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.

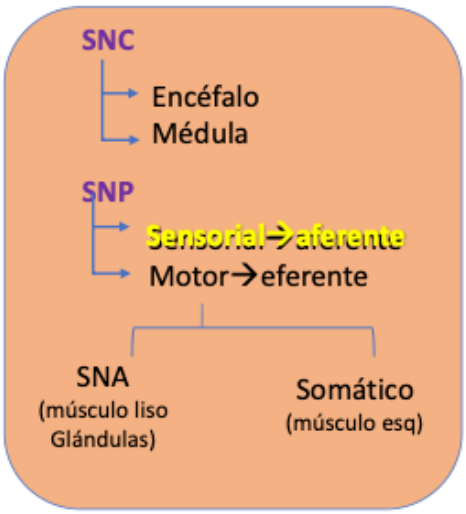
⇒ ORGANIZACIÓN FUNCIONAL

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

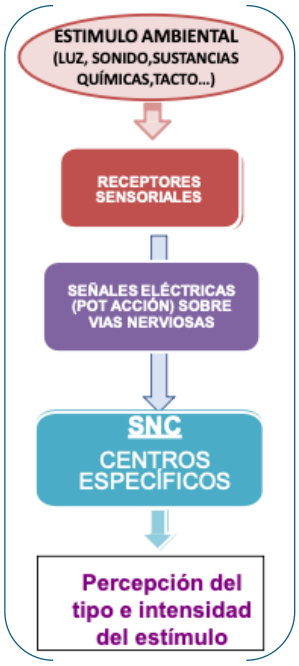
Cada uno tiene:

- 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

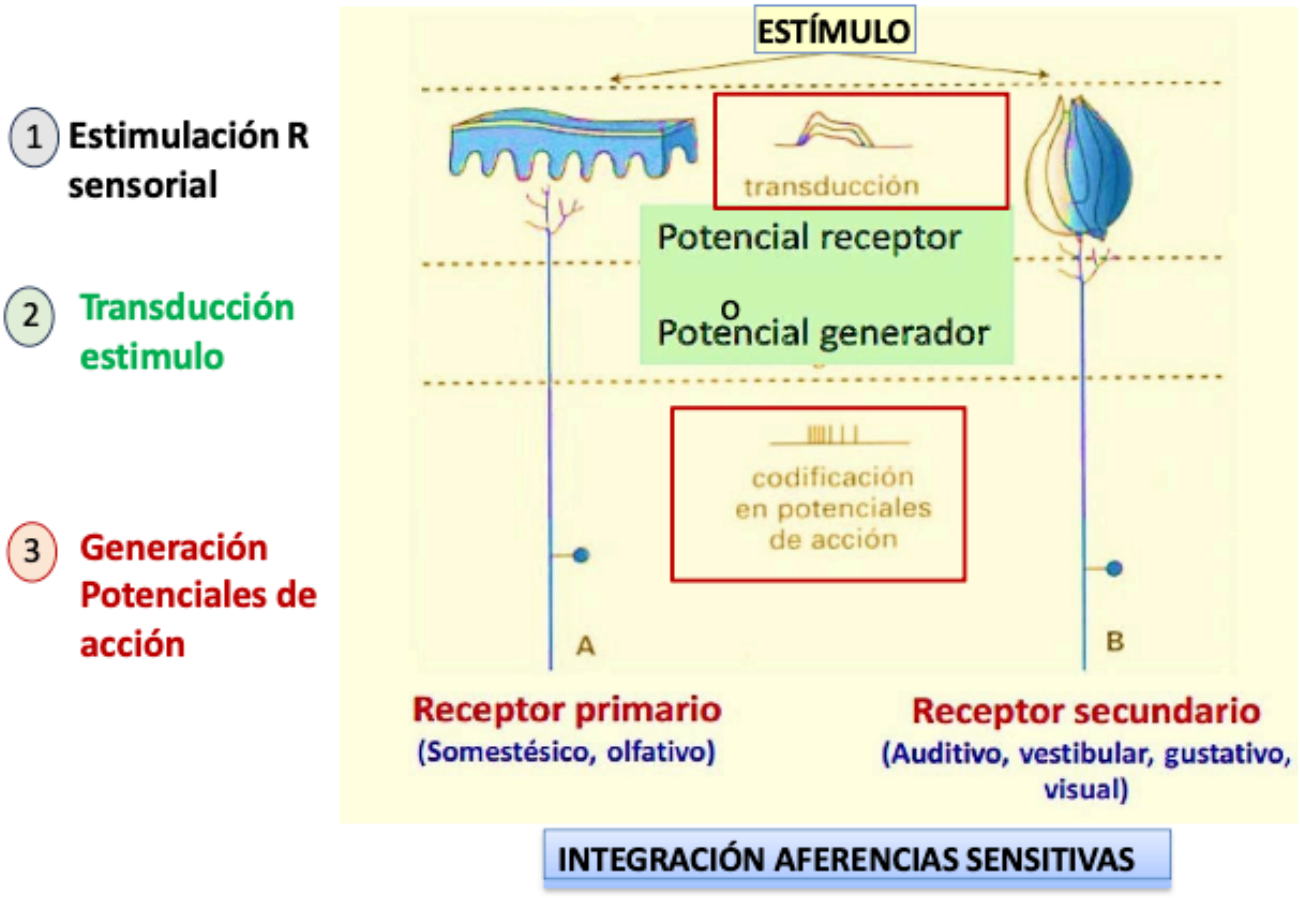
Este principio será esencial para entender:

