

Esta manera de funcionar explica:

- Por qué no "se para" el corazón con estímulos vagales intensos
- Por qué existen ritmos de escape en bloqueos
- La lógica de los marcapasos artificiales

Es un sistema:

- redundante,
- jerárquico,
- extraordinariamente seguro.

Y es que: El sistema nervioso autónomo modula el ritmo, la conducción y la fuerza del corazón, pero la existencia de marcapasos jerárquicos permite el "escape del vago" y asegura la continuidad del latido incluso ante inhibición intensa del nodo sinusal.

⇒ CICLO CARDÍACO: INTEGRACIÓN MECÁNICA, ELÉCTRICA Y ACÚSTICA

Esta es la definición final del **ciclo cardíaco** como la **unidad repetitiva** de la actividad del corazón, incluidos **todos los fenómenos asociados a un latido**:

- **Mecánicos**
  - Sístole y diástole **auricular**
  - Sístole y diástole **ventricular**
- **Acústicos**
  - Ruidos cardíacos
- **Cambios de presión y volumen**
  - En cámaras cardíacas y grandes vasos (curvas P–V)
- **Eléctricos**
  - Registro en el **ECG**

→ Principio rector: La sangre se desplaza siempre **de zonas de mayor presión a zonas de menor presión**.

1. QUÉ ES REALMENTE EL CICLO CARDÍACO

El **ciclo cardíaco** es: el conjunto ordenado de eventos que se repiten en **cada latido**, permitiendo el llenado y la eyección de la sangre.

No es solo "contracción y relajación", sino una **secuencia coordinada** en el tiempo.

🔹 FENÓMENOS MECÁNICOS

→ **Sístole**

- Fase de **contracción**
- Aumenta la presión en la cavidad
- Permite la eyección de la sangre
- **Diástole**
- Fase de **relajación**
- Disminuye la presión
- Permite el llenado de las cavidades

→ **Orden fisiológico**:

1. **Sístole auricular** → completa el llenado ventricular
2. **Sístole ventricular** → expulsa la sangre a pulmones y sistema
3. **Diástole ventricular** → llenado pasivo

👉 El orden aurícula → ventrículo es imprescindible para la eficacia del bombeo.

🔹 FENÓMENOS ELÉCTRICOS (ECG)

El **ECG** refleja la actividad eléctrica que **precede y dirige** la mecánica:

- Despolarización auricular → contracción auricular
- Despolarización ventricular → contracción ventricular
- Repolarización → relajación

Regla de oro: **No hay evento mecánico sin evento eléctrico previo.**

🔹 CAMBIOS DE PRESIÓN Y VOLUMEN

Durante el ciclo:

- Cambian las **presiones** en aurículas, ventrículos y arterias
- Cambia el **volumen ventricular**:
  - Llenado (diástole)
  - Eyección (sístole)

Las **curvas presión–volumen** permiten entender:

- trabajo cardíaco,
- volumen sistólico,
- rendimiento del corazón.

→ FENÓMENOS ACÚSTICOS (RUIDOS CARDÍACOS)

Los **ruidos cardíacos** se deben principalmente a:

- **Cierre de válvulas**, no a la contracción muscular
- **Primer ruido (S1)**:
  - Cierre de válvulas AV
  - Inicio de la sístole ventricular
- **Segundo ruido (S2)**:
  - Cierre de válvulas semilunares
  - Inicio de la diástole ventricular

👉 Son manifestaciones audibles de: **eventos mecánicos bien definidos**.

→ EL CICLO COMO FENÓMENO INTEGRADO

Nada ocurre de forma aislada:

- La electricidad marca el ritmo
- La mecánica mueve la sangre
- Las válvulas ordenan el flujo
- Las presiones dirigen el sentido
- Los ruidos reflejan los cierres valvulares

→ Todo está **finamente sincronizado**.

- A modo de resumen: El ciclo cardíaco es la integración ordenada de fenómenos eléctricos, mecánicos, hemodinámicos y acústicos que, en cada latido, permiten el desplazamiento eficaz de la sangre desde zonas de mayor presión a zonas de menor presión.

TEMA 6 - SISTEMA CARDIOVASCULAR II

1. EL SISTEMA CARDIOVASCULAR: IDEA CENTRAL

El sistema cardiovascular tiene una **función esencial y no es negociable**: garantizar el **flujo continuo de sangre** para llevar oxígeno, nutrientes, hormonas y retirar productos de desecho.

En este sistema, **el corazón es el elemento activo**, el que impulsa la sangre.
Los vasos (arterias, capilares y venas) son el sistema de conducción.

2. EL CORAZÓN COMO BOMBA

Desde un punto de vista fisiológico, el corazón es una **bomba muscular rítmica y automática** que:

- Se contrae → **expulsa sangre**
- Se relaja → **se llena de sangre**

Lo importante aquí es entender que:

- No bombea de forma continua, sino **cíclica**
- Su acción está perfectamente **sincronizada** entre aurículas y ventrículos
- Funciona **toda la vida sin descanso**, gracias a su automatismo eléctrico

3. ¿QUÉ ES EL CICLO CARDÍACO?

El **ciclo cardíaco** es la **unidad funcional básica del corazón**.

Incluye **todos los fenómenos que ocurren durante un latido**, desde que empieza uno hasta que comienza el siguiente.

En cada ciclo se producen:

- **Contracción (sístole)**
- **Relajación (diástole)**

Y esto ocurre tanto en:

- **Aurículas**
- **Ventrículos**

Pero **no al mismo tiempo**, sino de forma ordenada.

4. IDEA CLAVE QUE HAY QUE RETENER DESDE EL INICIO

Los fenómenos eléctricos siempre preceden a los mecánicos.

Es decir:

1. Primero hay una **señal eléctrica**
2. Después se produce la **contracción muscular**
3. Y como consecuencia, el **movimiento de la sangre**

Este principio explica:

- El electrocardiograma
- Los ruidos cardíacos
- Las fases del ciclo cardíaco
- Muchas patologías cardíacas

5. ENFOQUE DEL TEMA

Este tema no estudia el corazón como una "pieza anatómica", sino como:

- **Una bomba**
- **Un sistema dinámico**
- **Un mecanismo regulado finamente**

A lo largo de las siguientes diapositivas vamos a ver:

- Cómo se coordina la electricidad con la mecánica
- Cómo cambian presiones y volúmenes
- Cómo se regula el bombeo según las necesidades del organismo

⇒ EL CICLO CARDÍACO: QUÉ ES Y CÓMO SE ESTUDIA

1. EL CICLO CARDÍACO COMO UNIDAD REPETITIVA

El **ciclo cardíaco** es la **unidad repetitiva de la actividad del corazón**.
Cada latido es, en realidad, un ciclo completo que se repite de forma regular.

Incluye **todos los fenómenos asociados a un latido**, tanto:

- **Eléctricos**
- **Mecánicos**
- **Hemodinámicos (presión y volumen)**

No es solo "contracción y relajación": es una **secuencia ordenada de eventos**.

2. QUÉ FASES INCLUYE EL CICLO CARDÍACO

En cada ciclo se producen, de manera coordinada:

- **Sístole auricular** (contracción de las aurículas)
- **Diástole auricular** (relajación de las aurículas)
- **Sístole ventricular** (contracción de los ventrículos)
- **Diástole ventricular** (relajación de los ventrículos)

La clave está en que **aurículas y ventrículos no se contraen simultáneamente**, sino de forma alternante, para facilitar el llenado y la eyección de la sangre.

3. CÓMO SE PUEDE ESTUDIAR EL CICLO CARDÍACO

El ciclo cardíaco se puede analizar desde tres perspectivas complementarias:

a) Electrocardiograma (ECG)
Registra las **señales eléctricas** del corazón.
Permite saber:

- Cuándo se despolarizan las aurículas
- Cuándo se despolarizan los ventrículos
- Si el ritmo y la conducción son normales

Es el **marco temporal** del ciclo.

b) Ruidos cardíacos
Se estudian mediante **auscultación**.
Los ruidos reflejan:

- El **cierre de las válvulas**
- El paso de la sangre
- La relación entre eventos eléctricos y mecánicos

Son una consecuencia directa del ciclo mecánico.

c) Medidas de presión en las cámaras cardíacas
Las presiones:

- Auricular
- Ventricular
- Arterial

las tres, están **estrechamente relacionadas con el volumen de sangre** que contiene cada cámara en cada momento del ciclo.

4. IDEA FUNDAMENTAL
En el ciclo cardíaco, los fenómenos eléctricos preceden a los mecánicos.

Esto significa que:
- Primero ocurre la **despolarización**
- Después la **contracción**
- Y solo entonces el **desplazamiento de la sangre**

Si esta secuencia se altera, aparecen:
- Arritmias
- Fallos de bombeo
- Disminución del gasto cardíaco

5. ENFOQUE FISIOLÓGICO
Desde la fisiología, el ciclo cardíaco no se entiende como partes aisladas, sino como:
- Un **sistema coordinado**
- Donde electricidad, músculo y sangre actúan como un todo
- Ajustado en milisegundos

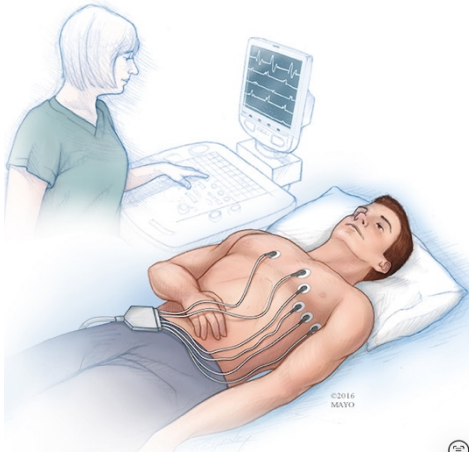
http://www.youtube.com/watch?v=EgmyF5nKKEA

→ **En relación con estos temas, para quien le pueda interesar:**
Tesis doctoral de Ángel Soto Bustos
https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/a6186f70-e458-443d-8454-a4eedb08d5c7/content

⇒ **ELECTROCARDIOGRAMA (ECG): FUNDAMENTO Y UTILIDAD CLÍNICA**

1. QUÉ ES EL ELECTROCARDIOGRAMA
El **electrocardiograma (ECG)** es el **registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón** a lo largo del tiempo.

→ No mide contracción ni flujo de sangre: mide **electricidad**.



2. UTILIDAD CLÍNICA DEL ECG
En la práctica clínica, el ECG permite valorar:
- Alteraciones del **ritmo cardíaco** (arritmias)
- Trastornos de la **conducción eléctrica**
- Aumento de tamaño de cámaras cardíacas
- Orientación del corazón en el tórax
- Efectos de **fármacos**
- Lesiones del miocardio (isquemia, infarto)

→ Es una herramienta **diagnóstica esencial**, rápida y no invasiva.

3. FUNDAMENTO FÍSICO: EL CORAZÓN COMO DIPOLO
Durante la **despolarización**, el corazón se comporta como un **dipolo eléctrico**:
- Una zona se vuelve negativa
- Otra permanece positiva
- Se genera un **campo eléctrico**

→ Este campo se propaga por los tejidos corporales hasta la superficie de la piel.

4. REGISTRO DEL ECG

Las **diferencias de potencial** se registran mediante:

- Electrodos colocados sobre la superficie corporal
- Conectados a un **electrocardiógrafo**

El resultado es una **representación gráfica continua** de la actividad eléctrica cardíaca

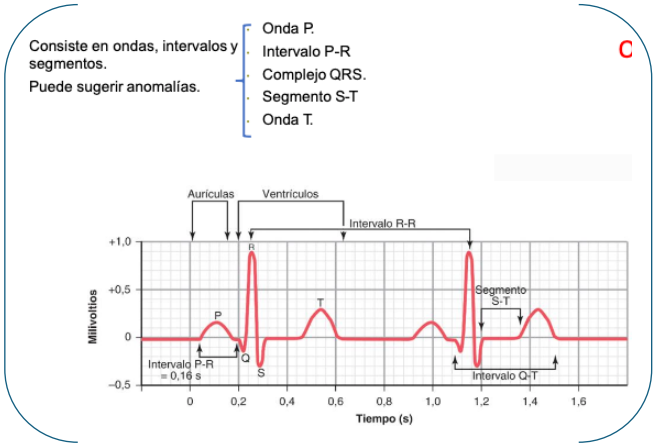
⇒ COMPONENTES DEL ECG: ONDAS, INTERVALOS Y SEGMENTOS

1. ESTRUCTURA BÁSICA DEL ECG

Un ECG normal se compone de:

- **Ondas**
- **Intervalos**
- **Segmentos**

→ Cada uno corresponde a un hecho eléctrico concreto.



2. ONDAS PRINCIPALES

- **Onda P**

Despolarización de las aurículas. En términos sencillos: es la chispa eléctrica que recorre las aurículas (las cámaras superiores del corazón) provocando que se contraigan para bombear la sangre hacia los ventrículos.

- **Complejo QRS**

Despolarización de los ventrículos.
Es el componente de mayor amplitud porque la masa ventricular es mayor.

- **Onda T**

Repolarización ventricular.

3. INTERVALOS Y SEGMENTOS

- **Intervalo PR**

Tiempo que tarda el impulso en pasar de aurículas a ventrículos.

- **Segmento ST**

Periodo en el que los ventrículos están completamente despolarizados.
Coincide con la fase de **contracción y eyección**.

4. IMPORTANCIA FISIOLÓGICA

Alteraciones en ondas, intervalos o segmentos pueden indicar:

- Bloqueos
- Isquemia
- Infarto
- Trastornos electrolíticos

⇒ RELACIÓN ENTRE EL ECG Y LOS EVENTOS MECÁNICOS DEL CORAZÓN

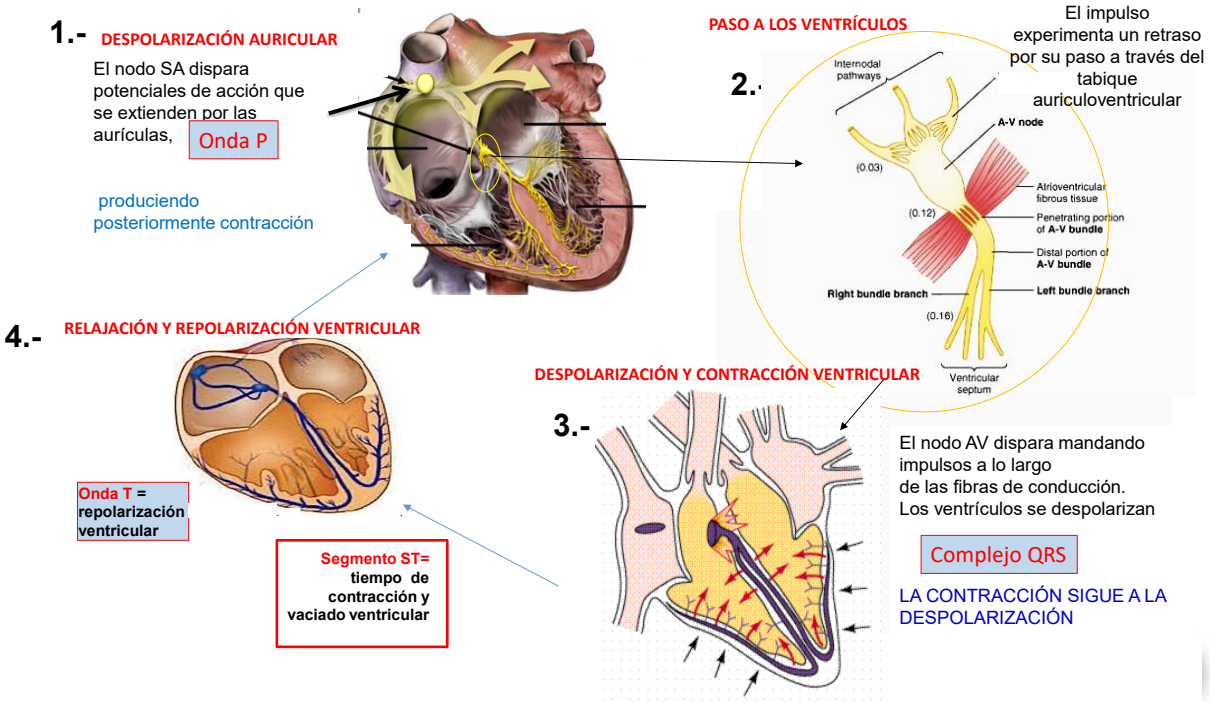
1. INICIO DEL CICLO: NODO SINOAURICULAR (SA)

El **nodo SA** genera espontáneamente potenciales de acción.

Estos impulsos:

- Se propagan por las aurículas
- Provocan su **despolarización**
- Y posteriormente su **contracción**

Esto corresponde a la **onda P**.



2. RETRASO AURICULOVENTRICULAR

El impulso llega al **nodo AV**, donde:

- Se produce un **retraso fisiológico**
- Permite que los ventrículos se llenen correctamente

Este retraso se refleja en el **intervalo PR**.

3. DESPOLARIZACIÓN VENTRICULAR

Desde el nodo AV:

- El impulso viaja por el sistema de conducción
- Despolariza rápidamente los ventrículos

Esto genera el **complejo QRS** y da inicio a la **contracción ventricular**.

4. REPOLARIZACIÓN Y RELAJACIÓN

- La **onda T** representa la repolarización ventricular
- Va seguida de la **relajación del músculo cardíaco**

→ Idea clave que se refuerza: **La contracción sigue siempre a la despolarización.**

⇒ **<u>CORRESPONDENCIA ENTRE EVENTOS ELÉCTRICOS Y REGIONES DEL CORAZÓN</u>**

1. INTEGRACIÓN ELÉCTRICA–ANATÓMICA

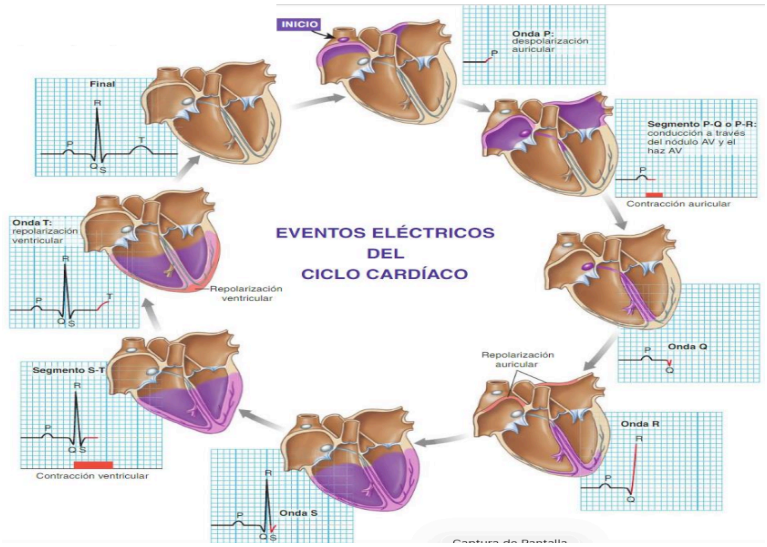
Esta diapositiva muestra cómo cada componente del ECG se asocia a regiones concretas del corazón:

- Onda P → aurículas
- QRS → ventrículos
- Onda T → recuperación ventricular

2. IMPORTANCIA FISIOLÓGICA

Gracias a esta correspondencia podemos:

- Localizar alteraciones
- Inferir qué región cardíaca falla
- Relacionar ECG con mecánica cardíaca



4. VISIÓN GLOBAL

El ECG no es una simple gráfica:

- Es una **traducción eléctrica** del funcionamiento del corazón
- Permite entender el ciclo cardíaco con precisión temporal

⇒ RITMO CARDÍACO: LO NORMAL Y SUS VARIACIONES

1. QUÉ SE CONSIDERA UN RITMO NORMAL

Un ECG normal debe mostrar un **ritmo regular**, lo que significa que:

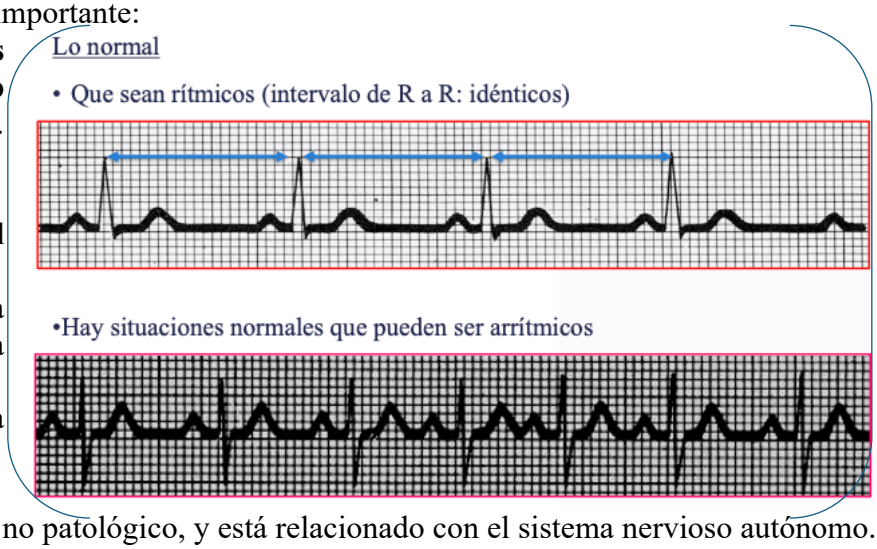
- Los **intervalos R–R** son prácticamente idénticos
- Cada latido sigue al anterior con la misma cadencia
- El marcapasos dominante es el **nodo sinoauricular**

Este patrón se denomina **ritmo sinusal**.

2. REGULARIDAD NO SIGNIFICA RIGIDEZ ABSOLUTA

Esta diapositiva aclara algo importante:

existen situaciones normales en las que el ritmo puede ser ligeramente arrítmico.



Ejemplo clásico:

- **Arritmia sinusal respiratoria**
  - La frecuencia aumenta con la inspiración
  - Disminuye con la espiración

Es un fenómeno **fisiológico**, no patológico, y está relacionado con el sistema nervioso autónomo.

3. ENFOQUE FISIOLÓGICO

El corazón no late como un metrónomo mecánico:

- Se adapta continuamente
- Ajusta su ritmo a respiración, postura, emociones y actividad

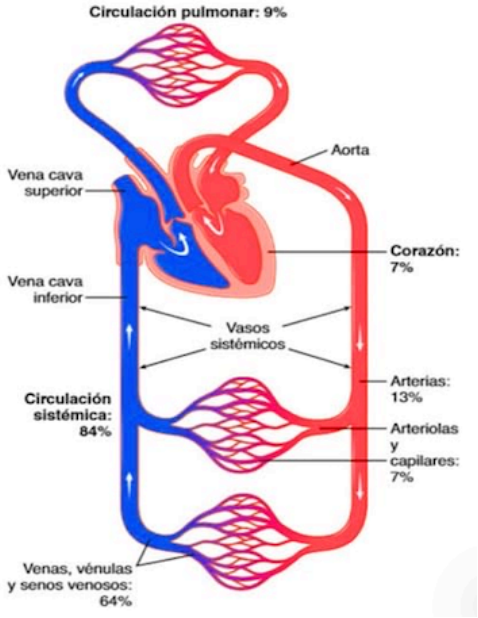
Esto es signo de **buena regulación**, no de enfermedad.

⇒ PRESIÓN Y MOVIMIENTO DE LA SANGRE EN EL CORAZÓN

1. PRINCIPIO BÁSICO DEL FLUJO SANGUÍNEO

La sangre **siempre se desplaza desde zonas de mayor presión hacia zonas de menor presión**.

Este principio físico gobierna todo el sistema cardiovascular.



2. CONTRACCIÓN Y PRESIÓN

Cuando una cámara cardíaca se contrae:

- Disminuye su volumen
- **Aumenta la presión** de la sangre en su interior
- La sangre es empujada hacia la siguiente cavidad o vaso

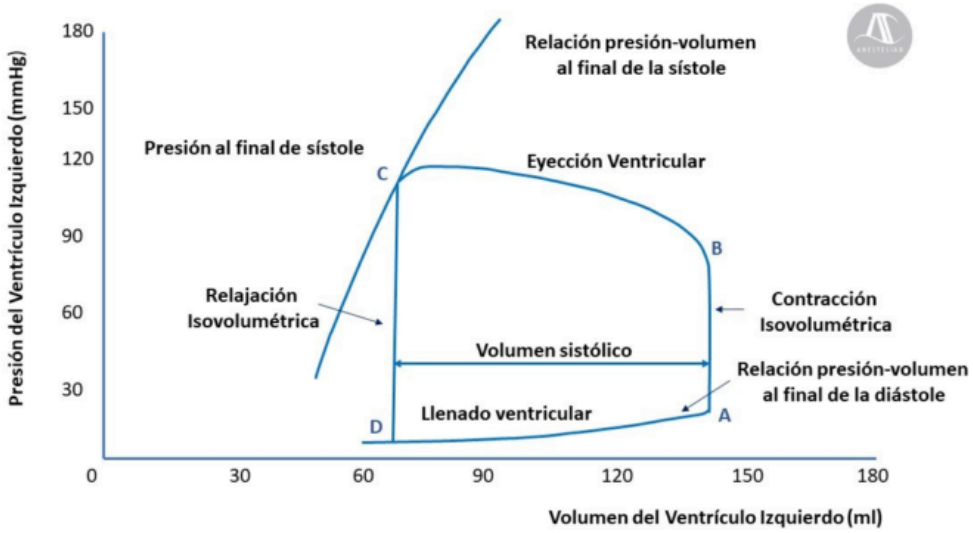
Por tanto:

- Contracción = aumento de presión
- Relajación = descenso de presión

3. ALTERNANCIA AURÍCULAS–VENTRÍCULOS

Aurículas y ventrículos:

- **No se contraen al mismo tiempo**
- Lo hacen de forma alternante



Esto garantiza:

- Llenado eficaz
- Eyección eficiente
- Evita el reflujo de sangre

⇒ FASES DEL CICLO CARDÍACO: VISIÓN GENERAL

1. DOS GRANDES ESTADOS DEL CORAZÓN

El corazón pasa cíclicamente por dos estados fundamentales:

- **Sístole** → contracción
- **Diástole** → relajación

Ambos son **igual de importantes**:

- Sin diástole no hay llenado
- Sin sístole no hay bombeo

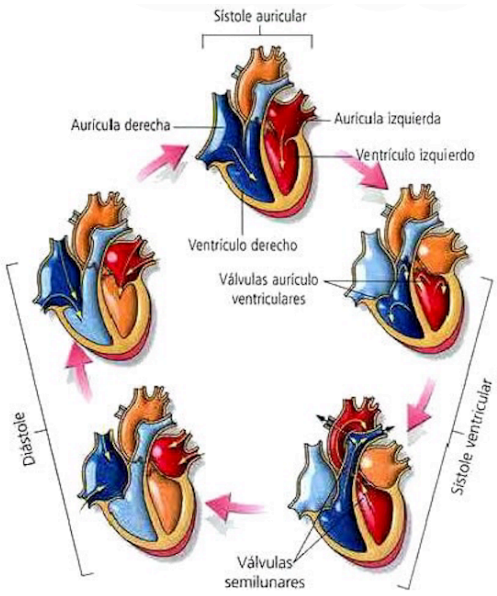
2. SIGNIFICADO FUNCIONAL

- **Sístole**

El músculo cardíaco se contrae → **expulsión de sangre**

- **Diástole**

El músculo se relaja → **llenado de las cavidades**

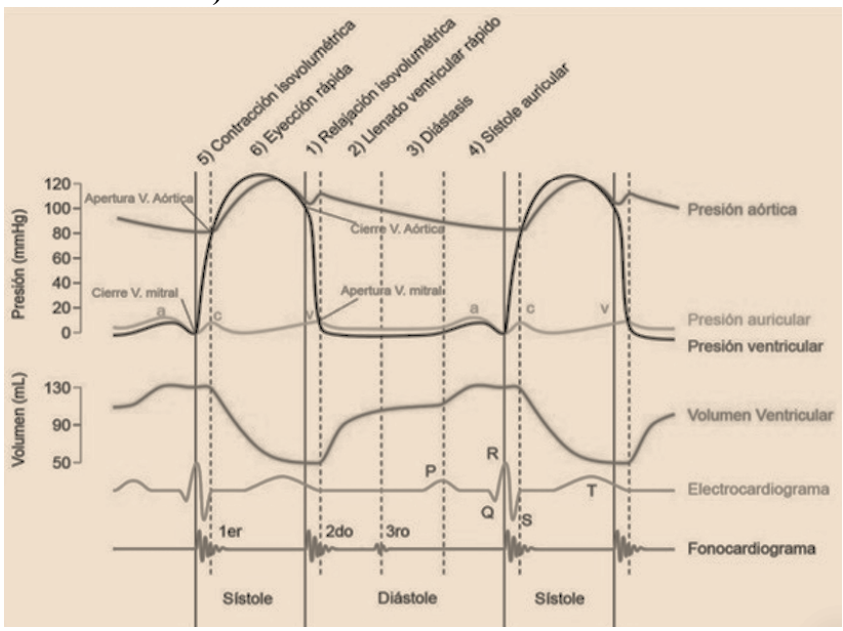


⇒ FASES DEL CICLO CARDÍACO: ANÁLISIS FUNCIONAL

1. DIÁSTOLE TARDÍA (TELEDIÁSTOLE)

Es el final del llenado ventricular.

- Los ventrículos están **relajados**
- Las válvulas AV (mitral y tricúspide) están **abiertas**
- Entra sangre de forma **pasiva**
- Supone el **75–80 % del llenado ventricular**



Este llenado pasivo es fundamental: el corazón funciona bien **sin necesidad de esfuerzo auricular constante**.

2. SÍSTOLE AURICULAR

Las aurículas se contraen.

- Aportan el **20–25 % restante del llenado**
- Actúan como una **reserva funcional**
- Es especialmente importante en ejercicio o en frecuencias altas

3. CONTRACCIÓN VENTRICULAR ISOVOLUMÉTRICA

Comienza la sístole ventricular.

- Se cierran las válvulas AV
- Las válvulas semilunares aún están cerradas
- El volumen ventricular **no cambia**
- La presión ventricular **aumenta rápidamente**

Es una fase breve pero crucial: prepara la eyección.

4. EYECCIÓN VENTRICULAR

- La presión ventricular supera a la arterial
- Se abren las válvulas aórtica y pulmonar
- La sangre sale hacia las arterias

Datos clave:

- **Volumen sistólico (VS)** ≈ 70 ml
- **Volumen sistólico residual** ≈ 60 ml
- **Volumen diastólico final (VDF)** ≈ 120 ml
- **Fracción de eyección** ≈ 60 %

5. RELAJACIÓN VENTRICULAR ISOVOLUMÉTRICA

- Se cierran las válvulas semilunares
- Todas las válvulas están cerradas
- La presión ventricular cae
- El volumen permanece constante

Es la transición hacia un nuevo ciclo.

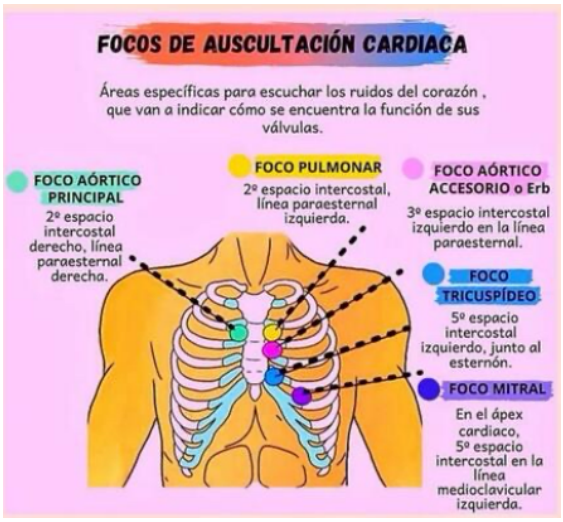
⇒ RUIDOS CARDÍACOS

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Human_heart_beating_at_61_bpm_%28Cc-by-3.0%29.ogg



1. ORIGEN DE LOS RUIDOS

Los ruidos cardíacos se deben principalmente al **cierre de las válvulas**, que genera **turbulencias** en la sangre. Su escucha se realiza por medio de la **auscultación** y se realiza con el estetoscopio



2. RUIDOS PRINCIPALES

- **Primer ruido (S1 – "lub")**

→ Cierre de válvulas AV
→ Fuerte y prolongado
→ Inicio de la sístole

- **Segundo ruido (S2 – "dub")**

→ Cierre de válvulas semilunares
→ Más breve y débil
→ Final de la sístole

3. TERCER RUIDO

- Baja frecuencia
- Asociado a turbulencias ventriculares
- En adultos suele indicar patología
- En jóvenes puede ser fisiológico

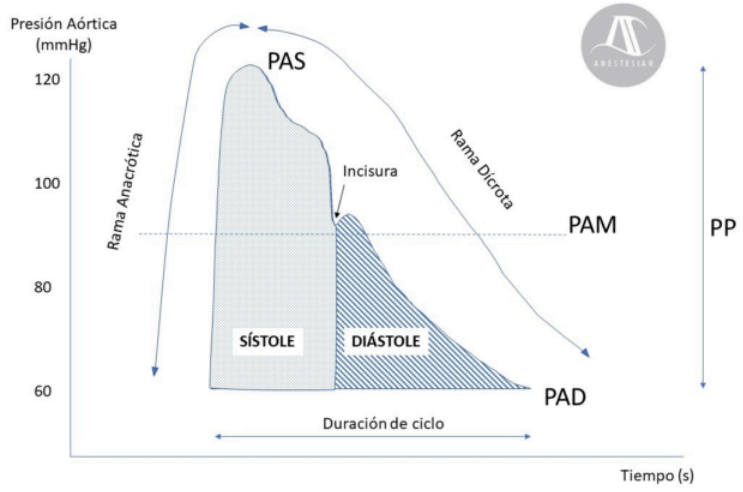
→ En un corazón normal sólo el 1º y 2º son lo suficientemente fuertes para oírse con el estetoscopio.

⇒ FUNCIONAMIENTO Y VARIACIONES DE LA PRESIÓN EN LA AORTA



Para comprender la dinámica cardiovascular, debemos ver a la **presión arterial** y al **pulso arterial** como dos caras de la misma moneda: la presión es la "**fuerza**" del fluido y el pulso es la "**onda**" que genera el corazón al bombear.

1. PRESIÓN ARTERIAL (PA)



Es la fuerza que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias. Se mide en milímetros de mercurio (mmHg) y se compone de dos valores:

- **Presión Sistólica (Máxima) ≈ 120 mmHg:** La fuerza cuando el corazón se contrae y expulsa la sangre. Refleja la integridad de las arterias y el volumen de eyección.
- **Presión Diastólica (Mínima) ≈ 80 mmHg:** La fuerza cuando el corazón se relaja entre latidos. Refleja la resistencia de los vasos periféricos.

VALORES DE REFERENCIA (GENERALES)

Categoría de PA	PA sistólica	PA diastólica
PA óptima	< 120 mmHg	< 80 mmHg
PA normal	120 – 129 mmHg	80 – 84 mmHg
PA normal - alta	130 – 139 mmHg	85 – 89 mmHg
Hipertensión arterial grado I	140 – 159 mmHg	90 – 99 mmHg
Hipertensión arterial grado II	160 – 179 mmHg	100 – 109 mmHg
Hipertensión arterial grado III	≥ 180 mmHg	≥ 110 mmHg
Hipertensión arterial sistólica aislada	≥ 140 mmHg	< 90 mmHg

VALORES DE REFERENCIA X EDADES:

EDAD	PRESIÓN SISTÓLICA		PRESIÓN DIASTÓLICA	
(años)	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
16 a 18	105 - 135	100 - 130	60 - 86	60 - 85
19 a 24	105 - 139	100 - 130	62 - 88	60 - 85
25 a 29	108 - 139	102 - 135	65 - 89	60 - 86
30 a 39	110 - 145	105 - 139	68 - 92	65 - 89
40 a 49	110 - 150	105 - 150	70 - 96	65 - 96
50 a 59	115 - 155	110 - 155	70 - 98	70 - 98
60 y más	115 - 160	115 - 160	70 - 100	70 - 100

Determinantes de la Presión

La presión arterial se rige por la siguiente relación: $$PA = GC \times RPT$$

Donde:

- **GC (Gasto Cardiaco):** Cantidad de sangre que sale del corazón.
- **RPT (Resistencia Periférica Total):** Qué tan estrechas o rígidas están las arterias.

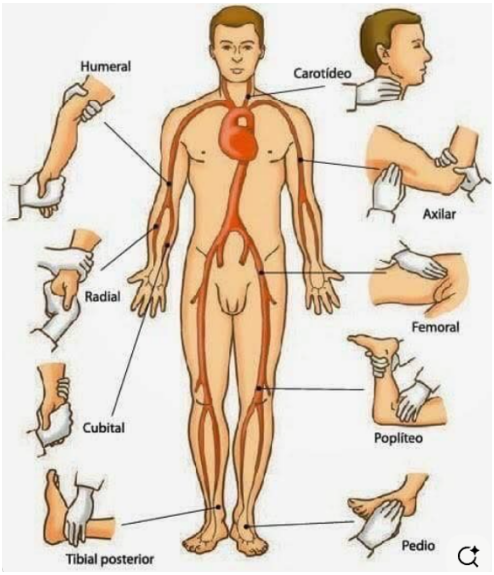
2. EL PULSO ARTERIAL

Es la **onda de choque** que se genera cuando el ventrículo izquierdo expulsa la sangre hacia la aorta. Esa onda viaja mucho más rápida que la sangre misma, expandiendo las paredes arteriales a su paso.

→ ¿Qué se evalúa al tocar un pulso?

Cuando un médico toma el pulso, no solo cuenta latidos; busca estas características:

1. **Frecuencia:** Latidos por minuto (normal: 60-100 lpm).
2. **Ritmo:** Si los intervalos entre latidos son iguales (regular) o desiguales (arritmia).
3. **Amplitud:** La fuerza de la onda (pulso "débil" o pulso "salton").
4. **Tensión:** La resistencia que ofrece la arteria a ser comprimida.



→ Puntos principales para tomar el pulso:

- **Radial:** En la muñeca (el más común).
- **Carotídeo:** En el cuello (usado en emergencias).
- **Pedio:** En el empeine del pie (para revisar la circulación distal).

3. DIFERENCIAS CLAVE: ¿EN QUÉ SE DISTINGUEN?

Aunque están relacionados, **no son lo mismo**:

- **La Presión** se mide con un **esfigmomanómetro** (el brazalete). Nos dice cuánta carga está soportando el sistema.
- **El Pulso** se siente con los **dedos** (índice y medio). Nos dice cómo está funcionando la "bomba" (el corazón) y si el ritmo es adecuado.

