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:

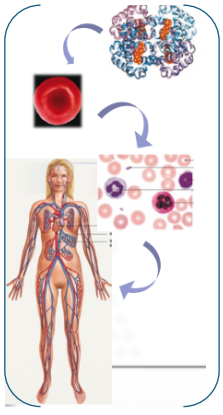
NIVEL	DESCRIPCIÓN Y FUNCIÓN	EJEMPLOS
Nivel químico	Átomos como C, H, O, N, Ca, Na o K se combinan para formar moléculas biológicas.	Proteínas, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos.
Nivel celular	La célula es la unidad estructural y funcional básica de la vida.	Neuronas, glóbulos rojos, células musculares.
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).



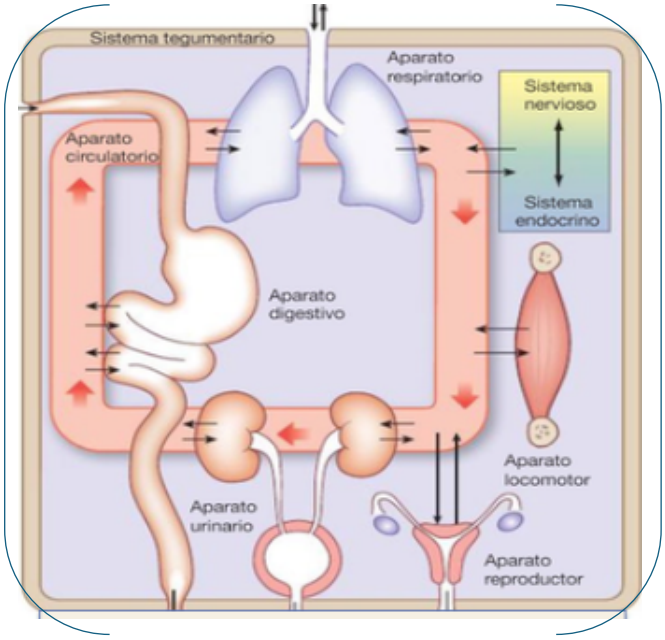
Con todo esto vemos que el cuerpo humano es una **organización estructural compleja pero perfectamente coordinada**, donde cada nivel depende del funcionamiento correcto de los demás.

⇒ 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.



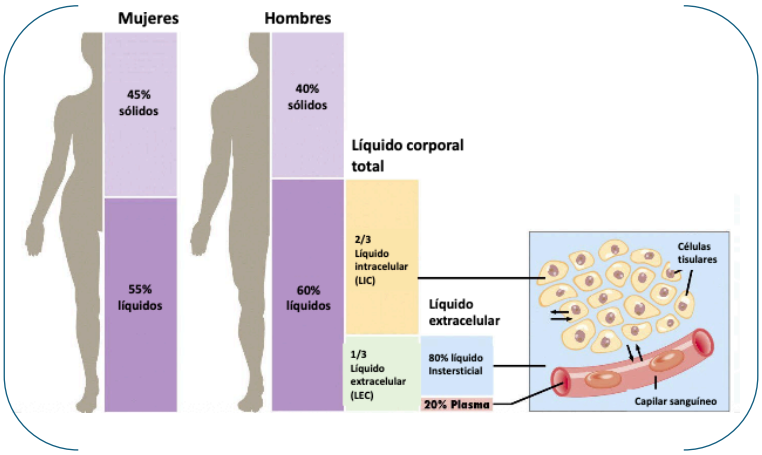
El papel esencial de la fisiología es **integrar todas estas funciones** en un conjunto coherente, donde el cuerpo actúa como una sola unidad.

⇒ 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"*.

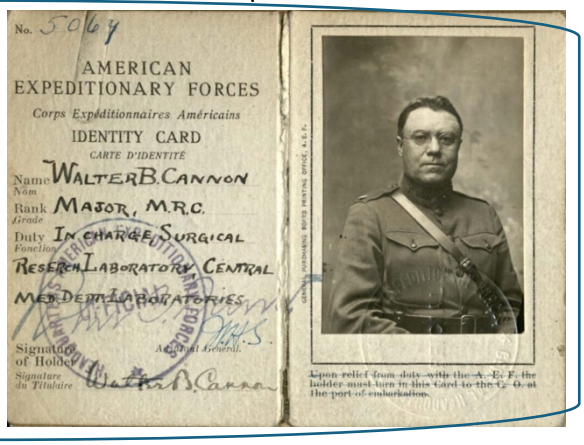
Esto significa que el organismo dispone de sistemas automáticos que corrigen cualquier desviación de sus valores normales.

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).

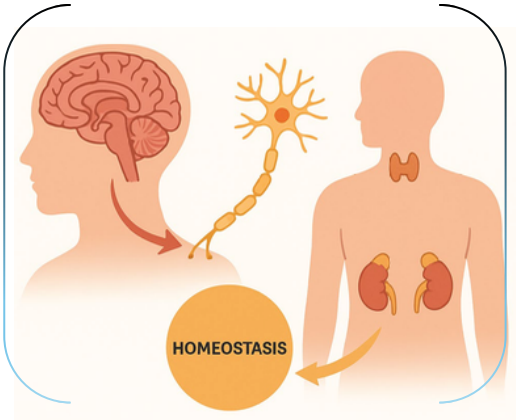
⇒ POSTULADOS DE CANNON

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.

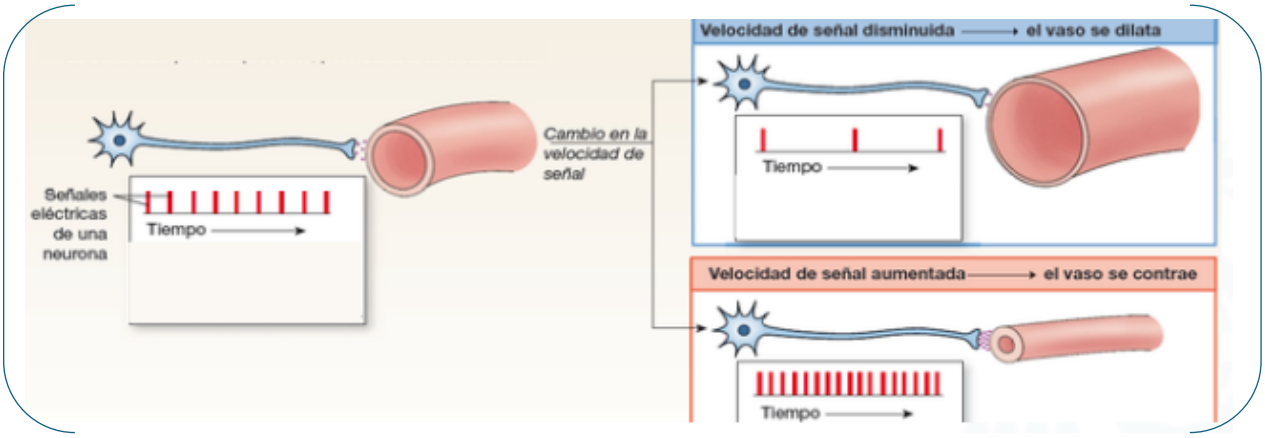
4. **Una misma señal química puede tener efectos diferentes en tejidos distintos.**

→ 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.