- 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:

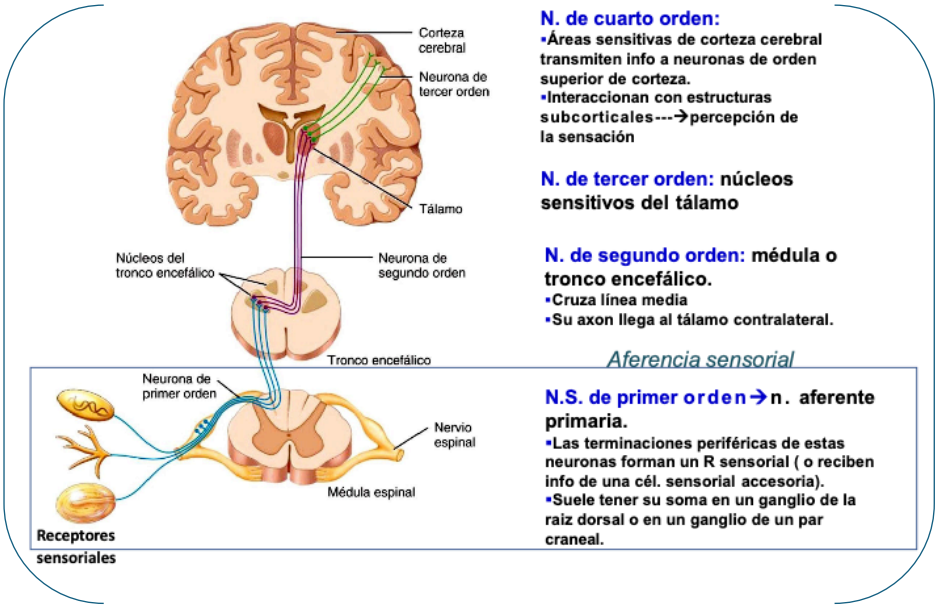
- No hay señal nerviosa
- No hay información
- No hay percepción