Dato importante: Se puede tener un pulso rápido (taquicardia) pero una presión muy baja (en caso de una hemorragia o deshidratación). No siempre suben o bajan juntos.

4. FACTORES QUE LOS ALTERAN

El **sistema nervioso autónomo simpático** actúa como el "acelerador" del corazón. Su función principal es preparar al sujeto para la acción (la respuesta de **lucha o huida**) mediante la liberación de neurotransmisores, principalmente la **noradrenalina**.

Para influir en el corazón, la noradrenalina se une a unos receptores específicos llamados **receptores beta-1 adrenérgicos**.

Así es como se altera cada parámetro:

1. ALTERACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA

El sistema simpático aumenta la velocidad a la que el corazón late actuando sobre el "marcapasos" natural del corazón: el **nodo sinoauricular (SA)**.

- **El mecanismo:** La estimulación simpática aumenta la permeabilidad de las células al sodio y al calcio.
- **El resultado:** Esto hace que las células del marcapasos alcancen su umbral de disparo mucho más rápido. En lugar de esperar, el corazón "dispara" latidos con mayor frecuencia.

2. ALTERACIÓN DE LA FUERZA DE FUERZA DE CONTRACCIÓN

El sistema simpático no solo hace que el corazón lata más rápido, sino también más **fuerte**. Esto ocurre principalmente en los ventrículos.

- **El mecanismo:** La unión de la **noradrenalina** a los receptores beta provoca una entrada masiva de calcio hacia el interior de las células musculares cardiacas (**miocitos**).
- **El resultado:** Como el calcio es el combustible que permite que las fibras de **actina** y **miosina** se deslicen entre sí, a más calcio, mayor es la fuerza de la contracción. El corazón se "exprime" con más potencia en cada latido.

3. ALTERACIÓN DE LA PRESIÓN ARTERIAL

La presión arterial depende del gasto cardiaco y de la resistencia de los vasos. El **simpático** la eleva mediante dos vías:

1. **Aumento del Gasto Cardiaco:** Al subir la frecuencia y la fuerza, el corazón bombea más sangre por minuto hacia las arterias.
2. **Vasoconstricción (Receptores Alfa-1):** El sistema simpático también actúa sobre los vasos sanguíneos periféricos provocando que se estrechen. Esto aumenta la resistencia al flujo sanguíneo, lo que dispara la presión.

RESUMEN DE EFECTOS:

PARÁMETRO	EFECTO SIMPÁTICO	TÉRMINO MÉDICO
Frecuencia Cardiaca	Aumenta	Cronotropismo (+)
Fuerza de Contracción	Aumenta	Inotropismo (+)
Velocidad de Conducción	Aumenta	Dromotropismo (+)
Presión Arterial	Aumenta	Hipertensión reactiva

👉 A considerar:

- **El Sistema Simpático:** Hace que suban ambos ante el estrés o ejercicio.
- **La Volemia** (volumen total de sangre circulante en el organismo de un individuo)**:** Si se pierde sangre o agua, la presión baja y el pulso suele subir para compensar.
- **Elasticidad arterial:** Con la edad, las arterias se endurecen (arteriosclerosis), esto hace que suba la presión sistólica.
- **Nota importante:** Si este sistema se mantiene activado de forma crónica (por estrés constante, por ejemplo), puede producir daños en las paredes de las arterias y fatiga en el músculo cardiaco, ya que el corazón nunca descansa.

⇒ GASTO CARDÍACO

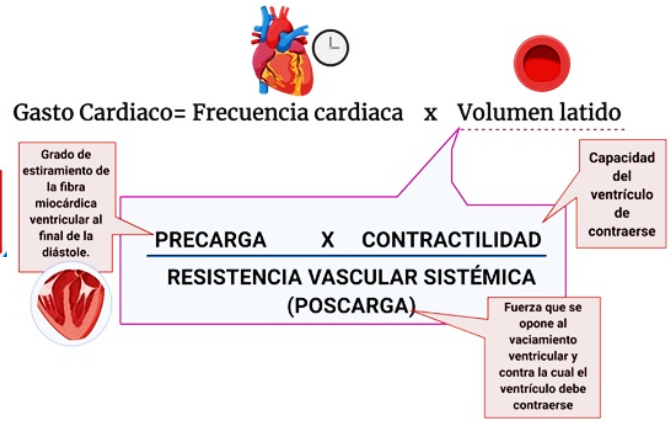
1. DEFINICIÓN

El **gasto cardíaco (GC)** es la cantidad de sangre bombeada por minuto.

GC = Volumen sistólico × Frecuencia cardíaca

Ejemplo:

GC= 70 mL/latido x 80 latidos/min = 5600mL/min (5,6L/min)



2. FACTORES QUE LO REGULAN

- Volumen sistólico
- Frecuencia cardíaca
- Precarga
- Contractilidad
- Poscarga
- Influencias del SNA
- Reflejos presores (carotídeo y aórtico)

⇒ VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL VOLUMEN SISTÓLICO

1. PRECARGA

Volumen de sangre que llena los ventrículos al final de la diástole.

Aumenta en:

- HIPERVOLEMIA
- REGURGITACIÓN VALVULAR
- FALLO CARDIACO

2. CONTRACTILIDAD

Capacidad intrínseca del miocardio para contraerse.

3. POSCARGA

Resistencia que debe de vencer el ventrículo para hacer expulsar la sangre.

Aumenta en:

- HIPERTENSIÓN
- VASOCONSTRICCIÓN

⇒ REGULACIÓN DEL BOMBEO CARDÍACO

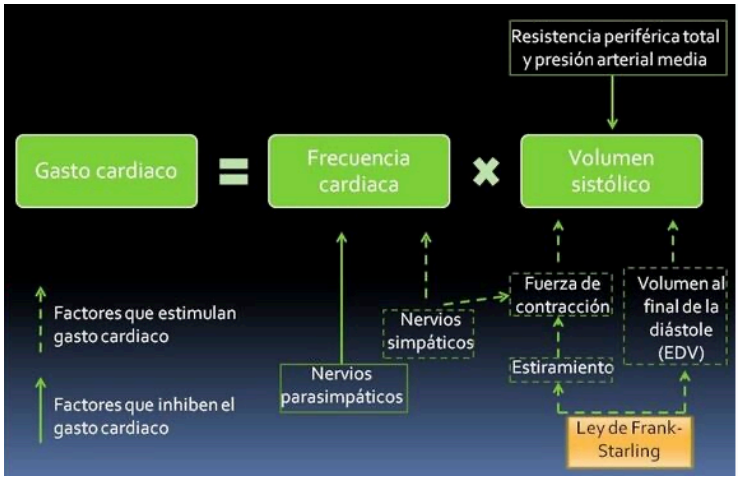
Existen **dos grandes mecanismos**:

1. **Regulación intrínseca**
   - Ley de Frank-Starling
2. **Regulación extrínseca**
   - Sistema nervioso autónomo

→ **Mecanismo de Frank-Starling**

Principio esencial dentro de límites fisiológicos:

El corazón bombea toda la sangre que le llega.



👉 **Cuanto mayor es el retorno venoso**:

- Mayor estiramiento del miocardio
- Mayor fuerza de contracción
- Mayor gasto cardíaco

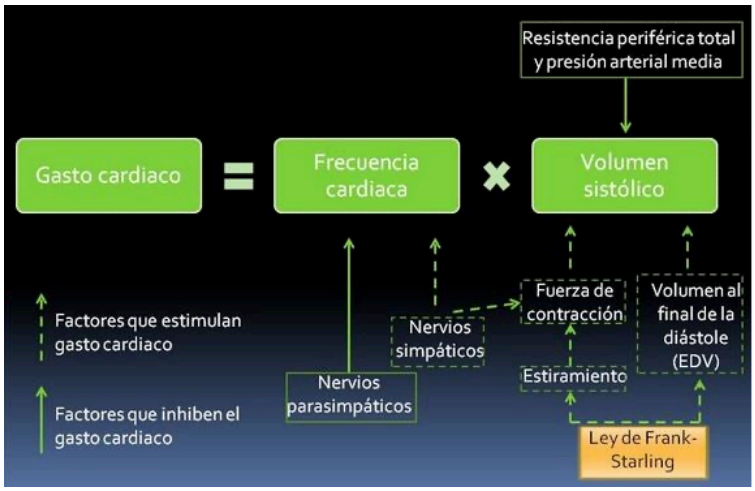
⇒ **LEY DE FRANK-STARLING: SIGNIFICADO FUNCIONAL**

1. PRECARGA Y CONTRACCIÓN

La fuerza de contracción depende del **estiramiento inicial** de las fibras musculares.

2. FUNCIÓN ESENCIAL

- Equilibra el gasto entre ventrículo derecho e izquierdo
- Ajuste automático sin control nervioso

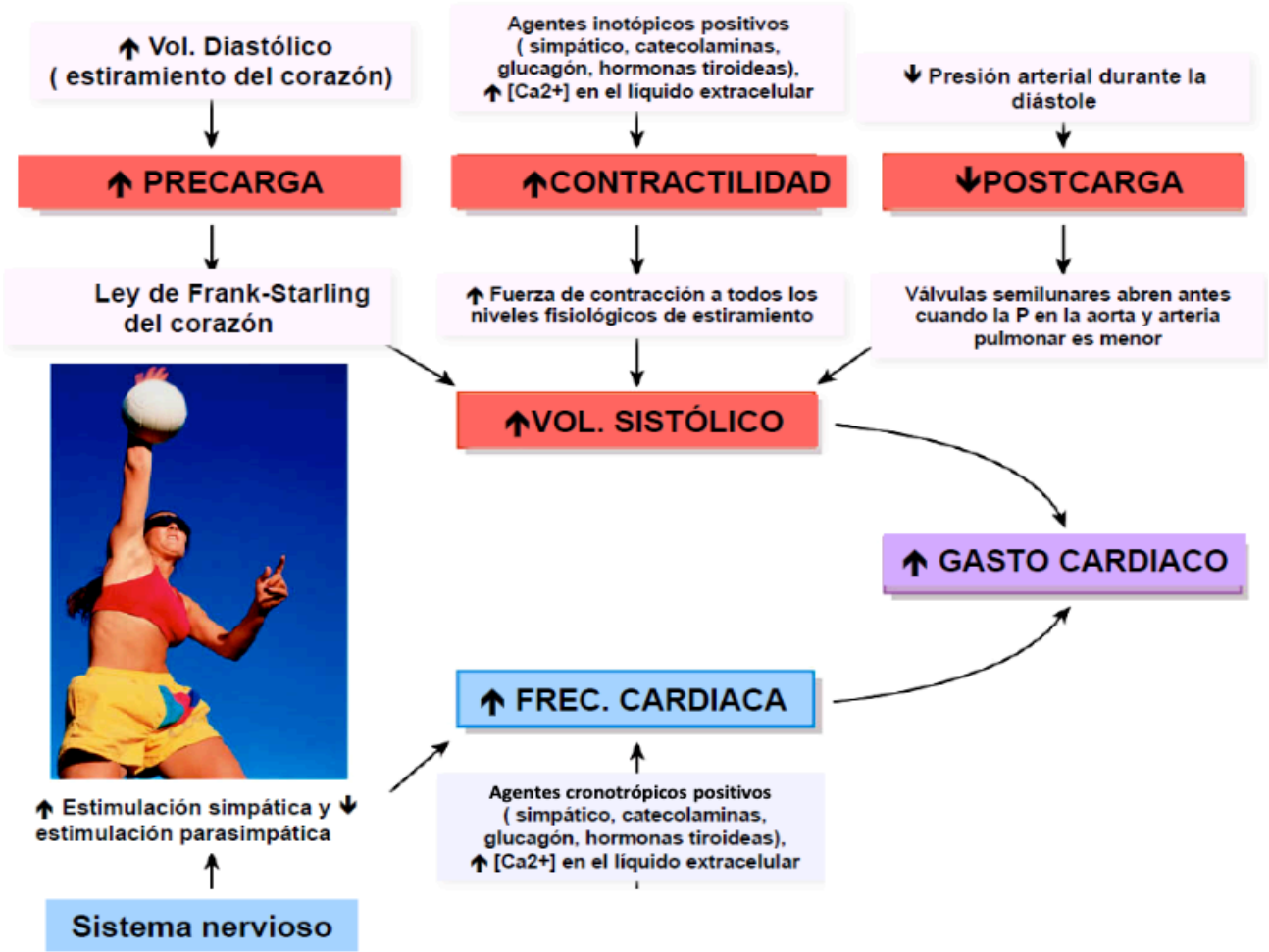


⇒ **REGULACIÓN EXTRÍNSECA DEL BOMBEO DEL CORAZÓN**

La eficacia de la función de bomba del corazón también está regulada por el **Sistema Nervioso Autónomo**, que inerva de forma abundante el corazón:

- Simpático → aumenta frecuencia y fuerza
- Parasimpático → disminuye frecuencia

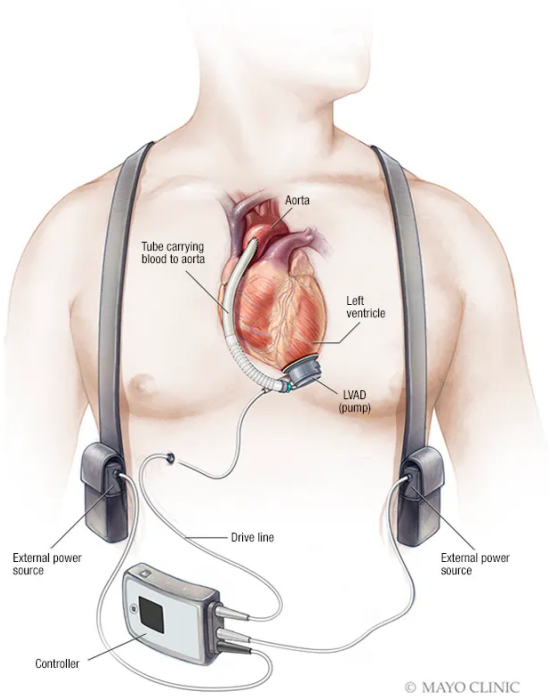
⇒ **MECANISMOS DE CONTROL POR EL SNA**



⇒ **AYUDA PARA CORAZONES INSUFICIENTES**

- **Marcapasos y técnicas quirúrgicas:**
  https://www.youtube.com/watch?v=B6OqfAMVOsw

- **Corazones artificiales**: El 2 de julio de 2001, se realizó el primer implante exitoso del **AbioCor**, el primer corazón artificial totalmente autónomo y funcional, en un hospital de Louisville, Kentucky. Desarrollado por **Abiomed**. Este dispositivo de titanio y plástico fue diseñado para pacientes con insuficiencia cardíaca terminal, sin cables externos y con una duración estimada de 18 meses.



- **Trasplantes:** En España, se han realizado más de 10.000 trasplantes de corazón en los últimos 40 años. Solo en 2025, se registraron 390 trasplantes cardíacos,

- **Terapias celulares**: Las **células madre mesenquimatosas** (CMM) son células multipotentes capaces de regenerar tejidos (hueso, cartílago, corazón) y reducir la inflamación, siendo claves en medicina regenerativa. El proyecto europeo **CARDIOPATCH** utiliza estas células derivadas de la grasa, integradas en un parche de colágeno, para tratar la cardiomiopatía isquémica crónica, buscando reparar el tejido cardíaco infartado.

- **Andamios tisulares (ingeniería tisular):** Los andamios tisulares son estructuras tridimensionales porosas, bioabsorbibles y biocompatibles que actúan como matrices extracelulares artificiales en ingeniería tisular. Su función es proporcionar soporte físico para la adhesión, proliferación, migración y diferenciación de células madre para regenerar tejidos u órganos dañados, facilitando el transporte de nutrientes y la integración tisular.

https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_2264904535&feature=iv&src_vid=2v7T-O2CWWk&v=1GtS7RfoAY0

https://www.youtube.com/watch?v=EGsldecy0FQ

TEMA 7 - SISTEMA CARDIOVASCULAR III

(Circulación arterial y venosa – Presión arterial – Regulación)

⇒ SISTEMA CARDIOVASCULAR

Entramos en el marco general del tema:
El sistema cardiovascular tiene tres funciones esenciales:

1. **Distribuir la sangre** a todos los tejidos.
2. **Mantener una presión adecuada** para que el flujo sea continuo.
3. **Ajustarse a las necesidades del organismo** (reposo, ejercicio, cambios posturales, pérdidas de volumen).

Todo el tema se centrará **no en el corazón como bomba**, sino en:

- **Cómo circula la sangre** por arterias y venas.
- **Qué es la presión arterial** y de qué depende.
- **Cómo se regula la presión arterial** a corto, medio y largo plazo.

⇒ CIRCULACIÓN ARTERIAL

Aquí comenzamos el **primer gran bloque**: la circulación arterial.

Las **arterias**:

- Llevan la sangre **desde el corazón hacia los tejidos**.
- Lo hacen a **alta presión**, porque reciben directamente la energía del ventrículo izquierdo.

Idea clave para todo el tema:
👉 **La circulación arterial es el sistema de presión del organismo.**
Sin presión suficiente:

- No hay flujo eficaz.
- No hay perfusión tisular.
- Los órganos no funcionan.

⇒ CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN ARTERIAL

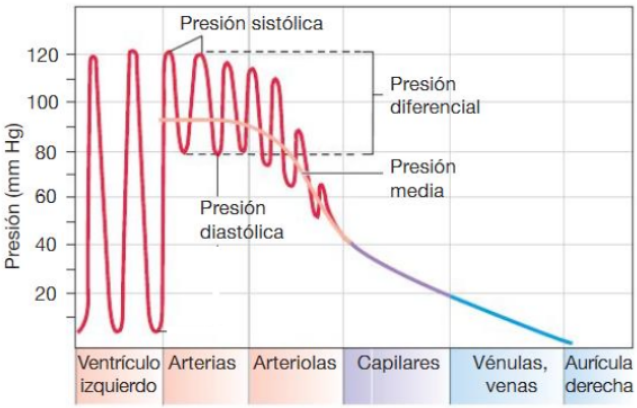
Se introducen los **dos valores clásicos de la presión arterial**:

→ **Presión arterial sistólica (PAS)**

- Es la **presión máxima**.
- Se alcanza durante la **sístole ventricular**.
- Valor medio en adulto sano: ≈ **120 mmHg**.

→ **Presión arterial diastólica (PAD)**

- Es la **presión mínima**.
- Corresponde a la **diástole**, cuando el corazón se relaja.
- Valor medio: ≈ **80 mmHg**.



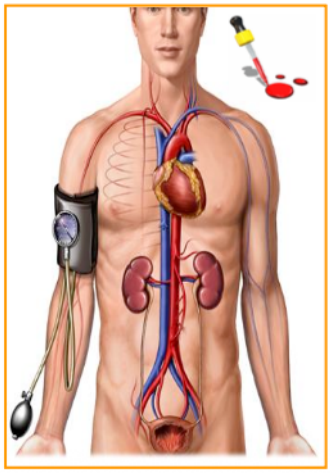
Esta gráfica es muy importante:

- Muestra que la presión es **alta y pulsátil** en arterias grandes.
- Desciende progresivamente a lo largo del árbol vascular.
- **La mayor caída de presión ocurre en las arteriolas**, no en los capilares.

👉 Esto anticipa una idea fundamental: **Las arteriolas son los vasos de resistencia.**

⇒ **¿QUÉ ES LA PRESIÓN ARTERIAL?**

Se llama **presión arterial** a la presión que ejerce la sangre contra las paredes de los vasos sanguíneos.



Esto no es un dato genérico:

- Es totalmente **imprescindible** para que la sangre circule.
- Permite que el oxígeno y los nutrientes lleguen a todos los órganos.

Aquí aparece la **ecuación fundamental del tema**:

→ **Presión arterial (PA) = Gasto cardíaco (GC) × Resistencias periféricas (RP)**

→ Es decir, la presión arterial (la fuerza que la sangre ejerce contra las paredes de las arterias) depende de dos factores principales: cuánta sangre bombea el corazón y lo "apretadas" que estén las arterias.

→ El corazón empuja (gasto).

→ Los vasos oponen resistencia.

→ De la combinación de ambos surge la presión.

Imaginemos que el sistema circulatorio es como una manguera de jardín:

1. Gasto Cardíaco (El grifo)

Es la cantidad de sangre que el corazón bombea por minuto. Se calcula multiplicando la frecuencia cardíaca (latidos) por el volumen de sangre que sale en cada latido.

- **En el jardín:** Si se abre más el grifo sale más agua por la manguera y la presión aumenta.
- **En el cuerpo:** Si se hace ejercicio, el gasto cardíaco sube y, por lo tanto, la presión también.

2. Resistencias Periféricas (La boquilla)

Es la dificultad que encuentran los vasos sanguíneos al paso de la sangre. Depende principalmente del diámetro de las arterias (vasoconstricción o vasodilatación).

- **Si se aprieta la boquilla de la manguera del jardín:** El agujero se hace más pequeño y el agua sale con muchísima más fuerza (presión).
- **En el cuerpo:** Si las arterias se vuelven rígidas o se contraen (por estrés, nicotina o frío), la presión sube.

→ **La fórmula en acción**

Para que la presión se mantenga estable, por ejemplo 120/80 mmHg (milímetro de mercurio), el cuerpo debe equilibrar ambos lados:

- **Si el gasto cardíaco baja** (por ejemplo, por deshidratación porque hay menos volumen de sangre), el cuerpo compensa aumentando las **resistencias** (cerrando las arterias) para que la presión no caiga en exceso y se produzca un desmayo.
- **Si las resistencias suben crónicamente** (hipertensión), el corazón tiene que trabajar mucho más duro para vencer esa resistencia, lo que puede dañarlo a largo plazo.

⇒ **¿CÓMO INFLUYE LA RESISTENCIA SOBRE LA PRESIÓN ARTERIAL?**

Vamos a llevar la idea anterior a términos hemodinámicos.

La presión arterial:

- **Aumenta** si aumenta el gasto cardíaco.
- **Aumenta** si aumentan las resistencias periféricas.

Aquí se introduce una idea muy importante y experimentada por el fisiólogo estadounidense **Arthur Guyton**):

👉 **El principal determinante de la presión arterial es el volumen de sangre contenido en las arterias.**

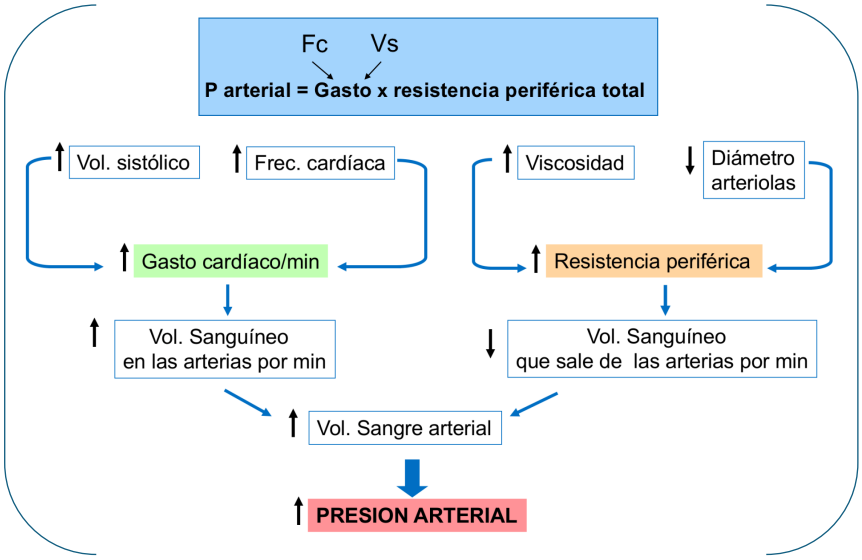
No es solo cuánto bombea el corazón, sino:

- Cuánta sangre **entra** al sistema arterial.
- Cuánta sangre **sale** del sistema arterial.

→ La ecuación: **Q (caudal) = ΔP (diferencia de presión) / R (resistencia hidrodinámica)** nos recuerda que:

- El flujo depende del gradiente de presión.
- Y de la resistencia al paso de la sangre.

⇒ **RELACIÓN ENTRE VOLUMEN DE SANGRE ARTERIAL Y PRESIÓN ARTERIAL**



Este esquema explica cómo se regula la presión **llenando o vaciando** el compartimento arterial.

→ **Por el lado del corazón**

- ↑ Volumen sistólico
- ↑ Frecuencia cardíaca

→ ↑ Gasto cardíaco

→ ↑ Sangre que entra a las arterias por minuto

→ **Por el lado de los vasos**

- ↑ Viscosidad
- ↓ Diámetro de las arteriolas

→ ↑ Resistencia periférica

→ ↓ Sangre que sale de las arterias por minuto

→ Resultado común:

- **Aumenta el volumen de sangre arterial**
- **Aumenta la presión arterial**

👉 Esta es una idea central que conviene fijar bien:

La presión arterial se comporta como la presión de un depósito: **sube si entra más sangre o si cuesta más que salga.**

⇒ **PULSACIONES DE LA PRESIÓN ARTERIAL**

Aquí se introduce el **concepto de pulso**. Las arterias son un reservorio de presión: su retracción elástica mantiene la presión motriz durante la diástole ventricular.

→ **Concepto de pulso**:

- Es la **expansión y retracción alternante** de una arteria.
- Se produce por la eyección intermitente de sangre desde el corazón.

Características importantes:

- El pulso es **más intenso en las arterias grandes** próximas al corazón.
- Se **atenúa progresivamente** en arteriolas.
- **Desaparece en los capilares**, donde el flujo ya no es pulsátil.

→ **Frecuencia del pulso**:

- En condiciones normales coincide con la **frecuencia cardíaca**.

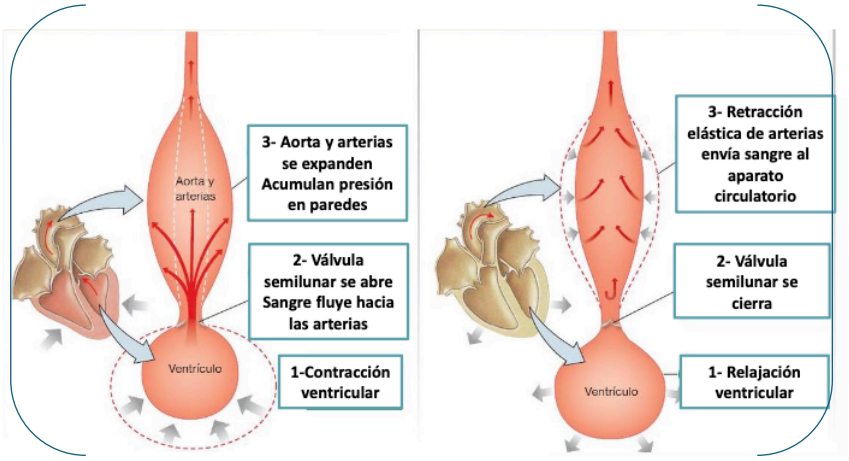
- Valor habitual en reposo: **70–80 latidos/min**.

→ **Idea fisiológica clave**

Las arterias no son tubos rígidos. Actúan como un **reservorio de presión** gracias a su elasticidad.

⇒ **<u>FUNCIÓN ELÁSTICA DE LAS ARTERIAS</u> (conocido como efecto *Windkessel*)**

Este esquema ilustra un mecanismo fundamental:



→ **Durante la sístole**

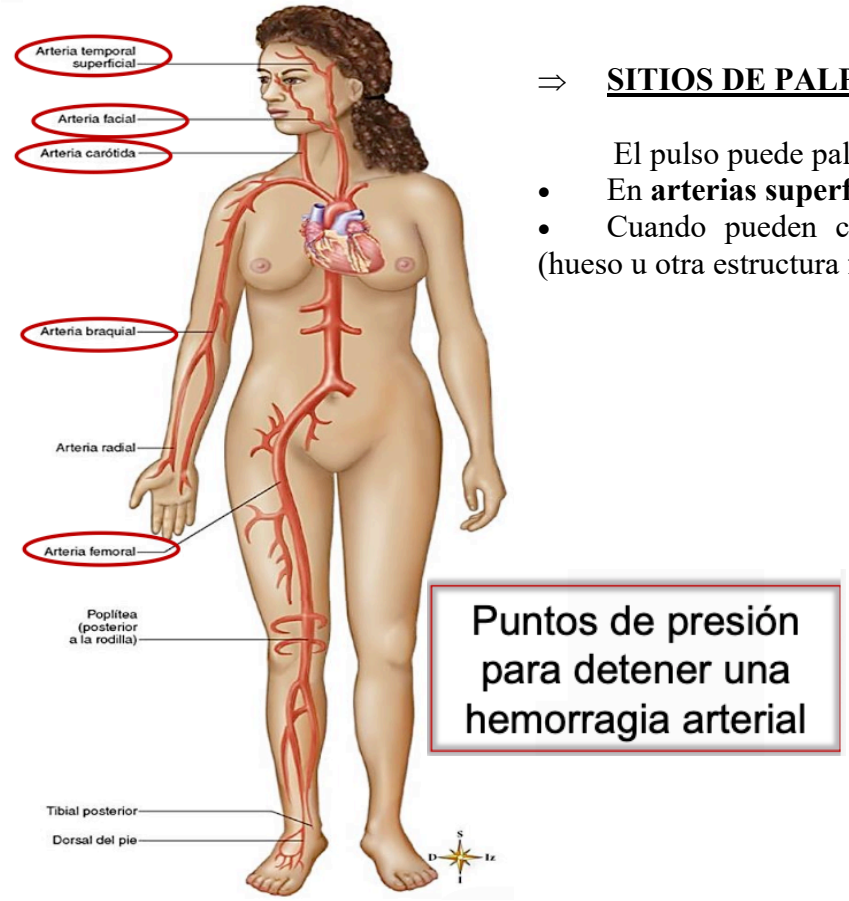
1. El ventrículo izquierdo se contrae.
2. Se abre la válvula semilunar.
3. La sangre entra bruscamente en la aorta.
4. La aorta y las grandes arterias **se expanden** y **almacenan energía elástica** en sus paredes.

→ **Durante la diástole**

1. El ventrículo se relaja.
2. La válvula semilunar se cierra.
3. Las arterias se **retraen elásticamente**.
4. Esa retracción mantiene la **presión motriz** y el flujo hacia la periferia.

👉 Conclusión importante:

Aunque el corazón bombea de forma intermitente, **el flujo arterial es relativamente continuo** gracias a la elasticidad arterial.



⇒ **<u>SITIOS DE PALPACIÓN O PUNTOS DE PULSO</u>**

El pulso puede palparse:

- En **arterias superficiales**.
- Cuando pueden comprimirse contra un **plano duro** (hueso u otra estructura firme).

⇒ PRESIÓN ARTERIAL MEDIA (PAM)

La **presión arterial media** es un concepto clave, más importante fisiológicamente que la PAS o la PAD aisladas.

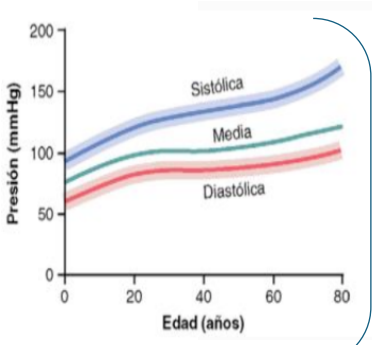
→ **Definición**:
Presión media en las arterias durante todo el ciclo cardíaco.
Es la **fuerza motriz real del flujo sanguíneo**.

Ejemplo:
- PAS = 120 mmHg
- PAD = 80 mmHg

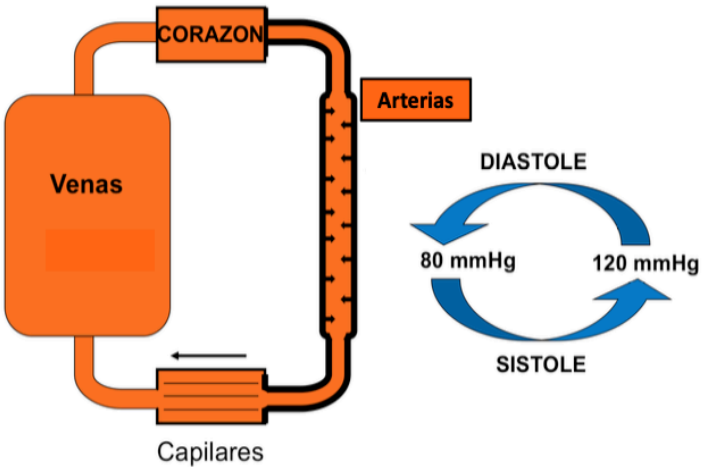
→ **Idea clave**
- Los tejidos **no "ven" la PAS ni la PAD**, sino la PAM.
- El flujo sanguíneo depende directamente de la **PAM**.

La gráfica muestra cómo:
- Con la edad aumenta sobre todo la **presión sistólica**.
- La presión media también tiende a elevarse progresivamente.

Ejemplo
PAM= 80 +1/3 (120-80)
= 93 mm Hg



⇒ ARTERIAS: ALTA ELASTICIDAD, BAJA DISTENSIBILIDAD



Este gráfico resume el **papel mecánico de las arterias**.

Características:
- **Alta elasticidad**: capacidad de recuperar la forma tras distensión.
- **Baja distensibilidad** en comparación con las venas.

Función:
- Soportar presiones elevadas.
- Amortiguar las variaciones de presión entre sístole y diástole.
- Garantizar un flujo relativamente continuo hacia los capilares.

Mensaje implícito:
👉 Cuando las arterias **pierden elasticidad** (edad, arteriosclerosis):
- Aumenta la PAS.
- Aumenta la presión de pulso.
- Se sobrecarga el corazón.

⇒ CIRCULACIÓN VENOSA

A partir de aquí comenzamos con el segundo gran bloque del tema **"la circulación venosa".**
Mientras que el sistema arterial es el sistema de presión,
👉 **el sistema venoso es el sistema de volumen**.

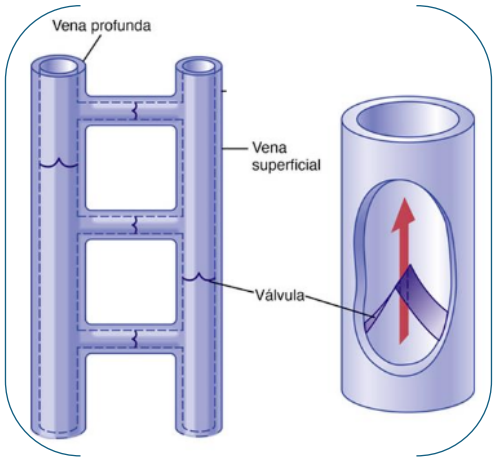
Las venas:

- Devuelven la sangre desde los tejidos al corazón.
- Funcionan a **baja presión**.
- Actúan como **reservorio sanguíneo**.

⇒ CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN VENOSA

Puntos fundamentales:

- Las venas son **vasos de capacitancia**:
  - Gran distensibilidad.
  - Capaces de almacenar grandes volúmenes.
- Aproximadamente **el 66 % del volumen sanguíneo total** está en las venas.



Diferencias con el sistema arterial:

- Mayor diámetro.
- Menor componente elástico.
- Presión venosa **mucho menor** que la arterial.
- Presión en aurícula derecha ≈ **0 mmHg**.
- Presencia de **válvulas unidireccionales** hacia el corazón.
- Sistema muy ramificado, especialmente en extremidades inferiores (plexos venosos).

👉 Idea clave:

El sistema venoso es una **reserva dinámica** que puede movilizar sangre cuando la presión arterial cae.

⇒ EL RETORNO VENOSO

→ **Definición:** Es el volumen de sangre que fluye de regreso al corazón a través de las venas sistémicas.

Y aquí aparece una afirmación fundamental:

👉 **El retorno venoso es el determinante del gasto cardíaco.**

Porque el corazón solo puede bombear lo que recibe.

Si disminuye el retorno venoso → disminuye el llenado ventricular → disminuye el volumen sistólico → baja el gasto cardíaco.

→ Factores que favorecen el retorno venoso

Existen tres mecanismos principales:

1. **Bomba muscular venosa**
2. **Bomba respiratoria**
3. **Bomba cardíaca**

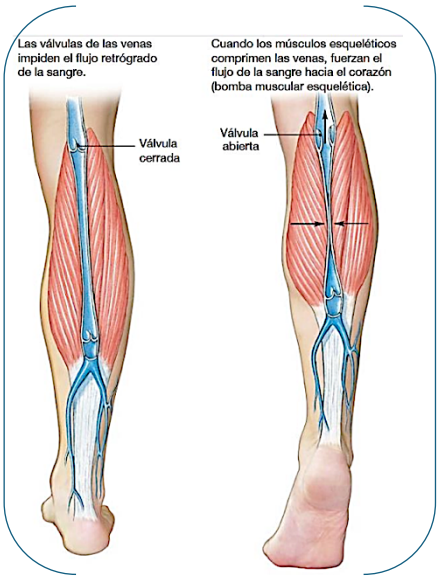
Expliquemos uno por uno.

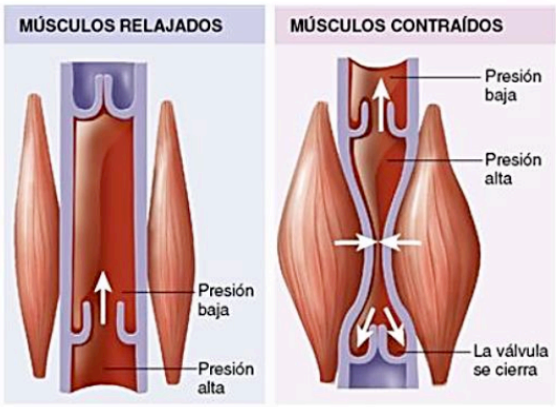
→ BOMBA MUSCULAR

Este es un mecanismo mecánico sencillo pero esencial.

Cuando los músculos esqueléticos se contraen:

- Comprimen las venas que pasan entre ellos.
- Aumenta la presión venosa local.
- La sangre es empujada hacia el corazón.