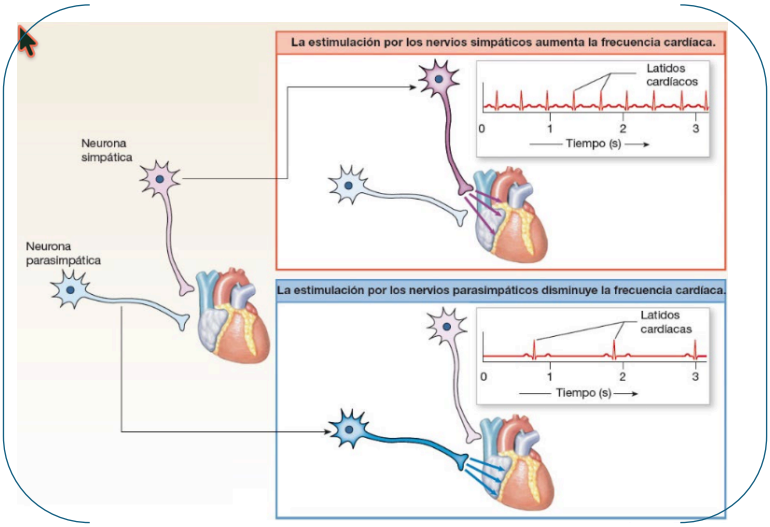
⇒ EJEMPLOS DE CONTROL TÓNICO Y ANTAGONISTA

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:

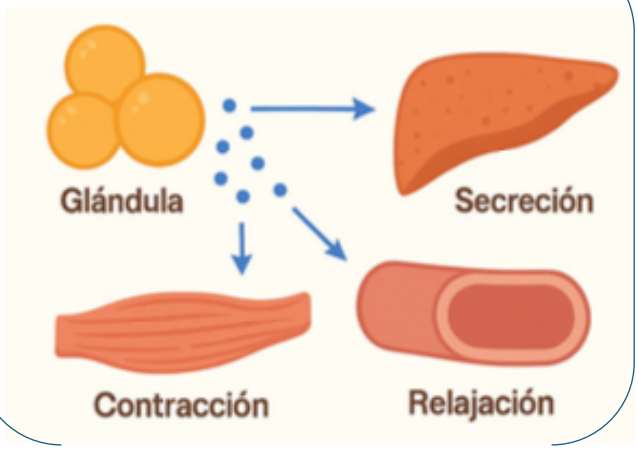
  - El **sistema simpático** acelera el corazón y dilata los bronquios en situaciones de estrés.
  - El **sistema parasimpático** hace lo contrario en reposo: frena el ritmo cardíaco y favorece la digestión.

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.

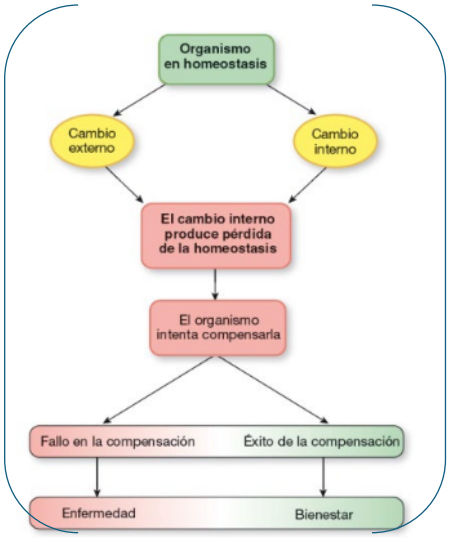
⇒ ENFERMEDAD: ALTERACIÓN DE LA HOMEOSTASIS

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**.

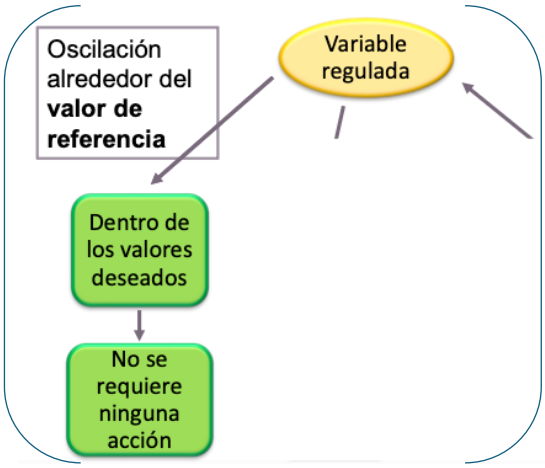
De ahí la importancia de comprender los mecanismos homeostáticos, pues ellos son el fundamento de toda la fisiología humana.

⇒ 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.

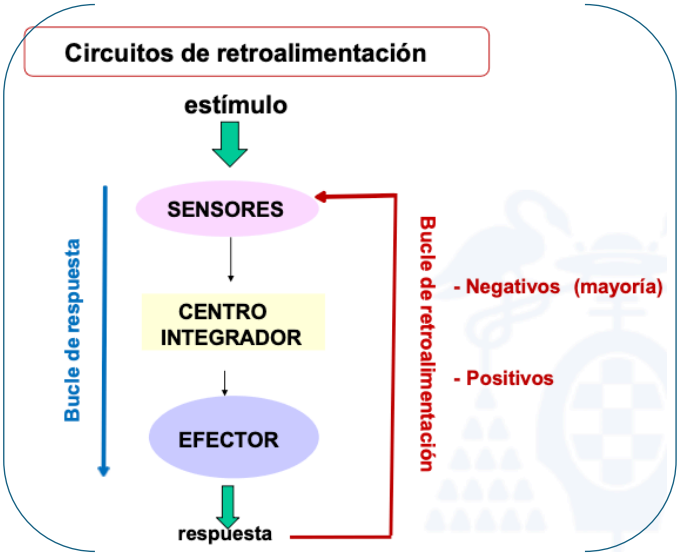
Generalmente se encuentra en el **sistema nervioso central** (como el hipotálamo o el bulbo raquídeo).

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.

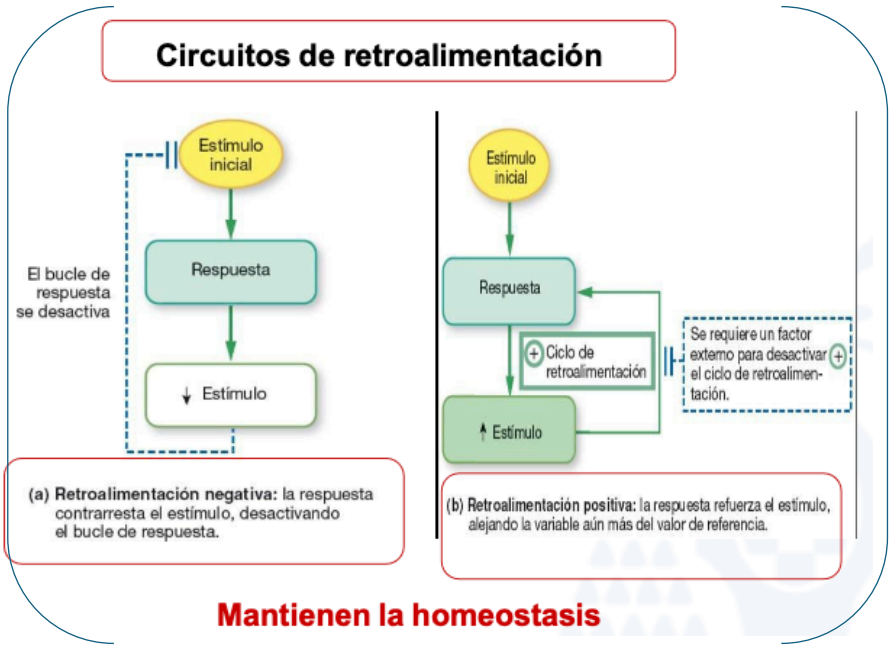
La gran mayoría de los procesos fisiológicos utilizan **retroalimentación negativa**, porque su finalidad es mantener la estabilidad del medio interno.

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.



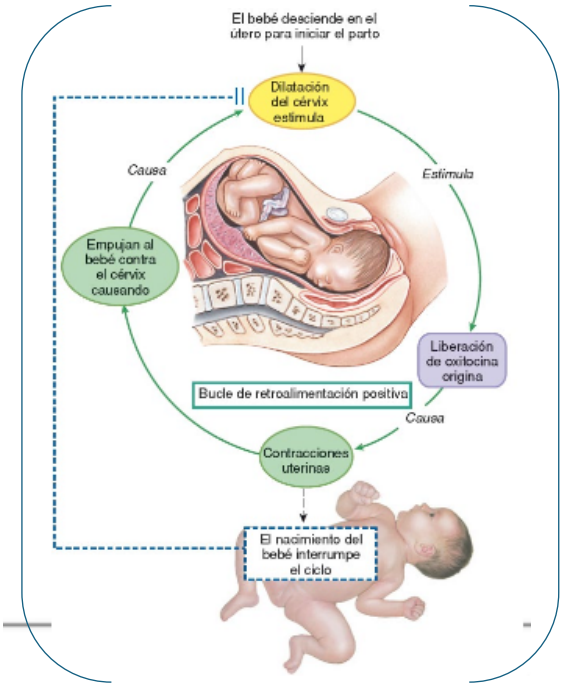
- Cuando la temperatura vuelve a su rango normal, estas respuestas **se detienen automáticamente**.