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>**

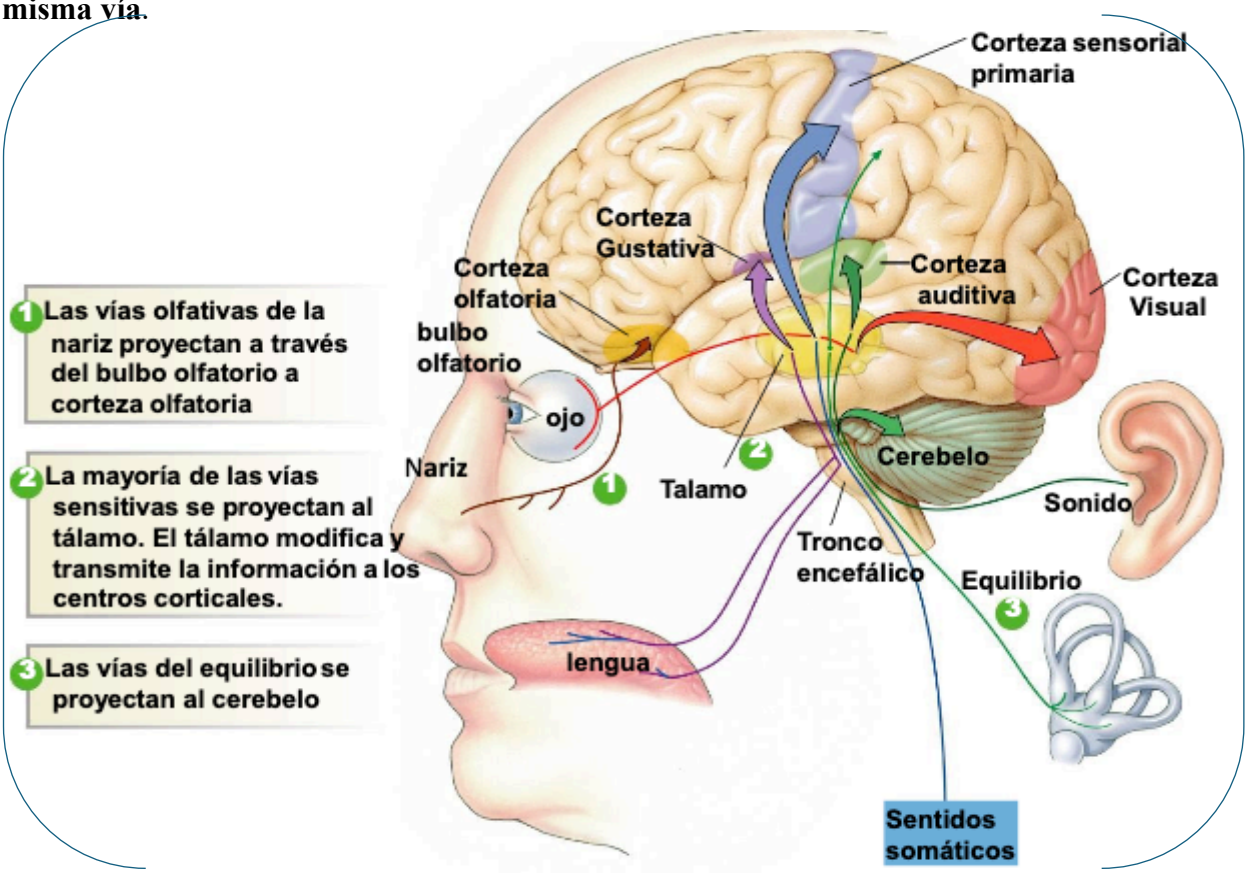
Vamos a ver el **destino central de la información sensorial**, distinguiendo:

- **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:

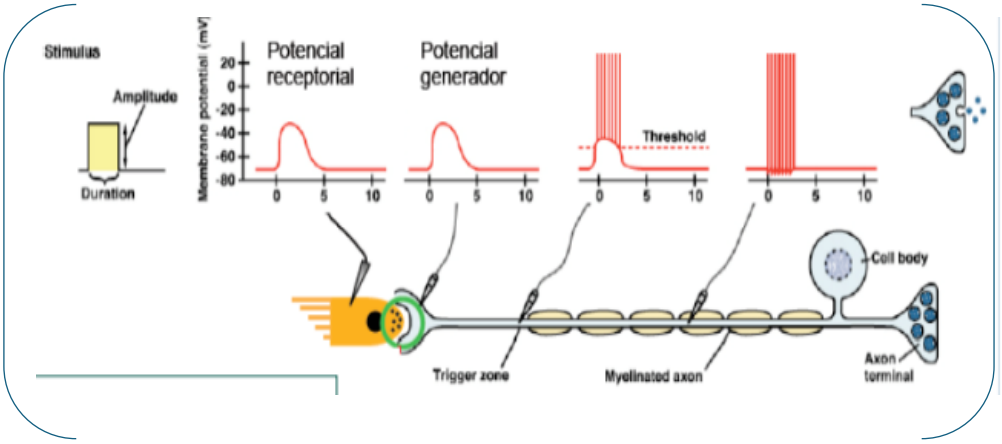
- La vía nerviosa seguida
- El centro de integración final
- La modalidad sensorial implicada

👉 No todas las sensaciones se procesan igual, aunque todas sigan el mismo principio general.