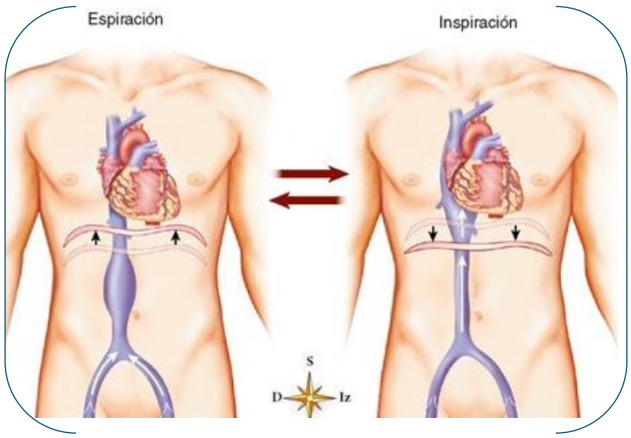
Las **válvulas venosas** impiden el retroceso.

Resultado:
Cada contracción muscular actúa como un "empujón" hacia arriba.

👉 Por eso:

- Caminar mejora el retorno venoso.
- Permanecer inmóvil favorece el estancamiento.
- En viajes largos puede aparecer edema.

Es un mecanismo especialmente importante en **extremidades inferiores**, donde la sangre debe vencer la gravedad.



→ **BOMBA RESPIRATORIA**
Aquí entra la fisiología torácica.

Durante la inspiración:

- El diafragma desciende.
- Aumenta el volumen torácico.
- Disminuye la presión intratorácica.
- Aumenta la presión abdominal.

Se crea un gradiente de presión:

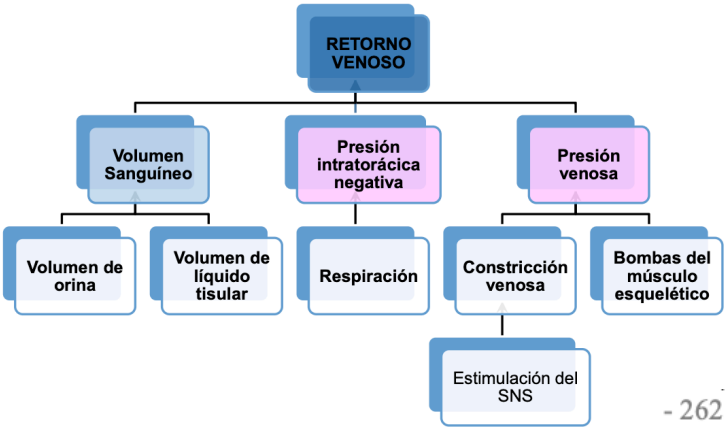
- La sangre se desplaza desde las venas abdominales hacia las venas torácicas.
- Entra con mayor facilidad en la aurícula derecha.

Durante la espiración:
Ocurre el fenómeno inverso y el retorno disminuye ligeramente.

👉 La respiración normal actúa como una bomba auxiliar continua.

⇒ **<u>FACTORES QUE AFECTAN AL RETORNO VENOSO</u>**

Este esquema organiza los factores en tres grandes grupos:



1. Volumen sanguíneo
Depende de:

- Volumen de orina (función renal)
- Volumen de líquido tisular

Si aumenta el volumen total → aumenta el retorno.

2. Presión intratorácica negativa
Relacionada con la respiración.

Mayor presión negativa → mayor retorno.

3. Presión venosa
Depende de:

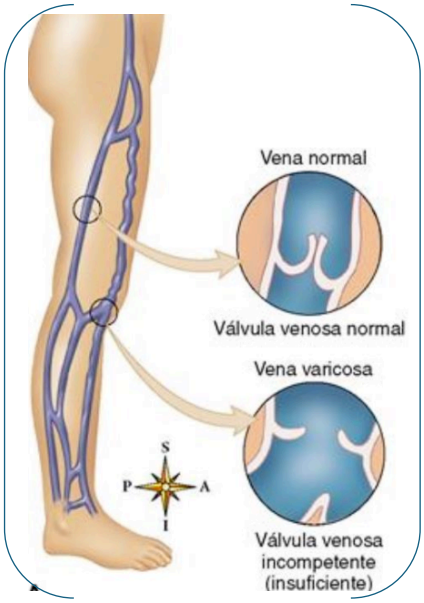
- Constricción venosa
- Estimulación simpática
- Bombas musculares

La **estimulación simpática** reduce el diámetro venoso:

- Disminuye la capacitancia.
- Moviliza sangre hacia el corazón.
- Aumenta el retorno.

👉 Esta es una herramienta clave del organismo ante caídas de presión arterial.

⇒ VARICES O VENAS VARICOSAS



Aquí entramos en fisiopatología.

Las varices aparecen cuando:

- Las válvulas venosas se vuelven incompetentes.
- Se produce reflujo.
- Aumenta la presión venosa distal.
- La vena se dilata y se vuelve tortuosa.

Consecuencia:
Estasis venosa crónica.

Tratamientos que aparecen en la diapositiva:

- Medias elásticas (compresión externa).
- Escleroterapia.
- Oclusión por radiofrecuencia.
- Oclusión por láser.
- Flebectomía.

Es un ejemplo práctico de lo que ocurre cuando falla la mecánica del retorno.

⇒ EFECTO DE LA GRAVEDAD SOBRE EL RETORNO Y LA PRESIÓN VENOSA

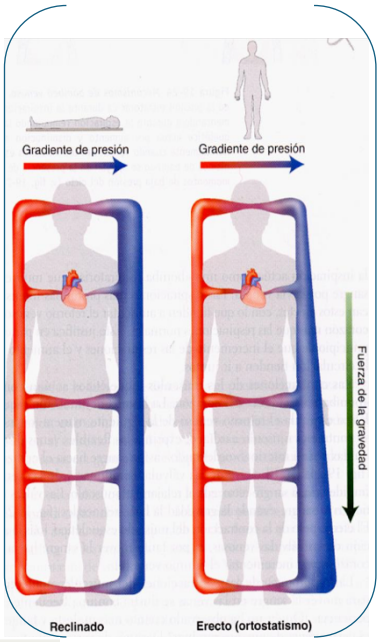
Este punto es clínicamente muy importante.

Cuando una persona pasa de estar tumbada a ponerse de pie:

1. **La gravedad hace que**:
    - Aumente el volumen de sangre en las piernas.
    - Aumente la presión venosa en extremidades inferiores.
2. **Disminuye**:
    - La presión venosa central.

- El llenado de la aurícula derecha.
- El volumen sistólico derecho.

3. **Resultado**:
   - Disminuye el gasto cardíaco.
   - Baja la presión arterial.



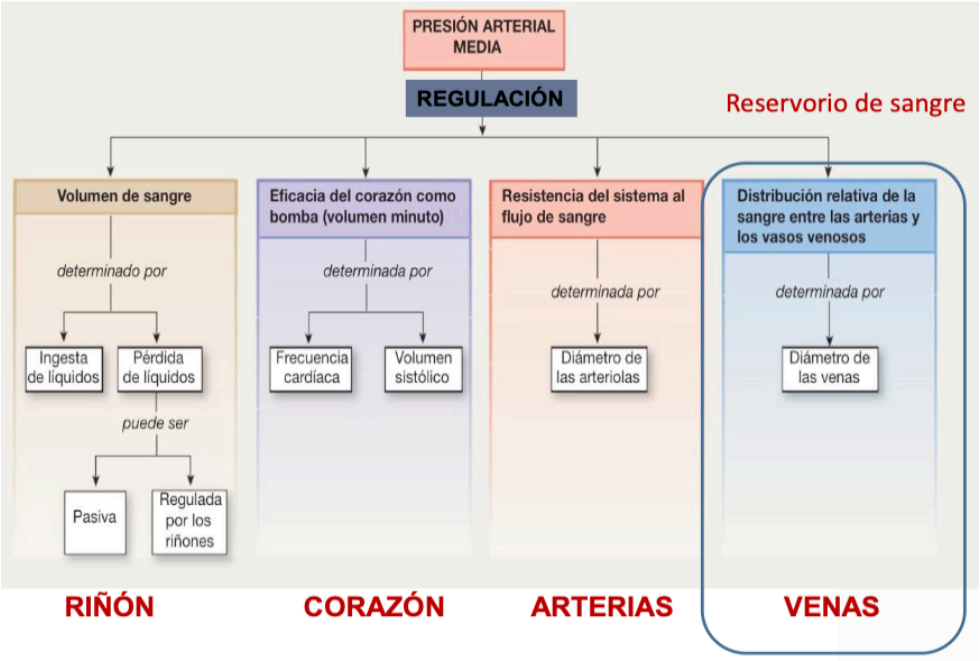
Esto produce:

👉 **Hipotensión ortostática transitoria.**

Pero el organismo lo corrige rápidamente mediante el **reflejo barorreceptor**, que veremos a continuación.

⇒ REGULACIÓN DE LA PRESIÓN ARTERIAL

Aquí se muestra el esquema global de regulación.
La presión arterial se controla actuando sobre cuatro estructuras:



1. **Riñón** → volumen sanguíneo
2. **Corazón** → frecuencia y volumen sistólico
3. **Arteriolas** → resistencia
4. **Venas** → distribución del volumen (reservorio)

Dato importante:
Más del 60 % de la sangre está en las venas.

Por eso:

👉 El sistema venoso es una reserva estratégica que puede compensar pérdidas de hasta un 20 % de volumen sanguíneo.

⇒ MECANISMOS DE REGULACIÓN POR PLAZOS

La regulación se divide en tres niveles temporales:

Corto plazo (minutos–horas)
- Reflejo barorreceptor
- Reflejo quimiorreceptor (periféricos y centrales)

Medio plazo (horas–días)
- Sistema renina–angiotensina
- Vasoconstricción inducida

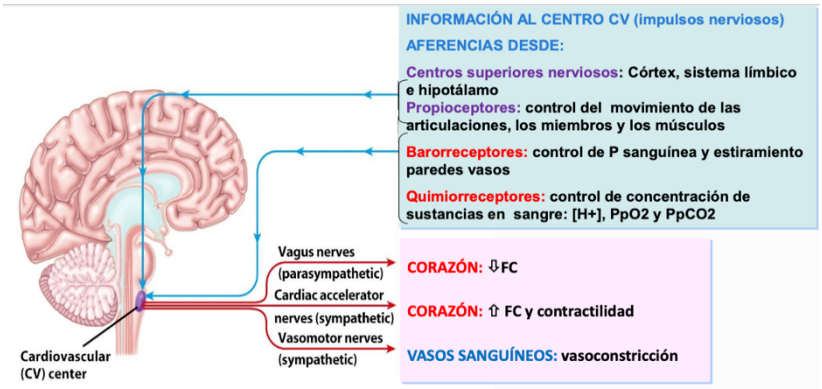
Largo plazo (semanas–meses)
- Ajuste renal
- Aldosterona
- ADH

Aquí se ve claramente la jerarquía fisiológica:
Primero nervioso (corto plazo).
Después hormonal (medio plazo).
Finalmente, renal-volumétrico (largo plazo).

⇒ REGULACIÓN A CORTO PLAZO (CONTROL NERVIOSO)

→ Información al centro cardiovascular

Aquí vemos representado el **centro cardiovascular**, situado en el **bulbo raquídeo**.



Este centro recibe información (aferencias) desde:

1️⃣ **Centros superiores**
- Corteza cerebral
- Sistema límbico
- Hipotálamo

Influyen emociones, estrés, temperatura, dolor, etc.

2️⃣ **Propioceptores**
Informan sobre movimiento muscular y actividad física.

Cuando se comienza a hacer ejercicio:
- Aumenta el tono simpático incluso antes de que baje la presión.

3️⃣ **Barorreceptores**
Detectan:
- Los estiramiento de la pared arterial
- Los cambios en la presión sanguínea

Son los sensores principales de presión.

4️⃣ **Quimiorreceptores**
Detectan y controlan la concentración de sustancias en sangre:
- ↑ H^+ (iones de hidrógeno - acidosis)
- ↓ O_2 (oxígeno)
- ↑ CO_2 (dióxido de carbono)

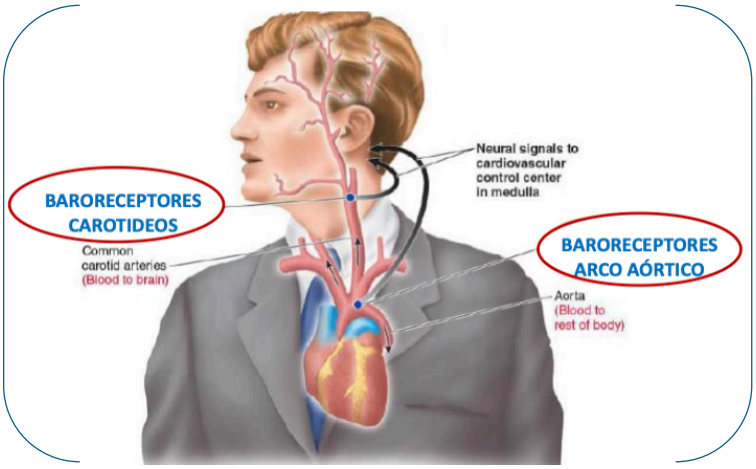
Ya que son indicadores de alteraciones químicas en sangre.

→ Respuesta eferente del centro cardiovascular
El centro envía órdenes por:
- **Parasimpático (vago)** → ↓ frecuencia cardíaca
- **Simpático** → ↑ frecuencia y contractilidad
- **Simpático vascular** → vasoconstricción

👉 Este sistema permite ajustes en segundos.

⇒ EL REFLEJO BARORRECEPTOR

→ Localización y función



Los barorreceptores se encuentran en:

- **Seno carotídeo**
- **Arco aórtico**

Son mecanorreceptores sensibles al estiramiento.

→ Funcionamiento básico

Si aumenta la presión arterial:

- Aumenta el estiramiento.
- Aumenta la frecuencia de descarga nerviosa.
- Se inhibe el simpático.
- Se activa el parasimpático.
- Baja la frecuencia cardíaca.
- Se produce vasodilatación.
- Desciende la presión.

Si disminuye la presión:

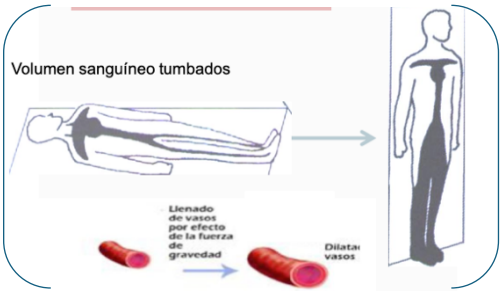
- Disminuye la descarga.
- Aumenta el simpático.
- Aumenta la frecuencia y contractilidad.
- Se produce vasoconstricción.
- La presión se eleva.

👉 Es un sistema de **retroalimentación negativa inmediata**.

→ Papel en cambios posturales

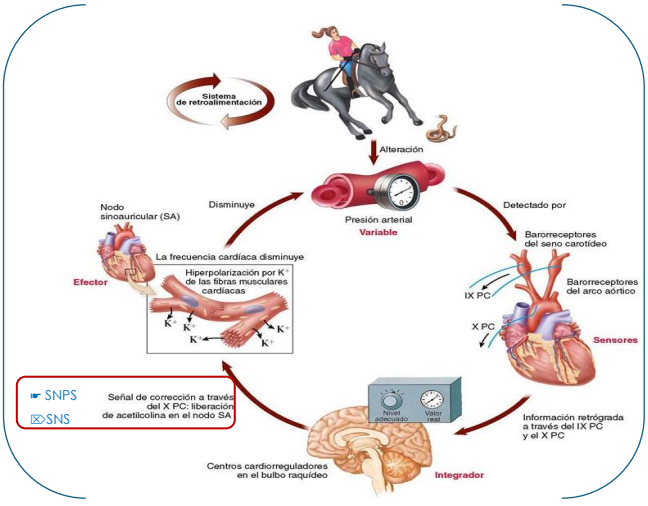
Modula la presión arterial ante cambios posturales, ya que al pasar de tumbado a de pie:

- Baja el retorno venoso.
- Baja la presión.
- Se activan barorreceptores.
- Se activa el simpático.
- Se corrige la hipotensión.



Por eso normalmente no nos desmayamos al levantarnos.

⇒ CIRCUITO COMPLETO DEL REFLEJO



Aquí se ve el esquema funcional:

1. Variable: Presión arterial.
2. Sensor: Barorreceptores.
3. Integrador: Centro cardiovascular.
4. Efectores:
   - Corazón (nodo SA).
   - Vasos sanguíneos.

El sistema simpático actúa sobre:

- Músculo cardíaco (contractilidad).
- Nodo sinusal (frecuencia).
- Músculo liso vascular (vasoconstricción).

El parasimpático actúa principalmente sobre:

- Nodo sinusal (↓ frecuencia).

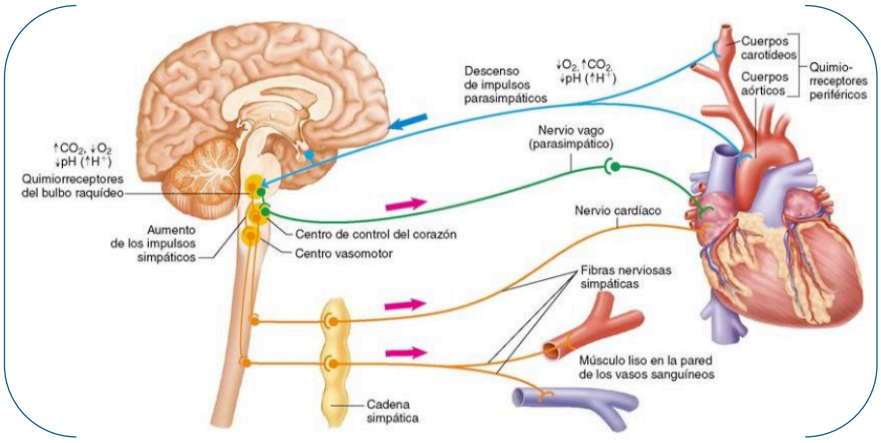
Importante:

👉 El parasimpático no tiene gran efecto directo sobre las arteriolas sistémicas.

⇒ REFLEJO QUIMIORRECEPTOR

Este reflejo actúa cuando la sangre presenta:

- Hipoxia (↓ O_2)
- Hipercapnia (↑ CO_2)
- Acidosis (↑ H^+)



→ **Localización**:

- Cuerpos carotídeos
- Cuerpos aórticos
- Centros bulbares

→ **Respuesta:**

- Aumento del simpático
- Vasoconstricción periférica
- Aumento de frecuencia cardíaca
- Estimulación de la respiración

Barorreceptor y **quimiorreceptor** trabajan coordinados.

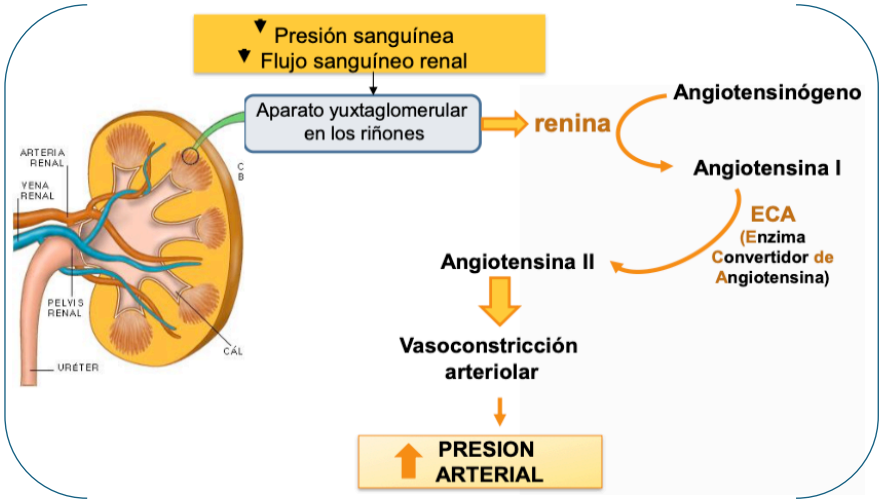
👉 El objetivo es mantener perfusión cerebral y equilibrio químico.

⇒ REGULACIÓN A MEDIO PLAZO

→ **Sistema renina–angiotensina**

Se activa cuando:

- Disminuye la presión arterial.
- Disminuye el flujo renal.



Proceso:

1. El aparato yuxtaglomerular libera **renina**.
2. La renina transforma angiotensinógeno en **angiotensina I**.
3. La ECA convierte angiotensina I en **angiotensina II**.
4. La angiotensina II produce:
   - Vasoconstricción arteriolar.
   - Aumento de la presión arterial.

👉 Es un mecanismo más lento que el reflejo nervioso, pero más sostenido.

⇒ REGULACIÓN A LARGO PLAZO

La **angiotensina II** estimula la corteza suprarrenal para liberar: **Aldosterona.**

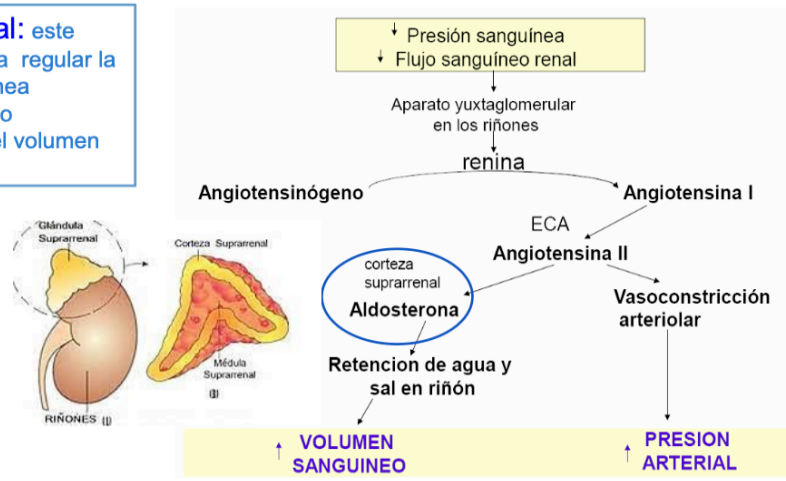
Efecto:

- Aumenta la reabsorción de sodio en el riñón.
- El agua sigue al sodio.
- Aumenta el volumen sanguíneo.
- Aumenta la presión arterial.

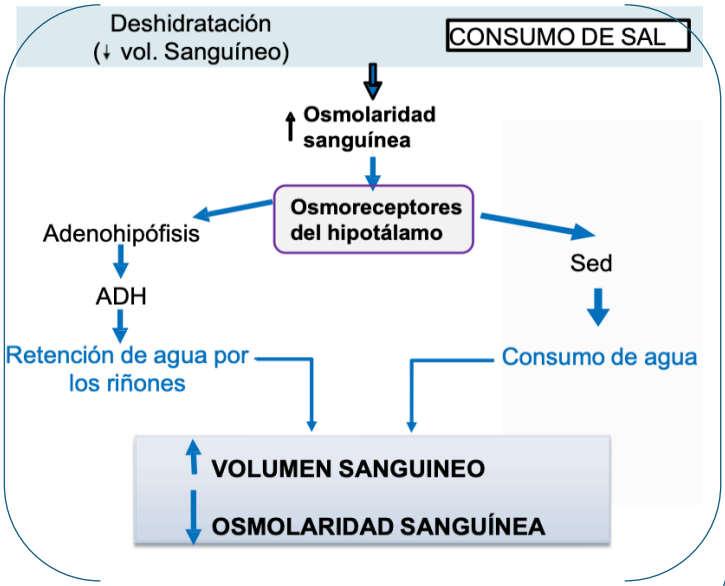
Este es un control volumétrico.

Estos mecanismos actúan a las horas, días o las semanas de haberse iniciado los mecanismos rápidos.

Control renal: este sistema ayuda a regular la presión sanguínea incrementando o disminuyendo el volumen sanguíneo



⇒ ADH (HORMONA ANTIDIURÉTICA)



Se libera cuando:

- Aumenta la osmolaridad.
- Hay deshidratación.
- Disminuye el volumen sanguíneo.

Efectos:

- Aumenta la reabsorción de agua en el riñón.
- Estimula la sed.
- Aumenta el volumen sanguíneo.

⇒ RESUMEN HORMONAL

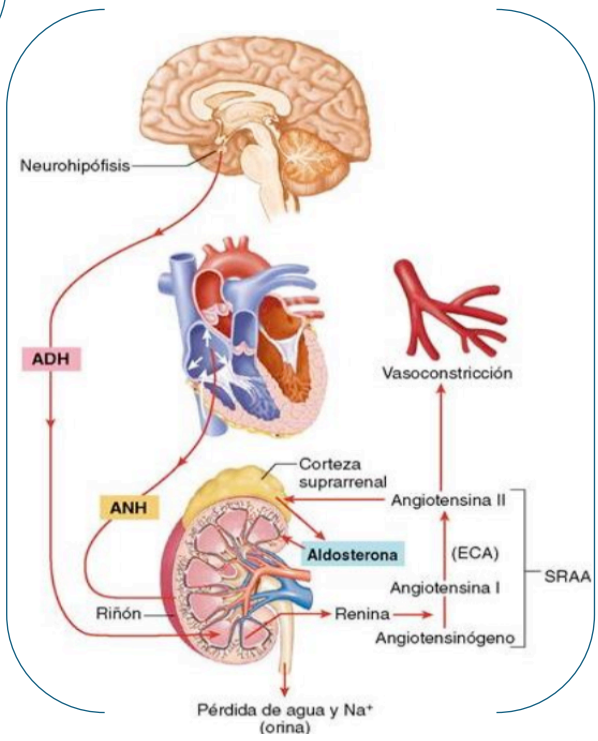
Interacción de:

- ADH
- Aldosterona
- Sistema renina–angiotensina
- ANH (hormona natriurética auricular)

ANH actúa en sentido contrario:

- Favorece eliminación de sodio y agua.
- Reduce volumen.
- Reduce presión.

👉 Este es un mecanismo de equilibrio.



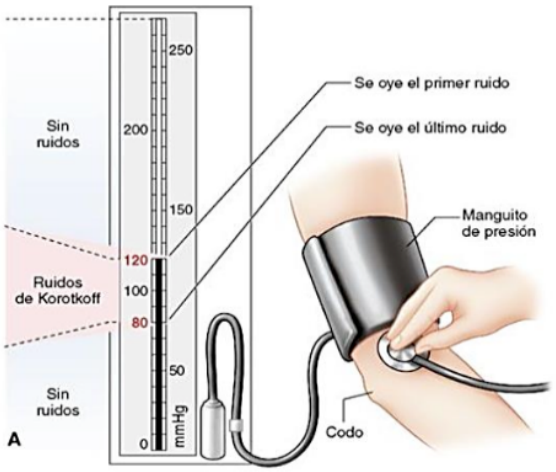
⇒ MEDICIÓN CLÍNICA DE LA PRESIÓN ARTERIAL



→ Esfigmomanómetro

El esfigmomanómetro, tensiómetro o baumanómetro es un instrumento médico empleado para la medición indirecta de la presión arterial, proporcionando, por lo general, la medición en milímetros de mercurio.

Veamos como es este método clásico de medición indirecta de la presión arterial.



Instrumento:

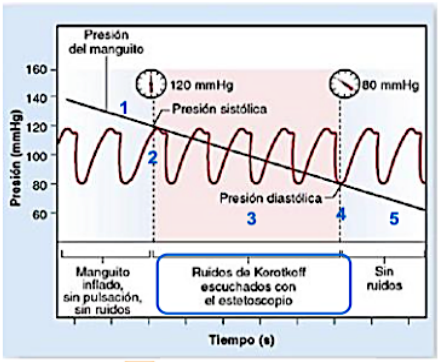
- Manguito inflable alrededor del brazo.
- Manómetro (columna de mercurio o aneroide).
- Fonendoscopio sobre la arteria braquial.

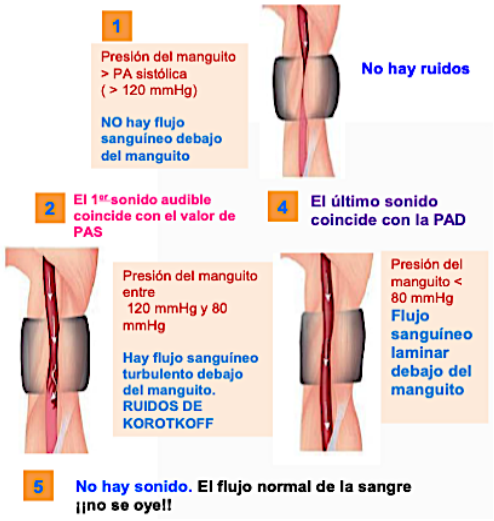
El principio es sencillo:

- Se comprime la arteria.
- Se libera lentamente la presión.
- Se escuchan los **ruidos de Korotkoff**.

Pero, ¿que son los Ruidos de Korotkoff?

Esta diapositiva nos muestra claramente esta práctica clínica.





1 Manguito > presión sistólica (>120 mmHg)

- La arteria está completamente ocluida.
- No hay flujo sanguíneo.
- No se oye nada.

2 Manguito desciende hasta igualar la PAS

- La presión arterial supera la presión del manguito en cada sístole.
- Aparece el **primer ruido audible**.
- Ese momento marca la **Presión Arterial Sistólica (PAS)**.

El flujo es **turbulento**, no laminar.

3 Presión entre PAS y PAD

- El flujo sigue siendo turbulento.
- Se oyen ruidos intermitentes.
- Son los ruidos de Korotkoff.

4 Manguito < presión diastólica (<80 mmHg)

- El flujo vuelve a ser laminar.
- Desaparecen los ruidos.
- El último ruido marca la **Presión Arterial Diastólica (PAD)**.

5️⃣ **Presión mucho menor que la diastólica**

- Flujo normal.
- No se oye nada.

👉 Idea clave:
El flujo sanguíneo normal es silencioso.
El ruido aparece cuando el flujo es turbulento.

⇒ **RESUMEN FISIOLÓGICO INTEGRADOR**

→ **Principios hemodinámicos**

Aquí se muestra el tema de manera sintetizada en leyes básicas.

1️⃣ **Especialización de los vasos**

- **Arterias** → reservorio de presión
- **Arteriolas** → vasos de resistencia
- **Capilares** → intercambio
- **Venas** → reservorio de volumen

2️⃣ **Primera ley de la circulación**

La sangre fluye: de zonas de mayor presión a zonas de menor presión.
Sin gradiente de presión no hay flujo.

3️⃣ **Determinantes del flujo**

→ El flujo depende de:

- Diferencia de presión.
- Resistencia vascular.

→ La resistencia depende de:

- Viscosidad.
- Longitud del vaso.
- Radio del vaso (a la cuarta potencia).

👉 El radio es el factor decisivo. Pequeñas variaciones del diámetro arteriolar producen grandes cambios en resistencia y presión.

⇒ **SÍNTESIS FINAL DEL CONTROL**

Puntos esenciales:

- El flujo arterial es pulsátil.
- Las venas son vasos de capacitancia.
- El retorno venoso depende de bombas muscular, respiratoria y cardíaca.
- El principal determinante de la presión arterial es el volumen de sangre en las arterias.
- Regulación:
  - Corto plazo → reflejos.
  - Medio plazo → angiotensina.
  - Largo plazo → control renal (aldosterona, ADH, ANH).

→ **Microcirculación (detalle final importante)**

- El flujo capilar es intermitente.
- Las metaarteriolas y esfínteres precapilares presentan vasomotilidad.
- El O_2 tisular regula el tono local:
  - Bajo O_2 → vasodilatación.
  - Alto O_2 → vasoconstricción.

Este es un mecanismo de **autorregulación local**.

TEMA 8 – FISIOLOGÍA RENAL

1. FUNCIONES DE LOS RIÑONES

El riñón no es solo un órgano excretor. Es, ante todo, un **órgano regulador del medio interno**. Si uno entiende esto, entiende toda la fisiología renal.

1.1. Función excretora

Elimina productos de desecho del metabolismo, sin esta función, la vida sería incompatible en pocos días.



1.2. Función reguladora (la más importante)

El riñón regula: volumen sanguíneo, presión arterial, electrolitos, osmolaridad y pH plasmáticos.

Por todo ello, es el gran estabilizador del equilibrio interno (homeostasis).

1.3. Función endocrina

Produce: **Renina**, **Eritropoyetina** y **Vitamina D activa (calcitriol)**.

Es decir, no solo filtra: también actúa como glándula endocrina.

⇒ ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL RIÑÓN. FILTRACIÓN GLOMERULAR. MECANISMOS DE REABSORCIÓN Y SECRECIÓN EN LA FORMACIÓN DE ORINA. FISIOLOGÍA RENAL

Vamos a estudiar en profundidad **cómo el riñón fabrica orina** para mantener estable el medio interno.

Comenzamos con una idea clave que conviene fijar de entrada:

El riñón no "**hace orina**" como objetivo final; la orina es el **resultado** de su misión principal: **regular** agua, sales y equilibrio ácido-base. La eliminación de desechos viene "**incluida**", pero el gran papel del riñón es mantener constantes internas compatibles con la vida.

Los tres procesos que nombra el título (filtración, reabsorción, secreción) no son tres "fases bonitas": son tres decisiones fisiológicas distintas:

- **Filtración glomerular**: el riñón "pone a disposición" del túbulo una muestra enorme del plasma (sin células ni proteínas), como si dijera: "aquí tengo material; ahora decidiré qué conservo y qué tiro".
- **Reabsorción**: recuperar del túbulo a la sangre lo que el cuerpo necesita: agua, Na^+ (catión sodio), glucosa, bicarbonato, etc.
- **Secreción**: lo contrario en dirección: pasar sustancias desde la sangre al túbulo para eliminarlas: H^+ (hidrógeno), K^+ (potasio), ciertos fármacos, ácidos/orgánicos, etc.

El título también dice "estructura funcional". Eso significa que, en riñón, más que en casi ningún órgano, **cada tramo anatómico está hecho para una función concreta**: no es un tubo uniforme; es una cadena de segmentos especializados.

⇒ OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

1. **Funciones y estructura funcional del riñón**

Antes de números y presiones, hay que entender "para qué existe" el riñón: homeostasis. La estructura (nefrona y vasos) está diseñada para esa misión.

2. **Procesos básicos en la formación de orina**

Se centra en tres acciones fundamentales:

- Filtración (en el glomérulo)
- Reabsorción (a lo largo del túbulo)
- Secreción (sobre todo túbulos proximal y distal/colector, según sustancia)

3. **Mecanismos que condicionan la filtración glomerular**

Aquí hay dos pilares:

- **Barrera de filtración**: qué pasa y qué no pasa.
- **Fuerzas de Starling**: por qué pasa (las presiones que empujan o frenan la filtración).

4. **Regulación de la hemodinámica renal**

No basta con saber filtrar: el organismo regula el flujo sanguíneo renal para:

- Mantener la filtración cuando conviene
- Reducirla cuando hay emergencia (hemorragia, hipotensión intensa)
- Ajustarla según sodio, volumen, hormonas

5. **Procesos de función tubular**

Aquí está el "trabajo fino": el riñón convierte un ultrafiltrado "parecido al plasma" en una orina final muy distinta, ajustada al estado del organismo.

6. **Reflejo de micción**

La micción es neurofisiología aplicada: almacenamiento, distensión, reflejos autónomos y control voluntario.

La razón de incluir micción al final es lógica: primero fabricas orina, luego la almacenas, finalmente la expulsas.

⇒ **FUNCIONES DE LOS RIÑONES**

Aquí vamos a ver la triple identidad del riñón:

1) Órgano excretor

Elimina desechos nitrogenados (creatinina, urea, ácido úrico, etc.) y sustancias extrañas (fármacos, toxinas).

Fisiológicamente, esto evita toxicidad y, sobre todo, evita acumulación de solutos que alterarían el equilibrio osmótico y ácido-base.

2) Órgano regulador

Aquí está lo grande:

- **Equilibrio hídrico**: regula el volumen sanguíneo → regula presión arterial.
- **Electrolitos**: ajusta Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-, fosfato…

  El más determinante para volumen extracelular es el **sodio**.
- **Osmolaridad plasmática**: ajusta agua en relación con solutos: la hormona antidiurética (ADH) es crucial).
- **pH plasmático**: excreta H^+ (hidrógeno) y conserva/forma HCO_3 (bicarbonato).

  Esto no es "un detalle": el pH condiciona proteínas, enzimas y excitabilidad celular.

3) Órgano endocrino

Produce o activa:

- **Renina**: inicia el sistema renina–angiotensina–aldosterona (presión arterial y sodio).
- **Eritropoyetina**: regula la masa de glóbulos rojos (oxigenación tisular).
- **Vitamina D activa**: metabolismo del calcio y hueso.

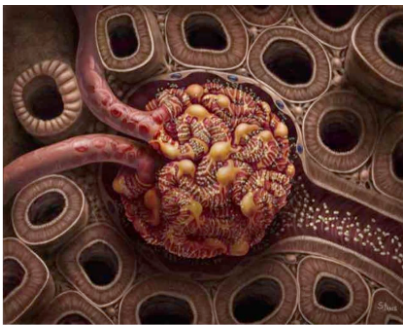
→ **Conclusión**:

Si el riñón falla, no falla "solo la orina": fallan presión arterial, sangre, hueso, equilibrio eléctrico del corazón, pH… todo.

⇒ ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL RIÑÓN

Aquí entramos en la organización interna del riñón: **corteza y médula**.

- **Corteza renal**: contiene los corpúsculos renales (glomérulos) y parte de los túbulos.
- **Médula renal**: organizada en pirámides; contiene asas de Henle y conductos colectores.



Esta disposición no es estética, es funcional.

La médula permite generar un **gradiente osmótico vertical**, desde la corteza (menos concentrada) hacia la papila (más concentrada). Ese gradiente es el que hace posible:

- Concentrar la orina cuando hay deshidratación.
- Diluirla cuando sobra agua.

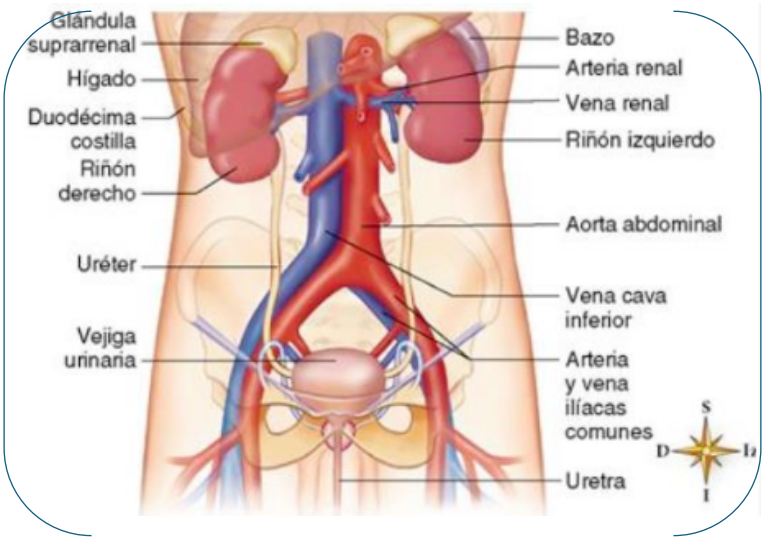
Sin organización **corticomedular** no existiría capacidad de concentración urinaria. Y sin concentración urinaria, la vida terrestre sería inviable.