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:

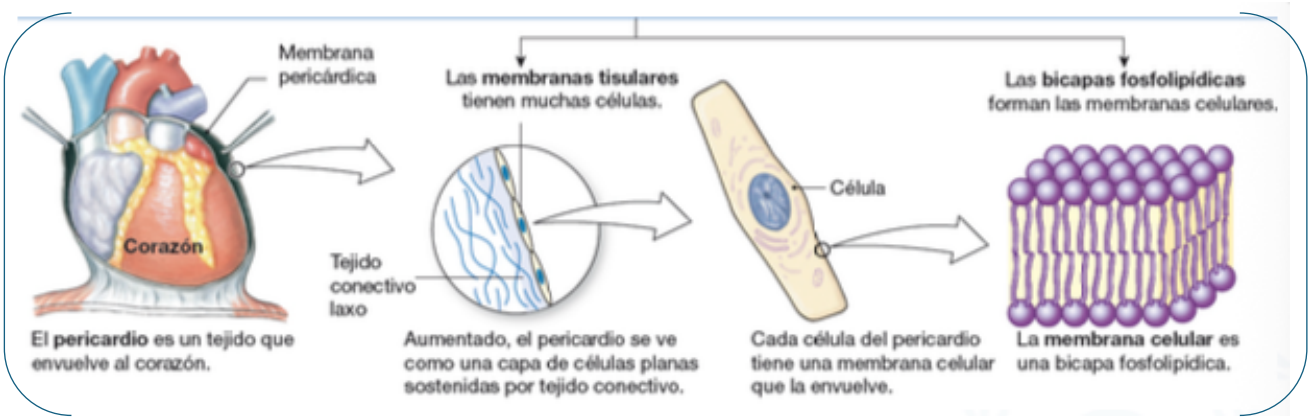
- La **coagulación de la sangre**, donde cada paso activa el siguiente hasta formar el coágulo que cierra la herida.
- La **ovulación**, en la que el aumento de estrógenos provoca más liberación de LH (hormona luteinizante) hasta que se libera el óvulo.

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.

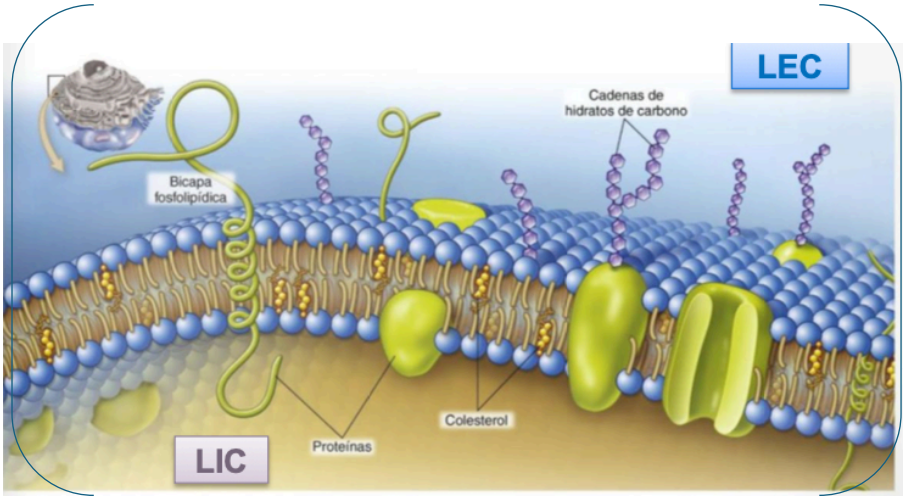
Las membranas son fundamentales para la fisiología porque permiten:

- **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.

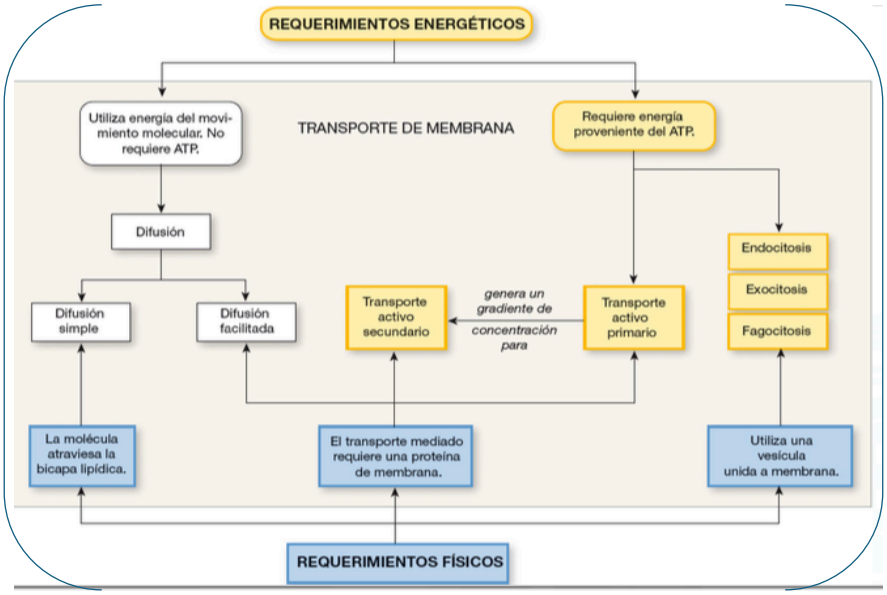
2. **Transporte activo**, que **sí requiere energía**, porque mueve las sustancias **en contra del gradiente de concentración**.

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:

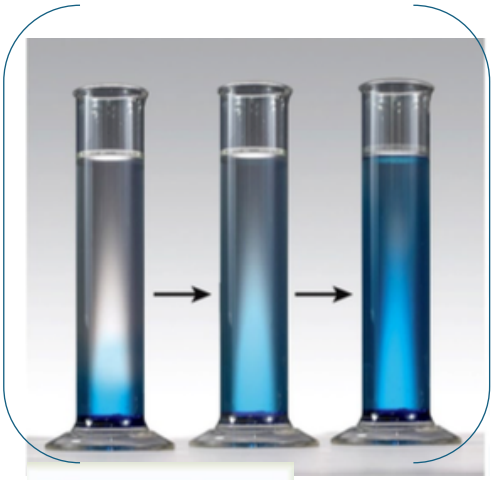
TIPO DE TRANSPORTE	ENERGÍA	DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO	EJEMPLO
Pasivo	No requiere ATP	A favor del gradiente de concentración	Difusión simple o facilitada, ósmosis
Activo	Requiere ATP	En contra del gradiente de concentración	Bombas iónicas, transporte vesicular

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.

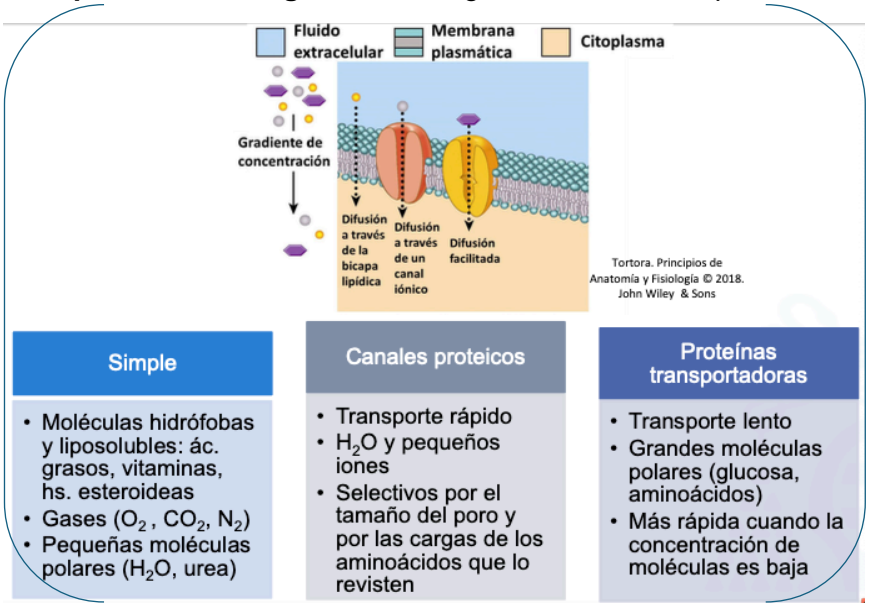
- **Pequeñas moléculas polares sin carga**, como el agua o la urea, aunque con menor rapidez.