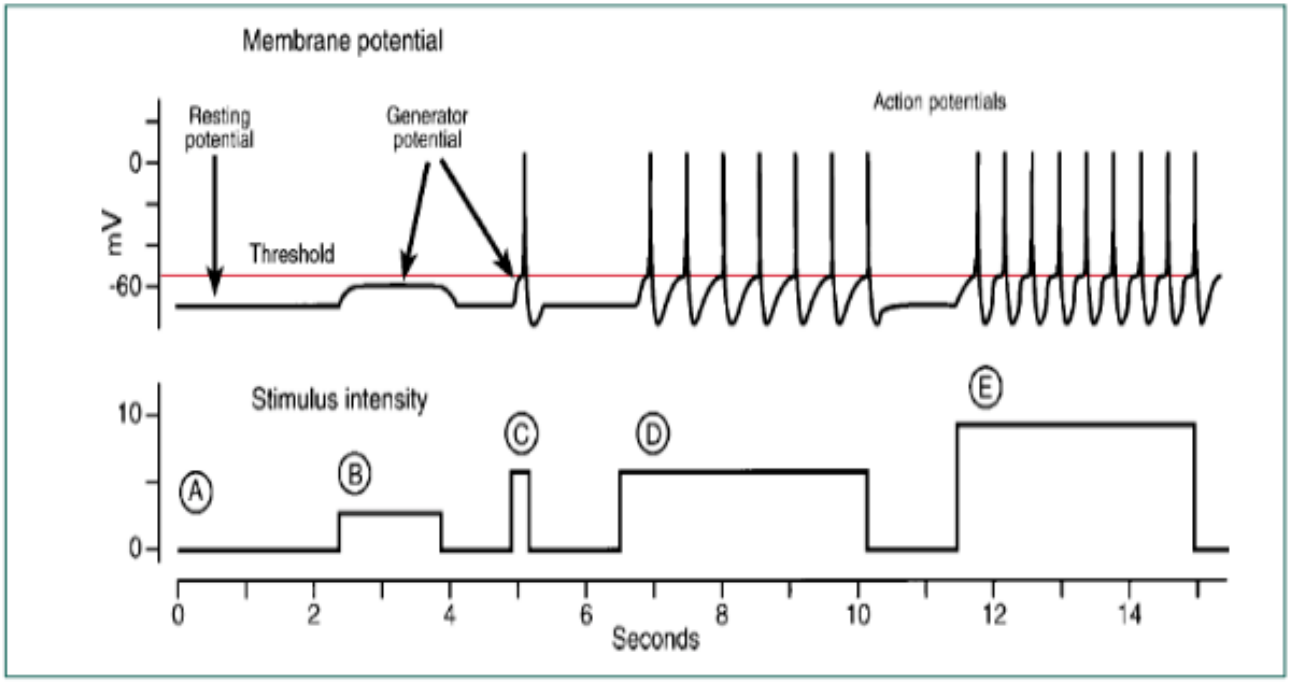
⇒ <u>CODIFICACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN SENSORIAL</u>

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:

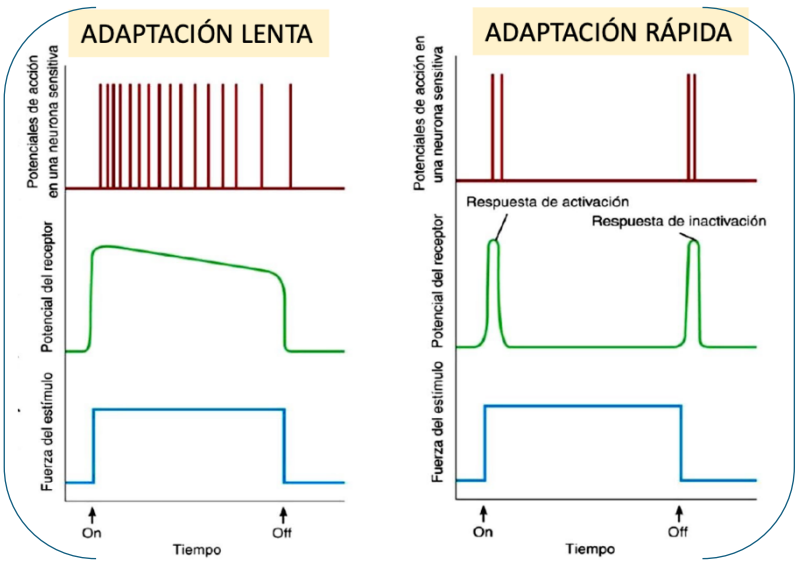
- **Adaptación lenta**
- **Adaptación rápida**

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

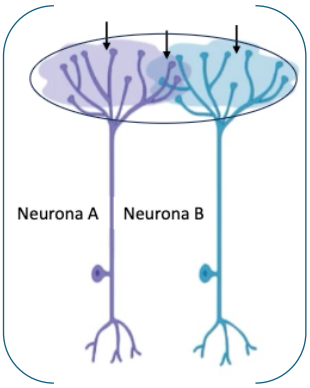
Gracias a esto:
- No somos conscientes de la ropa todo el tiempo
- Pero sí notamos cuando algo se mueve sobre la piel

👉 **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**.