El término **corticomedular** se refiere a la transición entre la corteza externa y la médula interna de órganos como el riñón, también ganglios linfáticos o glándulas suprarrenales.

⇒ RIÑONES Y VÍAS URINARIAS

Vamos a analizar estas cuatro estructuras:

1. Riñones
2. Uréteres
3. Vejiga urinaria
4. Uretra



1. RIÑONES

→ Qué son

Órganos pares, con forma de alubia, situados en posición **retroperitoneal** (detrás del peritoneo), a ambos lados de la columna vertebral.

→ Cómo funcionan

Reciben sangre por la arteria renal.

Dentro de ellos se realiza:

- Filtración glomerular.
- Reabsorción tubular.
- Secreción tubular.
- Regulación hormonal.

En su interior se organiza la nefrona (unidad funcional), que transforma plasma en orina.

→ Para qué sirven

- Mantener volumen sanguíneo.
- Mantener presión arterial.
- Regular electrolitos.
- Regular pH.
- Eliminar desechos.
- Producir hormonas (renina, eritropoyetina, vitamina D activa).

Son el órgano central de la homeostasis crónica.

2. URÉTERES

→ **Qué son**

Dos conductos musculares que conectan cada riñón con la vejiga.

→ **Cómo funcionan**

No son simples "tubos pasivos".
Tienen músculo liso que realiza **movimientos peristálticos**.

Esto significa que:

- La orina no cae por gravedad.
- Es impulsada activamente hacia la vejiga.

Incluso en posición tumbada, la orina progresa.

→ **Para qué sirven**

Transportar la orina desde la pelvis renal hasta la vejiga sin permitir reflujo.
Poseen un mecanismo de entrada oblicua en la vejiga que actúa como válvula antirreflujo.

3. VEJIGA URINARIA

→ **Qué es**

Órgano muscular hueco con paredes elásticas.

→ **Cómo funciona**

Su pared contiene el músculo **detrusor** (músculo liso).

Funciones:

- Almacena orina.
- Se distiende sin aumentar excesivamente la presión interna (propiedad de complacencia).
- Cuando se activa el reflejo de micción, el detrusor se contrae.

Tiene dos esfínteres:

1. Interno (músculo liso, involuntario).
2. Externo (músculo estriado, voluntario).

→ **Para qué sirve**

Permitir almacenamiento temporal y controlado de la orina.
Esto es crucial en animales sociales como nosotros: la micción es voluntariamente modulada.

4. URETRA

→ **Qué es**

Conducto final que comunica la vejiga con el exterior.

→ **Cómo funciona**

Su apertura está controlada por el esfínter externo.
En el hombre además cumple función reproductiva.

→ **Para qué sirve**

Permitir la expulsión controlada de la orina.

→ **Epitelio urinario (urotelio)**

El epitelio urinario o epitelio de transición, es un tejido especializado y estratificado que reviste las vías urinarias (pelvis renal, uréteres, vejiga y parte de la uretra). Su función principal es impermeabilizar y adaptarse a la distensión, permitiendo que la vejiga se llene sin romperse gracias a sus células en paraguas.

→ **Qué significa esto**

Una vez que la orina sale del riñón:

- No se reabsorben solutos.
- No se modifica su composición.
- No se altera osmolaridad.

Esto es fundamental: toda la regulación ocurre en el riñón, no en la vejiga.

→ **Enorme capacidad de reserva renal**

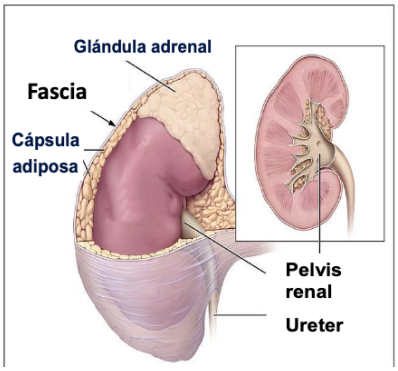
Podemos perder hasta el 70% de la masa renal y mantener función casi normal.

¿Por qué?

- Porque cada nefrona tiene capacidad de aumentar su filtración (hiperfiltración compensadora).
- Porque la filtración basal está muy por encima de lo estrictamente necesario.

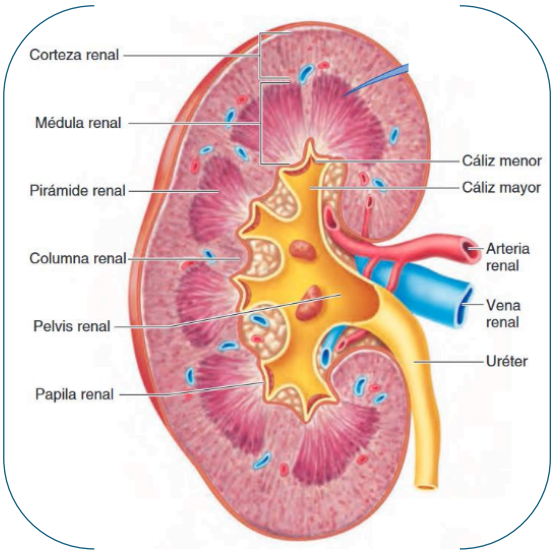
Pero esta compensación tiene un precio: a largo plazo puede acelerar daño si la pérdida es progresiva.

⇒ **<u>ANATOMÍA DEL RIÑÓN</u>**



En la imagen se observan:

- Cápsula fibrosa.
- Cápsula adiposa.
- Fascia renal.
- Glándula suprarrenal.
- Pelvis renal.
- Uréter.



Pero desde el punto de vista fisiológico lo crucial es el **patrón vascular**:

El riñón recibe aproximadamente **el 25% del gasto cardíaco**.

Eso es enorme para un órgano de su tamaño.

→¿Por qué tanta sangre?

- Porque la función renal depende del flujo.
- Sin flujo suficiente no hay filtración.
- Y sin filtración no hay regulación.

La fisiología renal es inseparable de la hemodinámica.

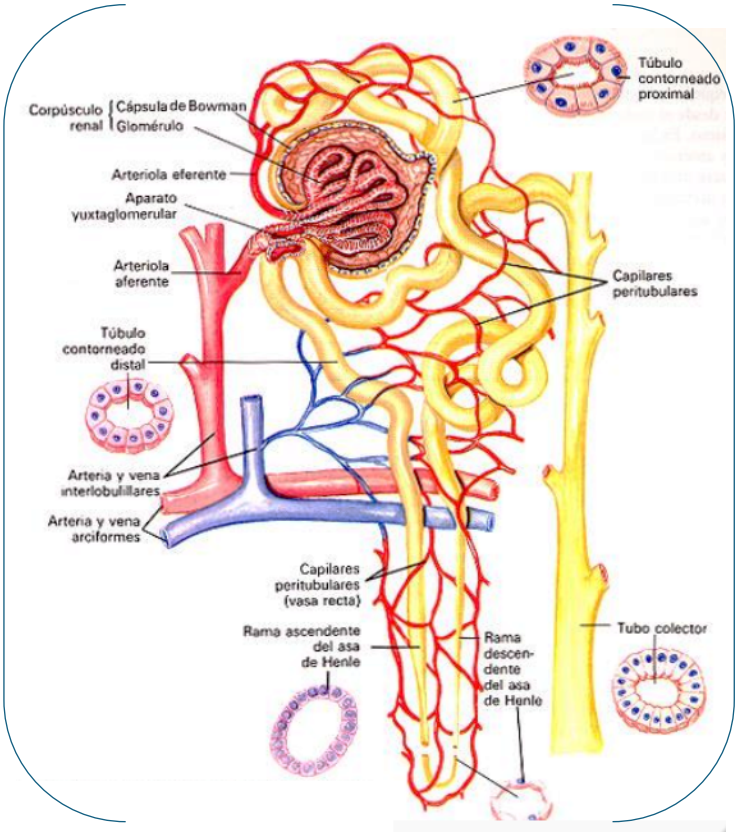
⇒ UNIDAD FUNCIONAL DEL RIÑÓN: LA NEFRONA

→ Cada riñón tiene aproximadamente 1 millón de nefronas (son estructuras microscópicas).

Componentes:

1. **Corpúsculo renal**
   - Glomérulo
   - Cápsula de Bowman
2. Túbulo contorneado proximal
3. Asa de Henle
4. Túbulo contorneado distal
5. Túbulo colector

→ Cada segmento tiene epitelio diferente, transportadores distintos y permeabilidad específica.



La nefrona es un sistema secuencial:

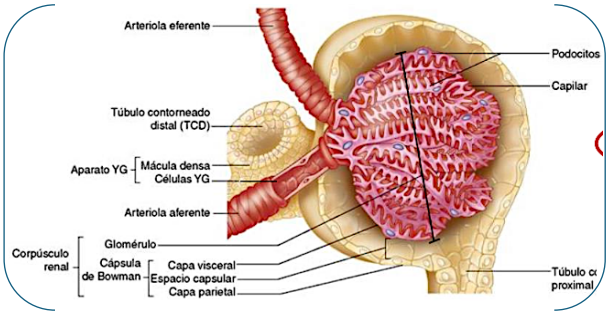
- El glomérulo filtra.
- El túbulo proximal reabsorbe masivamente.
- El asa crea gradiente.
- El distal ajusta electrolitos.
- El colector decide el volumen final.

👉 No hay redundancia inútil. Hay especialización.

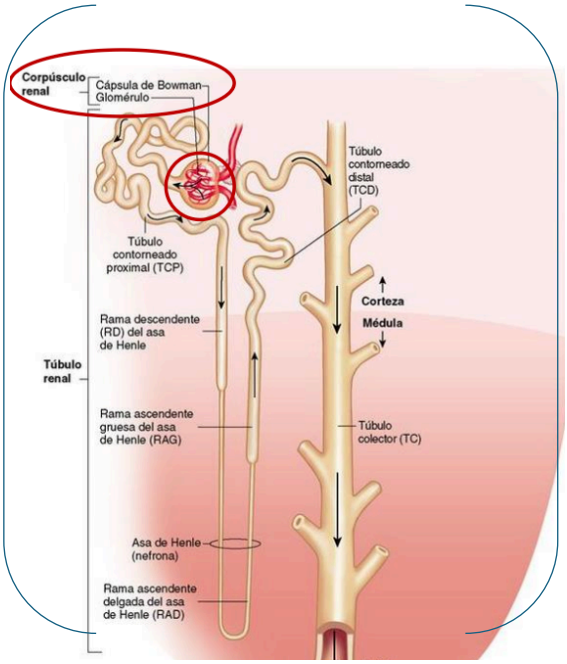
⇒ CORPÚSCULO RENAL

Está formado por:

- Un ovillo capilar (glomérulo).
- Rodeado por la cápsula de Bowman.

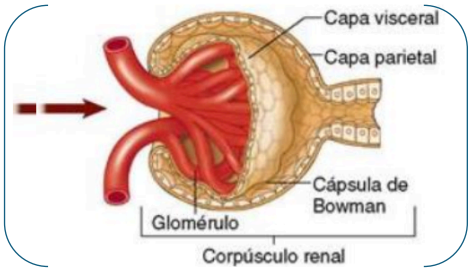


👉 Aquí ocurre la **filtración glomerular**.



La sangre entra por la arteriola aferente y sale por la eferente.

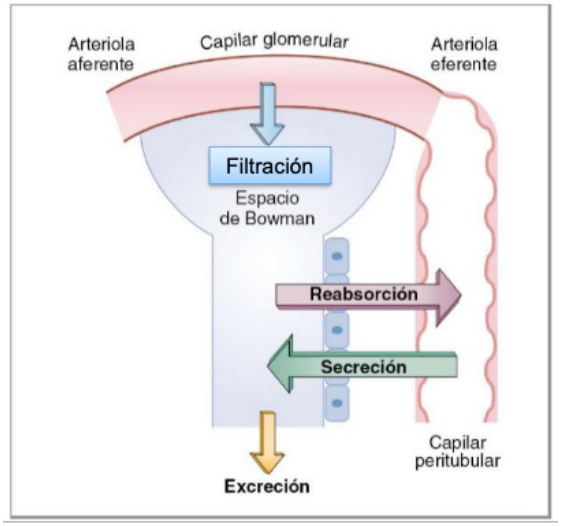
Este detalle es importante: ambos extremos son arteriolas, no venas.



Eso permite mantener una **presión hidrostática elevada dentro del capilar glomerular**, necesaria para filtrar.

→ El glomérulo no es un capilar cualquiera; es un filtro de alta presión diseñado para producir ultrafiltrado continuo.

⇒ PROCESOS EN LA FORMACIÓN DE LA ORINA



Aquí vemos los tres procesos fundamentales:

1. Filtración
2. Reabsorción
3. Secreción

La ecuación conceptual:
Excreción = Filtración + Secreción − Reabsorción

→ Esto significa que la cantidad final eliminada de una sustancia depende de tres decisiones fisiológicas distintas.

Ejemplo claro:

- La glucosa se filtra.
- Se reabsorbe completamente.
- No se secreta.

Resultado: excreción cero (en condiciones normales).

En cambio:

- El potasio se filtra.
- Se reabsorbe en parte.
- Puede secretarse en el distal.

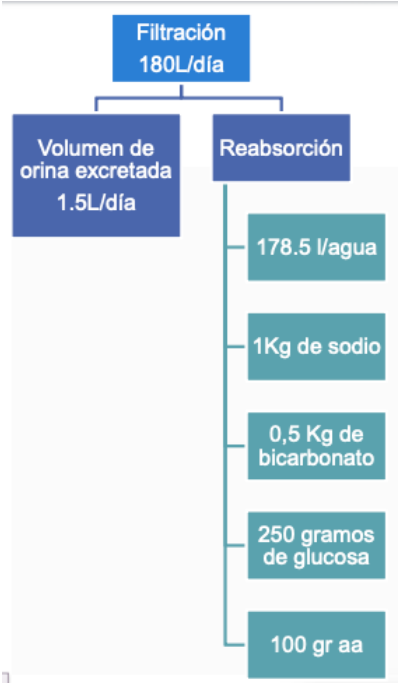
Resultado: excreción variable según necesidades.

👉 El riñón no actúa de forma automática; actúa regulando.

https://www.youtube.com/watch?v=9Du13PjFTQI

https://www.youtube.com/watch?v=e6jMBa-KhPc

⇒ VOLÚMENES Y MAGNITUDES



→ Datos impactantes:

- 180 litros/día son filtrados.
- 1,5 litros/día son excretados.

Esto implica que se reabsorbe el 99% del agua filtrada (178,5 litros).

Además:

- 1 kg de sodio reabsorbido.
- 0,5 kg de bicarbonato.
- 250 g de glucosa.
- 100 g de aminoácidos.

→ Estas cifras muestran que el riñón trabaja con cantidades masivas.

👉 La estrategia es clara:
Filtrar mucho → recuperar selectivamente.
Es un sistema de control fino con amplio margen de seguridad.

⇒ FILTRACIÓN GLOMERULAR

Este es el primer paso real en la formación de orina.

La Tasa de Filtración Glomerular (TFG) normal en ambos riñones es aproximadamente 125 ml/min.

El ultrafiltrado:

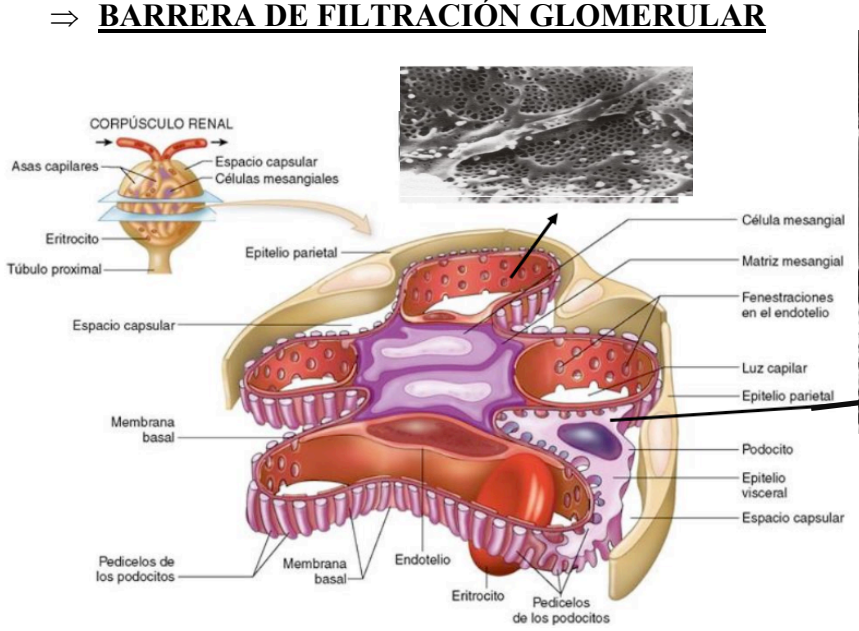
- Es isoosmolar con el plasma.
- No contiene proteínas.
- No contiene células.

La filtración depende de dos elementos:

1. Características estructurales de la barrera.
2. Fuerzas físicas (**Starling**).

A partir de aquí entramos ya en física aplicada a biología.

⇒ BARRERA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR





En esta diapositiva se muestra la **estructura microscópica que permite la filtración del plasma sanguíneo en el glomérulo**. Esta barrera determina **qué sustancias pueden pasar desde la sangre al espacio de Bowman** y cuáles deben permanecer en la circulación.

La filtración renal no es un simple "colador". Es un **sistema altamente selectivo**, capaz de dejar pasar agua y pequeñas moléculas, pero impedir el paso de células sanguíneas y la mayoría de las proteínas plasmáticas.

👉 La barrera de filtración está formada por **tres capas sucesivas**.

1. ENDOTELIO CAPILAR GLOMERULAR

Es la capa más interna, la que está en contacto directo con la sangre.

→ Características estructurales

- Está formado por células endoteliales.
- Posee **fenestraciones** (poros microscópicos).
- Los poros tienen un diámetro aproximado de **70–100 nm**.

→ Cómo funciona

Estas fenestraciones permiten el paso fácil de:

- agua
- iones
- glucosa
- aminoácidos
- urea
- creatinina

Pero **impiden el paso de células sanguíneas**:
- eritrocitos
- leucocitos
- plaquetas

Esto ocurre porque las células son mucho mayores que los poros.

→ **Para qué sirve**

Su función principal es permitir una **filtración muy rápida del plasma**, evitando al mismo tiempo la pérdida de elementos celulares de la sangre.

2. MEMBRANA BASAL GLOMERULAR

Es la capa intermedia y **la principal barrera real de filtración**.

Está formada por una red de proteínas estructurales:
- colágeno tipo IV
- laminina
- proteoglicanos

Tiene aproximadamente **300–350 nm de grosor**.

→ **Características fisiológicas importantes**

Esta membrana posee **carga eléctrica negativa**.

Esto tiene una consecuencia crucial:
Las proteínas plasmáticas también tienen carga negativa (especialmente la albúmina).
Por lo tanto, **son repelidas electrostáticamente**.

→ **Cómo funciona**

La membrana basal actúa como un filtro basado en:
1. **Tamaño molecular**
2. **Carga eléctrica**

Moléculas pequeñas atraviesan la barrera.
Proteínas grandes y negativas quedan retenidas.

→ **Para qué sirve**

Evita la pérdida de proteínas plasmáticas en la orina.

Cuando esta barrera se altera (por ejemplo, en enfermedades renales), aparece **proteinuria**, uno de los signos clásicos de daño renal.

3. PODOCITOS Y HENDIDURAS DE FILTRACIÓN

Es la capa más externa, en contacto con la **cápsula de Bowman**.
Los **podocitos** son células especializadas del epitelio visceral de la cápsula de Bowman.

→ **Características estructurales**

Poseen prolongaciones llamadas:
- **pedicelos** o "pies".

Entre los pedicelos quedan pequeños espacios llamados: **hendiduras de filtración**

Estas hendiduras están cubiertas por una estructura proteica denominada **diafragma de filtración**.

→ **Cómo funciona**

Las hendiduras tienen un tamaño aproximado de **25–40 nm**, lo que constituye el último control de paso de moléculas.

Actúan como un **filtro de precisión**, que regula el tamaño final de las partículas que pueden atravesar la barrera.

→ **Para qué sirven**

- Mantener la selectividad del filtro.
- Estabilizar estructuralmente el glomérulo.
- Regular la filtración según cambios mecánicos.

Cuando los podocitos se dañan (por ejemplo, en síndrome nefrótico), se pierde esta selectividad y aparecen grandes cantidades de proteínas en la orina.

→ **CONCLUSIÓN FISIOLÓGICA**

La barrera de filtración glomerular funciona mediante **dos criterios de selección fundamentales**:

CRITERIO	CONSECUENCIA
Tamaño molecular	Moléculas pequeñas atraviesan el filtro
Carga eléctrica	Moléculas negativas (proteínas) son repelidas

Por ello el **ultrafiltrado glomerular** es prácticamente igual al plasma, **pero sin proteínas ni células**.

👉 Este filtrado inicial será posteriormente modificado por los túbulos renales para producir la orina final.

⇒ FUERZAS DE STARLING Y PRESIÓN NETA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR

En este tema se explica **la base física que produce la filtración glomerular**.

No basta con tener un filtro (la barrera glomerular). Hace falta una **fuerza que empuje el líquido a través de él**.

Ese movimiento del líquido se explica mediante las **fuerzas de Starling**, que describen cómo se mueve el agua a través de las paredes capilares dependiendo de presiones hidrostáticas y presiones osmóticas.

→ En el glomérulo intervienen **tres fuerzas principales**.

1. PRESIÓN HIDROSTÁTICA DEL CAPILAR GLOMERULAR (PCG)

Es la **presión de la sangre dentro de los capilares del glomérulo**.

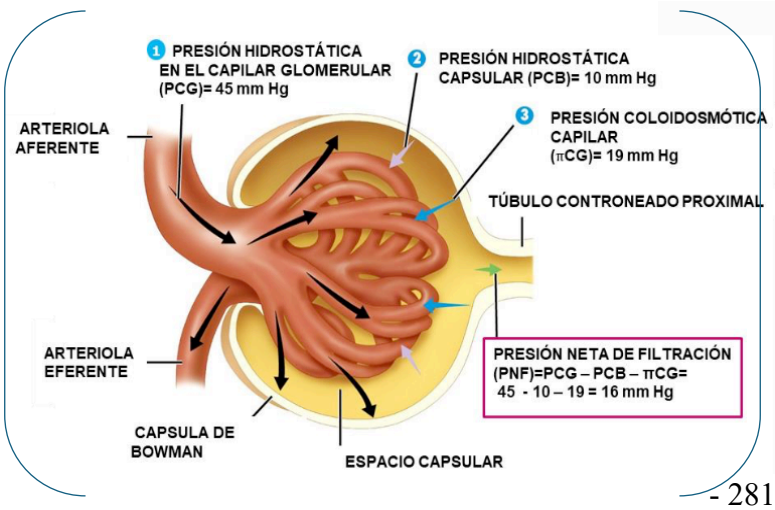
Su origen es la presión arterial que llega al riñón a través de la arteria renal.

Valor aproximado: ≈ **55 mmHg**

→ **Cómo funciona**

Esta presión empuja el plasma hacia fuera del capilar, atravesando:

- endotelio
- membrana basal
- podocitos



y entrando en el **espacio de Bowman**.

→ **Para qué sirve**

Es la **fuerza principal que produce la filtración**. Sin esta presión, el filtrado no se produciría.

2. PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA CÁPSULA DE BOWMAN (PCB)

Es la presión del líquido que ya está presente dentro de la cápsula de Bowman.

Valor aproximado: ≈ **15 mmHg**

→ **Cómo funciona**

Actúa en sentido contrario a la filtración.

El líquido que ya está dentro del espacio de Bowman empuja hacia el capilar e intenta impedir que siga entrando más filtrado.

→ **Para qué sirve**

Actúa como una **fuerza de resistencia**, limitando la filtración excesiva.

En situaciones patológicas (por ejemplo, una obstrucción urinaria), esta presión puede aumentar y reducir mucho la filtración glomerular.

3. PRESIÓN ONCÓTICA DEL CAPILAR GLOMERULAR (πCG)

También llamada **presión coloidosmótica**.

Es la presión osmótica generada por las **proteínas plasmáticas** (principalmente albúmina).

Valor aproximado: ≈ **30 mmHg**

→ **Cómo funciona**

Las proteínas plasmáticas no se filtran.

Por ello ejercen una fuerza osmótica que **atrae agua hacia el interior del capilar**.

Esta fuerza se opone a que el líquido salga hacia la cápsula de Bowman.

→ **Para qué sirve**

Actúa como **mecanismo de retención del agua en la sangre**, oponiéndose a la filtración.

→ **CÁLCULO DE LA PRESIÓN NETA DE FILTRACIÓN**

Las fuerzas se combinan de la siguiente forma:

Presión neta de filtración = PCG − (PCB + πCG)

Sustituyendo valores aproximados: 55 − (15 + 30)

Resultado: ≈ **10 mmHg**

→ Esta es la presión real que impulsa la filtración.

Aunque parezca pequeña, es suficiente porque:

- el área de filtración glomerular es muy grande
- la membrana es muy permeable

Gracias a ello se producen aproximadamente **125 ml de filtrado por minuto**.

→ **CONSECUENCIA FISIOLÓGICA**

El riñón funciona como un **sistema de filtración continua, impulsado por presión**.

Si cambia cualquiera de estas presiones, cambia la filtración glomerular.

Ejemplos:

CAMBIO	EFECTO
Baja presión arterial	disminuye filtración
Obstrucción urinaria	aumenta presión en Bowman y baja filtración
Disminución proteínas plasmáticas	aumenta filtración

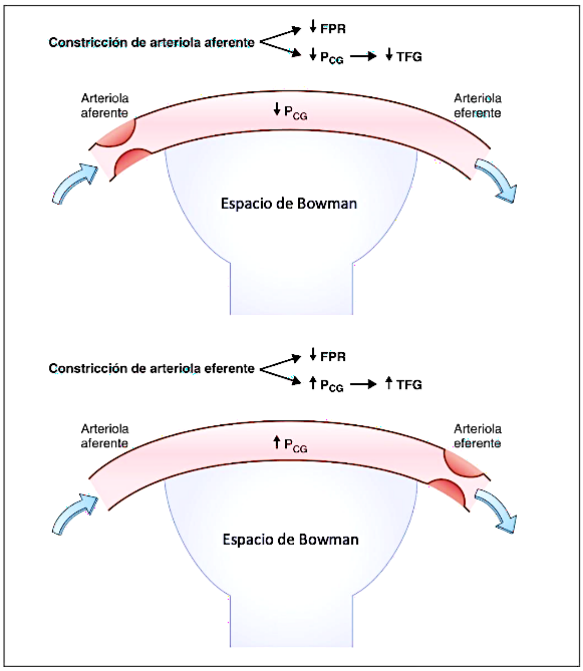
👉 Por eso el riñón está íntimamente ligado a la **hemodinámica cardiovascular**.

⇒ RELACIÓN ENTRE EL FLUJO PLASMÁTICO RENAL (FPR) Y LA TASA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR (TFG)

Vamos a ver **cómo el flujo de sangre que llega al riñón condiciona la filtración glomerular**.

Es importante recordar que el riñón funciona como un sistema hidráulico: si cambia el flujo o la resistencia de los vasos, cambia la cantidad de filtrado.

Primero vamos a definir los dos conceptos principales:



Flujo plasmático renal (FPR)

Es el volumen de **plasma sanguíneo** que atraviesa los riñones por unidad de tiempo.

En términos aproximados:

- Flujo sanguíneo renal ≈ **1200 ml/min**
- Como el plasma es aproximadamente el 55 % de la sangre, el **FPR ≈ 600–700 ml/min**

Tasa de filtración glomerular (TFG)

Es el volumen de filtrado que producen todos los glomérulos de ambos riñones por minuto.

Valor normal: ≈ **125 ml/min**

Esto significa que aproximadamente **una quinta parte del plasma que llega al glomérulo se filtra**.

Este porcentaje se denomina **fracción de filtración**, y la Fracción de filtración es ≈ **20 %**

⇒ RELACIÓN ENTRE PRESIÓN, RESISTENCIA Y FLUJO

Esta es la ecuación fundamental de la hemodinámica:

→ donde:

Q = flujo
ΔP = gradiente de presión entre arteria y vena renal
R = resistencia vascular renal

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

→ Esto significa que el flujo de sangre que llega al riñón depende de dos factores:

1. **la presión arterial que impulsa la sangre**
2. **la resistencia de los vasos renales**

→ La resistencia vascular renal depende principalmente del calibre de dos vasos:

- **arteriola aferente**
- **arteriola eferente**

→ **PAPEL DE LA ARTERIOLA AFERENTE**

Es el vaso que **lleva la sangre al glomérulo**.

→ Si se **contrae (vasoconstricción)**:

- disminuye el flujo sanguíneo hacia el glomérulo
- baja la presión en los capilares glomerulares
- disminuye la TFG

→ Si se **dilata (vasodilatación)**:

- entra más sangre en el glomérulo
- aumenta la presión de filtración
- aumenta la TFG

→ **PAPEL DE LA ARTERIOLA EFERENTE**

Es el vaso que **saca la sangre del glomérulo**.
Su efecto es diferente.

→ Si se **contrae moderadamente**:

- la sangre "se acumula" dentro del glomérulo
- aumenta la presión hidrostática glomerular
- **aumenta la filtración**

Pero si la vasoconstricción es **muy intensa**:

- disminuye el flujo renal
- aumenta mucho la presión oncótica capilar
- finalmente **disminuye la filtración**

→ **CONSECUENCIA FISIOLÓGICA**

El control del diámetro de estas dos arteriolas permite al riñón:

- mantener la filtración relativamente constante
  - adaptarse a cambios en la presión arterial
  - regular la cantidad de orina producida

👉 Este mecanismo es fundamental porque el riñón debe seguir filtrando incluso cuando la presión arterial cambia.

⇒ **IDEA CLAVE DE ESTE PUNTO**

La **TFG depende directamente del flujo sanguíneo renal y del calibre de las arteriolas aferente y eferente**.

El riñón regula estos vasos continuamente para ajustar la filtración según las necesidades del organismo.

⇒ **<u>REGULACIÓN DE LA HEMODINÁMICA RENAL</u>**

Vamos a explicar **cómo el organismo regula el flujo sanguíneo renal y la tasa de filtración glomerular (TFG)**.

El riñón no filtra siempre igual: la filtración cambia según las necesidades del organismo.

→ **REGULACIÓN POR EL SISTEMA NERVIOSO SIMPÁTICO**

El sistema nervioso simpático se activa en situaciones de estrés fisiológico, como, por ejemplo:

- ejercicio intenso
- descenso de la presión arterial
- hemorragia
- shock

En estas situaciones el organismo necesita **preservar la presión arterial y el flujo hacia órganos vitales** (cerebro y corazón).

Por ello ocurre lo siguiente:

1. Aumenta la actividad simpática.
2. Se liberan catecolaminas (adrenalina y noradrenalina).
3. Se activan **receptores α1** en las arteriolas renales.

👉 Estos receptores son especialmente abundantes en la **arteriola aferente**.

→ **EFECTO SOBRE EL RIÑÓN**

La activación simpática produce:

→ **Vasoconstricción de la arteriola aferente**

Esto provoca:

- disminución del flujo sanguíneo renal
- disminución de la presión glomerular
- disminución de la filtración glomerular (TFG)

Consecuencia final:

→ **disminuye la producción de orina**

Esto tiene una finalidad fisiológica clara:

El organismo intenta **conservar agua y volumen sanguíneo**.

→ **SIGNIFICADO FISIOLÓGICO**

En situaciones de emergencia el cuerpo prioriza:

- perfusión cerebral
- perfusión cardíaca

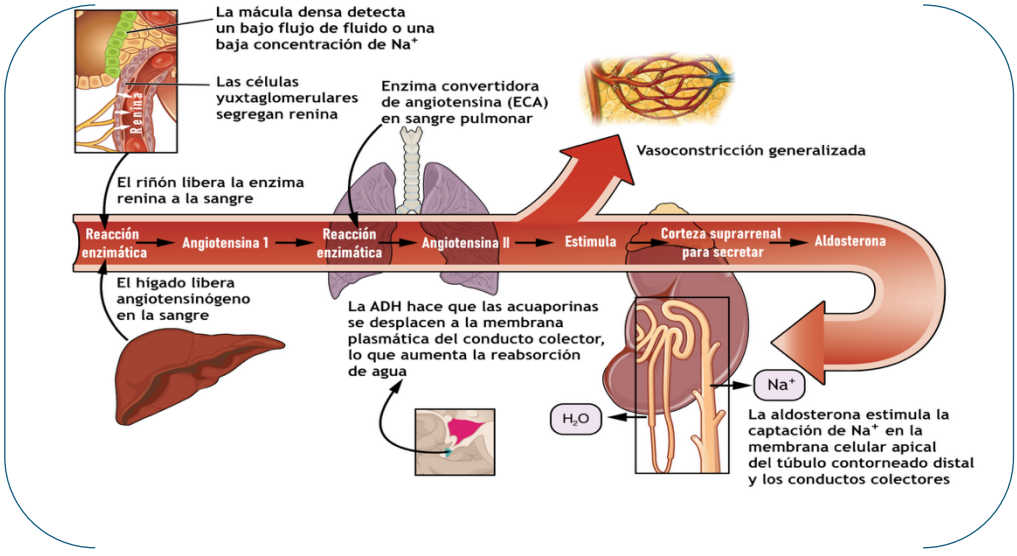
El riñón reduce temporalmente su filtración para **mantener la presión arterial y el volumen circulante**. Este un mecanismo de supervivencia.

⇒ **<u>REGULACIÓN HORMONAL: SISTEMA RENINA-ANGIOTENSINA</u>**

Aquí se explica uno de los sistemas más importantes de regulación de la presión arterial y del volumen sanguíneo: **el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA)**.

Este sistema se activa cuando el organismo detecta:

- disminución del volumen sanguíneo
- disminución de la presión arterial
- baja concentración de sodio en el filtrado tubular

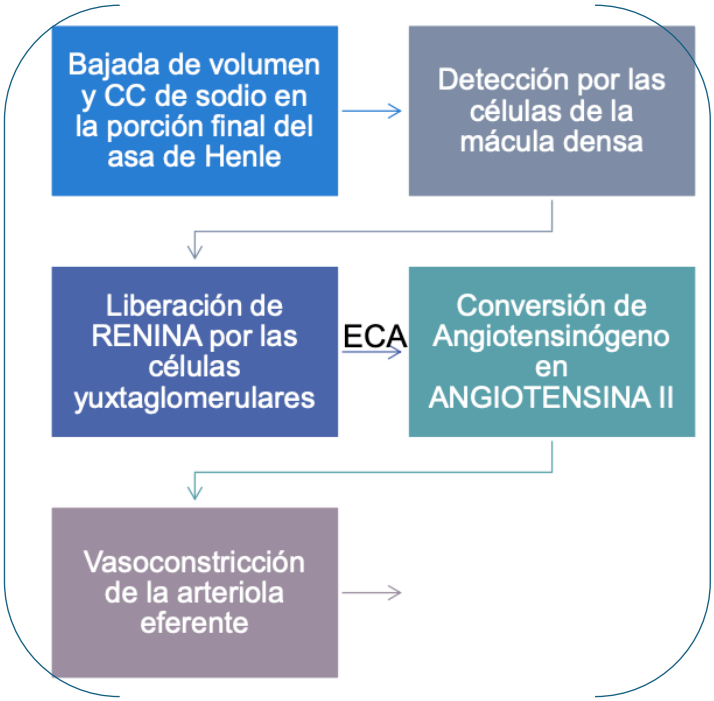


→ PAPEL DE LA MÁCULA DENSA

En la porción final del **asa de Henle** existe un grupo especializado de células llamado **mácula densa**.

Estas células detectan la concentración de sodio y cloro en el filtrado tubular.

Si detectan **baja concentración de NaCl**, interpretan que el filtrado glomerular está disminuyendo o que el volumen circulante es bajo.



→ LIBERACIÓN DE RENINA

La señal de la mácula densa estimula las **células yuxtaglomerulares**, que liberan la enzima **renina** al torrente sanguíneo.

La renina inicia una cadena de reacciones:

1. Renina convierte **angiotensinógeno** (producido en el hígado) en **angiotensina I**.
2. La enzima convertidora de **angiotensina** (ECA) transforma la **angiotensina I** en **angiotensina II**.

→ EFECTOS DE LA ANGIOTENSINA II

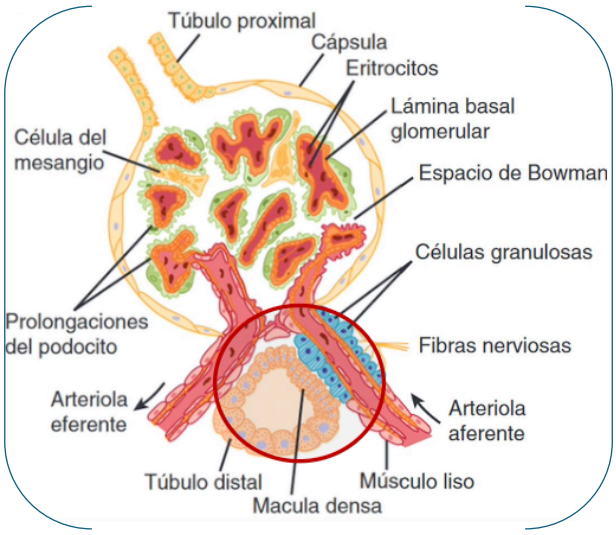
La angiotensina II tiene varios efectos fisiológicos:

1. **Vasoconstricción de la arteriola eferente del glomérulo**
2. Aumento de la presión dentro del glomérulo
3. **Aumento o mantenimiento de la filtración glomerular**

Esto permite que el riñón **mantenga la filtración incluso cuando el flujo sanguíneo renal disminuye**.