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**.

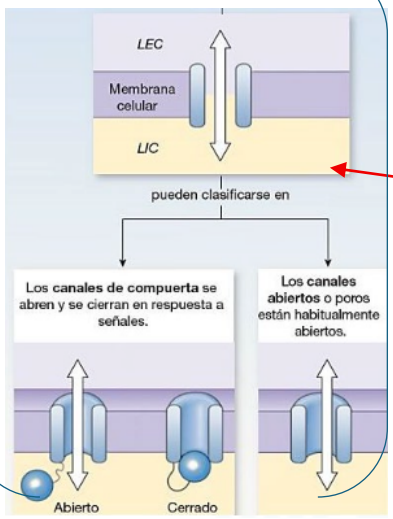
Además, **se satura**: si hay demasiadas moléculas, los transportadores trabajan a su máxima capacidad y no pueden ir más deprisa.

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.

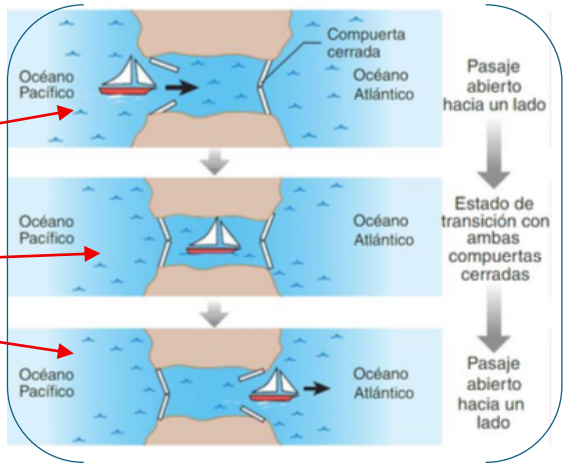
⇒ DIFUSIÓN FACILITADA: PROTEÍNAS TRANSPORTADORAS

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.

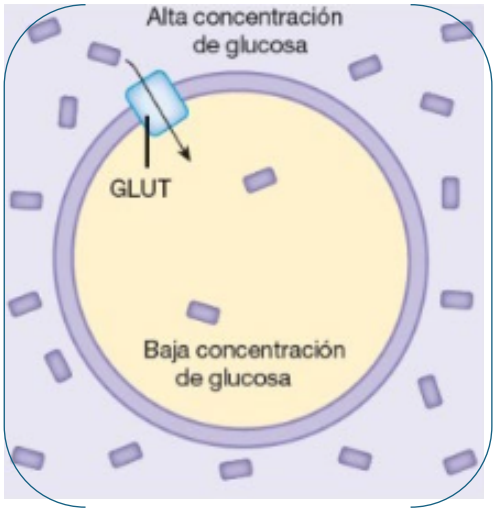
El dibujo muestra cómo la molécula (por ejemplo, la glucosa) se une a la proteína, esta cambia de forma y la libera al otro lado.

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).

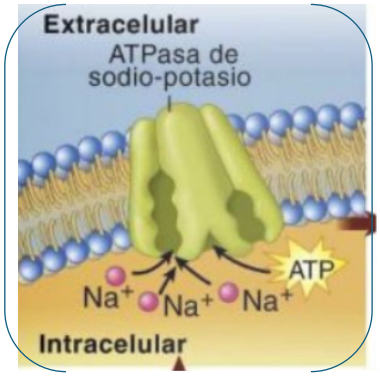
El transporte activo permite mover iones o moléculas **en contra del gradiente electroquímico**, es decir, desde una zona de menor concentración a otra de mayor concentración.

¿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.

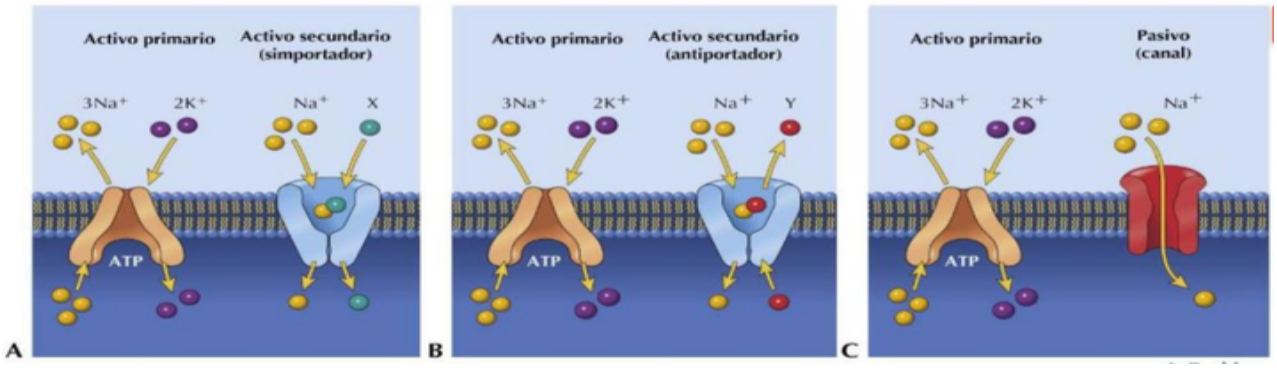
Ahora vamos a profundizar en el ejemplo más importante de transporte activo primario: la **bomba sodio-potasio** — pieza clave de la fisiología celular— y en el **transporte mediado por vesículas**, otro tipo de transporte activo que implica el movimiento de grandes cantidades de material a través de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

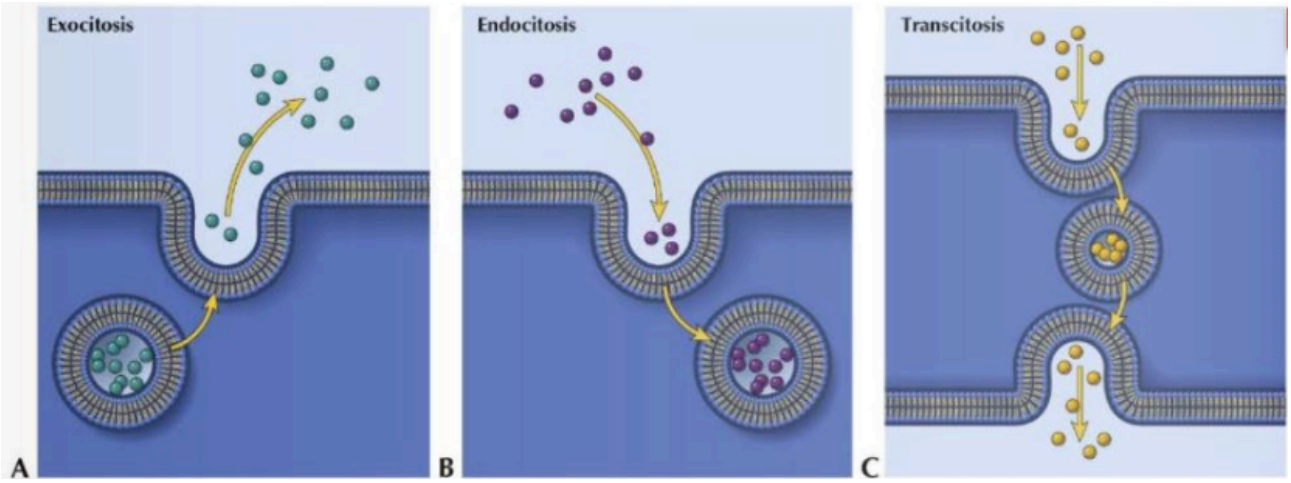
Existe otro tipo de transporte completamente distinto de los anteriores.

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**.

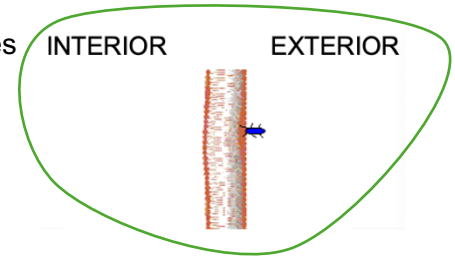
También requiere energía (ATP), por lo que se considera **transporte activo**.