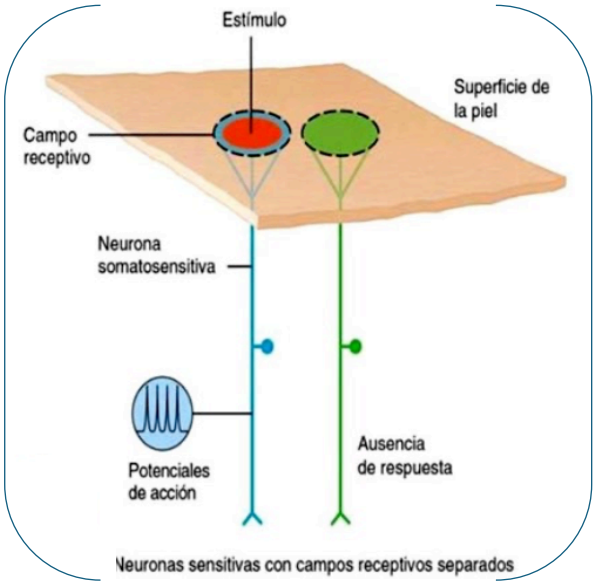


En esta imagen se muestra:

- 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**

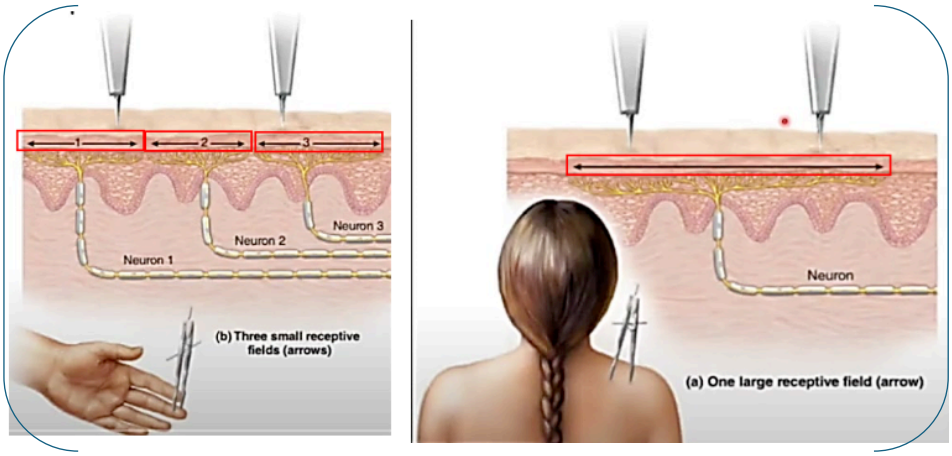
La calidad de la percepción espacial **no depende del tamaño del estímulo**, sino del tamaño y distribución de los campos receptores.

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

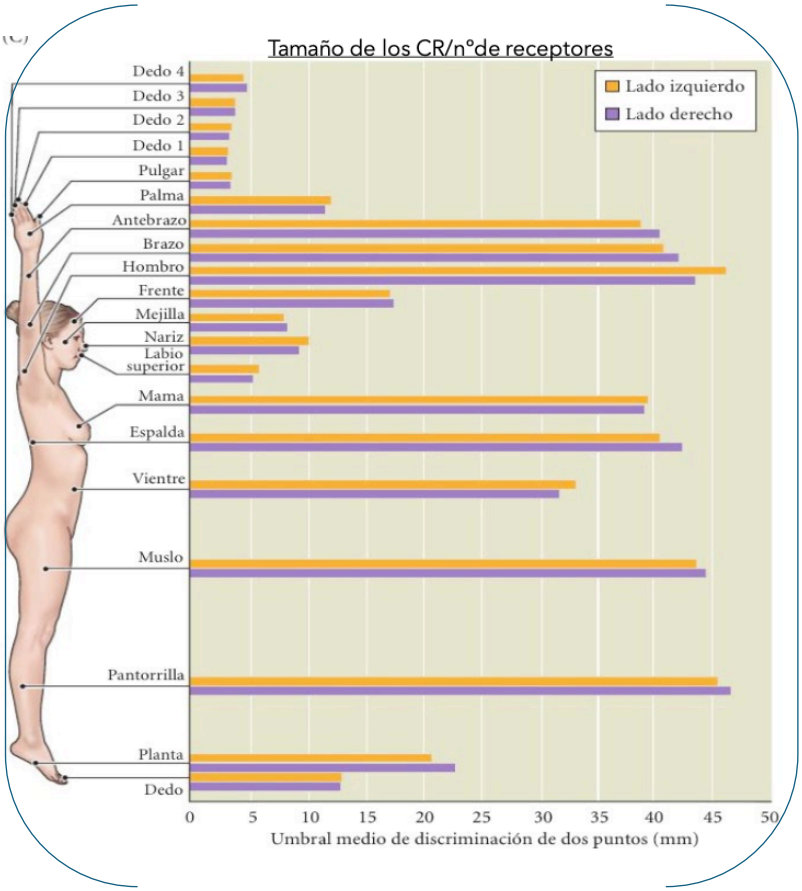
Cuanto mayor es:

- 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

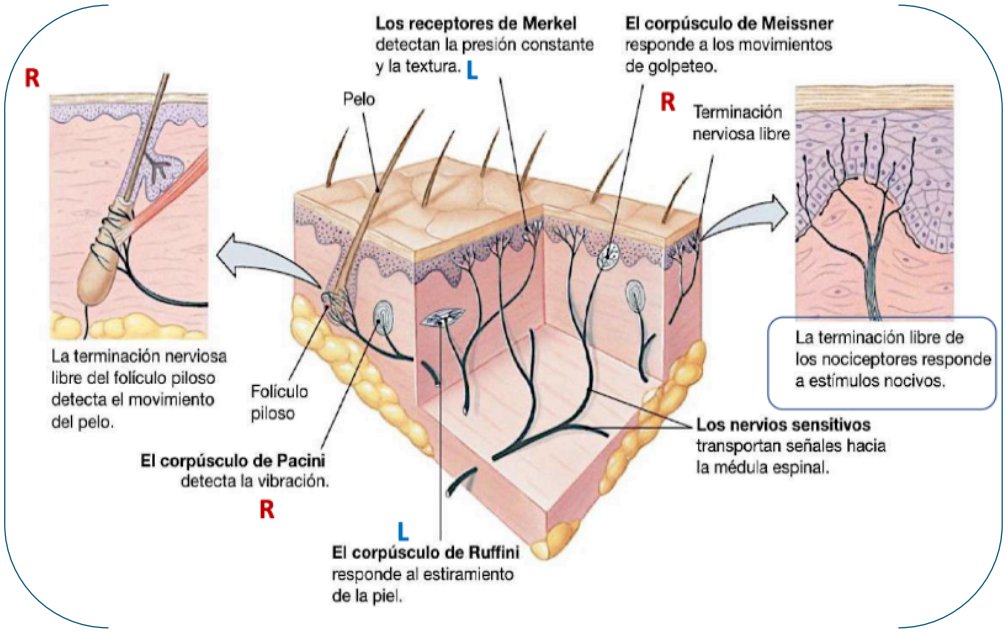
Se destaca que estas modalidades:
- Estructuran la información sensorial
- Construyen una **imagen o esquema corporal coherente.**

→ 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**

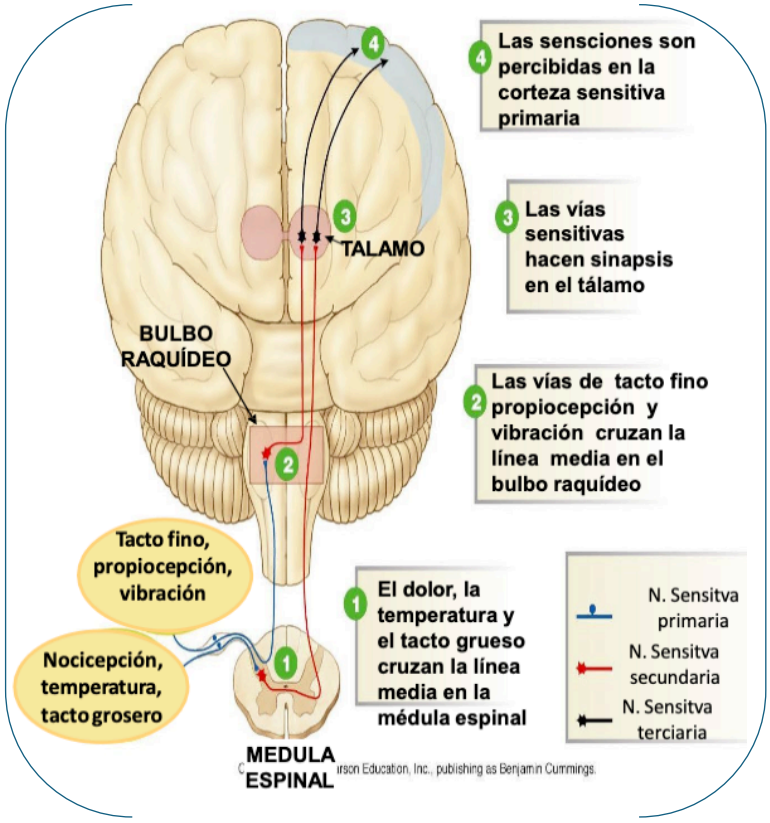
Estructuras señaladas:
- Médula espinal
- Bulbo raquídeo
- Tálamo
- Corteza somatosensorial primaria

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.