Además, la angiotensina II:

- estimula la liberación de **aldosterona**
- aumenta la **reabsorción de sodio y agua**
- eleva la **presión arterial**



→ SIGNIFICADO FISIOLÓGICO

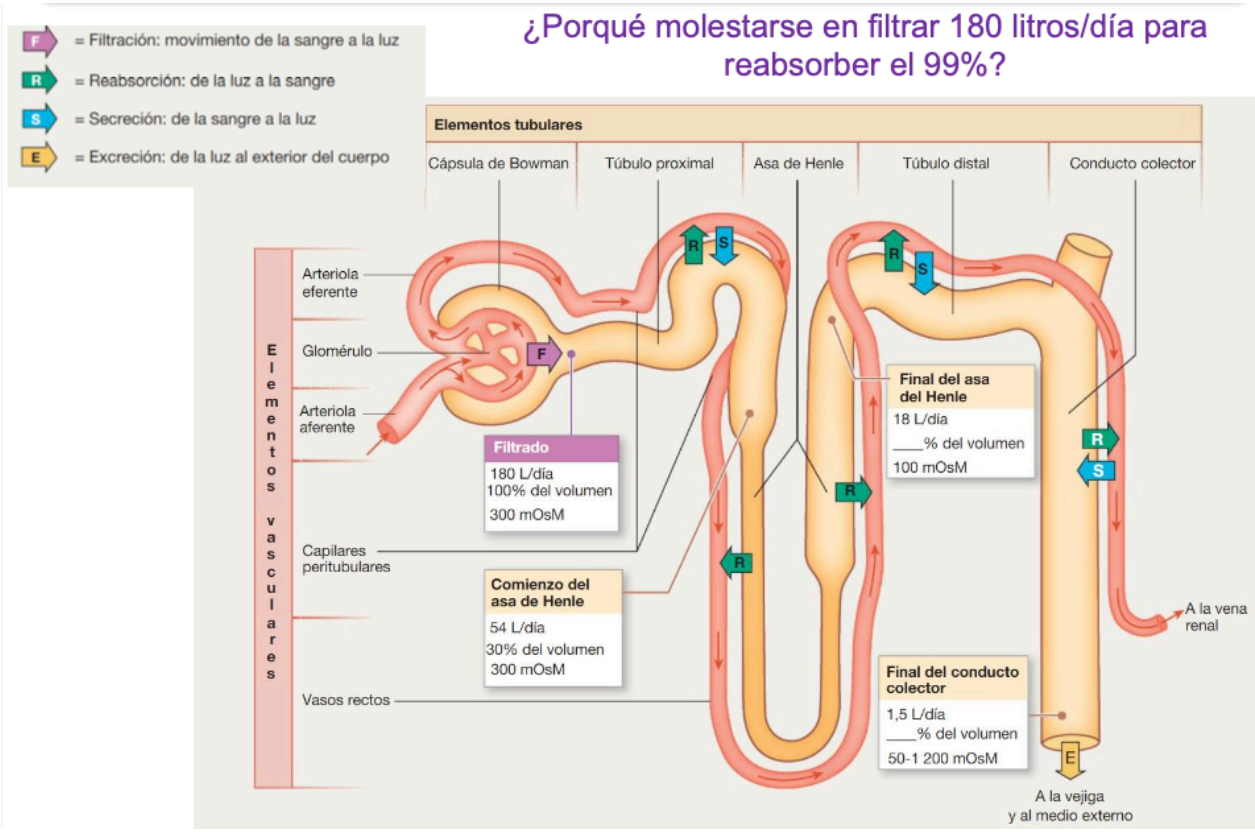
El sistema renina-angiotensina permite al organismo:

- mantener la filtración renal
- conservar sodio
- conservar agua
- recuperar volumen sanguíneo

👉 Es uno de los mecanismos más importantes para **evitar la caída de la presión arterial**.

⇒ PROCESOS EN LA FORMACIÓN DE LA ORINA

Aquí se plantea una pregunta paradójica:
Si el organismo solo elimina **alrededor de 1,5 litros de orina al día**, ¿por qué el riñón filtra aproximadamente **180 litros de plasma al día**?



→ A primera vista parece un sistema ineficiente, pero en realidad es **una estrategia fisiológica extremadamente eficaz de control del medio interno**.

1. EL RIÑÓN UTILIZA UNA ESTRATEGIA DE "FILTRAR Y SELECCIONAR"

El riñón no analiza previamente qué sustancias necesita eliminar.
En lugar de ello utiliza un mecanismo más simple y seguro:

1. **Filtra masivamente el plasma**
2. **Después recupera selectivamente lo que el organismo necesita**

Es decir, el riñón actúa como un sistema de **filtración seguida de selección tubular**.
Esto permite que cualquier sustancia potencialmente peligrosa sea filtrada rápidamente.

2. PERMITE ELIMINAR SUSTANCIAS TÓXICAS CON RAPIDEZ

Muchas sustancias dañinas para el organismo son moléculas pequeñas que atraviesan fácilmente la barrera glomerular.

Por ejemplo:

- fármacos
- toxinas
- metabolitos nitrogenados
- productos de degradación celular

Al filtrar grandes cantidades de plasma, el riñón puede **eliminar rápidamente estas sustancias del organismo**.
Si el filtrado fuese pequeño, la depuración de toxinas sería mucho más lenta.

3. FACILITA UN CONTROL MUY FINO DE LOS COMPONENTES DEL PLASMA

El mecanismo de reabsorción tubular permite ajustar con gran precisión la cantidad de:

- agua
- sodio
- potasio
- calcio
- bicarbonato
- glucosa
- aminoácidos

Por ejemplo:

- En el túbulo proximal se reabsorbe la mayor parte del sodio y del agua.
- En el túbulo distal y el colector se realiza el **ajuste fino**, regulado por hormonas como la **aldosterona** y la **ADH**.

De esta forma el riñón puede adaptar continuamente la composición de la orina a las necesidades del organismo.

4. MANTENER ESTABLE LA COMPOSICIÓN DEL MEDIO INTERNO

El verdadero objetivo del riñón no es producir orina, sino **mantener la homeostasis**.

La filtración masiva permite que el organismo mantenga constantes:

- volumen del líquido extracelular
- osmolaridad plasmática
- concentración de electrolitos
- equilibrio ácido-base

Sin este sistema de filtración y reabsorción continua, pequeñas variaciones en la ingesta de agua o sal producirían grandes desequilibrios.

5. PROTECCIÓN FRENTE A CAMBIOS BRUSCOS DEL ORGANISMO

El sistema "filtrar mucho y reabsorber selectivamente" tiene otra ventaja importante: permite responder rápidamente a cambios fisiológicos.

Por ejemplo:

- si ingerimos mucha agua → se reduce la reabsorción de agua → aumenta la diuresis
- si estamos deshidratados → la ADH aumenta la reabsorción de agua → disminuye la diuresis

El filtrado masivo proporciona un **gran margen de regulación**.

→ IDEA FISIOLÓGICA FUNDAMENTAL

El riñón funciona como un **sistema de depuración continua del plasma**.

Filtra grandes volúmenes para poder:

- eliminar sustancias indeseables
- regular con precisión agua y electrolitos
- mantener estable el medio interno

Por eso la filtración de **180 litros diarios no es un desperdicio de energía**, sino una estrategia eficaz de control fisiológico.

⇒ FUNCIÓN TUBULAR

Aquí vamos a introducir el concepto de **función tubular**, que es el conjunto de procesos mediante los cuales el riñón modifica el ultrafiltrado glomerular para producir la orina final.

Recordemos la secuencia:

1. **Filtración glomerular** → se forma el ultrafiltrado.
2. **Función tubular** → se modifica ese filtrado.
3. **Excreción urinaria** → resultado final.

La función tubular incluye dos procesos fundamentales:

- **Reabsorción tubular**
- **Secreción tubular**

→ Reabsorción tubular

Consiste en el paso de sustancias desde el interior del túbulo renal hacia los capilares peritubulares.

Se reabsorben sustancias útiles para el organismo:

- agua
- sodio
- glucosa
- aminoácidos
- bicarbonato
- calcio
- cloro

El objetivo es **recuperar lo que el organismo necesita conservar**.

→ Secreción tubular

Es el proceso inverso.
Consiste en transportar sustancias desde la sangre hacia el interior del túbulo renal.

Se secretan principalmente:

- protones (H^+)
- potasio
- fármacos
- metabolitos orgánicos

La secreción permite eliminar sustancias que no se filtraron o que deben eliminarse activamente.

⇒ FILTRADO AL SALIR DEL TÚBULO PROXIMAL

Cuando el filtrado abandona el **túbulo contorneado proximal** ya se ha producido una enorme reabsorción.
En este segmento se reabsorbe aproximadamente:

- **67 % del agua filtrada**
- **67 % del sodio**
- gran parte del cloro
- prácticamente **toda la glucosa**
- prácticamente **todos los aminoácidos**
- gran parte del bicarbonato



Este proceso ocurre porque las células del túbulo proximal poseen muchos transportadores y bombas iónicas.

La energía procede principalmente de la **bomba Na^+/K^+-ATPasa**, que genera un gradiente de sodio que impulsa el transporte de muchas otras moléculas.

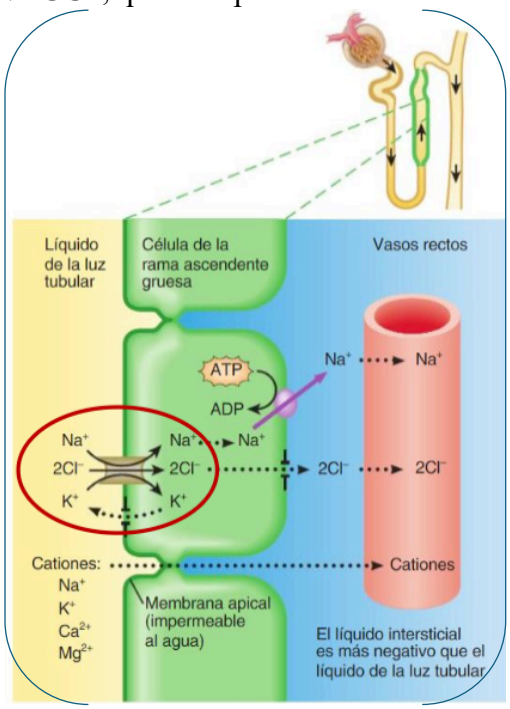
El filtrado que sale del túbulo proximal sigue siendo **isoosmolar con el plasma**, aunque su volumen se ha reducido aproximadamente un **70 %**.

⇒ REABSORCIÓN EN LA RAMA ASCENDENTE GRUESA DEL ASA DE HENLE

Esta parte del asa de Henle tiene una propiedad muy importante ya que **es impermeable al agua**. Esto significa que el agua no puede salir del túbulo en este segmento.
Sin embargo, sí se reabsorben activamente sales, principalmente **NaCl**.

→ El mecanismo principal es el **cotransportador NKCC2**, que transporta:

- sodio (Na^+)
- potasio (K^+)
- cloro (Cl^-)



Este transportador se encuentra en la membrana apical de las células tubulares.

→ **Función fisiológica**
La reabsorción de NaCl sin agua hace que el líquido tubular se vuelva **más diluido**.

Por ello este segmento se denomina:
→ **segmento diluyente del nefrón**.

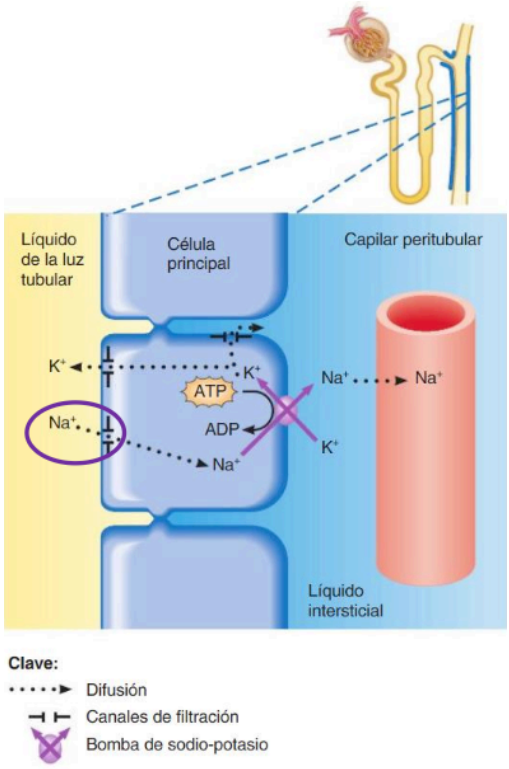
Además, esta reabsorción contribuye a generar el **gradiente osmótico de la médula renal**, fundamental para concentrar la orina.

→ **Importancia clínica** Los diuréticos de asa (como la **furosemida**) bloquean este transportador, lo que aumenta la eliminación de sodio y agua.

⇒ TRANSPORTE EN EL TÚBULO DISTAL TARDÍO Y TÚBULO COLECTOR

En estos segmentos se realiza el **ajuste fino de la composición de la orina**.

Las células principales poseen canales específicos para el transporte de sodio y potasio.



→ Reabsorción de sodio

El sodio entra a la célula tubular a través del canal **ENaC**.

Posteriormente es bombeado hacia la sangre por la Na^+/K^+-ATPasa.

→ Secreción de potasio

El potasio sale hacia el interior del túbulo mediante canales específicos.

Este proceso es importante para mantener estable la concentración de potasio plasmático.

→ Regulación hormonal

Dos hormonas regulan estos procesos:

Aldosterona

- aumenta la reabsorción de sodio
- aumenta la secreción de potasio

Hormona antidiurética (ADH o vasopresina)

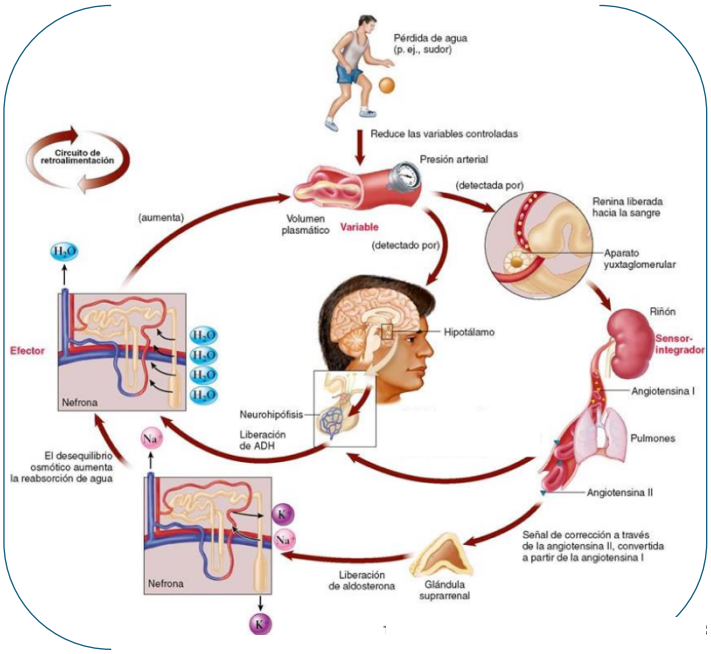
- estimula la inserción de **acuaporinas**
- aumenta la reabsorción de agua

Esto permite ajustar el volumen de orina según el estado de hidratación.

⇒ COLABORACIÓN ENTRE ADH Y ALDOSTERONA EN LA REGULACIÓN DEL VOLUMEN DE ORINA Y PLASMA

Este tema muestra cómo estas dos hormonas trabajan juntas para regular:

- el volumen de orina
- el volumen sanguíneo
- la presión arterial



→ ADH

Actúa principalmente sobre el **túbulo colector**.

Su efecto es aumentar la permeabilidad al agua mediante la inserción de acuaporinas.

Consecuencia: más agua se reabsorbe → la orina se concentra.

→ Aldosterona

Actúa principalmente sobre el **túbulo distal y colector**.

Su función es:

- aumentar la reabsorción de sodio
- aumentar la secreción de potasio

Cuando el sodio se reabsorbe, el agua tiende a seguirlo por ósmosis.

→ **Resultado conjunto**

Ambas hormonas contribuyen a:

- aumentar el volumen sanguíneo
- mantener la presión arterial
- reducir la pérdida de agua por la orina.

⇒ **RESUMEN DE LA FUNCIÓN RENAL**

Aquí se sintetiza todo el proceso de formación de la orina.

Secuencia general:

1. **Filtración glomerular**
2. **Reabsorción tubular**
3. **Secreción tubular**
4. **Excreción urinaria**

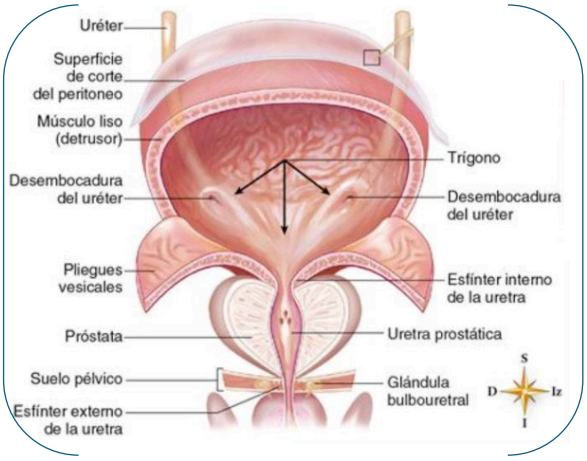
El filtrado inicial se modifica a lo largo de los distintos segmentos de la nefrona hasta convertirse en la orina final.

https://www.youtube.com/watch?v=4FpQQrAHTK8

⇒ **RECOGIDA Y EMISIÓN DE LA ORINA**

Una vez formada, la orina pasa por:

1. La pelvis renal
2. Los uréteres
3. La vejiga
4. La uretra

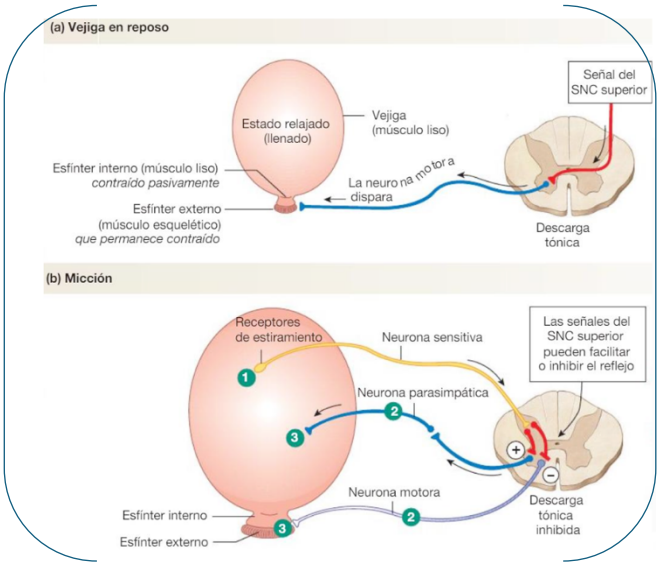


El epitelio que recubre el tracto urinario es **impermeable al agua y a los solutos**.

Esto significa que la orina **no se modifica después de salir del riñón para ser expulsada**.

La vejiga simplemente actúa como reservorio.

⇒ **MICCIÓN**



La micción es el proceso de expulsión de la orina.

Está controlada por un **reflejo neurológico**.

Cuando la vejiga se llena, los receptores de estiramiento de su pared se activan.

Esto desencadena señales nerviosas que:

- contraen el músculo detrusor
- relajan el esfínter uretral interno

El esfínter externo, formado por músculo esquelético, permite el **control voluntario** de la micción.

⇒ EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN RENAL

La función renal puede evaluarse mediante varias pruebas.

1. Análisis de orina
Se analizan:
- proteínas
- glucosa
- bilirrubina
- sedimento urinario

Valores normales:
- pH ≈ 5,5–6,5
- proteínas < 150–300 mg/24 h
- Sedimento: <10 hematíes/campo

2. Creatinina plasmática y BUN
Si estas sustancias aumentan en sangre, suele indicar que hay una **disminución de la filtración** glomerular, y esto supone una posible insuficiencia renal

3. Aclaramiento renal (clearance)
Se define como el volumen de plasma que queda completamente libre de una sustancia por minuto, o lo que es igual: volumen de plasma completamente depurado por minuto.

→ La sustancia ideal para medir la TFG es **la inulina**, porque:
- se filtra libremente
- no se reabsorbe
- no se secreta

⇒ RESUMEN GENERAL DEL SISTEMA URINARIO

El sistema urinario está formado por:
- riñones
- uréteres
- vejiga
- uretra

👉 La unidad funcional es la **nefrona**.

Los procesos básicos de formación de la orina son:
- filtración
- reabsorción
- secreción

⇒ PAPEL DEL FLUJO SANGUÍNEO RENAL

El flujo sanguíneo renal representa aproximadamente **el 25 % del gasto cardíaco**.
La filtración depende de:
- sistema nervioso simpático
- sistema renina-angiotensina
- mecanismos locales de autorregulación

Además, cada segmento tubular modifica el filtrado de forma específica.

⇒ **REGULACIÓN FINAL DEL SODIO, POTASIO Y AGUA**

En los segmentos finales del nefrón se realiza el ajuste definitivo de la orina.

- Aldosterona → regula sodio y potasio.
- ADH → regula la reabsorción de agua.

La vejiga almacena la orina sin modificar su composición.

La micción depende de reflejos autónomos y del control voluntario.

⇒ **PARA SABER MÁS**

Bibliografía de referencia:

- Silverthorn — *Fisiología Humana*
- Costanzo — *Fisiología*
- Fox — *Fisiología Humana*
- Patton y Thibodeau — *Estructura y función del cuerpo humano*

→ Estos son textos clásicos utilizados en enseñanza universitaria de fisiología.
→ Y estos son unos videos de interés sobre el funcionamiento de los riñones.

https://www.youtube.com/watch?v=IjevaIGe0Z4

https://www.youtube.com/watch?v=4FpQQrAHTK8&t=364s

https://www.youtube.com/watch?v=cFIsxxupCww

TEMA 9 – FISIOLOGÍA DEL SISTEMA ENDOCRINO

Este tema se centra en tres grandes bloques de regulación hormonal del organismo:

1. **Homeostasis del calcio y del fosfato**
2. **Secreción y función del páncreas endocrino**
3. **Hormonas tiroideas**

Estos tres sistemas están íntimamente relacionados con el **control del metabolismo**, la **estructura del esqueleto** y el **funcionamiento energético del organismo**.

El **sistema endocrino** es el conjunto de glándulas que liberan **hormonas directamente a la sangre**, para regular funciones fisiológicas en órganos lejanos.

➜ LAS HORMONAS SON, EN ESENCIA, **MENSAJEROS QUÍMICOS**.

Sus características principales:

- Se liberan a la **circulación sanguínea**
- Actúan sobre **órganos diana específicos**
- Regulan procesos como:
  - metabolismo
  - crecimiento
  - equilibrio de minerales
  - reproducción
  - adaptación al medio

Este tema estudia tres sistemas endocrinos clave:

SISTEMA	HORMONAS PRINCIPALES	FUNCIÓN PRINCIPAL
Páncreas endocrino	Insulina, glucagón	Regulación de la glucosa
Paratiroides y vitamina D	PTH, calcitriol	Regulación del calcio y fosfato
Tiroides	T3, T4	Regulación del metabolismo

⇒ **OBJETIVOS DEL TEMA**

Los objetivos de aprendizaje son cinco.

1. COMPRENDER EL PÁNCREAS ENDOCRINO

- Estructura
- Hormonas que secreta:
  - **insulina**
  - **glucagón**

Estas dos hormonas controlan la **glucosa en sangre**.

2. Entender la homeostasis del calcio

El calcio está presente en tres compartimentos del organismo:

COMPARTIMENTO	PORCENTAJE APROXIMADO
Hueso	99 %
Líquido intracelular (LIC)	0,9 %
Líquido extracelular (LEC)	0,1 %

Aunque el calcio del plasma es muy pequeño en cantidad, **su concentración debe mantenerse extremadamente estable**.

3. ESTUDIAR LAS HORMONAS QUE REGULAN EL CALCIO Y EL FOSFATO

Son tres hormonas fundamentales:

HORMONA	FUNCIÓN PRINCIPAL
Hormona paratiroidea (PTH)	Aumenta el calcio en sangre
Calcitriol (vitamina D activa)	Aumenta absorción intestinal de calcio
Calcitonina	Disminuye el calcio en sangre

Estas hormonas actúan sobre:

- **hueso**
- **riñón**
- **intestino**

4. COMPRENDER LAS HORMONAS TIROIDEAS

Las hormonas tiroideas:

- **T3 (triyodotironina)**
- **T4 (tiroxina)**

Regulan:

- metabolismo basal
- consumo de oxígeno
- producción de calor
- crecimiento y desarrollo.

5. ENTENDER LAS PATOLOGÍAS RELACIONADAS

Especialmente:

HORMONA	EXCESO	DÉFICIT
Insulina	Hipoglucemia	Diabetes
Hormonas tiroideas	Hipertiroidismo	Hipotiroidismo
Hormonas del calcio	Alteraciones óseas	Osteoporosis

→ **Idea clave del tema**

Este tema explica **tres sistemas hormonales esenciales para la vida**:

1. **Control de la glucosa** → páncreas endocrino
2. **Control del calcio** → paratiroides + vitamina D
3. **Control del metabolismo energético** → tiroides

→ Estos tres sistemas son fundamentales para:

- el metabolismo
- la actividad muscular y nerviosa
- la estructura del esqueleto
- el equilibrio energético del organismo.

Para ir haciendo ganas hay que ver este estupendo video:

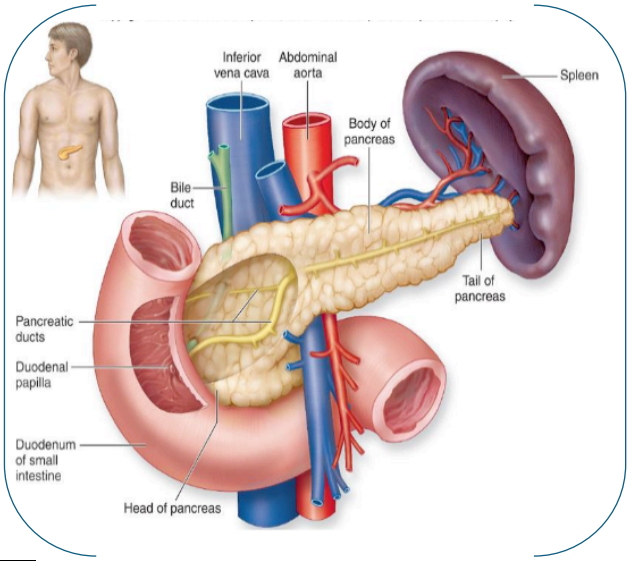
https://www.youtube.com/watch?v=CYVpBxoH80Y

⇒ **EL PÁNCREAS ENDOCRINO**

El **páncreas** es una glándula con una característica muy particular: posee **doble función**, por lo que se considera una **glándula mixta**.

Está situado:

- **detrás del estómago**
- **delante de las primeras vértebras lumbares**



Anatómicamente se extiende desde el **duodeno hasta el bazo**.

1. FUNCIÓN EXOCRINA DEL PÁNCREAS

La mayor parte del páncreas tiene función **exocrina**.

Produce el **jugo pancreático**, que se vierte al intestino delgado.

Este jugo contiene enzimas digestivas importantes:

ENZIMA	FUNCIÓN
Amilasa pancreática	digestión de carbohidratos
Lipasa pancreática	digestión de grasas
Tripsina y quimotripsina	digestión de proteínas

Estas secreciones llegan al intestino a través del **conducto pancreático**.

2. FUNCIÓN ENDOCRINA DEL PÁNCREAS

La parte endocrina está formada por pequeños grupos celulares llamados: **Islotes de Langerhans**

Son **pequeñas agrupaciones de células endocrinas** distribuidas por el páncreas.

Cada islote contiene varios tipos celulares, pero cabe destacar estas dos:

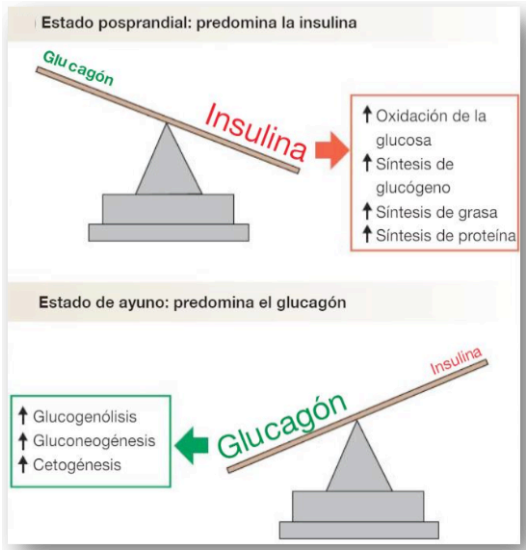
TIPO CELULAR	HORMONA QUE SECRETA	FUNCIÓN
Células alfa	Glucagón	Aumenta la glucosa en sangre
Células beta	Insulina	Disminuye la glucosa en sangre

Estas hormonas pasan **directamente a la sangre**.

⇒ REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE INSULINA Y GLUCAGÓN

Este es el concepto central de la fisiología metabólica: **El metabolismo del organismo está controlado por el cociente insulina-glucagón.**

Esto significa que no importa solo la cantidad absoluta de cada hormona, sino **la relación entre ambas**.



1. REGULACIÓN POR LA GLUCEMIA

La principal señal que controla estas hormonas es: **la concentración de glucosa en sangre.**

→ **Cuando aumenta la glucosa (después de comer)** ocurre:

- ↑ secreción de **insulina**
- ↓ secreción de **glucagón**

Resultado fisiológico:

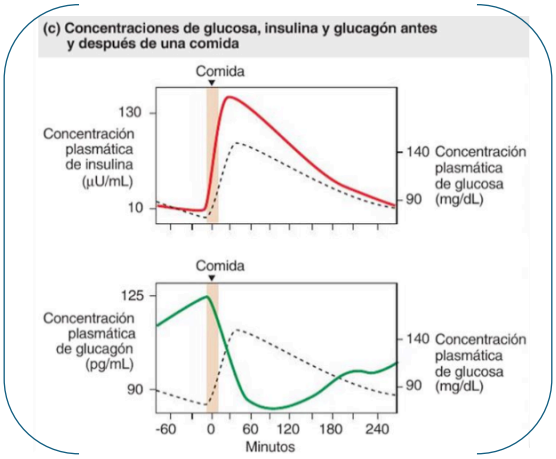
- la glucosa entra en las células
- se almacena energía.

→ **Cuando disminuye la glucosa (ayuno)**
ocurre lo contrario:

- ↓ insulina
- ↑ glucagón

Resultado:

- se movilizan las reservas energéticas.



2. VALORES NORMALES DE GLUCOSA
Según la diapositiva:

Situación	Glucosa plasmática
Ayuno	≈ 90 mg / 100 ml
Después de comer	hasta ≈ 170 mg / 100 ml

Estos valores muestran que el organismo tolera cambios, pero siempre dentro de **un rango relativamente estrecho**.

El sistema endocrino evita dos situaciones peligrosas:

- **hipoglucemia**
- **hiperglucemia**.

3. CONCEPTO CLAVE: COCIENTE INSULINA-GLUCAGÓN

Este cociente determina el estado metabólico del organismo.

ESTADO FISIOLÓGICO	HORMONA DOMINANTE
Después de comer	insulina
Ayuno	glucagón
Ejercicio intenso	glucagón + catecolaminas

4. IMPORTANCIA FISIOLÓGICA
Este sistema garantiza que el organismo siempre disponga de energía.

Después de una comida: → almacenar energía
Durante el ayuno: → liberar energía

→ Esto es uno de los mejores ejemplos de **homeostasis metabólica**.

Ahora entramos a ver el **metabolismo del hígado, músculo y tejido adiposo**, que es una de las partes más importantes del tema.

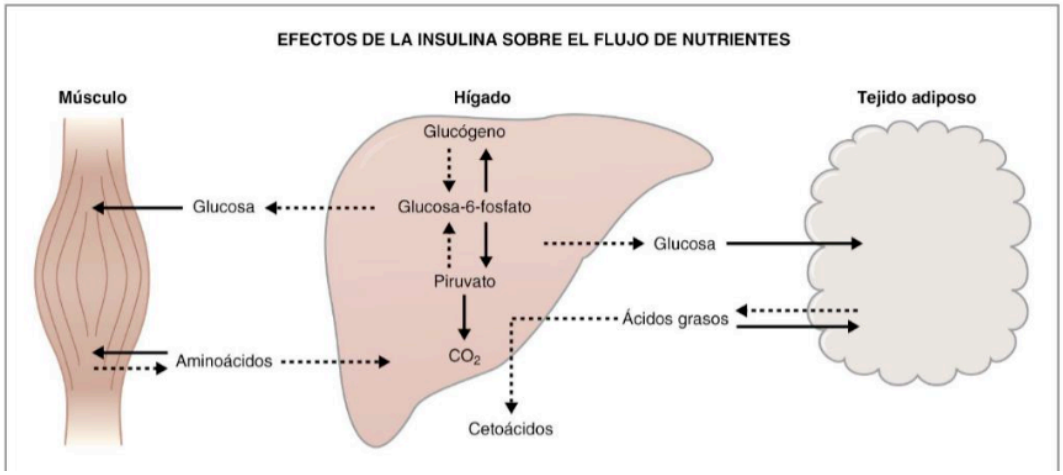
⇒ **ACCIONES DE LA INSULINA**

La **insulina** es la hormona principal del estado **postprandial** (después de comer).
Su función global es: **favorecer el almacenamiento de los nutrientes ingeridos.**

Cuando comemos, la sangre se llena de:

- glucosa
- aminoácidos
- ácidos grasos

La insulina dirige estos nutrientes hacia los tejidos para almacenarlos.



1. TEJIDOS DIANA PRINCIPALES DE LA INSULINA

La insulina actúa sobre tres órganos fundamentales:

ÓRGANO	FUNCIÓN METABÓLICA
Hígado	almacenamiento de glucosa
Músculo	síntesis proteica y glucógeno
Tejido adiposo	almacenamiento de grasa

2. EFECTOS EN EL HÍGADO

En el hígado la insulina produce:

- **Glucogénesis**

Formación de **glucógeno** a partir de glucosa.
Esto permite almacenar glucosa para utilizarla posteriormente.

- **Lipogénesis**

Cuando el glucógeno está lleno, el hígado transforma glucosa en: **ácidos grasos** que posteriormente se almacenan en el tejido adiposo.

- **Inhibición de producción de glucosa**

La insulina también inhibe:

- **gluconeogénesis**
- **glucogenólisis**

Esto evita que el hígado siga liberando glucosa.

3. EFECTOS EN EL MÚSCULO

El músculo es uno de los tejidos que más responde a la insulina.
Produce: **Entrada de glucosa**
La insulina activa transportadores de glucosa llamados: **GLUT4**
Estos transportadores permiten que la glucosa entre en la célula muscular.

- **Síntesis de glucógeno muscular**

Parte de la glucosa se almacena como **glucógeno**.
Este glucógeno será utilizado durante el ejercicio.

- **Síntesis proteica**

La insulina aumenta:

- captación de aminoácidos
- síntesis de proteínas musculares.

Por eso se considera una **hormona anabólica**.

4. EFECTOS EN EL TEJIDO ADIPOSO

En el tejido adiposo la insulina favorece la **formación de triglicéridos**
Los ácidos grasos se almacenan como **grasa corporal**.

También inhibe: **lipólisis**
es decir, evita que la grasa almacenada se degrade.

→ **Resultado final de la insulina**

Disminuyen en sangre:

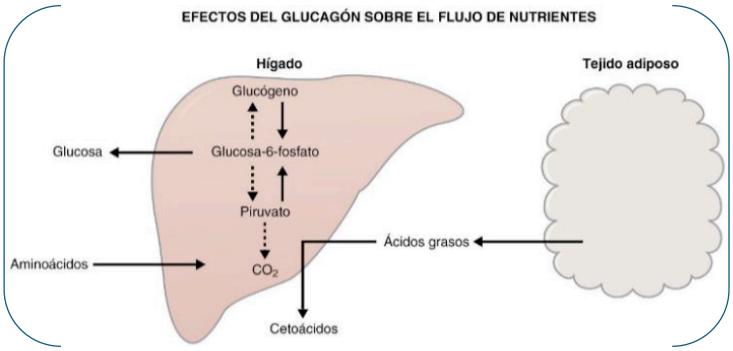
- glucosa
- aminoácidos
- ácidos grasos.

El organismo pasa a un estado **de almacenamiento energético**.

⇒ **ACCIONES DEL GLUCAGÓN**

El **glucagón** tiene una función opuesta a la insulina.

Es la hormona del: **estado de ayuno.**
Su misión es mantener el suministro de glucosa cuando no estamos comiendo.



1. ÓRGANO PRINCIPAL DE ACCIÓN

El glucagón actúa principalmente sobre: **hígado**
Tiene poca acción directa en músculo.

2. EFECTOS METABÓLICOS DEL GLUCAGÓN

→ La **glucogenólisis** es la degradación del **glucógeno hepático** almacenado en glucosa-1-fosfato y glucosa libre, activada por el glucagón y la adrenalina durante el ayuno o ejercicio. Ocurre principalmente en el citoplasma de las células hepáticas (para regular la glucemia) y musculares (para energía inmediata).
Todo este proceso, por tanto, libera glucosa.

→ La **glucogénesis** es el proceso metabólico de síntesis de glucógeno a partir de glucosa-6-fosfato, actuando como reserva energética principalmente en el hígado y los músculos. Estimulada por la insulina tras las comidas, permite almacenar el exceso de glucosa, convirtiendo la UDP-glucosa en cadenas de glucógeno mediante la glucógeno sintasa.
De modo que produce glucosa nueva a partir de:

- aminoácidos
- lactato
- glicerol.

→ **Lipólisis** es la movilización de grasas en el tejido adiposo. Esto permite producir energía en situaciones de ayuno.

→ **Resultado del glucagón**

El resultado principal del glucagón es el **aumento rápido de los niveles de glucosa (azúcar) en sangre**. Actúa como una hormona hiperglucemiante liberada por el páncreas para contrarrestar la

hipoglucemia grave (azúcar muy bajo), señalando al hígado que libere glucosa almacenada, lo que suele surtir efecto en 5-10 minutos.