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:

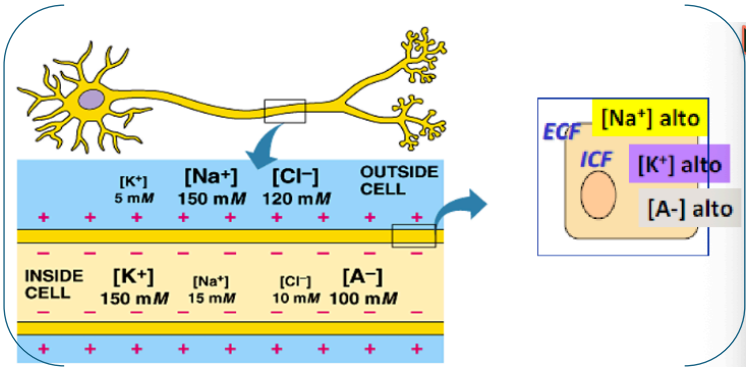
1. **Gradiente de concentración:**

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

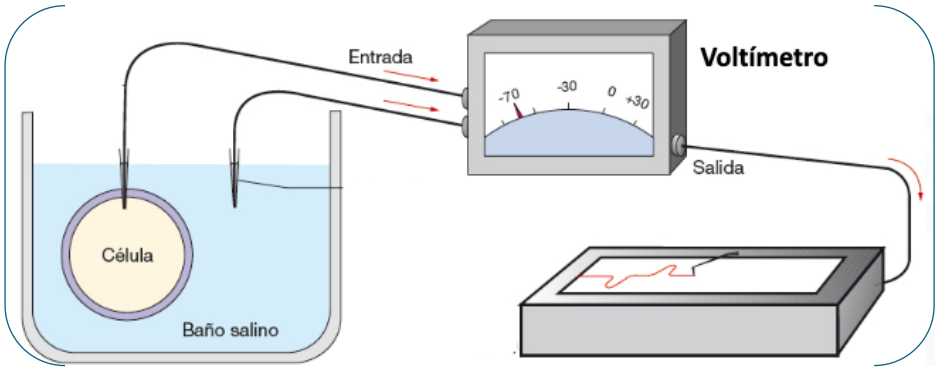
El potencial de membrana se define como la **diferencia de potencial eléctrico (voltaje)** entre el interior y el exterior de la membrana plasmática celular.

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.

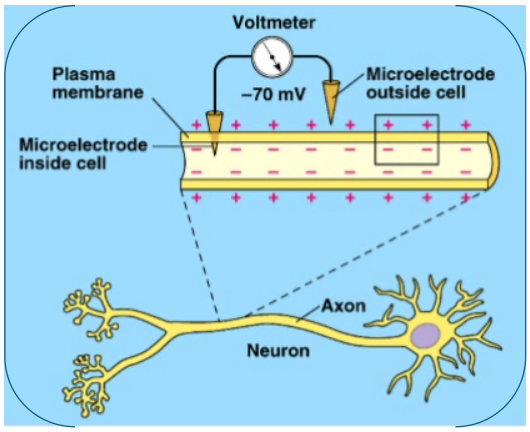
Estas contribuyen a mantener la carga negativa interior.

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.

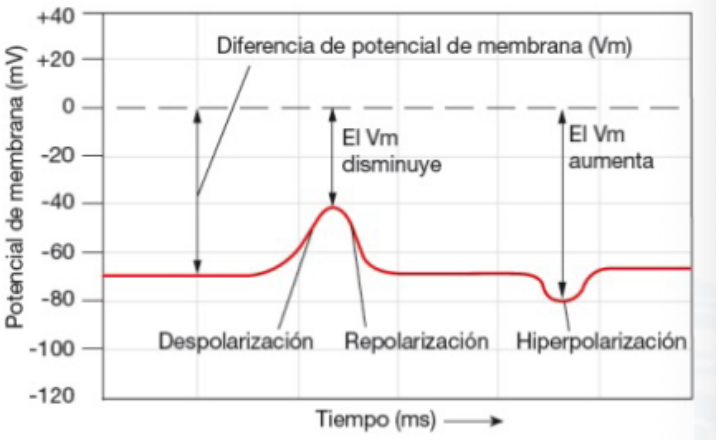
⇒ MODIFICACIONES EN EL POTENCIAL DE MEMBRANA

¿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.

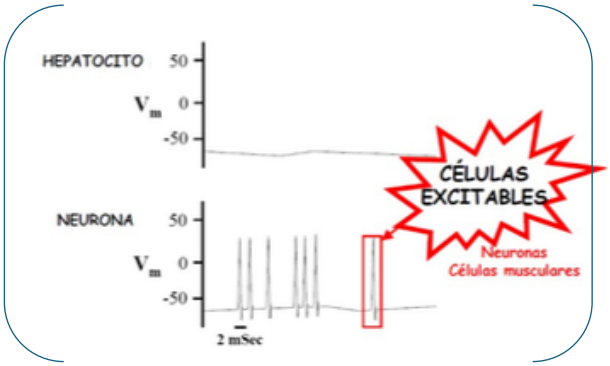
El **potencial de membrana en reposo (PMR)**, que explicamos antes, es indispensable para que una célula sea excitable.

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**.

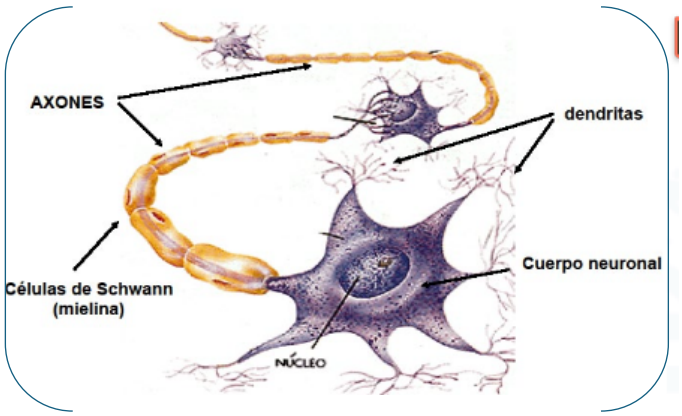
- Responden a estímulos físicos y químicos
- Producen y conducen impulsos electroquímicos: generan y conducen **potenciales de acción**

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.

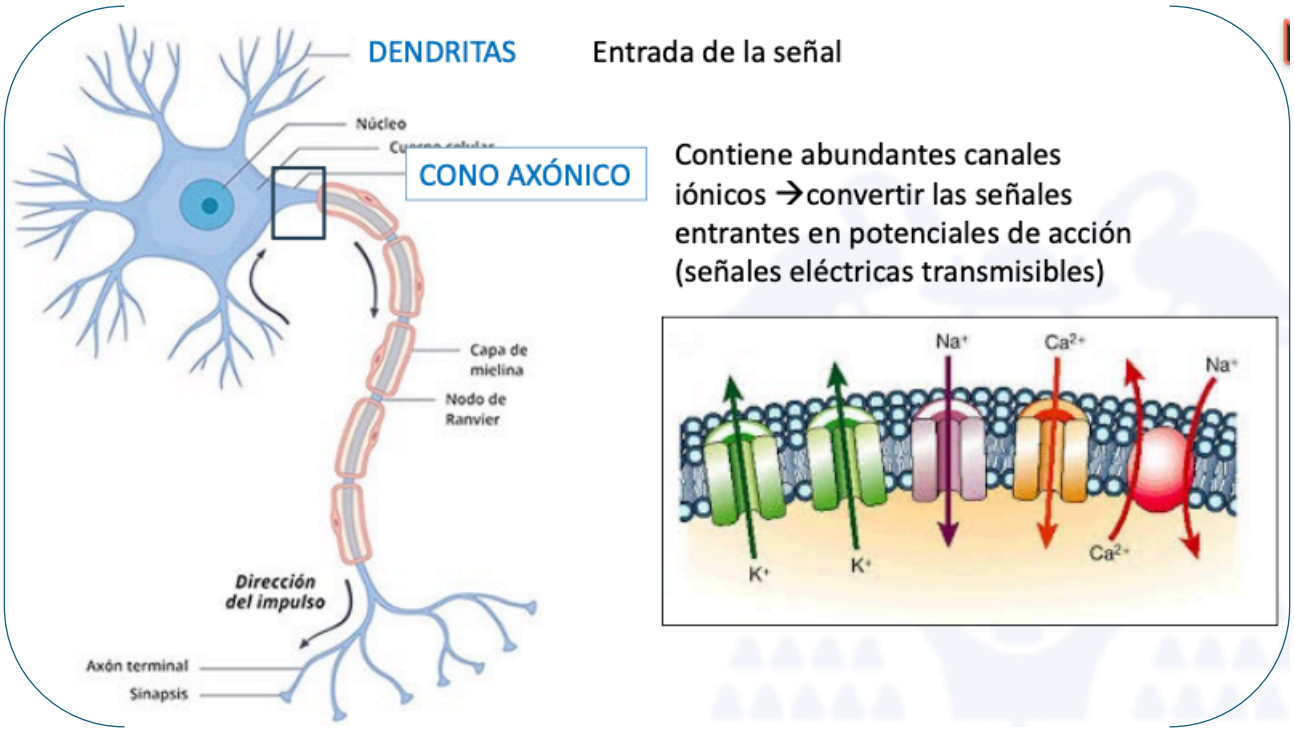
En conjunto, la neurona funciona como un **cable biológico**: recibe información (dendritas), la integra (soma) y la transmite (axón).