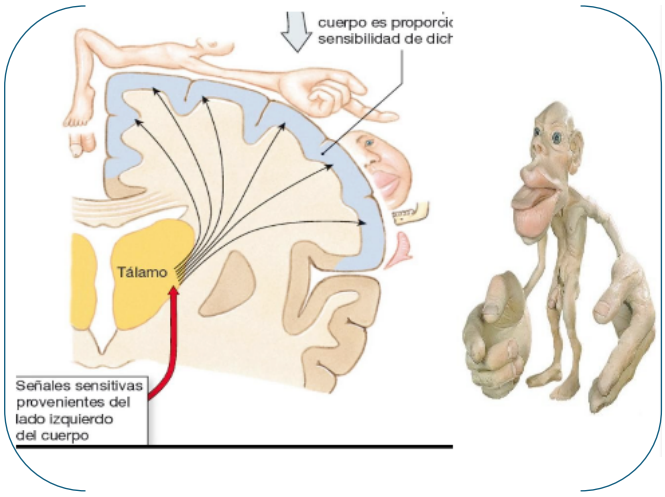
3. El papel del tálamo

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

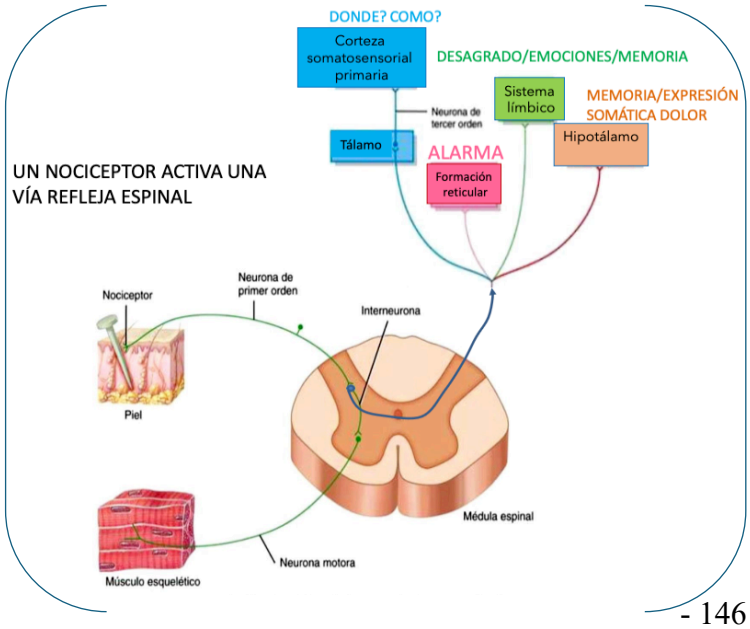
Esto explica:
- El dolor sordo
- El dolor persistente
- La sensación desagradable prolongada

👉 **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.

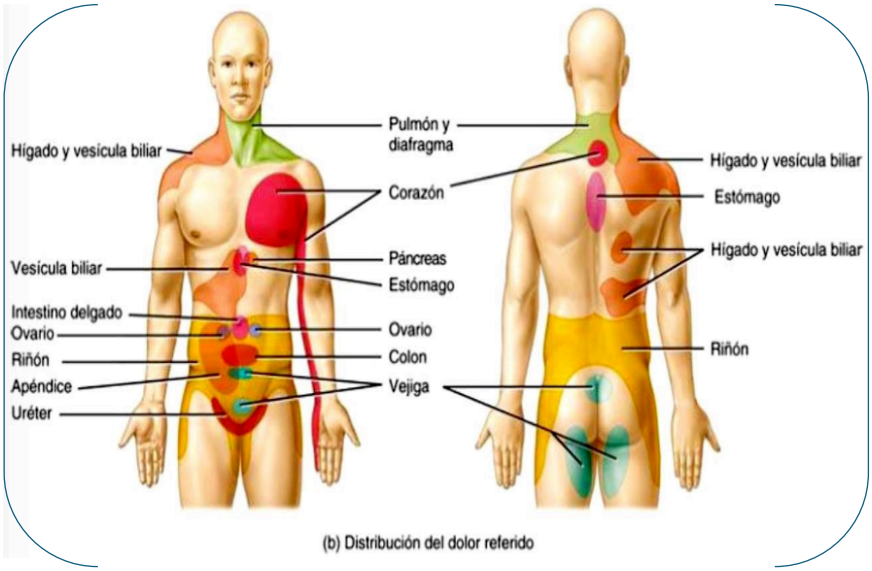
⇒ DOLOR REFERIDO/VISCERAL Y DERMATOMAS

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.