⇒ ALTERACIONES DE LA SECRECIÓN DE INSULINA

→ DIABETES MELLITUS

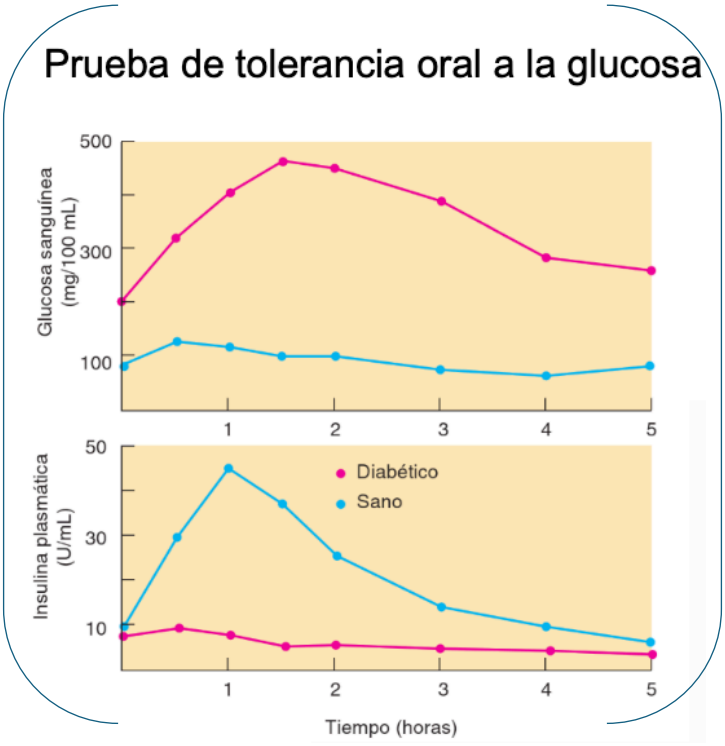
La **diabetes mellitus** es una enfermedad caracterizada por: **hiperglucemia crónica.**

Esto ocurre porque la insulina:

- no se produce
- o no funciona correctamente.

Síntomas clásicos de la diabetes:

SÍNTOMA	EXPLICACIÓN FISIOLÓGICA
Poliuria	aumento de la micción
Polidipsia	aumento de la sed
Pérdida de peso	catabolismo de grasas y proteínas



→ Glucosuria

Cuando la glucosa supera el umbral renal: **aparece glucosa en la orina.**

De ahí viene el nombre: **mellitus (miel).**

https://www.youtube.com/watch?v=l3xxCR3LGaI

⇒ DIABETES MELLITUS TIPO II

Es la forma más frecuente de diabetes.

El problema principal es: **resistencia a la insulina.** Las células beta producen insulina, pero los tejidos responden mal, por lo que ecesitan mayores concentraciones de insulina para mantener la tasa de glucemia.

Factores que favorecen la enfermedad

FACTOR	MOTIVO
obesidad	reduce sensibilidad a insulina
sedentarismo	disminuye captación de glucosa
genética	predisposición hereditaria
edad	cambios metabólicos

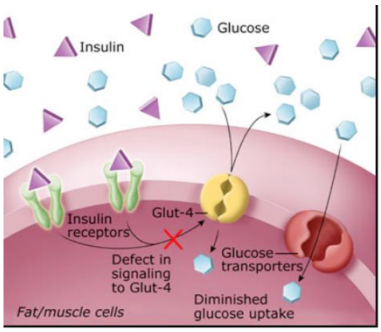
→ Tratamiento

Primero:

- dieta
- ejercicio.

Si no es suficiente se utilizan fármacos como:

Fármaco	Acción
sulfonilureas	aumentan secreción de insulina
metformina	aumenta sensibilidad a insulina



→ **Complicaciones crónicas**

Si no se controla la enfermedad pueden aparecer:

- problemas vasculares
- daño renal
- problemas oculares
- gangrena en extremidades.

⇒ REGULACIÓN HORMONAL DEL CALCIO Y FOSFATO

A partir de aquí vamos a ver cómo se realiza la **homeostasis del calcio**.

Tres hormonas regulan este sistema:

HORMONA	FUNCIÓN
PARATIROIDEA (PTH)	aumenta calcio
CALCITRIOL (1,25(OH)2D3)	aumenta absorción de calcio
CALCITONINA	disminuye calcio

Estas hormonas actúan sobre:

- hueso
- riñón
- intestino.

⇒ FUNCIONES DEL CALCIO EN EL ORGANISMO

El calcio es uno de los minerales más importantes del cuerpo. Participa en muchas funciones fisiológicas. Vamos a verlas.

1. FUNCIONES ESTRUCTURALES

En la matriz extracelular forma:

- huesos
- dientes.

Es esencial para el **crecimiento óseo**.

2. FUNCIONES EN EL SISTEMA NERVIOSO

El calcio permite la **liberación de neurotransmisores en las sinapsis** (se conoce como sinapsis a la conexión entre el **axón** de una neurona y la **dendrita** de otra cercana mediante neurotransmisores.

Sin calcio no hay transmisión nerviosa.

3. CONTRACCIÓN MUSCULAR

El Ca^{2+} interviene en la contracción de:

- músculo esquelético
- músculo cardíaco
- músculo liso.

4. COAGULACIÓN SANGUÍNEA

Es un **cofactor esencial** en la cascada de coagulación.

5. SEÑALIZACIÓN CELULAR

Dentro de las células el calcio funciona como **segundo mensajero** participando en numerosas vías de señalización.

6. HIPOCALCEMIA

Cuando el calcio sanguíneo disminuye aparece: **tetania**

Se caracteriza por:

- espasmos musculares
- hiperexcitabilidad nerviosa.

Esto ocurre porque el calcio estabiliza la excitabilidad neuronal.

⇒ HOMEOSTASIS DEL CALCIO

El organismo debe mantener la concentración de **calcio plasmático** dentro de límites muy estrechos porque este ion participa en procesos vitales.

En el cuerpo humano el calcio se distribuye en tres compartimentos principales:

COMPARTIMENTO	PORCENTAJE APROXIMADO
Matriz extracelular (hueso)	99 %
Líquido intracelular	0,9 %
Líquido extracelular (plasma)	0,1 %

Esto significa que casi todo el calcio se encuentra **almacenado en el esqueleto**.

Sin embargo, el calcio que realmente tiene funciones fisiológicas inmediatas es el del **líquido extracelular**, especialmente el **calcio ionizado (Ca^{2+})**.

→ Balance del calcio

La cantidad total de calcio del organismo depende de un equilibrio entre:

→ Ingreso

El calcio entra al organismo mediante:

- la **dieta**
- la **absorción intestinal** en el intestino delgado.

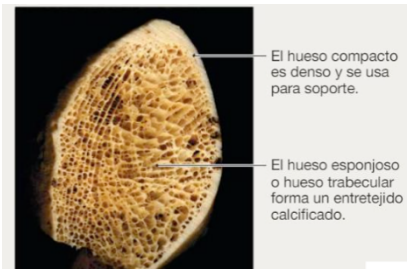
→ Egreso

El calcio se elimina principalmente por:

VÍA	CARACTERÍSTICA
Riñones	principal vía de eliminación
Heces	pequeña cantidad

Este equilibrio entre **ingreso y eliminación** permite mantener estable el contenido corporal de calcio.

⇒ HUESOS: RESERVA DE CALCIO DEL ORGANISMO

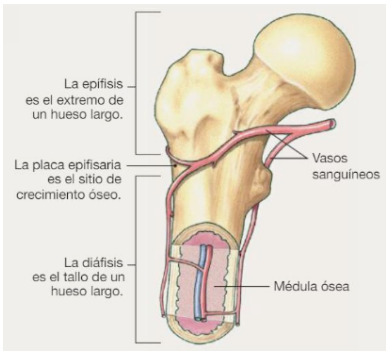


El **esqueleto** es el mayor reservorio de calcio del cuerpo.

Un adulto posee aproximadamente: **1 kg de calcio corporal**, y la mayor parte se encuentra formando cristales minerales llamados:

→ Hidroxiapatita

→ La fórmula química es: **$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)$**



Estas sales de fosfato cálcico forman la estructura mineral del hueso y de los dientes, **dos compartimentos de calcio en el hueso.**

En el hueso existen dos tipos funcionales de calcio:

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Calcio estable (≈99%)	forma parte de la estructura mineral
Calcio intercambiable (≈1%)	puede liberarse rápidamente al plasma

Este pequeño porcentaje funciona como un **sistema amortiguador** que estabiliza las variaciones del calcio sanguíneo.

→ **Balance global del calcio**

El equilibrio del calcio corporal puede expresarse así:

Calcio ingerido + calcio liberado del hueso = calcio eliminado + calcio depositado en hueso nuevo

Este proceso está regulado por hormonas.

⇒ DEPOSICIÓN Y RESORCIÓN ÓSEAS

El hueso no es un tejido estático. Es un tejido **dinámico** que está en constante renovación.
Este proceso se denomina: **remodelado óseo**

Cada año se renueva aproximadamente el **7 % de la masa ósea total.**

Este proceso permite:

- reparar microfracturas
- adaptar el hueso a cargas mecánicas
- mantener la homeostasis del calcio.

→ **Células responsables del remodelado óseo**

Existen dos tipos celulares fundamentales.

→ **Osteoblastos**

Son las células encargadas de **formar hueso nuevo**.

Funciones:

- producen **osteoid** (matriz orgánica del hueso)
- secretan colágeno y proteínas
- depositan cristales de hidroxiapatita.

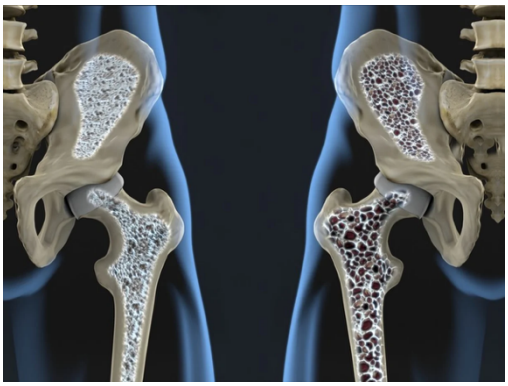
Por tanto: **captan calcio y fosfato de la sangre.**

→ **Osteoclastos**

Son células grandes multinucleadas cuya función es: **degradar hueso**
Este proceso se denomina: **resorción ósea.**

Durante la resorción se liberan hacia la circulación:

- calcio
- fosfato



→ **Equilibrio fisiológico**

El estado del hueso depende del equilibrio entre:

PROCESO	CÉLULA
Formación de hueso	osteoblastos
Destrucción de hueso	osteoclastos

Si la resorción supera la formación aparece: **osteoporosis.**

La osteoporosis es una enfermedad crónica que debilita los huesos, haciéndolos porosos, frágiles y propensos a fracturas, especialmente en cadera, columna y muñeca.

A menudo es "silenciosa" y no presenta síntomas hasta que ocurre una ruptura. Se diagnostica con densitometría ósea y se maneja con dieta, ejercicio y medicación para fortalecer el hueso y prevenir caídas.

⇒ REGULACIÓN HORMONAL DEL CALCIO Y FOSFATO

El calcio plasmático está regulado por **tres hormonas principales**.

HORMONA	ORIGEN	EFECTO
Hormona paratiroidea (PTH)	glándulas paratiroides	aumenta calcio
Calcitriol ((1,25(OH)2D3 vitamina D activa)	piel–hígado–riñón	aumenta absorción de calcio
Calcitonina	glándula tiroides	disminuye calcio

Estas hormonas actúan sobre tres órganos:

- **hueso**
- **riñón**
- **intestino**.

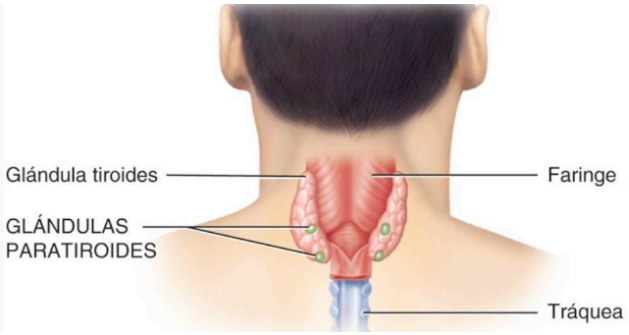
El objetivo es mantener estable la concentración de **Ca^{2+} en el plasma**.

⇒ GLÁNDULAS PARATIROIDES

Las **glándulas paratiroides** son pequeñas glándulas endocrinas situadas en la **parte posterior de la tiroides**.

Normalmente existen: **cuatro glándulas paratiroides.**

Sus células principales producen: **hormona paratiroidea (PTH)**



La PTH es un **polipéptido formado por 84 aminoácidos**.

→ Función principal de la PTH

La misión fundamental de esta hormona es: **aumentar la concentración de calcio en sangre.**

Para lograrlo actúa sobre tres órganos.

Órgano	Acción de la PTH
Hueso	aumenta resorción ósea
Riñón	aumenta reabsorción de calcio
Intestino	aumenta absorción de calcio (indirectamente)

Las glándulas paratiroides se descubrieron en la década de 1890 al estudiar la tiroides. Se observó que al quitársela a perros y gatos se morían en unos días, pero a los conejos no.

A continuación, vamos a ver **exactamente cómo ocurre esto**.

⇒ REGULACIÓN Y ACCIONES DE LA PTH

La **hormona paratiroidea (PTH)** es el regulador más importante del calcio plasmático.

→ Estímulo para su secreción

La secreción de PTH está controlada directamente por la concentración de **Ca^{2+} en sangre**.
Cuando ocurre:

↓ calcio plasmático (hipocalcemia)

las glándulas paratiroides responden con:

↑ secreción de PTH.

Esto sucede gracias a receptores especializados llamados: **receptores sensores de calcio (CaSR)** presentes en las células paratiroideas.

→ EFECTOS DE LA PTH

La PTH aumenta el calcio plasmático mediante tres mecanismos principales.

ÓRGANO	ACCIÓN
Hueso	aumenta resorción ósea
Riñón	aumenta reabsorción de calcio
Riñón	activa vitamina D

El resultado global es: **aumento del Ca^{2+} en sangre.** El Ca^{2+} es el **ion calcio**, un catión esencial para la vida**.**

1. ACCIÓN SOBRE EL HUESO

La PTH (**hormona paratiroidea)** estimula la actividad de los **osteoclastos**.

Esto provoca:

- degradación de la matriz ósea
- liberación de calcio y fosfato.

Este proceso se llama: **resorción ósea.**

2. ACCIÓN SOBRE EL RIÑÓN

En el riñón la PTH produce dos efectos:

→ Aumenta la reabsorción de calcio

Esto reduce la pérdida de calcio en la orina.

→ Disminuye la reabsorción de fosfato

El fosfato se elimina más por la orina.
Esto es importante porque evita que el fosfato se una al calcio y precipite.

3. ACTIVACIÓN DE VITAMINA D

La PTH estimula en el riñón la enzima: **1-α-hidroxilasa**
Esta enzima transforma la vitamina D en su forma activa: **calcitriol.**

⇒ <u>SÍNTESIS DEL CALCITRIOL (VITAMINA D ACTIVA)</u>

El **calcitriol** es la forma activa de la vitamina D.

Su nombre químico es: **1,25-dihidroxicolecalciferol**
Su síntesis se realiza en tres órganos diferentes.

1. FORMACIÓN EN LA PIEL

En la piel existe una molécula llamada: **7-dehidrocolesterol**

La radiación ultravioleta del sol la transforma en: **vitamina D_3 (colecalciferol).**

2. TRANSFORMACIÓN EN EL HÍGADO

En el hígado la vitamina D se convierte en: **25-hidroxivitamina D.**

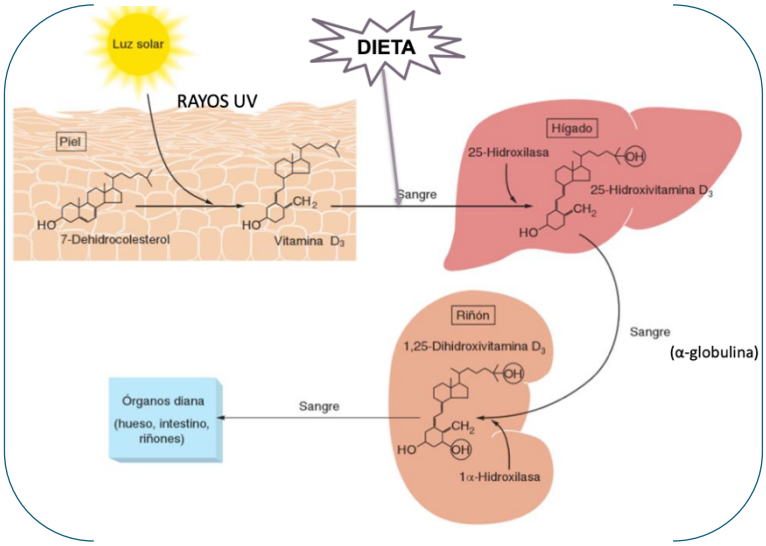
Esta condición es la principal forma circulante.

3. ACTIVACIÓN EN EL RIÑÓN

En el riñón se produce la reacción final.

La enzima **1-α-hidroxilasa** convierte la vitamina D en: **1,25-dihidroxivitamina D (calcitriol).**

Esta etapa es estimulada por: **la PTH.**



⇒ **ACCIONES DEL CALCITRIOL**

La función general del calcitriol es: **aumentar calcio y fosfato en sangre para favorecer la mineralización ósea.**

Actúa sobre tres órganos.

1. INTESTINO

Aumenta la **absorción intestinal** de:

- calcio
- fosfato.

Este es su efecto más importante.

2. RIÑÓN

Estimula la **reabsorción renal** de:

- calcio
- fosfato.

Esto reduce su pérdida en la orina.

3. HUESO

Estimula la resorción de hueso antiguo.

Esto libera:

- calcio
- fosfato.

Posteriormente estos minerales permiten formar **hueso nuevo**.

⇒ **PAPEL DE PTH, CALCITONINA Y CALCITRIOL**

Estas tres hormonas trabajan de forma coordinada para mantener estable el calcio plasmático.

Cuando el calcio sanguíneo baja se libera: **PTH**

Esto produce:

- resorción ósea
- reabsorción renal de calcio
- activación de vitamina D.

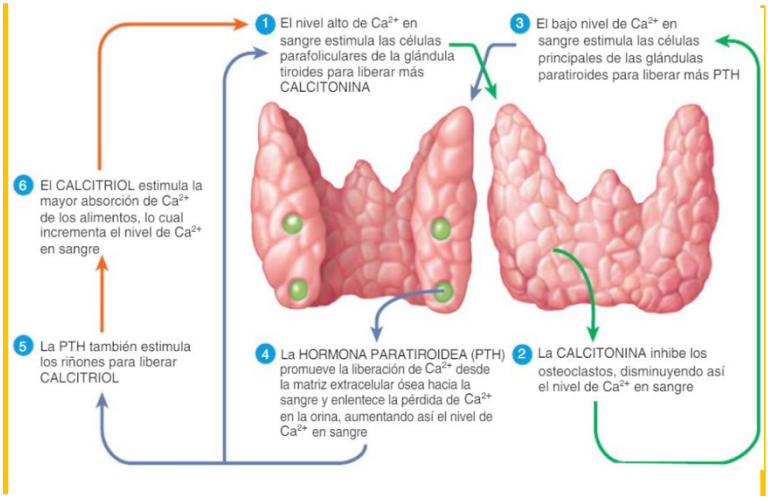
Resultado: **aumento del calcio plasmático.**

Cuando el calcio sanguíneo sube la tiroides libera: **calcitonina.**

Esta hormona:

- inhibe osteoclastos
- disminuye resorción ósea.

Resultado: **disminuye el calcio plasmático.**



Idea fisiológica importante

El calcio plasmático debe mantenerse extremadamente estable porque participa en:

- excitabilidad nerviosa
- contracción muscular
- coagulación
- señalización celular.

Por eso el organismo utiliza **un sistema hormonal muy preciso** para regularlo.

⇒ **OSTEOPOROSIS**

La **osteoporosis** es una enfermedad caracterizada por la **disminución de la densidad mineral ósea.**

Esto ocurre cuando el equilibrio entre formación y destrucción de hueso se altera.

Recordemos que en el hueso actúan dos tipos celulares:

CÉLULA	FUNCIÓN
Osteoblastos	formación de hueso
Osteoclastos	resorción ósea

Cuando la actividad de los osteoclastos supera a la de los osteoblastos aparece la **pérdida progresiva de masa ósea**.

→ **FACTORES QUE FAVORECEN LA OSTEOPOROSIS**

- **Falta de carga mecánica**

Cuando los huesos reciben poco esfuerzo mecánico (sedentarismo o inmovilización), disminuye la formación ósea.

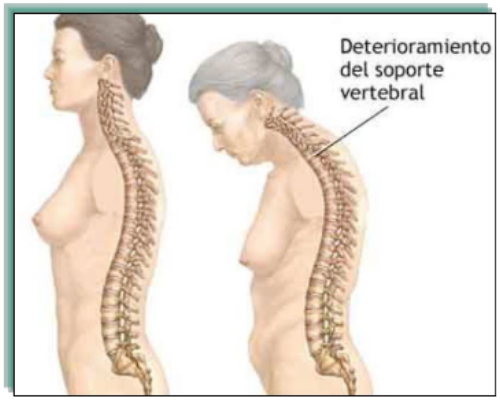
El hueso necesita **estimulación mecánica** para mantenerse.

- **Déficit nutricional**

Especialmente:

- **vitamina D**
- **calcio**

Esto reduce la absorción intestinal de calcio.



- **Falta de estrógenos**

En mujeres jóvenes los estrógenos:

- inhiben la resorción ósea
- estimulan osteoblastos.

Por eso después de la **menopausia** aumenta mucho el riesgo de osteoporosis.

- **Edad avanzada**

Con la edad se produce:

- menor hormona del crecimiento
- menor síntesis proteica
- menor actividad osteoblástica.



- **Otros factores**

- tabaquismo
- consumo excesivo de alcohol
- bajo peso corporal
- sedentarismo.

- **Consecuencias clínicas**

La osteoporosis suele ser **asintomática** durante muchos años.

Las manifestaciones aparecen cuando el hueso se debilita.

MANIFESTACIÓN	EXPLICACIÓN
fracturas por fragilidad	hueso menos resistente
disminución de la talla	aplastamiento vertebral
cifosis dorsal	deformación de la columna

→ **TRATAMIENTO CON FÁRMACOS**

Existen varios tratamientos.

- **Bifosfonatos**

Inhiben los **osteoclastos**. Disminuyen la resorción ósea.

- **Teriparatida**

Es un **derivado de la PTH**.
En dosis controladas estimula la formación de hueso nuevo.

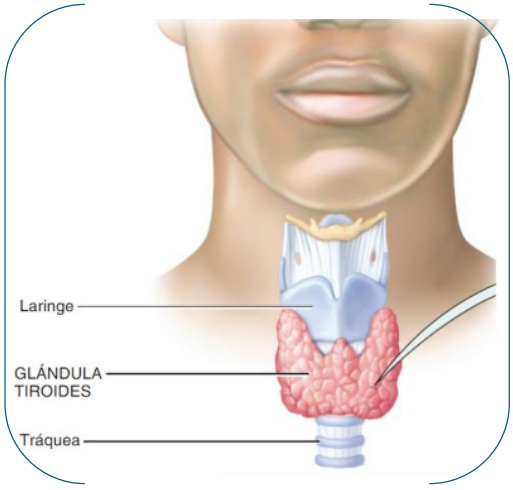
- **Raloxifeno**

Actúa sobre los **receptores estrogénicos**.
Imita parcialmente el efecto protector de los estrógenos sobre el hueso.

⇒ **<u>GLÁNDULA TIROIDES</u>**

La **tiroides** es una glándula endocrina situada en la parte anterior del cuello.
Se localiza:

- debajo de la **laringe**
- a ambos lados de la **tráquea**.



Tiene forma de mariposa y está formada por:

PARTE	CARACTERÍSTICA
dos lóbulos laterales	derecho e izquierdo
istmo	parte central que los une

Su peso aproximado es: **15–20 gramos.**

→ **Hormonas que produce**

La glándula tiroides secreta:

HORMONA	FUNCIÓN
T3 (triyodotironina)	regulación metabólica
T4 (tiroxina)	regulación metabólica
Calcitonina	regulación del calcio

Las hormonas tiroideas afectan prácticamente a **todos los tejidos del organismo**.

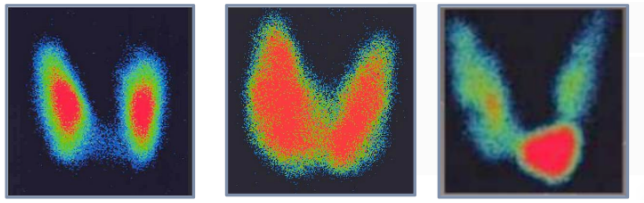
⇒ GAMMAGRAFÍA TIROIDEA

La gammagrafía tiroidea es una prueba de medicina nuclear que utiliza **isótopos radiactivos de yodo.** El tiroides capta este yodo y permite visualizar su actividad para evaluar la estructura, tamaño y funcionamiento de la glándula tiroides. Se emplea para diagnosticar causas de hipertiroidismo/hipotiroidismo, estudiar nódulos (fríos o calientes) y después del cáncer de tiroides.

→ Qué se puede observar

La prueba permite distinguir diferentes situaciones.

IMAGEN	SIGNIFICADO
tiroides normal	captación homogénea
hiperplasia	aumento de actividad
adenoma	zona hiperactiva



Esta prueba se utiliza para diagnosticar:

- nódulos tiroideos
- hipertiroidismo
- tumores tiroideos.

⇒ HORMONAS TIROIDEAS (T3 Y T4)

Las hormonas tiroideas se sintetizan a partir de: **tirosina + yodo.**

Son las únicas hormonas del organismo que contienen **yodo**. Por eso este elemento debe obtenerse mediante la dieta.

→ Proporción de secreción

La glándula tiroides produce principalmente:

HORMONA	PORCENTAJE
T4	93 %
T3	7 %

Sin embargo: **T3 es la forma biológicamente más activa.**

Gran parte de la T3 se forma en los tejidos a partir de T4.

⇒ ACCIONES DE LAS HORMONAS TIROIDEAS

Las hormonas tiroideas actúan prácticamente en todos los tejidos.

Por eso se consideran **reguladores globales del metabolismo**.

1. AUMENTO DEL METABOLISMO BASAL

Incrementan:

- consumo de oxígeno
- producción de energía
- producción de calor.

Esto explica por qué las personas con hipertiroidismo tienen:

- intolerancia al calor
- sudoración excesiva.

2. EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO

Actúan junto con:

- **hormona del crecimiento (GH)**
- **factores IGF**

para estimular:

- crecimiento óseo
- desarrollo corporal.

3. EFECTOS CARDIOVASCULARES

Aumentan:

- frecuencia cardiaca
- fuerza de contracción
- gasto cardíaco.

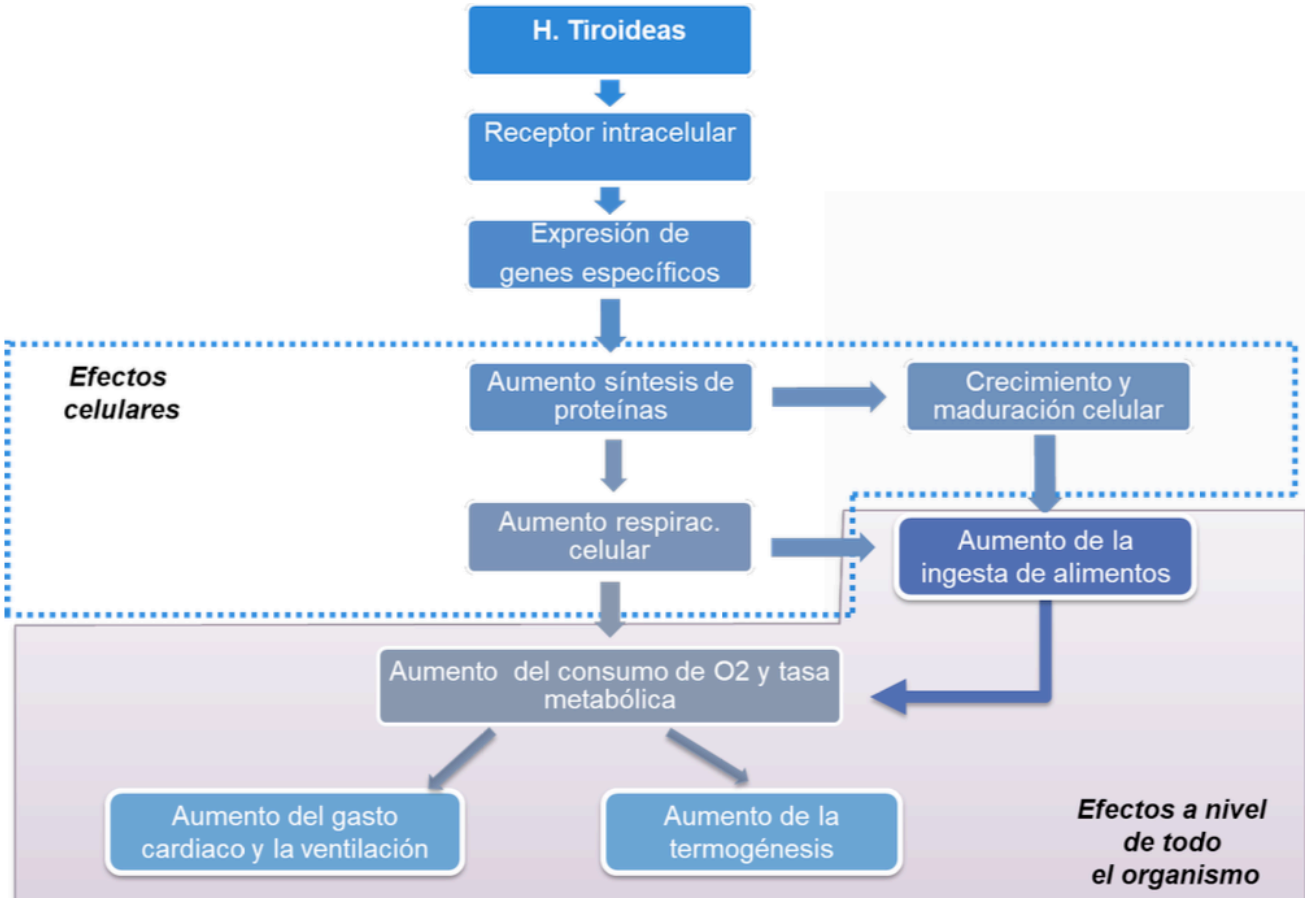
Esto mejora la entrega de oxígeno a los tejidos.

4. EFECTOS METABÓLICOS

Estimulan:

PROCESO	RESULTADO
metabolismo de glucosa	mayor producción de energía
lipólisis	degradación de grasas
síntesis proteica	crecimiento celular

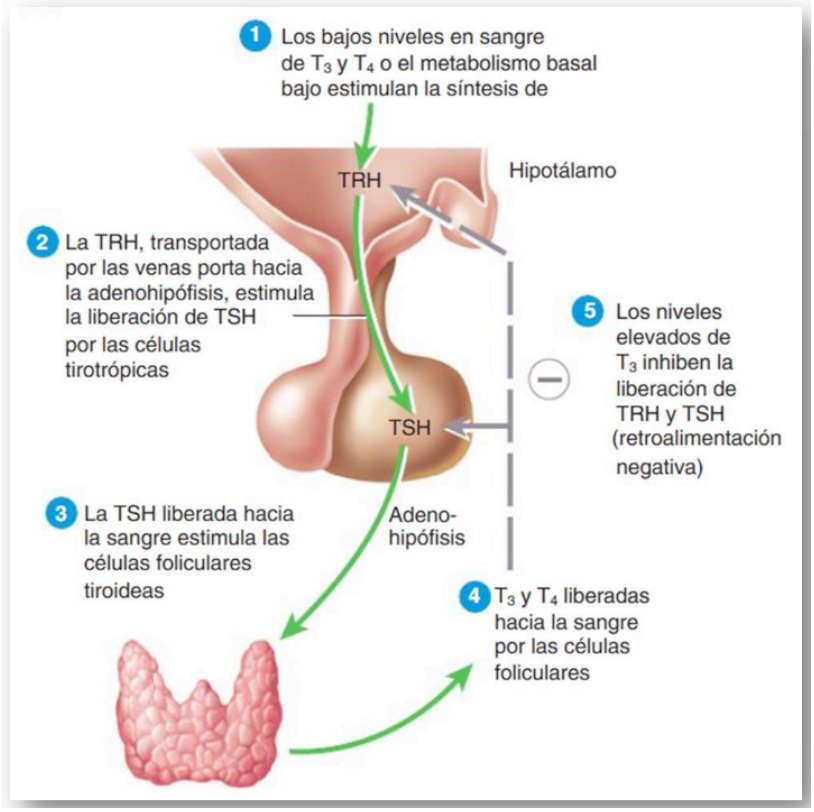
⇒ **RESUMEN DE LOS EFECTOS DE LAS HORMONAS TIROIDEAS**



⇒ REGULACIÓN DE LAS HORMONAS TIROIDEAS

La secreción de hormonas tiroideas está regulada por un sistema jerárquico de control hormonal denominado: **eje hipotálamo-adenohipófisis-tiroides**

Este eje permite mantener una regulación muy precisa del metabolismo.



1. Hipotálamo

El **hipotálamo** secreta una hormona llamada: **TRH** (Hormona liberadora de tirotropina)

Esta hormona viaja por el sistema portal hipofisario hasta la hipófisis.

2. Hipófisis anterior

La **adenohipófisis** responde a la TRH liberando: **TSH** (Hormona estimulante del tiroides o tirotropina)

La TSH es la hormona que estimula directamente la glándula tiroides.

3. Glándula tiroides

La TSH estimula al tiroides para que sintetice y libere:

- **T4 (tiroxina)**
- **T3 (triyodotironina)**

Estas hormonas pasan a la sangre y actúan sobre casi todos los tejidos del organismo.

Retroalimentación negativa

Cuando la concentración de T3 y T4 aumenta:

- se inhibe la secreción de **TSH**
- se inhibe la secreción de **TRH**

Este mecanismo mantiene el equilibrio hormonal.

⇒ HIPOTIROIDISMO

El **hipotiroidismo** se caracteriza por la **disminución de las hormonas tiroideas en sangre.**

Una causa clásica es la **deficiencia de yodo en la dieta**.

El yodo es esencial porque las hormonas tiroideas contienen este elemento.

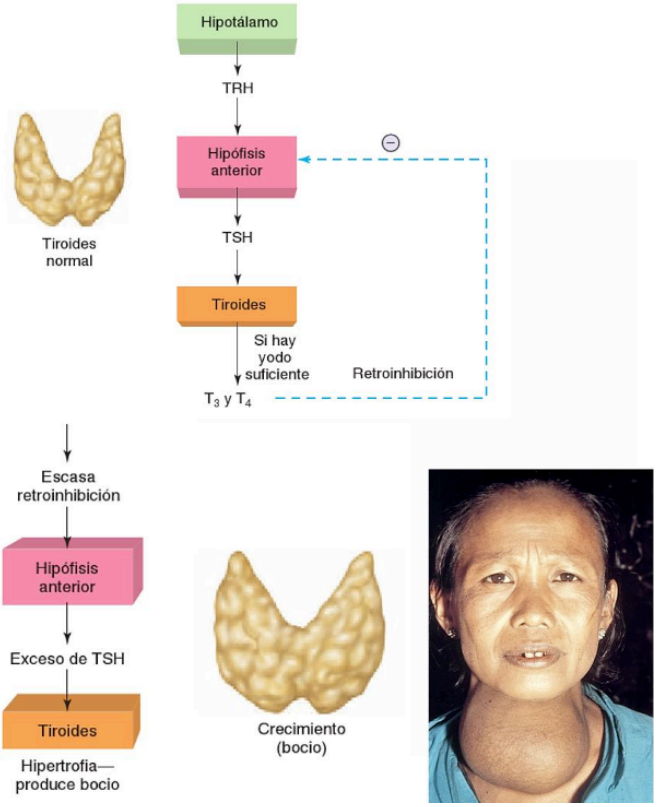
→ Bocio endémico

Cuando falta yodo ocurre:

- disminuye la producción de T3 y T4
- aumenta la secreción de TSH

La TSH estimula el crecimiento del tiroides. El resultado es: **bocio**

es decir, **agrandamiento de la glándula tiroides**.



⇒ MANIFESTACIONES DEL HIPOTIROIDISMO

Como consecuencia del hipotiroidismo se ocasiona una afección en la que la tiroides no produce suficientes hormonas, ralentizando el metabolismo. Los síntomas suelen desarrollarse lentamente e incluyen cansancio extremo, aumento de peso inexplicado, sensibilidad al frío, piel seca, estreñimiento, caída de cabello, ronquera y depresión. Estos síntomas se confirman mediante análisis de sangre (TSH y T4).

Manifestaciones fisiológicas

SÍNTOMA	EXPLICACIÓN
disminución metabolismo basal	menor producción de energía
intolerancia al frío	menor producción de calor
pulso lento	menor actividad cardíaca
disminución gasto cardíaco	metabolismo reducido

→ Síntomas característicos

En muchos casos aparece lo que se conoce como **mixedema.**

Se caracteriza por:

- cara hinchada
- edema alrededor de los ojos
- piel engrosada.

Otros síntomas

- letargia (estado de somnolencia profunda)
- lentitud mental
- pérdida de memoria.

Una de las causas más comunes es: **tiroiditis de Hashimoto**

Esta es una enfermedad **autoinmune** en la que el sistema inmunitario destruye la glándula tiroides.

→ Tratamiento

El tratamiento consiste en:

- administración de **yodo** (si el problema es déficit)
- **terapia hormonal sustitutiva** con tiroxina.

⇒ HIPERTIROIDISMO

El **hipertiroidismo** es la situación opuesta. Se caracteriza por: **exceso de hormonas tiroideas.**

→ **Efectos fisiológicos**

El metabolismo del organismo se acelera.

MANIFESTACIÓN	EXPLICACIÓN
aumento metabolismo basal	mayor consumo energético
aumento consumo de oxígeno	mayor actividad celular
taquicardia	estimulación cardíaca
hipertensión	aumento del gasto cardíaco

- La causa más común es la **enfermedad de Graves.**
- Es una enfermedad autoinmune. El organismo produce anticuerpos que **estimulan el receptor de TSH**.
- Esto provoca una producción excesiva de hormonas tiroideas.

→ **Síntomas característicos**

- pérdida de peso
- nerviosismo
- sudoración
- palpitaciones
- temblor.

→ **Signo típico**



Exoftalmos: Los ojos aparecen **prominentes o salientes** debido a inflamación de los tejidos orbitarios.

→ **Tratamiento**

Puede incluir:

- fármacos que inhiben la síntesis hormonal
- **yodo radiactivo**
- **cirugía tiroidea**.