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:

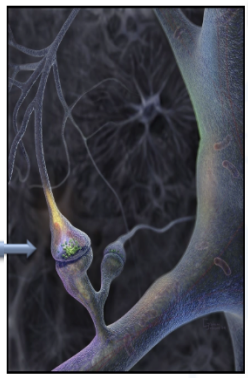
- Otra neurona,
- Una fibra muscular,
- O una célula glandular.

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.



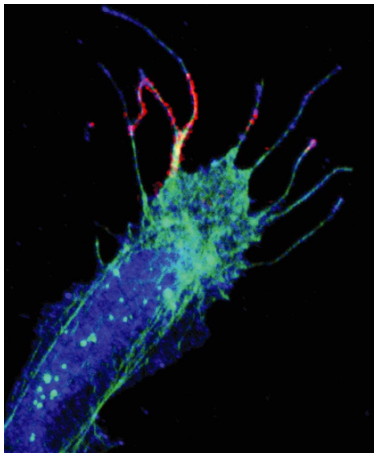
Un terminal axónico contacta con una neurona u otra célula

⇒ 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)

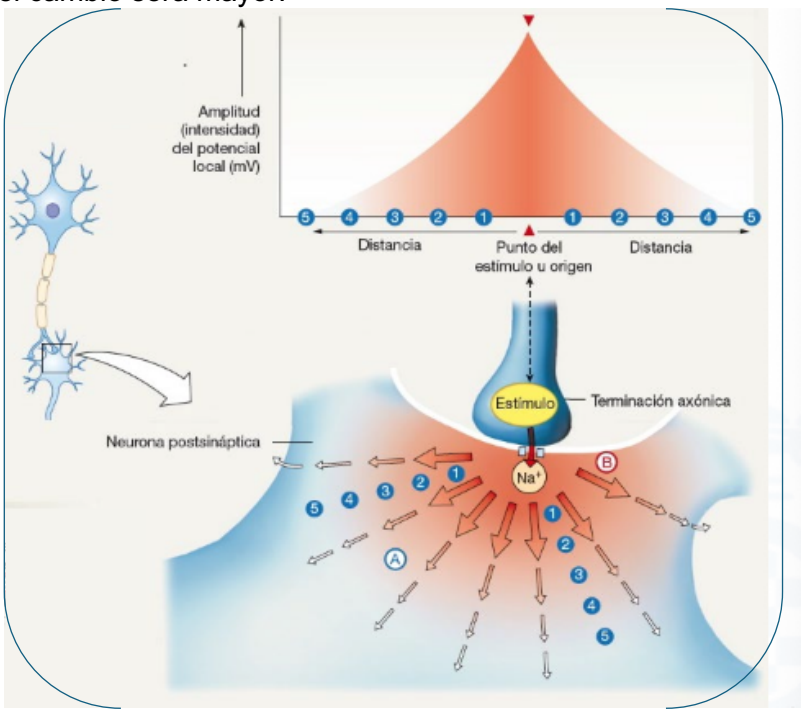
Vamos a profundizar en el concepto de **potencial graduado**, que se produce principalmente en las **dendritas y el soma** de las neuronas.

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".

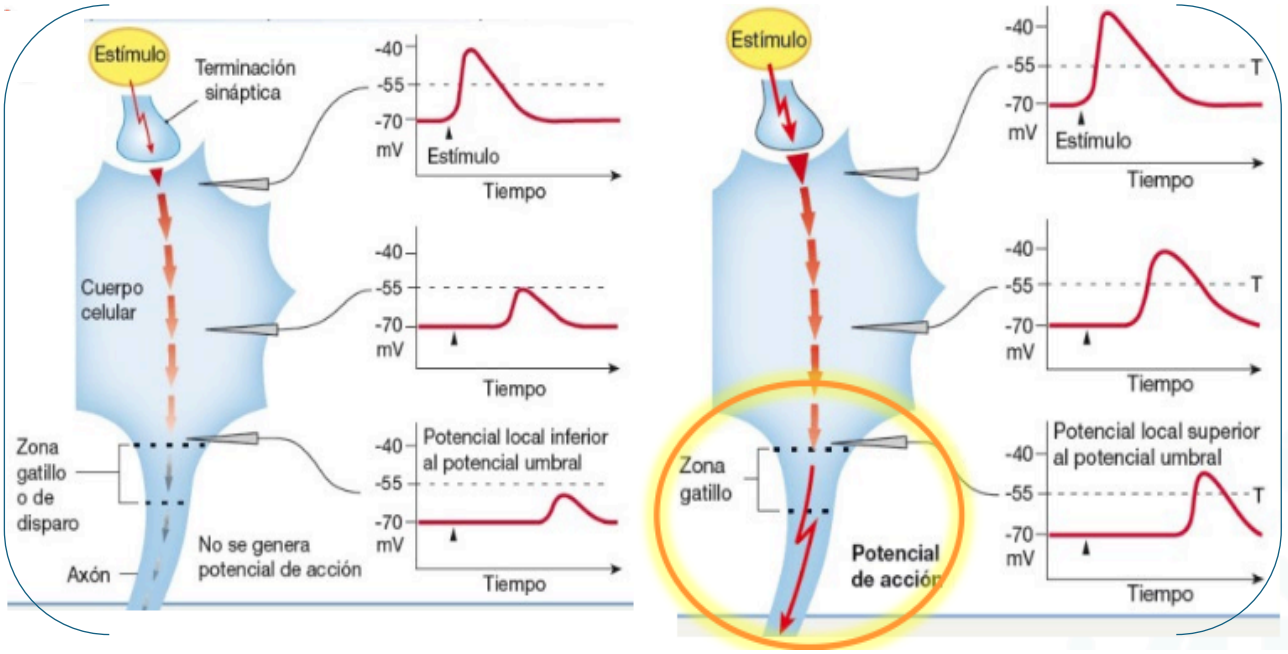
La onda de despolarización que se desplaza por la célula se conoce como **Flujo De Corriente Local**.

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.