La que puede liar tu TIROIDES: HIPERTIROIDISMO e HIPOTIROIDISMO
https://www.youtube.com/watch?v=Tk0Ac4KqnZU

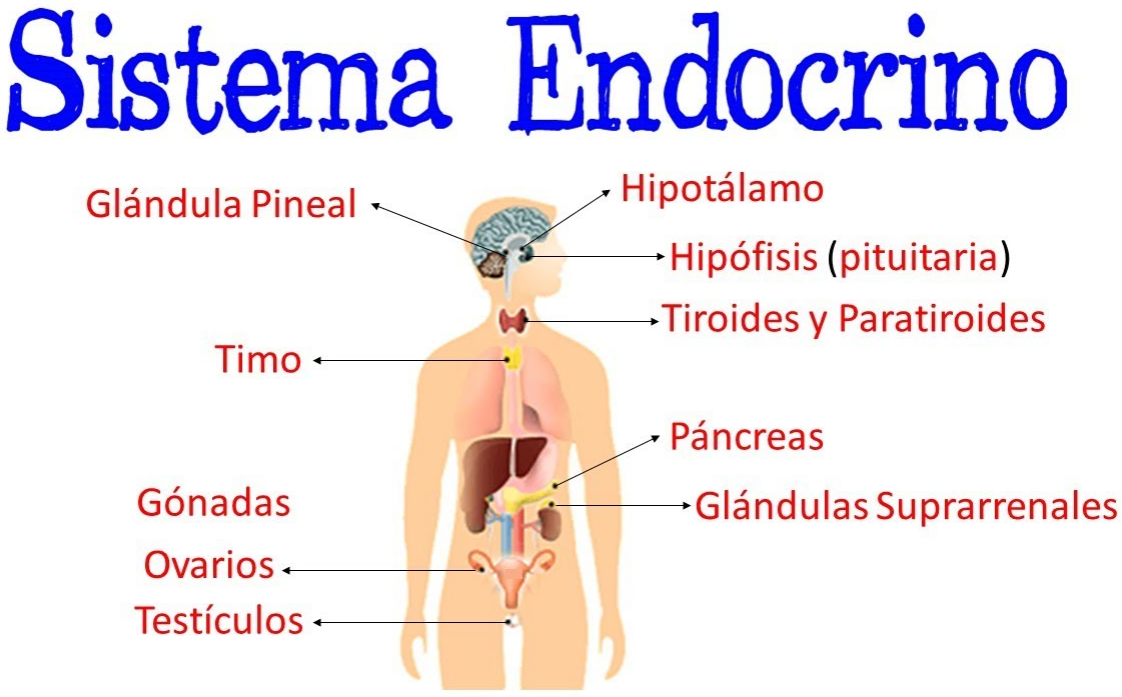


TABLA DE ENFERMEDADES TIROIDEAS

TIPO	CAUSA	CARACTERISTICAS CLINICAS	DIAGNOSTICO (NO TODAS LAS PRUEBASSON NECESARIAS)	DURACIÓN Y RESOLUCIÓN.
Tiroiditis de Hashimoto	Anticuerpos anti-tiroideos, enfermedad auto-inmune.	Hipotiroidismo. Casos raros de tirotoxicosis transitoria.	Pruebas de función tiroidea. Pruebas de anticuerpos tiroideos	El hipotiroidismo generalmente es permanente
Tiroiditis subaguda	Posible causa viral	Tiroides dolorosa, tirotoxicosis seguida de hipotiroidismo	Pruebas de función tiroidea. Pruebas de anticuerpos tiroideos, captación de yodo radiactivo	Resolución con función tiroidea normal entre 12 y 18 meses, 5% posibilidad de hipotiroidismo permanente
Tiroiditis silente. Tiroiditis no dolorosa	Anticuerpos anti-tiroideos, enfermedad auto-inmune	Tirotoxicosis seguida de hipotiroidismo	Pruebas de función tiroidea. Pruebas de anticuerpos tiroideos, captación de yodo radiactivo	Resolución con función tiroidea normal entre 12 y 18 meses, 20% posibilidad de hipotiroidismo permanente
Tiroiditis del post-parto	Anticuerpos anti-tiroideos, enfermedad auto-inmune	Tirotoxicosis o hipotiroidismo	Pruebas de función tiroidea. Pruebas de anticuerpos tiroideos, captación de yodo radiactivo (contraindicada si la mujer está lactando)	Resolución con función tiroidea normal entre 12 y 18 meses, 20% posibilidad de hipotiroidismo permanente
Inducida por drogas	Drogas incluyen: amiodarona, litio, interferón, citokinas	Ocasionalmente tirotoxicosis. Más frecuentemente hipotiroidismo	Pruebas de función tiroidea. Pruebas de anticuerpos tiroideos	Generalmente continúa mientras se toma la droga
Inducida por radiación	Sigue al tratamiento con yodo radiactivo para el hipertiroidismo o radiación externa para ciertos canceres	Ocasionalmente tiroides dolorosa, enfermedad generalizada, a veces hipotiroidismo leve	Ocasionalmente tirotoxicosis. Más frecuentemente hipotiroidismo	Pruebas de función tiroidea. La tirotoxicosis es transitoria. El hipotiroidismo usualmente es permanente
Tiroiditis aguda, Tiroiditis supurativa	Principalmente bacterias, pero cualquier agente infeccioso		Pruebas de función tiroidea, captación de yodo radiactivo, aspiración con aguja	Resolución después del tratamiento de la causa infecciosa, puede causar enfermedad severa fina



TABLA COMPARATIVA DE LAS HORMONAS DEL TEMA 9

HORMONA	GLÁNDULA / CÉLULAS QUE LA PRODUCEN	ESTÍMULO PRINCIPAL DE SECRECIÓN	ÓRGANOS DIANA PRINCIPALES	EFECTOS FISIOLÓGICOS
Insulina	Células **β** de los islotes de Langerhans (páncreas)	Aumenta glucosa sanguínea (después de comer)	Hígado, músculo esquelético, tejido adiposo	Disminuye la glucosa en sangre. Aumenta captación de glucosa (GLUT4), glucogénesis, lipogénesis y síntesis proteica. Inhibe gluconeogénesis y lipólisis.
Glucagón	Células **α** de los islotes de Langerhans (páncreas)	Disminuye glucosa sanguínea (ayuno)	Principalmente hígado	Aumenta glucosa en sangre. Estimula glucogenólisis, gluconeogénesis y movilización de grasas.
Somatostatina	Células **δ** del páncreas (también hipotálamo)	Nutrientes en sangre	Islotes pancreáticos, sistema digestivo	Inhibe secreción de insulina y glucagón. Disminuye secreciones digestivas. Regula el equilibrio hormonal local.
Polipéptido pancreático	Células **PP** del páncreas	Ingesta de alimentos	Sistema digestivo	Regula secreciones pancreáticas y motilidad gastrointestinal.
Hormona paratiroidea (PTH)	Glándulas **paratiroides**	Disminuye el calcio plasmático	Hueso, riñón, intestino	Aumenta Ca^{2+} en sangre. Estimula resorción ósea, aumenta reabsorción renal de calcio y activa la vitamina D. Disminuye reabsorción renal de fosfato.
Calcitriol (vitamina D activa)	Activación final en **riñón** (vitamina D procedente de piel y dieta)	Estimulación por PTH	Intestino, hueso, riñón	Aumenta absorción intestinal de calcio y fosfato. Favorece mineralización ósea y disponibilidad de calcio.
Calcitonina	Células **C** (parafoliculares) de la tiroides	Aumenta el calcio plasmático	Hueso	Disminuye el calcio sanguíneo. Inhibe osteoclastos y reduce resorción ósea.
T4 (Tiroxina)	Glándula **tiroides**	Estimulación por TSH	Prácticamente todos los tejidos	Regula metabolismo basal. Aumenta consumo de oxígeno y producción de energía. Se convierte en T3 en los tejidos.
T3 (Triyodotironina	Tiroides (y conversión periférica de T4)	Estimulación por TSH	Todos los tejidos	Forma más activa. Aumenta metabolismo celular, producción de calor, gasto cardíaco y desarrollo del sistema nervioso.
TSH	Adenohipófisis	Estimulación por TRH	Glándula tiroides	Estimula síntesis y liberación de T3 y T4. Promueve crecimiento del tiroides.
TRH	Hipotálamo	Regulación central metabólica	Hipófisis anterior	Estimula liberación de TSH.

TEMA 10 – FISIOLOGÍA DEL SISTEMA ENDOCRINO II

El núcleo central del tema es el **sistema endocrino** y, dentro de él, el papel del **eje hipotálamo-hipófisis** y de las **hormonas hipofisarias**, para ello, vamos a explicar estos dos bloques:

1. **Organización funcional del sistema Endocrino**
2. **Hormonas hipofisarias**

La idea central es esta: el organismo necesita coordinar miles de funciones a la vez. Para hacerlo dispone de dos grandes sistemas reguladores:

- el **sistema nervioso**, que actúa rápido y de forma precisa
- el **sistema endocrino**, que actúa más lentamente, pero con efectos más duraderos y amplios

El primero ya lo hemos visto, ahora nos ocupamos del segundo, la **hipófisis**, una glándula clave en el control hormonal del cuerpo.

La hipófisis no trabaja sola. Está bajo la dirección del **hipotálamo**, una región del encéfalo que hace de puente entre lo nervioso y lo endocrino. Por eso, cuando se estudia fisiología endocrina, casi siempre se empieza por el eje **hipotálamo-hipófisis**.

⇒ OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Estos son los pilares conceptuales que hay que entender:

1. Qué es una hormona

Una hormona es un **mensajero químico**. Se produce en una célula o glándula y viaja hasta otras células para modificar su funcionamiento. No todas las células responden a todas las hormonas: solo responden aquellas que tienen el **receptor adecuado**.

Ese punto es esencial. La hormona no actúa por "estar presente", sino porque encuentra una célula capaz de reconocerla.

2. Qué glándulas endocrinas existen

Hay varias glándulas repartidas por el organismo: hipófisis, tiroides, paratiroides, suprarrenales, páncreas endocrino, gónadas, etc. Además, hoy sabemos que no solo existen glándulas endocrinas clásicas: también otros tejidos producen hormonas.

3. Características de las hormonas

No todas las hormonas son iguales. Unas son peptídicas, otras esteroideas, otras derivan de aminoácidos. Esto importa porque determina:

- cómo viajan por la sangre
- dónde está su receptor
- qué tipo de respuesta producen
- cuánto dura su efecto

4. Cómo se regula la secreción hormonal

El sistema endocrino no puede funcionar al azar. Debe ajustar la secreción hormonal a las necesidades del organismo. Aquí entran los mecanismos de **retroalimentación**, sobre todo la negativa.

5. El hipotálamo como centro regulador

El hipotálamo es una estructura nerviosa, pero a la vez endocrina. Recibe información del sistema nervioso y la transforma en señales hormonales. Por eso se le considera el gran integrador neuroendocrino.

6. El eje hipotálamo-hipófisis

Es la gran vía de mando endocrino. El hipotálamo regula la hipófisis y esta, a su vez, regula muchas otras glándulas.

7. Hormonas hipofisarias y GH

Finalmente, el tema se centra en las hormonas de la hipófisis, con especial atención a la **GH** o **hormona del crecimiento**, que tiene gran importancia no solo en el crecimiento corporal, sino también en el metabolismo.

⇒ FUNCIONES DEL SISTEMA ENDOCRINO

El sistema endocrino participa plenamente en el mantenimiento de la **homeostasis**, es decir, la constancia del medio interno.

La homeostasis no significa que todo esté inmóvil. Significa que el organismo mantiene unas variables dentro de márgenes adecuados para la vida: **glucosa, temperatura, osmolaridad, calcio, presión arterial**, etc.

El sistema endocrino regula grandes funciones:

1. Crecimiento y desarrollo

Intervienen varias hormonas:

- hormonas peptídicas, como la GH (hormona del crecimiento)
- hormonas esteroideas, como testosterona y estrógenos
- hormonas tiroideas

Y es que el crecimiento no depende de una sola hormona. Es el resultado de una coordinación entre varias señales. Por ejemplo, la GH favorece crecimiento, pero las hormonas tiroideas también son indispensables para el desarrollo normal, especialmente del sistema nervioso.

2. Reproducción

Aquí participan hormonas hipofisarias y hormonas sexuales producidas por **gónadas** (órgano formador de gametos masculinos o femeninos). La hipófisis actúa como reguladora de ovario y testículo.

3. Metabolismo energético

El sistema endocrino controla:

- cómo obtenemos energía
- cómo la usamos
- cómo la almacenamos

Aquí destacan insulina, glucagón y otras hormonas. Gracias a ellas el cuerpo decide si guarda nutrientes o los moviliza.

4. Mantenimiento del medio interno

Ejemplos claros:

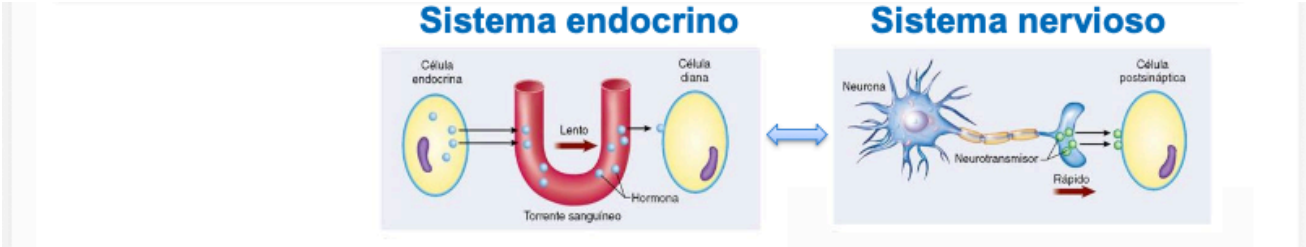
- **ADH** (hormona antidiurética), que regula el agua corporal
- **mineralocorticoides**, que regulan sodio, potasio y volumen extracelular

La idea fisiológica profunda es esta: el sistema endocrino no se ocupa de una sola función aislada, sino del equilibrio global del organismo en el tiempo.

Aquí nos queda por aprender algo muy importante: **el sistema nervioso y el sistema endocrino trabajan juntos**. No son rivales ni compartimentos estancos. Son los dos grandes sistemas de regulación del cuerpo.

⇒ COMPARACIÓN ENTRE SISTEMA NERVIOSO Y SISTEMA ENDOCRINO

Esta comparación es fundamental, porque ayuda a entender la lógica de ambos sistemas.



CARACTERÍSTICA	SISTEMA ENDOCRINO	SISTEMA NERVIOSO
FUNCIÓN GENERAL	Regulación de efectores para mantener la homeostasis	Regulación de efectores para mantener la homeostasis
Control por circuitos de retroalimentación	Si (reflejos endocrinos)	Si (reflejos nerviosos)
Células efectoras	Células diana (en todo el cuerpo)	Células postsinápticas (sólo en músculo y en tejido glandular)
MENSAJERO QUÍMICO	Hormona	Neurotransmisor
Células que segregan el mensajero químico	Células epiteliales glandulares o células neurosecretoras (neuronas modificadas)	Neuronas
Distancia y método del recorrido de los mensajeros	Larga (por la sangre circulante)	Corta (a través de una sinapsis microscópica)
Situación del receptor en la célula efectora	Sobre la membrana plasmática o dentro de la célula	Sobre la membrana plasmática
Características de los efectos	Tardíos y muy duraderos	Rápidos y poco duraderos

Función general

Ambos sistemas regulan **efectores** (órganos, células o tejidos especializados) para mantener la homeostasis. Es decir, ambos sirven para coordinar el organismo.

La diferencia no está tanto en el "para qué", sino en el "cómo".

Tipo de señal

- Sistema nervioso: usa **neurotransmisores**
- Sistema endocrino: usa **hormonas**

Quién secreta el mensajero

- Nervioso: neuronas
- Endocrino: células glandulares endocrinas o neuronas modificadas con función secretora

Distancia de acción

- Nervioso: recorrido muy corto, a través de la sinapsis
- Endocrino: recorrido largo, a través de la sangre

Esto tiene consecuencias muy importantes.

El sistema nervioso es ideal para respuestas rápidas y localizadas:

- mover un músculo
- activar una glándula concreta

- responder en fracciones de segundo.

El sistema endocrino es ideal para respuestas más lentas y difusas:

- crecimiento
- metabolismo
- adaptación prolongada
- reproducción

Localización del receptor

- En el sistema nervioso, el receptor suele estar en la membrana postsináptica
- En el endocrino, el receptor puede estar en membrana o dentro de la célula, según el tipo de hormona

Esto último es muy importante:

- hormonas hidrosolubles suelen actuar sobre receptores de membrana
- hormonas liposolubles suelen actuar sobre receptores intracelulares

Duración del efecto

- Nervioso: rápido y breve
- Endocrino: más lento y más duradero

Ese contraste explica mucho de la fisiología. Por ejemplo:

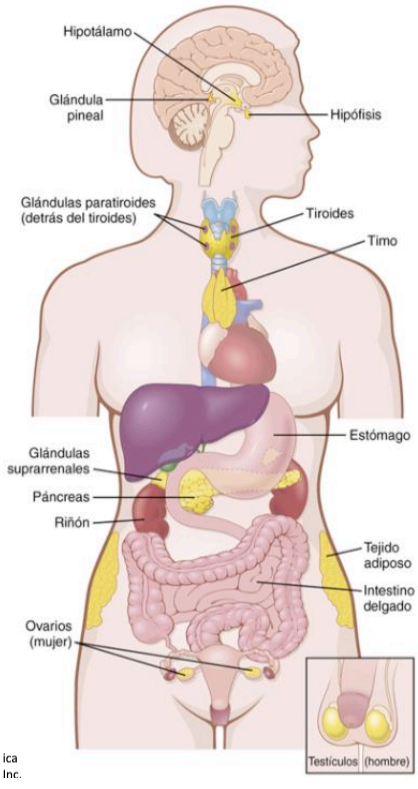
- un reflejo motor debe ser inmediato
- el crecimiento óseo no puede ser inmediato, debe ser sostenido

En resumen:

- el **sistema nervioso** manda señales rápidas, precisas y fugaces
- el **sistema endocrino** manda señales lentas, amplias y duraderas

Ambos se complementan.

⇒ **<u>LOCALIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES GLÁNDULAS Y TEJIDOS ENDOCRINOS</u>**



Aquí podemos ver el mapa anatómico del sistema endocrino. Es muy importante ubicar cada estructura, porque luego cada una tendrá sus hormonas y funciones.

Hipotálamo: Situado en el encéfalo. Es el gran centro integrador neuroendocrino.

Hipófisis: Está unida al hipotálamo. Es la glándula clave del tema. Se suele llamar "glándula maestra", aunque eso hay que matizarlo: en realidad está subordinada al hipotálamo.

Glándula pineal: Produce melatonina y participa en ritmos circadianos.

Tiroides: Regula metabolismo, crecimiento y desarrollo.

Paratiroides: Controlan el calcio y fósforo, esenciales para excitabilidad neuromuscular y hueso.

Timo: Importante en el desarrollo del sistema inmunitario, sobre todo en etapas tempranas de la vida.

Glándulas suprarrenales: Situadas sobre los riñones. Participan en respuesta al estrés, metabolismo y equilibrio hidroelectrolítico.

Páncreas endocrino: Regula glucemia mediante insulina y glucagón.

Riñón: Aunque muchas veces no se piensa en él como glándula endocrina, sí tiene función endocrina: produce, por ejemplo, **eritropoyetina** y **renina**, y participa en activación de vitamina D.

Tubo digestivo: Produce numerosas hormonas digestivas.

Tejido adiposo: No es solo reserva de grasa. También es un órgano endocrino, capaz de secretar sustancias como leptina.

Gónadas: Ovarios y testículos. Producen hormonas sexuales y participan en reproducción y desarrollo sexual.

La enseñanza fisiológica importante aquí es que el sistema endocrino está **disperso por todo el organismo**. No es un único órgano, sino una red funcional de tejidos secretores.

⇒ GENERALIDADES DE LAS HORMONAS

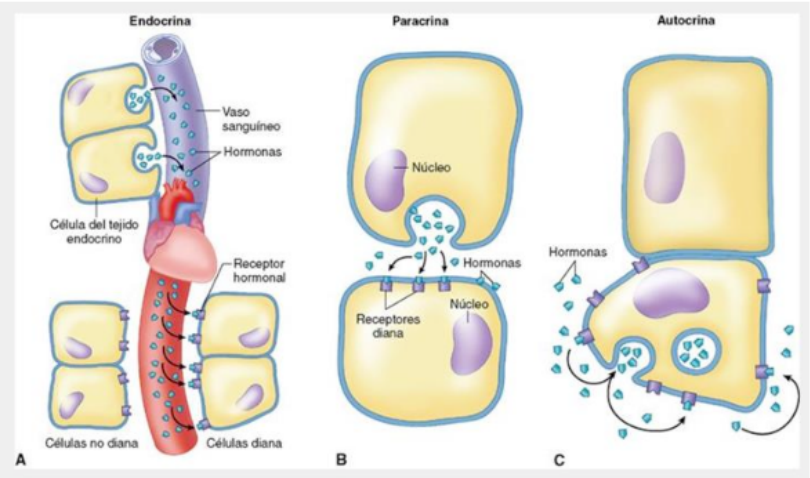
Ahora dejamos la visión general del sistema endocrino y entramos en la naturaleza de las hormonas. Y es que antes de estudiar glándulas concretas, es muy importante comprender qué es una hormona, cómo actúa y cómo se regula.
Es decir, primero hay que entender la lógica general del lenguaje hormonal.

⇒ DEFINICIÓN DE HORMONA

Veamos cómo es la definición clásica para pasar a continuación a la visión moderna.

Definición clásica: La hormona es una sustancia química sintetizada en una glándula endocrina, liberada a sangre y capaz de actuar sobre células lejanas.
Esa definición sigue siendo válida, **pero es incompleta**.

Visión actual: Hoy sabemos que una sustancia con función hormonal no siempre actúa solo a distancia. Puede hacerlo de varias formas:



Endocrina: La hormona pasa a sangre y actúa lejos del lugar de producción.
Ejemplo: la tiroxina de la tiroides.

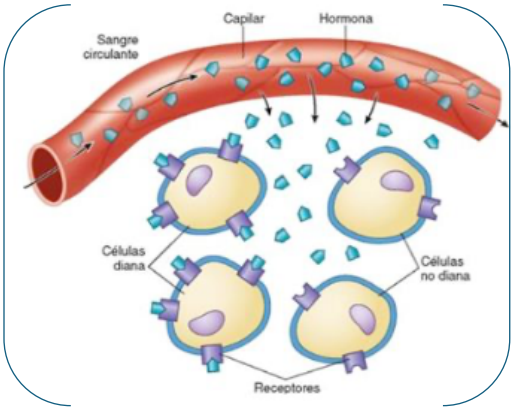
Paracrina: Actúa sobre células vecinas.

Autocrina: Actúa sobre la misma célula que la secreta.

Exocrina: La diapositiva la incluye como ampliación conceptual, aunque estrictamente exocrino no es señal hormonal clásica; se refiere a secreción hacia conductos o superficies.

Ferocrinia: Se refiere a señales químicas que actúan sobre otros organismos, concepto más próximo a feromonas.

Lo importante aquí es que el concepto moderno de hormona es más amplio que el clásico.



Especificidad de acción: Las hormonas son mensajeros químicos, pero no actúan sobre todas las células. Solo actúan sobre aquellas que tienen **receptores específicos**.

Esta idea es fundamental:

- una hormona puede circular por todo el cuerpo
- pero solo responderán ciertas células

Por eso se habla de **células diana**.

Qué controlan las hormonas en la célula diana: Actúan en tres grandes niveles de acción:

1. Velocidad de reacciones enzimáticas

La hormona puede activar o inhibir enzimas, cambiando rápidamente el metabolismo celular.

2. Transporte de iones o moléculas

Puede modificar canales, bombas o transportadores de membrana.

3. Expresión génica y síntesis proteica

Puede actuar de forma más profunda, alterando qué genes se expresan y qué proteínas se fabrican.

Esto explica por qué algunas hormonas tienen efectos muy rápidos y otras más lentos, pero más duraderos.

En fisiología, esto es capital: la respuesta hormonal puede ir desde un cambio inmediato de permeabilidad de membrana hasta una modificación prolongada del fenotipo funcional de la célula.

⇒ REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN HORMONAL

Hemos visto lo que hacen las hormonas, pero no basta con saber qué hacen, hay que saber **cómo se controla su liberación**.

El organismo no puede permitirse secreciones hormonales caóticas. Si una hormona se liberara siempre igual, sin relación con las necesidades del cuerpo, la homeostasis se rompería.

Por eso la secreción hormonal está sometida a regulación muy fina.

De modo que a continuación vamos a desarrollar dos grandes mecanismos:

- control neural
- retroalimentación

⇒ REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN HORMONAL: MECANISMOS BÁSICOS

Aquí aparece el esquema central del control endocrino. Entender esto es la piedra angular para comprender cómo nuestro cuerpo mantiene el equilibrio (homeostasis) sin que tengamos que pensar en ello. En términos sencillos, es un sistema de **comunicación circular** donde el resultado de un proceso controla el inicio de ese mismo proceso.

Veamos los puntos clave para desglosar esa idea:

1. Mecanismos neurales
El sistema nervioso puede estimular o inhibir glándulas endocrinas.

Ejemplo: la **médula suprarrenal**, que libera adrenalina en respuesta a estimulación simpática.

Esto demuestra que el sistema nervioso puede desencadenar respuestas endocrinas.

2. El concepto de "Bucle de Control"
Imaginemos un termostato en una habitación. No se limita a lanzar aire caliente al azar; mide la temperatura actual y, basándose en eso, decide si seguir calentando o parar. En endocrinología, la glándula es el termostato y la hormona es el aire.

3. Mecanismos de Retroalimentación
Esto ocurre principalmente de dos formas:

- **Retroalimentación Negativa (La más común):** Es el mecanismo de control por excelencia. Si el efecto de la hormona es "demasiado alto", la glándula recibe la señal de "frenar".
    - *Ejemplo:* La insulina baja el azúcar en sangre. Cuando el azúcar ya está bajo, esa misma falta de azúcar le dice al páncreas: "Deja de secretar insulina".
- **Retroalimentación Positiva (Rara y explosiva):** Aquí el efecto refuerza la secreción inicial, creando un círculo vicioso necesario para eventos específicos.
    - *Ejemplo:* Durante el parto, la oxitocina provoca contracciones. Las contracciones envían una señal para liberar **más** oxitocina, aumentando la intensidad hasta que el bebé nace.

4. ¿Por qué es "lo más importante"?
Sin estos mecanismos, el sistema endocrino sería un caos de excesos o deficiencias. Estos mecanismos aportan tres ventajas vitales:

1. **Precisión:** Permite ajustes constantes en microdosis.
2. **Autonomía:** El sistema se regula solo, sin intervención consciente del cerebro.
3. **Protección:** Evita que los niveles hormonales alcancen rangos tóxicos o peligrosos.

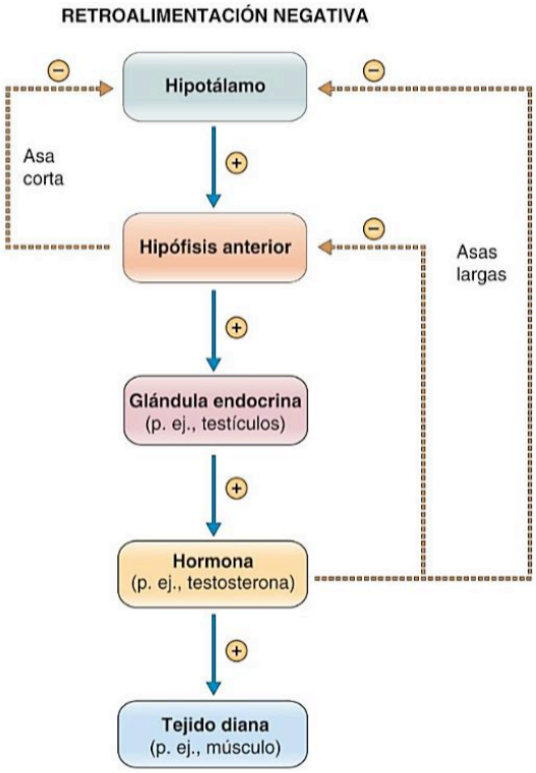
Resumen del flujo de información:

1. **Estímulo:** La glándula secreta la hormona.
2. **Acción:** La hormona viaja y genera un cambio (el "efecto").
3. **Información:** Ese cambio es detectado por la glándula original.
4. **Reacción:** La glándula modifica su producción según lo detectado.

→ **Resumiendo:** La glándula no solo "habla" (envía hormonas), sino que también "escucha" (analiza los efectos) para decidir qué decir a continuación.

⇒ RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA

→ Eje hipotálamo-hipófisis-glándula periférica



La imagen representa muy bien el eje:

1. **hipotálamo**
2. **hipófisis anterior**
3. **glándula endocrina periférica**
4. **hormona periférica**
5. **tejido diana**

Y aparecen varios niveles de retrocontrol:

Asa larga

La hormona final producida por la glándula periférica inhibe al hipotálamo y a la hipófisis.

Es la forma más clásica.

Asa corta

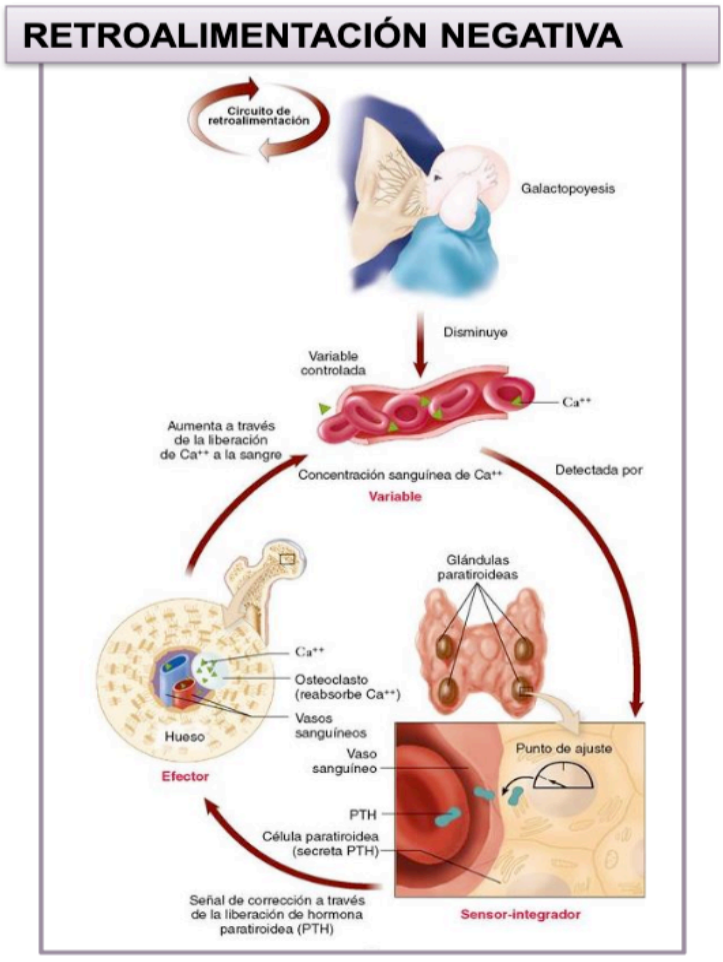
La hormona hipofisaria puede inhibir al hipotálamo.

Asa ultracorta

En algunos sistemas, la propia hormona hipotalámica puede autorregular su secreción.

Ejemplo fisiológico

Si una glándula periférica produce suficiente hormona, el hipotálamo y la hipófisis reducen su estímulo. Así el sistema no se desboca.



Esta otra imagen pone ejemplos concretos de control negativo en fisiología, mostrando que este principio no es exclusivo del sistema endocrino, sino una ley general de la homeostasis.

→ Idea clave

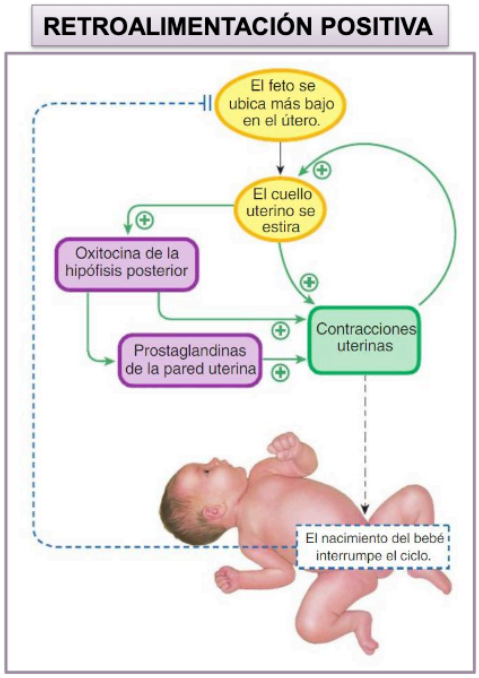
La retroalimentación negativa no “apaga” el sistema, sino que lo **estabiliza**. Mantiene la secreción dentro de límites útiles.

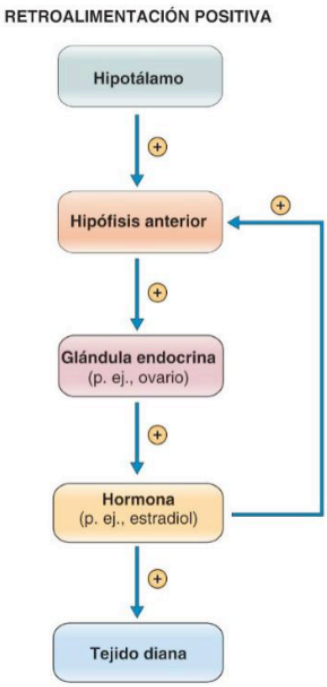
⇒ RETROALIMENTACIÓN POSITIVA

Esta imagen ilustra la excepción a la regla. Mientras que la mayoría del cuerpo busca la estabilidad (retroalimentación negativa), la **retroalimentación positiva** busca llevar un proceso hasta su finalización, amplificando la señal en lugar de frenarla.

1. Ejemplo clásico: El Parto

Este es un bucle que se refuerza a sí mismo para lograr un objetivo concreto (el nacimiento). El proceso funciona así:





- **El Estímulo:** El bebé baja en el útero y su cabeza presiona el **cuello uterino**.
- **La Señal:** El estiramiento del cuello uterino envía impulsos nerviosos al cerebro.
- **La Respuesta:** La hipófisis posterior libera **oxitocina**.
- **El Efecto:** La oxitocina viaja por la sangre y provoca **contracciones uterinas**.
- **El Bucle (Feedback +):** Las contracciones empujan más al bebé, esto hace que el cuello uterino se estire más y se libere más oxitocina se libera más oxitocina, lo que provoca contracciones más fuertes.

¿Cuándo para? Como indica la imagen, el ciclo solo se interrumpe con el **nacimiento del bebé**. Al desaparecer la presión en el cuello uterino, la señal se detiene de golpe.

2. El Eje Hormonal

El diagrama de la derecha muestra cómo funciona la jerarquía del sistema endocrino bajo este mecanismo:

1. **Hipotálamo:** Envía una señal estimulante (+) a la hipófisis.
2. **Hipófisis anterior:** Responde enviando otra señal (+) a una glándula periférica (como el ovario).
3. **Glándula endocrina:** Libera la hormona final (como el **estradiol**).
4. **La Retroalimentación:** En momentos específicos del ciclo menstrual (justo antes de la ovulación), esa hormona final, en lugar de inhibir, vuelve a la hipófisis para decirle: **"¡Secreta más!"**.

Esto genera un pico masivo de hormonas necesario para un evento biológico puntual (en este caso, soltar el óvulo).

⇒ EJE HIPOTÁLAMO-HIPOFISARIO

Aquí comienza el bloque central del tema

Idea clave: El eje hipotálamo-hipófisis es la **columna vertebral del sistema endocrino**. Esto es de suma importancia porque conecta:

- el **sistema nervioso** (hipotálamo)
- con el **sistema endocrino** (hipófisis y resto de glándulas)

Es decir, convierte información nerviosa en respuesta hormonal.

⇒ **CONCEPTO DEL EJE HIPOTÁLAMO-HIPOFISARIO**

Aquí vemos este concepto con claridad

Hipotálamo
- Región del encéfalo
- Recibe información de centros superiores (emociones, temperatura, estrés, etc.)
- Actúa como **transductor neuroendocrino**

Esto es clave: transforma señales nerviosas en señales hormonales.

Hipófisis
- Se considera la **glándula directriz**
- Produce hormonas que regulan otras glándulas

Pero aquí conviene ser preciso:
- la hipófisis dirige
- pero el que realmente manda es el **hipotálamo**

→ **Idea fundamental**

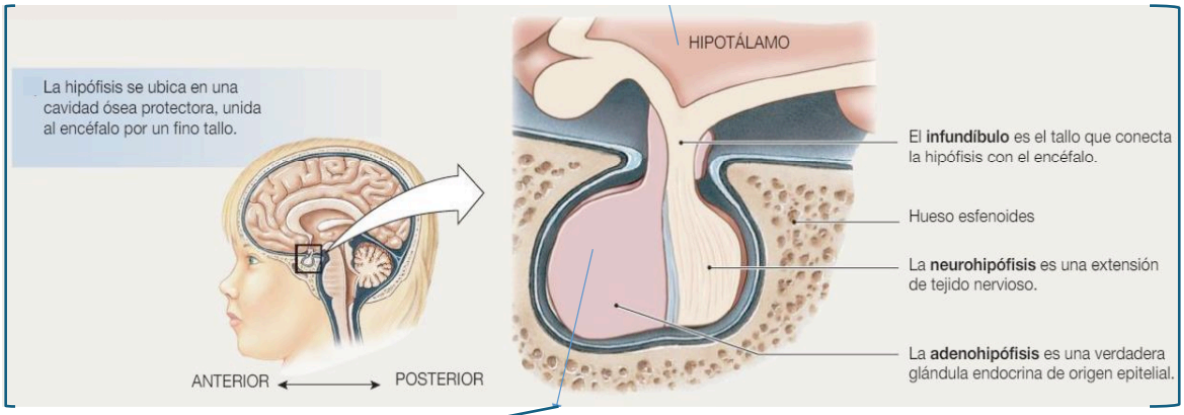
El eje funciona como una jerarquía:
1. Sistema nervioso → informa al hipotálamo
2. Hipotálamo → regula hipófisis
3. Hipófisis → regula otras glándulas

Es un sistema en cascada.