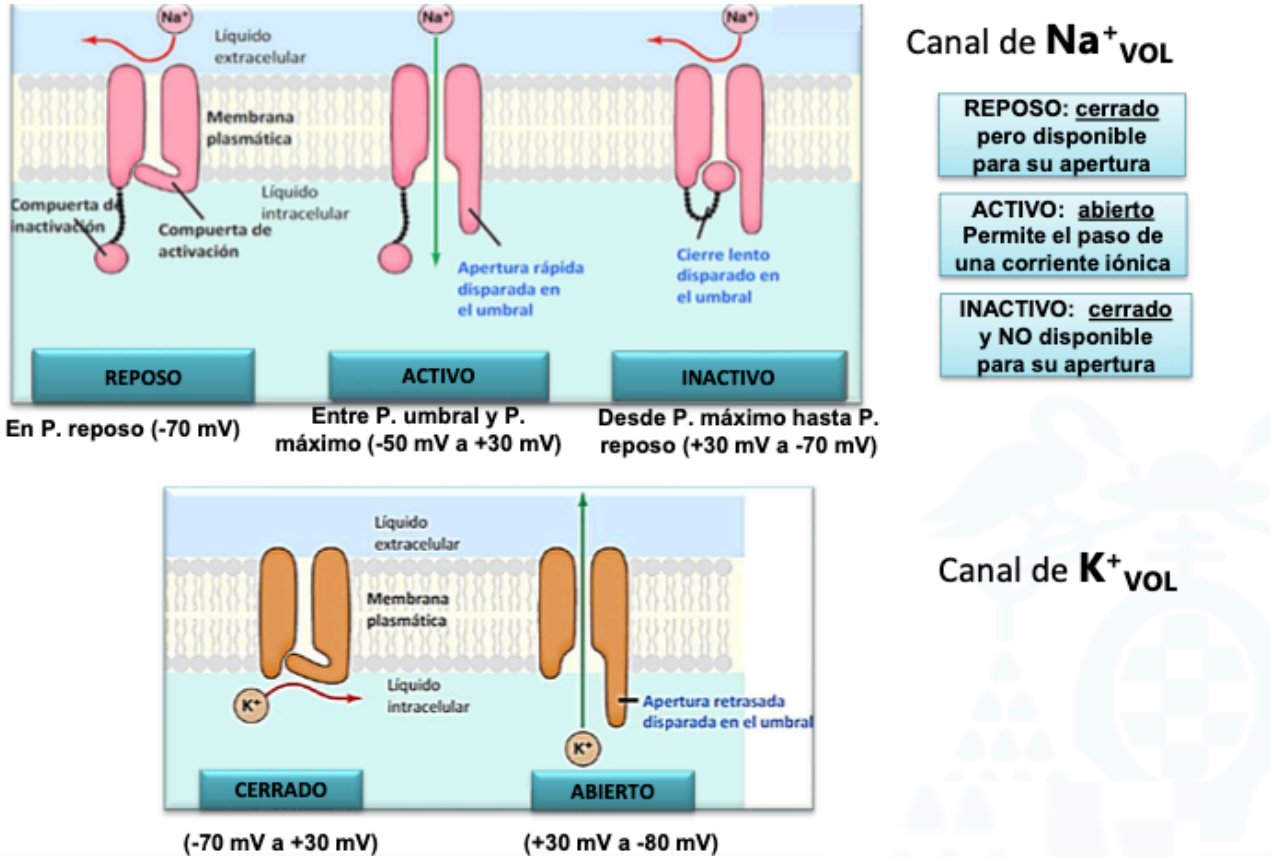
- **Potencial subumbral:** el estímulo no alcanza la intensidad suficiente para generar un potencial de acción; la membrana se despolariza un poco, pero vuelve a su estado inicial sin respuesta propagada.
- **Potencial umbral:** es el valor mínimo de despolarización necesario para abrir los canales de 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:**

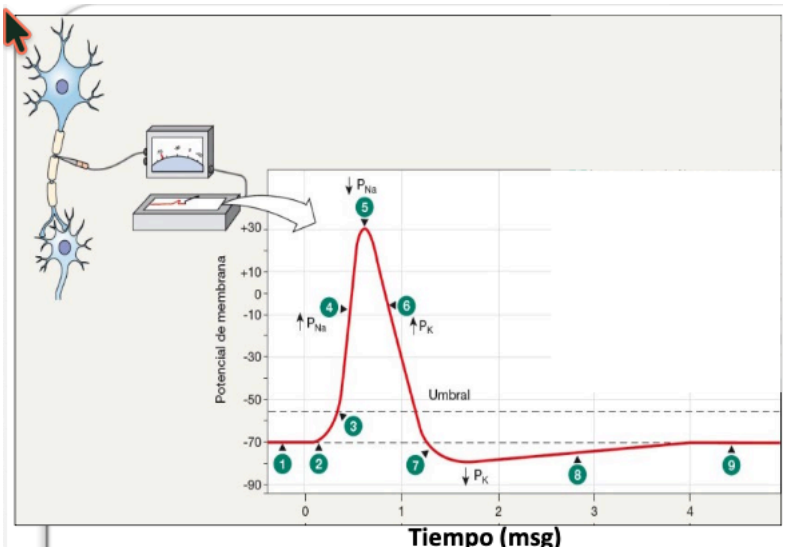
Llega un potencial graduado que reduce la negatividad de la membrana.

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

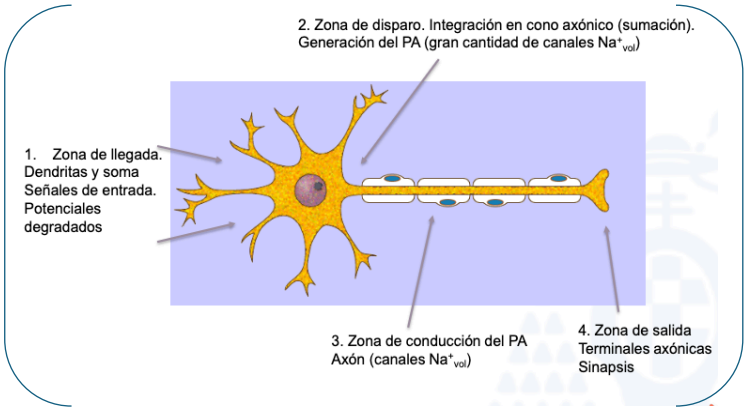
Existen **sustancias químicas externas** que pueden afectar la excitabilidad neuronal al interferir con los canales de sodio, potasio o calcio. Esto es importante tenerlo en cuenta para entender de qué manera **el conocimiento fisiológico de los canales iónicos** tiene aplicaciones clínicas directas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

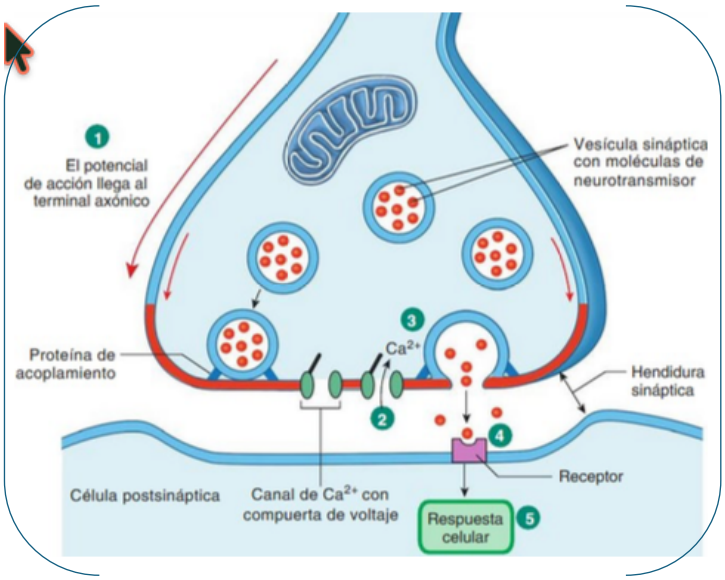
Los terminales axónicos, donde la señal eléctrica desencadena la **liberación de neurotransmisores** hacia la siguiente célula (sinapsis).

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**.

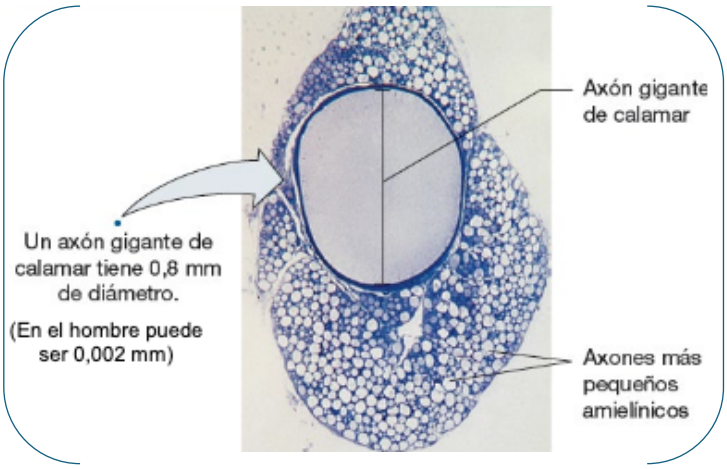
El impulso nervioso **viaja eléctricamente** dentro de la neurona y se **transmite químicamente** entre neuronas.

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**.

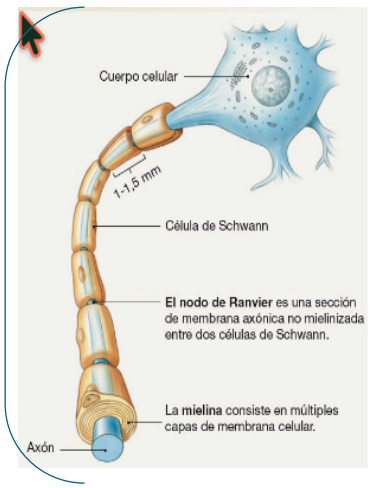
La mielina es una **cubierta lipídica** que envuelve segmentos del axón, dejando entre ellos pequeños espacios llamados **nodos de Ranvier**.

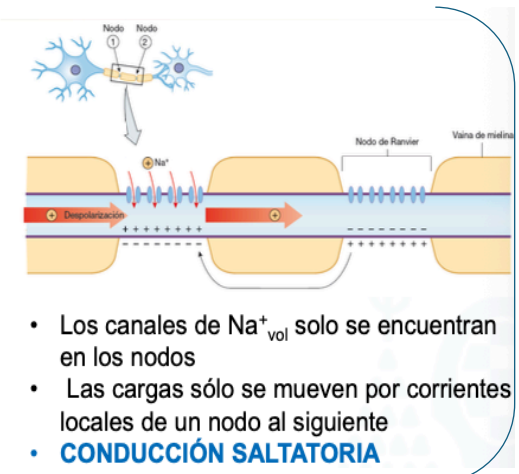
En las zonas mielinizadas no hay canales de sodio, de modo que el potencial de acción **no se genera de forma continua**, sino que **salta de nodo a nodo**.

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

Tiene tres ventajas fisiológicas importantes:

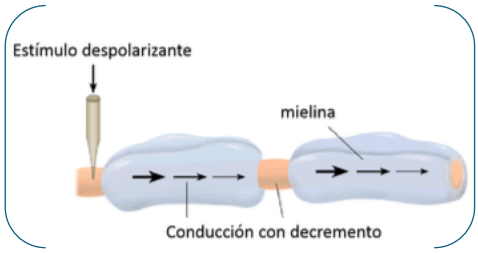
1. **Mayor velocidad:** la señal eléctrica viaja mucho más deprisa, ya que los canales se abren solo en los nodos (cada 1–2 mm).
2. **Menor gasto energético:** la bomba Na^+/K^+ solo necesita restablecer el equilibrio en los nodos, no a lo largo de todo el axón.
3. **Protección estructural:** la mielina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

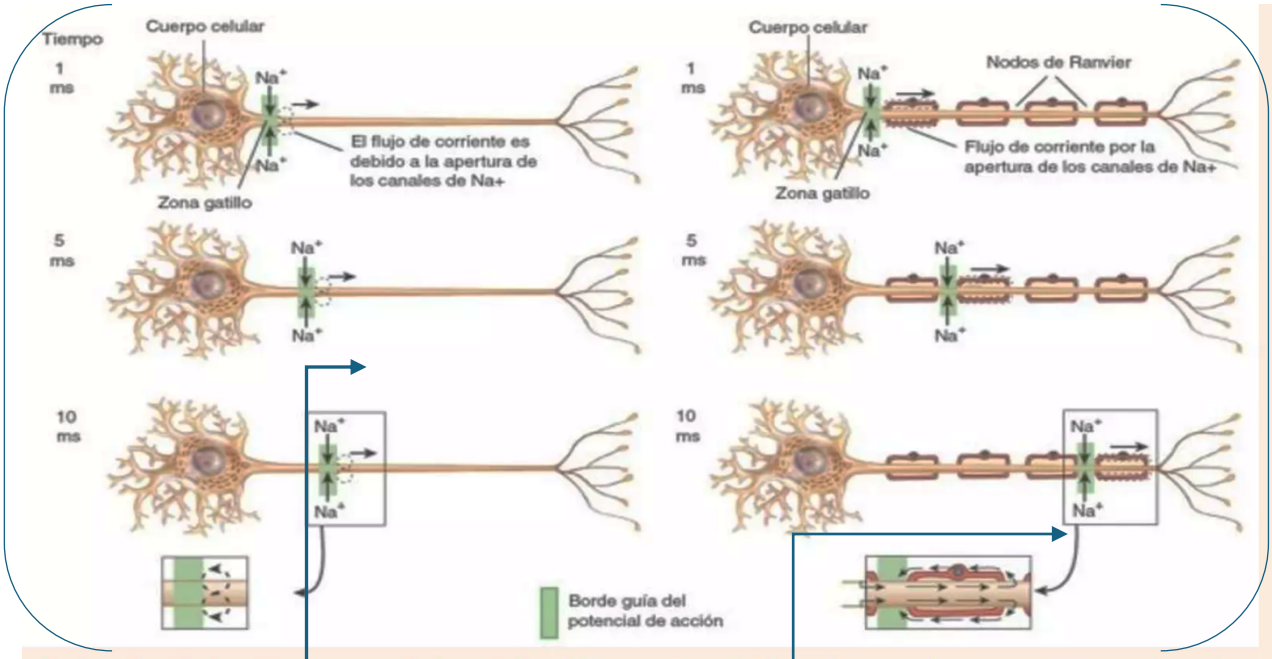
El término "saltatorio" no implica que la corriente "salte" literalmente, sino que la **despolarización se propaga rápidamente** por corrientes locales dentro del axón, activando los nodos sucesivos.

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.

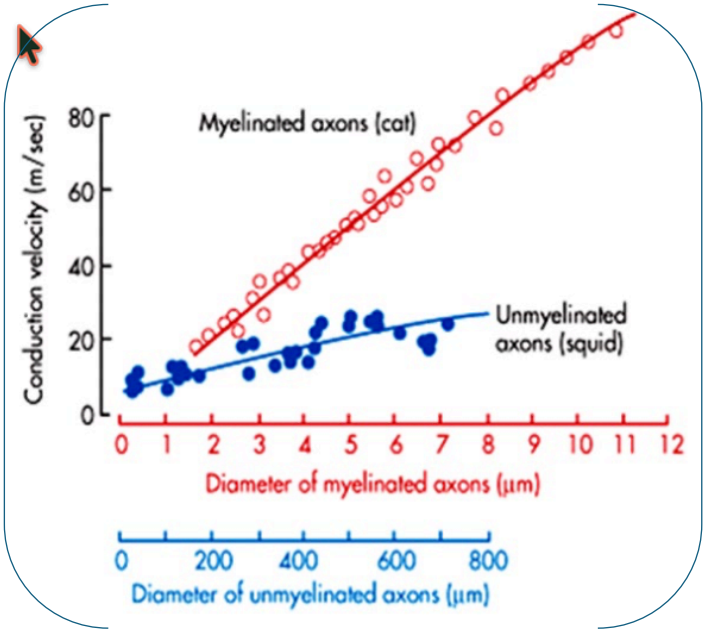
Este contraste permite al sistema nervioso priorizar la **velocidad en las funciones críticas** (movimiento, reflejos, visión) y ahorrar energía en otras menos urgentes.

⇒ 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**.

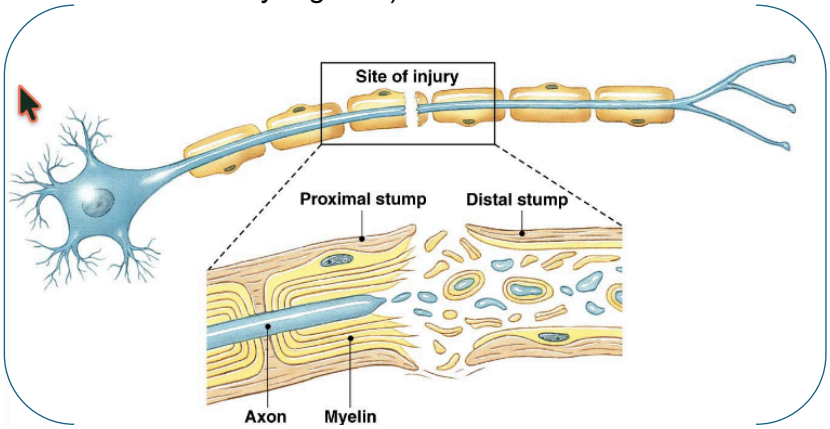
⇒ REGENERACIÓN DE LOS AXONES

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