⇒ **RELACIÓN ANATÓMICA HIPOTÁLAMO-HIPÓFISIS**

Aquí se explica cómo están conectados físicamente el uno y la otra:

→ **Hipotálamo**
- Situado debajo del tálamo
- Forma parte del encéfalo



→ **Hipófisis**
- Se encuentra unida al hipotálamo
- Está formada por **dos partes con distinto origen embrionario**:

PARTE	ORIGEN	NATURALEZA
Adenohipófisis	Epitelial	Verdadera glándula endocrina
Neurohipófisis	Nerviosa	Extensión del cerebro

→ **Idea clave**

No son dos partes iguales: una produce hormonas (adenohipófisis) y la otra almacena y libera hormonas del hipotálamo (neurohipófisis). Ambas trabajan coordinadamente para controlar el sistema endocrino.

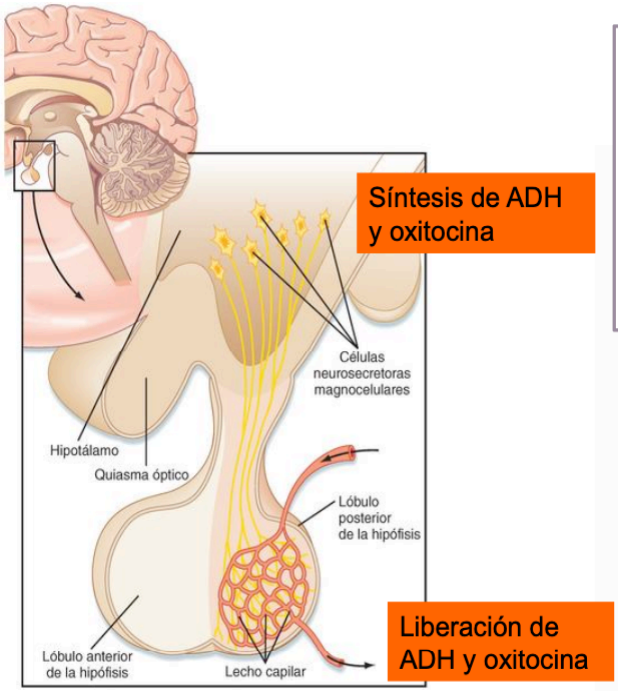
https://www.youtube.com/watch?v=Tk0Ac4KqnZU

⇒ RELACIÓN HIPOTÁLAMO–NEUROHIPÓFISIS

Esto es fundamental para entender la diferencia funcional

Neurohipófisis

- No sintetiza hormonas propias
- Está formada por **prolongaciones de neuronas del hipotálamo**



Qué ocurre realmente

1. El **hipotálamo sintetiza**:
   - ADH (vasopresina)
   - oxitocina
2. Estas hormonas:
   - viajan por los axones de neuronas
   - llegan a la neurohipófisis
3. La neurohipófisis:
   - las **almacena**
   - las **libera a sangre**

Control

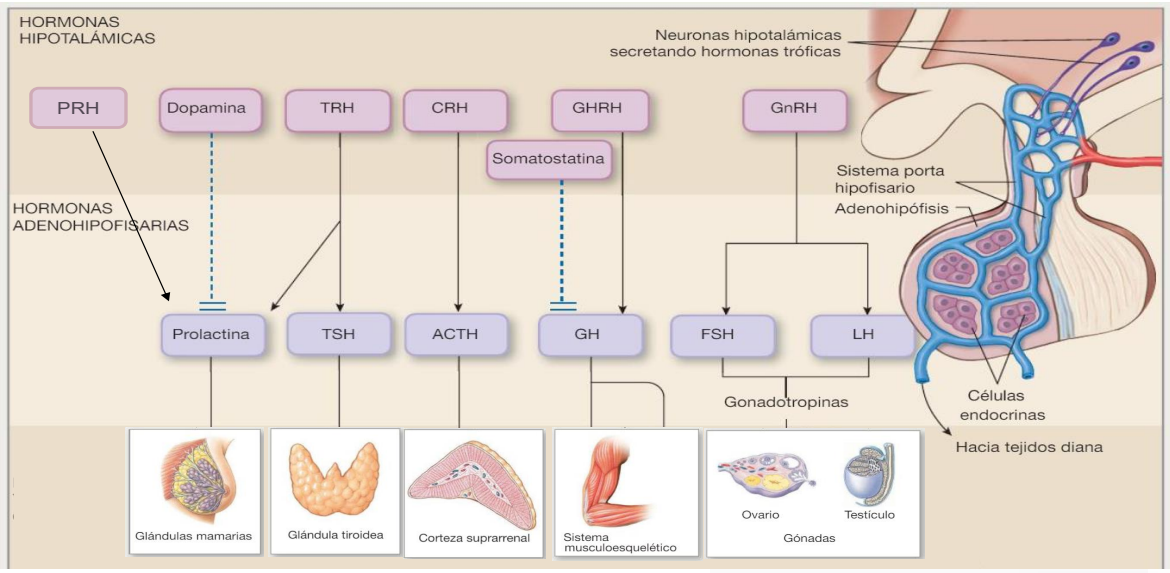
- Es un control **nervioso directo**
- No hay intermediarios hormonales

→ **Idea clave**

La neurohipófisis es, en realidad, una **prolongación funcional del cerebro**.
No es una glándula endocrina clásica.

⇒ HORMONAS DE LA VÍA HIPOTÁLAMO–ADENOHIPÓFISIS

Aquí cambia el mecanismo completamente



Diferencia fundamental
A diferencia de la neurohipófisis:
- el hipotálamo **no envía hormonas directamente a sangre**
- primero las envía a la **adenohipófisis**

Cómo lo hace
A través de un sistema vascular especial:
- el **sistema porta hipotalámico-hipofisario**

Qué envía el hipotálamo
Hormonas reguladoras:
- de liberación (ej: GHRH)
- de inhibición (ej: somatostatina)

Qué hace la adenohipófisis
Responde produciendo hormonas propias.

→ **Idea clave**
Aquí el control es **hormonal en cascada**, no nervioso directo.

⇒ **HORMONA DEL CRECIMIENTO (GH O SOMATOTROPINA)**

Entramos en una de las hormonas más importantes del tema

Naturaleza
- **Polipéptido** (cadena lineal) de 191 aminoácidos
- Tiene estructura compleja con puentes disulfuro

Dónde se produce
- En la **adenohipófisis**

Función general
- Estimula el crecimiento de casi todos los tejidos

Cómo lo hace
- Aumenta tamaño celular
- Estimula división celular (mitosis)
- Favorece diferenciación celular

Tejidos principales
- hueso
- músculo esquelético

Secreción a lo largo de la vida
- Alta en infancia y pubertad
- Disminuye con la edad

→ **Idea importante**
La GH no es solo “hormona del crecimiento”. También tiene efectos metabólicos muy relevantes.

⇒ **EFECTOS METABÓLICOS DE LA GH**

Veamos como la GH actúa como una hormona metabólica potente
Vamos por partes.

1. Metabolismo proteico

- Aumenta la entrada de aminoácidos en la célula
- Reduce la degradación de proteínas
- Estimula la síntesis proteica

Resultado:
→ el organismo construye más tejido

Esto explica su papel en crecimiento.

2. Metabolismo lipídico

- Aumenta la lipólisis (descomposición de grasas)
- Eleva el ácidos grasos en sangre
- Favorece el uso de grasas como energía

Resultado:
→ el organismo usa grasas como combustible

3. Metabolismo de carbohidratos
Aquí viene lo más interesante:

- Disminuye la captación de glucosa por el músculo y el tejido adiposo
- Aumenta la glucosa en sangre
- Estimula la producción de insulina

Esto se denomina:
→ **efecto diabetógeno**

Interpretación
La GH "ahorra glucosa":

- utiliza grasas
- conserva glucosa para órganos vitales (como el cerebro)

Conclusión global de la GH
La GH tiene un efecto muy característico:

- aumenta las proteínas
- usa grasas
- conserva la glucosa

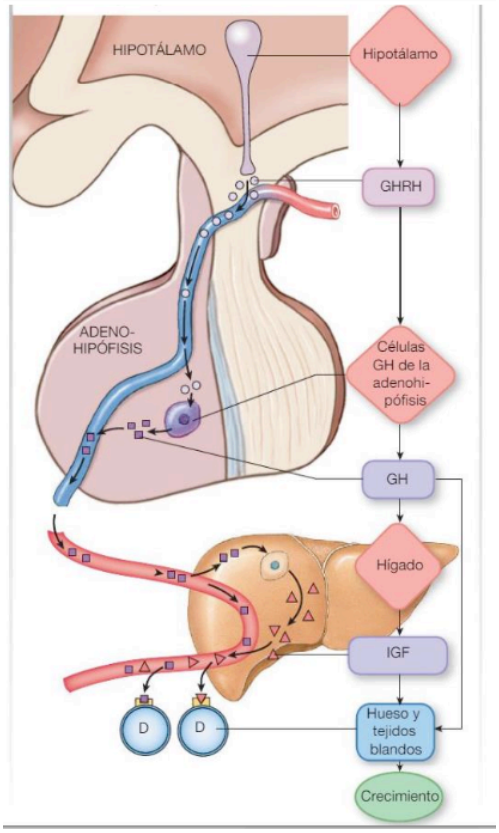
→ Es una hormona **anabólica y movilizadora de energía**.

⇒ **FUNCIÓN TRÓFICA IGF**

La IGF es un factor de crecimiento similar a la insulina.
Aquí aparece un concepto fundamental

La GH no actúa sola
Muchos de sus efectos se deben a unas sustancias llamadas:
→ **IGF (Insulin-like Growth Factors)** o **somatomedinas**

Dónde se producen
Principalmente en el **hígado**



Qué hacen

- Median el crecimiento de tejidos
- Tienen efectos más prolongados que la GH

Diferencias:

GH	IGF
Acción directa	Acción indirecta
Más rápida	Más prolongada
Metabólica	Trófica (crecimiento)

→ **Idea clave**

- **Función principal:** Promueve el crecimiento óseo y tisular, además de estimular la producción de masa muscular.
- **Mediador de la GH:** Regula los efectos de la hormona del crecimiento y sus niveles son más estables durante el día, lo que permite evaluar si la GH está funcionando correctamente.
- **Niveles según la edad:** Son bajos en la infancia, alcanzan su máximo en la pubertad y disminuyen al llegar a la edad adulta.



- **Diagnóstico:** Una prueba de IGF-1 en sangre (o somatomedina C) se usa para detectar deficiencias o excesos de hormona del crecimiento, útil en trastornos de crecimiento.
- **IGF-1 vs. IGF-2:** El IGF-1 está claramente regulado por la hormona del crecimiento, mientras que el IGF-2 no depende tanto de ella.

La GH (hormona del crecimiento) estimula → el hígado produce IGF → y el IGF produce crecimiento. Es un mecanismo en dos etapas.



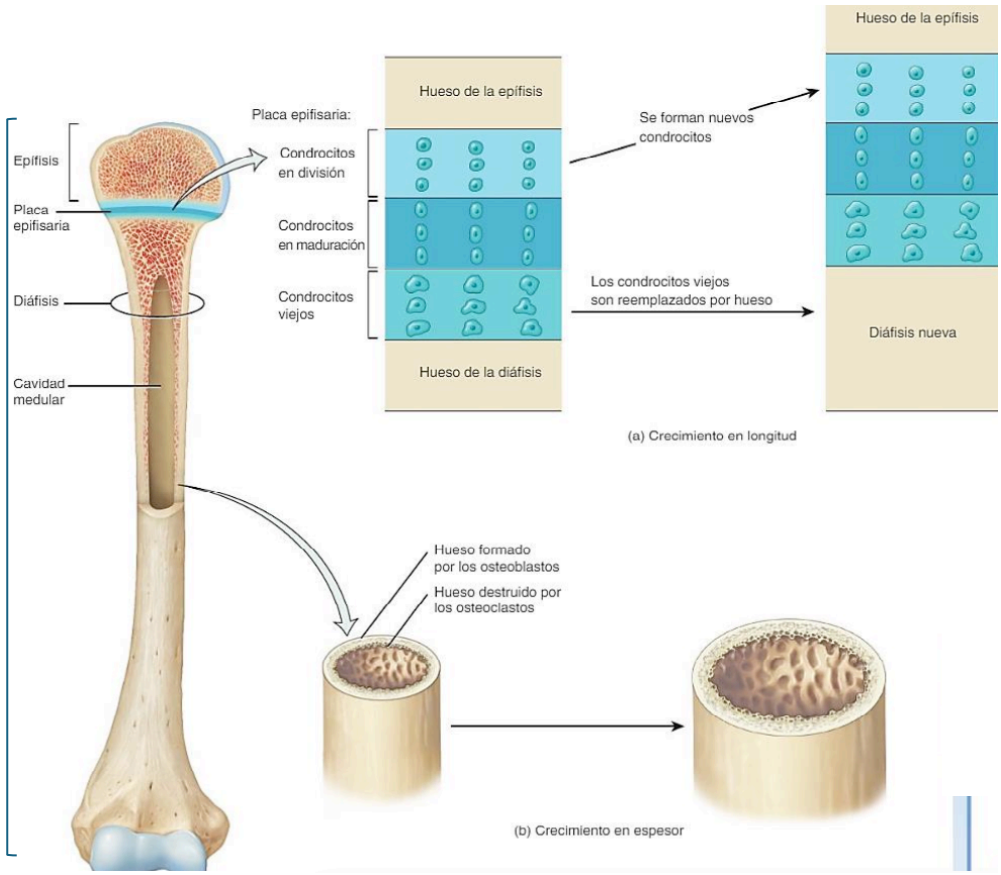
⇒ CRECIMIENTO ÓSEO

Vamos a ver este mecanismo en el hueso.

El **crecimiento** ocurre en la **placa epifisaria** (cartílago de crecimiento)

Qué sucede

- los condrocitos se dividen
- luego se diferencian
- se convierten en tejido óseo



Papel de GH e IGF

- estimulan la proliferación de condrocitos (células maduras fundamentales del tejido cartilaginoso)
- favorecen el alargamiento del hueso

Punto clave

Mientras la placa epifisaria está abierta:
→ el hueso puede crecer en longitud
Cuando se cierra:
→ el crecimiento longitudinal se detiene

◈ Idea global de este bloque

Este bloque es esencial porque establece:

1. Cómo el sistema nervioso controla el endocrino (hipotálamo)
2. Cómo la hipófisis actúa como intermediaria
3. Cómo una hormona concreta (GH) influye en crecimiento y metabolismo

→ La GH es un excelente ejemplo de cómo una hormona puede:

- actuar directamente
- y también indirectamente a través de otros mediadores

◈ PATOLOGÍAS POR EXCESO Y DEFECTO DE GH

Aquí se introduce una idea clave en fisiología: **toda hormona es necesaria en su justa medida**. Tanto el exceso como el defecto producen enfermedades.

1. Déficit de GH → Enanismo hipofisario

Provoca: Disminución de la secreción de GH durante la infancia

Consecuencias:

- Talla baja
- Las proporciones corporales son normales (esto es importante)
- El desarrollo mental generalmente es normal



Interpretación fisiológica

El problema no es estructural del hueso, sino existe falta de estímulo hormonal.

2. Exceso de GH → Gigantismo

Ocurre durante la infancia, antes del cierre de las **epífisis** (cada uno de los extremos de los huesos largos).

Consecuencias

- Crecimiento exagerado en altura
- Proporciones corporales relativamente normales

→ **Idea clave**

El hueso aún puede crecer en longitud, por eso aumenta la estatura.

ACROMEGALIA

Es un exceso de GH en el **adulto**, cuando las epífisis ya están cerradas.



Consecuencia fundamental

El hueso **ya no puede crecer en longitud**, pero sí en grosor.

Cambios característicos

- Ensanchamiento de manos y pies
- Aumento del tamaño de la mandíbula
- Rasgos faciales toscos
- Crecimiento de huesos membranosos



Diferencia clave con gigantismo

CARACTERÍSTICA	GIGANTISMO	ACROMEGALIA
Edad	Infancia	Adulto
Crecimiento en longitud	Sí	No
Tipo de crecimiento	Proporcional	Engrosamiento



Las radiografías son útiles para confirmar casos de acromegalia

→ **Interpretación fisiológica**

Esto demuestra algo muy importante: **la respuesta a una hormona depende del estado del tejido**.

El mismo exceso hormonal produce efectos distintos según la edad.

⇒ RESUMEN DEL TEMA

◈ **Aquí se sintetizan ideas fundamentales del sistema endocrino**

1. Sistema endocrino + sistema nervioso

Ambos trabajan juntos para mantener la **homeostasis**.

2. Qué es una hormona

- Mensajero químico
- Actúa a distancia (endocrino) o localmente (paracrino, autocrino)

3. Especificidad

- Depende del **receptor**, no de la hormona en sí

4. Características generales

- Actúan a concentraciones muy bajas
- Se liberan de forma **pulsátil**
- Tienen vida media en sangre

Esto último es clave: la secreción hormonal no es continua, sino en pulsos.

5. Tipos de hormonas

- Peptídicas
- Derivadas de aminoácidos
- Esteroideas

Cada tipo tiene mecanismos de acción distintos.

6. Regulación hormonal

- Puede depender del sistema nervioso
- Pero sobre todo de la **retroalimentación**

7. Papel del hipotálamo

- Es el **centro integrador**
- Conecta SNC y sistema endocrino

8. Papel de la hipófisis

- Glándula directriz
- Controla otras glándulas

9. Funciones del eje hipotálamo-hipófisis

Controla:

- crecimiento
- metabolismo hídrico
- lactancia
- tiroides
- suprarrenales
- gónadas

10. Neurohipófisis

- Libera:
  - **ADH (vasopresina)** → regula agua
  - **oxitocina** → contracción uterina y eyección de leche

Importante:
→ estas hormonas se **sintetizan en el hipotálamo**, no en la hipófisis.

11. Control de la adenohipófisis

- Por hormonas hipotalámicas (liberadoras e inhibidoras)

12. Sistema porta

- Transporta estas hormonas desde el hipotálamo a la hipófisis

13. Hormonas de la adenohipófisis

- prolactina
- GH
- ACTH
- FSH
- LH
- (aparece TRH, pero realmente es hipotalámica; aquí hay que ser crítico)

14. GH (resumen final)

- Aumenta síntesis proteica
- Favorece uso de grasas
- Conserva glucosa

15. Acción indirecta

- Estimula producción de **IGF**
- GH + IGF → crecimiento de tejidos

16. Regulación de GH

- **GHRH** → estimula
- **somatostatina** → inhibe

⇒ **CONCLUSIÓN GLOBAL FINAL**

Este tema, bien entendido, es uno de los pilares de la fisiología.

1. El sistema endocrino

- Regula funciones lentas y sostenidas
- Mantiene la homeostasis junto al sistema nervioso

2. El eje hipotálamo–hipófisis

Es el núcleo del control endocrino:

- el **hipotálamo** integra información
- la **hipófisis** ejecuta órdenes
- las **glándulas periféricas** realizan la acción

3. Tipos de control

- Neural (rápido)
- Hormonal en cascada
- Retroalimentación (clave absoluta)

4. La GH como modelo

Sirve para entender:

- regulación hormonal
- acción directa e indirecta
- efectos metabólicos y estructurales
- patología por exceso o defecto

5. Idea profunda (importante para retener)

El sistema endocrino no funciona por "órganos aislados", sino como una **red jerárquica regulada por retroalimentación**.

Si hubiera que resumírtelo en una sola frase, sería esta:

→ El hipotálamo traduce señales nerviosas en órdenes hormonales, la hipófisis las distribuye y el organismo responde manteniendo el equilibrio interno.

https://www.youtube.com/watch?v=CYVpBxoH80Y

BIBLIOGRAFÍA

Manuales clásicos de fisiología:

- Silverthorn, D. U. Fisiología Humana: Un Enfoque Integrado. Editorial Panamericana. 8ª Edición. 2019
- Costanzo, L. Fisiología. Editorial Elsevier. 7ª Edición. 2023
- Berne y Levy: Fisiología. Editorial: Elsevier. 7ª Edición. 2018.
- Guyton, A.C. y Hall, J.E. Tratado de Fisiología Médica. Editorial Elsevier. 14ª Edición. 2021

TEMA 11 – SEXUALIDAD HUMANA DESDE LA FISIOLOGÍA Y LA BIOLOGÍA

Este es un tema que se planteó en una clase motivado por la pregunta de un compañero.

Por la importancia del tema y algo o bastante desconocimiento que considero que existe en muchas personas, conviene separar varios planos que muchas veces se confunden en el lenguaje cotidiano.

Es importante empezar diciendo que la biología distingue con bastante claridad **sexo biológico, desarrollo sexual, orientación sexual y conducta sexual**. Cada uno de ellos responde a mecanismos diferentes.

Entramos en materia.

1. **Bases genéticas del sexo**
2. **Desarrollo embrionario del aparato reproductor**
3. **Endocrinología sexual**
4. **Intersexualidad**
5. **Neurobiología de la orientación sexual**
6. **Conducta sexual en animales**
7. **Evolución de la sexualidad humana**

1. EL SEXO BIOLÓGICO: BASE GENÉTICA Y FISIOLÓGICA

El punto de partida es el **sexo cromosómico**, determinado ya desde la fecundación.

- **XX → sexo femenino**
- **XY → sexo masculino**

El cromosoma **Y** contiene el gen **SRY**, que activa el desarrollo de los **testículos** en el embrión.

A partir de ahí se desencadena una cascada fisiológica:

NIVEL	**CARACTERÍSTICAS**
Cromosómico	XX o XY
Gonadal (1)	ovarios o testículos
Hormonal	estrógenos, progesterona, testosterona
Anatómico	genitales internos y externos
Caracteres secundarios	voz, vello, distribución grasa, etc.

(1) El **nivel gonadal** se refiere a la funcionalidad y regulación de las gónadas (ovarios en mujeres, testículos en hombres), integradas en el **eje hipotálamo-hipófisis-gonadal**. Este sistema regula la producción de hormonas sexuales y gametos (ovocitos/espermatozoides) mediante la liberación de **GnRH** (hormona liberadora de gonadotropinas), **FSH** (hormona foliculoestimulante) y **LH** (hormona luteinizante**)** para controlar ciclos reproductivos y características sexuales.

→ Durante el desarrollo embrionario todos los fetos pasan por una **fase indiferenciada**; después, las hormonas sexuales dirigen la diferenciación. Veamos como.

2. DIFERENCIACIÓN SEXUAL DURANTE EL DESARROLLO EMBRIONARIO

Al principio, el embrión posee **dos sistemas de conductos**:

1) **Conductos de Müller** → aparato reproductor femenino

***** Los conductos de Müller (o paramesonéfricos) son estructuras embrionarias pares presentes en ambos sexos, pero que, en ausencia de la hormona

antimülleriana (**AMH**), se desarrollan para formar el tracto reproductivo femenino: trompas de Falopio, útero, cérvix y los dos tercios superiores de la vagina. Si la **AMH** está presente (feto masculino), estos conductos degeneran.

- **Aspectos clave de los conductos de Müller:**

- **Desarrollo:** Aparecen tempranamente en el embrión. En el feto femenino, su desarrollo es guiado por la falta de andrógenos y la ausencia de AMH.
- **Destino en la mujer:** Se fusionan parcialmente para formar el canal útero-vaginal, dando lugar a las trompas de Falopio, el útero, el cuello uterino y la parte superior de la vagina.
- **Destino en el varón:** Degeneran, dejando solo remanentes como el utrículo prostático y el apéndice testicular.

2) **Conductos de Wolff** → aparato reproductor masculino

* Los **conductos de Wolff** (o mesonéfricos) son estructuras embrionarias pares, derivadas del mesodermo, que actúan como conductos excretores del riñón primitivo (mesonefros). Son cruciales para el desarrollo urogenital: en machos persisten y forman la vía genital interna, mientras que en hembras se atrofian y entonces es cuando se diferencian del conducto de Müller.

Entonces, como existen **testículos funcionales**:

- producen **testosterona**
- y producen la **hormona antimülleriana**

Resultado:

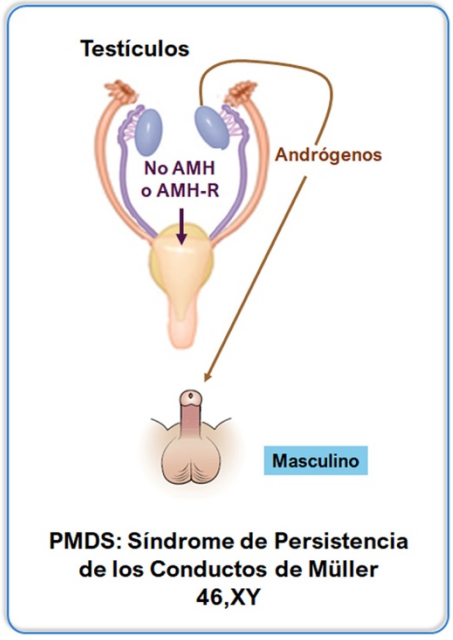
- se desarrollan los conductos de **Wolff**
- y desaparecen los de **Müller**

Pero, como hemos dicho, si no hay testosterona **significativa**:

- se desarrollan los conductos de **Müller**
- y el desarrollo femenino es el patrón por defecto.

Este proceso ocurre aproximadamente entre la **semana 6 y 12 del desarrollo fetal**.

- **Síndrome de Persistencia del conducto müller:** En todo este proceso puede producirse una rara condición en varones donde, por falta de **AMH** o de sus receptores, se desarrollan estructuras femeninas (útero/trompas) en un individuo con cromosomas XY.



PMDS: Síndrome de Persistencia de los Conductos de Müller 46,XY

3. <u>INTERSEXUALIDAD (LO QUE ANTES SE LLAMABA HERMAFRODITISMO)</u>

En biología humana el hermafroditismo —tener testículos y ovarios funcionales completos se conoce como **trastornos de la diferenciación sexual.** Estas condiciones son raras. **"Hermafroditismo" en humanos está desaconsejado** desde el **Consenso de Chicago (2005–2006).**

Lo que existe con mayor frecuencia son **variaciones del desarrollo sexual**, hoy llamadas **DSD (Differences/Disorders of Sex Development)**.

DEFINICIÓN Y TERMINOLOGÍA ACTUAL (PUBLICADO POR SANIDAD DE COMUNIDAD DE MADRID

Los Trastornos del Desarrollo Sexual (DSD) son un grupo heterogéneo de condiciones congénitas caracterizadas por un desarrollo atípico de los cromosomas sexuales, las **gónadas** o la anatomía genital. Según la definición consensuada por la **Sociedad Europea de Endocrinología Pediátrica (ESPE)** y la **Lawson Wilkins Pediatric Endocrine Society (LWPES)**, se consideran **DSD** aquellas situaciones en las que el sexo cromosómico, gonadal o anatómico presenta discrepancias o alteraciones que dificultan o impiden una asignación sexual clara al nacimiento.

- **Evolución terminológica**

Históricamente, se utilizaban términos como hermafroditismo, pseudohermafroditismo masculino o femenino y ambigüedad sexual, términos que hoy son considerados obsoletos y estigmatizantes. Actualmente, el término aceptado es DSD (Disorders of Sex Development) o, en español, Trastornos del Desarrollo Sexual. En algunos entornos clínicos y sociales se prefiere el término Diferencias del Desarrollo Sexual, que evita la connotación patológica, aunque su uso aún no es uniforme.

- **Importancia de la definición clara en Atención Primaria.**

Para los médicos de atención primaria, es fundamental entender que el término DSD engloba situaciones muy heterogéneas, desde condiciones leves como hipospadias aisladas, hasta situaciones complejas con discordancia cromosómica, gonadal y genital, como la disgenesia gonadal mixta o el ovotesticular DSD. Por tanto, no todos los DSD son urgentes ni requieren un manejo inmediato, pero todos deben ser evaluados de forma protocolizada y con el acompañamiento de unidades especializadas (CSUR).

- **Aspectos clave para Atención Primaria**

  - DSD no es sinónimo de urgencia vital, pero sí de derivación precoz.
  - Evitar etiquetas diagnósticas apresuradas o explicaciones simplistas.
  - En atención primaria, el papel clave es la sospecha inicial y la coordinación ágil con unidades especializadas.

- **Clasificación general y espectro de presentaciones**

Los Trastornos de Desarrollo Sexual se clasifican en tres grandes grupos, según el **cariotipo** (conjunto completo de cromosomas de un individuo, ordenados por tamaño, forma y número):

GRUPO	DEFINICIÓN
DSD con cariotipo 46,XX	Mujeres con variaciones en el desarrollo gonadal o genital (exceso de andrógenos fetal, hiperplasia suprarrenal congénita, etc.).
DSD con cariotipo 46,XY	Varones con alteraciones en la diferenciación gonadal o la acción de andrógenos (insensibilidad androgénica, disgenesia gonadal, defectos enzimáticos).
DSD con cariotipo sexual atípico	Anomalías cromosómicas (45,X/46,XY, quimerismo 46,XX/46,XY, síndrome de Klinefelter, síndrome de Turner con mosaicismo).

- **Formas clínicas más relevantes para Atención Primaria**

Desde la perspectiva de atención primaria, las presentaciones más relevantes son:

- Genitales ambiguos al nacimiento: Es la presentación clásica y la que requiere una valoración más rápida.
- Criptorquidia bilateral o testículos no palpables: Puede ser un signo de DSD 46,XY con disgenesia gonadal.
- Hipospadias severo (proximal o penoscrotal): Especialmente si se asocia a testículos no descendidos o pequeño tamaño peneano.
- Pubertad discordante o ausente: En niñas con virilización progresiva (clitoromegalia) o niños con ginecomastia precoz.
- Amenorrea primaria: En adolescentes 46,XY con fenotipo femenino (síndrome de insensibilidad completa a andrógenos).

- **Gravedad y complejidad variable**

No todos los DSD son clínicamente graves ni requieren intervención quirúrgica inmediata. Algunos, como el hipospadias distal aislado, pueden ser manejados con derivación diferida, mientras que otros, como los genitales ambiguos severos al nacimiento, requieren una valoración urgente coordinada entre neonatología, endocrinología y cirugía pediátricas.

Aunque la confirmación diagnóstica corresponde a las unidades especializadas, es fundamental que el médico de atención primaria:

- Reconozca los fenotipos de sospecha.
- No emita diagnósticos prematuros (evitar términos como "hermafrodita" o "malformación sexual").
- Utilice el término DSD o alteración del desarrollo sexual al hablar con la familia.
- Explique que existen diferentes grados de complejidad dentro de los DSD.

- **Prevalencia y datos actuales**

Los trastornos del desarrollo sexual (DSD) son condiciones poco frecuentes, pero no excepcionales. La prevalencia global estimada varía dependiendo de la definición empleada y del rango de condiciones que se incluyan dentro del término DSD. De manera general, se estima que afectan a aproximadamente:

TIPO DE DSD	PREVALENCIA APROXIMADA
Genitales ambiguos al nacimiento	1 por cada 4.500 nacidos vivos
Hiperplasia suprarrenal congénita (HSC)	1 por cada 15.000 nacidos (varía según región)
Síndrome de insensibilidad androgénica (CAIS y PAIS)	1 por cada 20.000-50.000 nacidos
Disgenesia gonadal completa	1 por cada 100.000 nacidos
Hipospadias severa asociada a DSD	1 por cada 3.000 nacidos varones

Ejemplos importantes:

CONDICIÓN	CARACTERÍSTICAS
Síndrome de insensibilidad a andrógenos	XY, pero el cuerpo no responde a testosterona
Hiperplasia suprarrenal congénita	exceso de andrógenos en fetos XX
Síndrome de Klinefelter	XXY
Síndrome de Turner	XO

Estas situaciones pueden producir:

- genitales ambiguos
- mezcla de características sexuales
- infertilidad
- variaciones hormonales.

4. ORIENTACIÓN SEXUAL (HETEROSEXUAL, HOMOSEXUAL, BISEXUAL)

Desde el punto de vista biológico, la **orientación sexual** se refiere a la **dirección de la atracción sexual o afectiva**.

Principales orientaciones:

- heterosexual
- homosexual (gay o lesbiana)
- bisexual

La investigación científica sugiere que la orientación sexual **no depende de un único factor**, sino de una combinación de:

a) Factores biológicos

- genética
- hormonas prenatales
- desarrollo cerebral

→ Se han encontrado algunas **diferencias estadísticas en ciertas estructuras cerebrales**, como en el hipotálamo, aunque los resultados siguen siendo objeto de investigación.

b) Factores del desarrollo

- ambiente prenatal
- epigenética
- desarrollo psicológico

No existe evidencia sólida de que la orientación sexual sea **una simple elección voluntaria**.

5. DIFERENCIAS ENTRE SEXO BIOLÓGICO, IDENTIDAD Y ORIENTACIÓN

Es importante distinguir tres cosas diferentes:

CONCEPTO	SIGNIFICADO
Sexo biológico	características corporales (XX/XY, genitales, hormonas)
Identidad sexual o de género	percepción interna de ser hombre, mujer, etc
Orientación sexual	hacia quién se dirige la atracción

Son fenómenos distintos, aunque a veces se mezclan en el debate social.

6. HOMOSEXUALIDAD EN EL MUNDO ANIMAL

El tema de la conducta homosexual **no es exclusivo del ser humano**.

Se ha observado en más de **1.500 especies animales**, entre ellas:

- bonobos
- delfines
- pingüinos
- ovejas
- jirafas

En muchos casos cumple funciones sociales:

- cohesión del grupo
- establecimiento de jerarquías
- reducción de agresividad.

7. PAPEL DE LAS HORMONAS EN LA CONDUCTA SEXUAL

Las hormonas sexuales influyen en el comportamiento:

HORMONA	FUNCIÓN
Testosterona	deseo sexual, agresividad
Estrógenos	regulación reproductiva
Oxitocina	vínculo afectivo
Dopamina	recompensa y placer

La conducta sexual es el resultado de la interacción entre:

- sistema endocrino
- sistema nervioso
- experiencia psicológica.

8. UNA OBSERVACIÓN IMPORTANTE DESDE LA BIOLOGÍA

La **función reproductiva** de la sexualidad es clara desde la biología evolutiva.
Sin embargo, en humanos la sexualidad cumple también **otras funciones**:

- vínculo de pareja
- cohesión social
- placer
- afectividad.

Por eso la sexualidad humana es más compleja que la simple reproducción.

⇒ UNA PERSONA PUEDE NACER CON TRES CROMOSOMAS SEXUALES: XXY

Vamos a entrar un poco más en profundidad en esta condición biológica que se conoce como **Síndrome de Klinefelter**.

1. Qué significa tener cromosomas XXY

Ya sabemos que en la mayoría de las personas:

- **XX → mujer**
- **XY → hombre**

Pero en el **síndrome de Klinefelter** el cariotipo es: **47, XXY**

Es decir:

- hay **dos cromosomas X**
- y **un cromosoma Y**

La presencia del **cromosoma Y** hace que el individuo **desarrolle características masculinas**, pero el cromosoma X duplicado altera el desarrollo normal de los testículos.

2. Cómo se produce

Se debe a un error durante la formación de los gametos (óvulo o espermatozoide), llamado **no disyunción cromosómica**.

Esto significa que:

- los cromosomas sexuales **no se separan correctamente en la meiosis**
- el embrión recibe **un cromosoma extra**.

Este fenómeno ocurre **de forma espontánea**, no es causado por el comportamiento de los padres.

Frecuencia aproximada:

- **1 de cada 500–1000 varones**.

3. Características fisiológicas más frecuentes

No todos los casos son iguales, pero muchas personas con XXY presentan:

RASGO	DESCRIPCIÓN
Testículos pequeños	menor producción de testosterona
Infertilidad	muy frecuente
Estatura alta	piernas relativamente largas
Menor vello corporal	por menor testosterona
Ginecomastia	desarrollo de algo de tejido mamario
Pubertad incompleta	en algunos casos

También puede haber:

- cierta dificultad en el lenguaje o aprendizaje
- pero **la inteligencia suele ser normal**.

4. Variantes posibles

A veces la situación no es uniforme en todas las células. Existen formas llamadas **mosaicismo**:

- **46 XY: Síndrome de Insensibilidad a Andrógenos (AIS):**
  Este síndrome se produce cuando los tejidos no responden bien a los andrógenos por variantes en el receptor androgénico; el fenotipo va de femenino típico a grados parciales o leves en varones.

- **47 XXY: (síndrome de Klinefelter):**
  Es una **aneuploidía sexual**: en lugar de 46 XY, algunos varones nacen con **47,XXY**.
  Frecuencia aproximada: **1 de cada 500–1.000 nacimientos masculinos**.
  Muchas veces **pasa desapercibido** hasta la pubertad o la edad adulta.

  - **Rasgos típicos (varían mucho entre personas): Estatura algo alta**, **testículos pequeños**, en algunos casos **testosterona baja**. Pubertad con **poco vello**, posible **ginecomastia** (pecho). En la infancia puede haber **retraso del habla/lenguaje** o **dificultades escolares** leves. En adultos, con frecuencia **oligo-/azoospermia** (pocos espermatozoides o ausencia).

  - **Diagnóstico**: Cariotipo (análisis cromosómico) o test genético. A veces se sospecha por las hormonas **FSH/LH altas** y **testosterona baja**.
  - **Tratamiento** (personalizado por Endocrinología): terapia con testosterona si hay déficit (mejora masa ósea y muscular, energía, libido).
  - **Fertilidad**: aunque el semen eyaculado suela estar vacío, hoy existen opciones: **TESE/micro-TESE** (biopsia testicular para buscar espermatozoides) + **ICSI** (inyectar 1 espermatozoide en el óvulo).
    Bancos de semen y otras alternativas reproductivas según el caso.
  - **Seguimiento**: salud ósea (riesgo de osteopenia/osteoporosis), metabolismo (síndrome metabólico), bienestar emocional/apoyo del habla en niños si hace falta.

  Tener 47,XXY **no determina** identidad de género ni orientación sexual.

  → También existen cariotipos aún más raros:
  - **XXXY**
  - **XXYY**

5. Diagnóstico

Puede detectarse mediante:

- **cariotipo cromosómico**
- **análisis prenatal**
- estudios de fertilidad en la edad adulta.

Hoy también puede identificarse con **pruebas genéticas modernas**.

6. Tratamiento fisiológico

El tratamiento más habitual es **terapia con testosterona**

Esto ayuda a:

- desarrollar caracteres sexuales masculinos
- mejorar masa muscular
- fortalecer huesos
- aumentar energía y bienestar.

7. Un dato biológico interesante

Muchos hombres con **síndrome de Klinefelter nunca saben que lo tienen**, porque los signos pueden ser muy leves.

Se estima que **solo un 25–30 % de los casos llegan a diagnosticarse**.