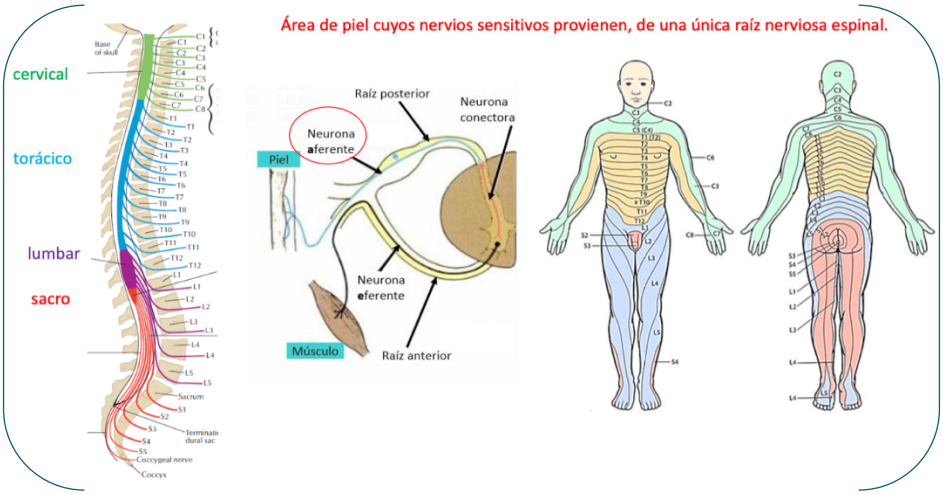
El dolor referido demuestra que:
- La percepción es una construcción
- No una copia fiel del origen del estímulo

⇒ 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

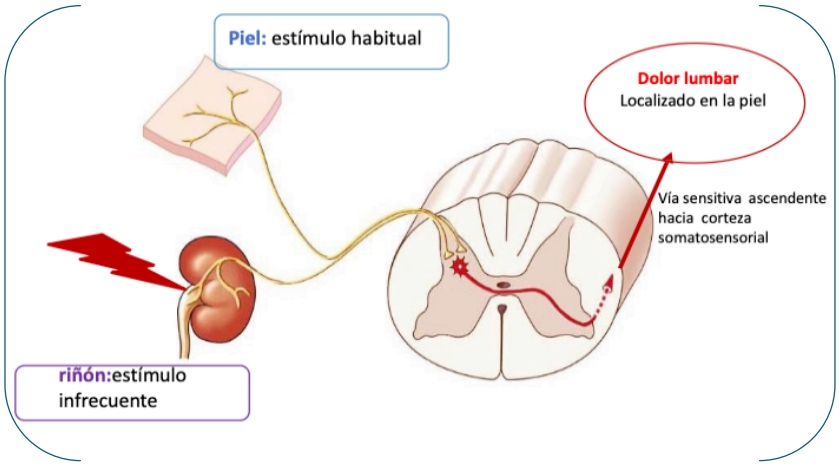
De ahí que el dolor visceral se proyecte a dermatomas concretos.

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**

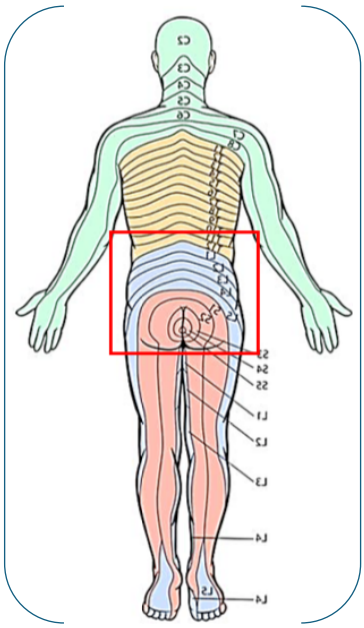


Ambos comparten una **vía sensitiva ascendente común** hacia la corteza somatosensorial.

→ **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)

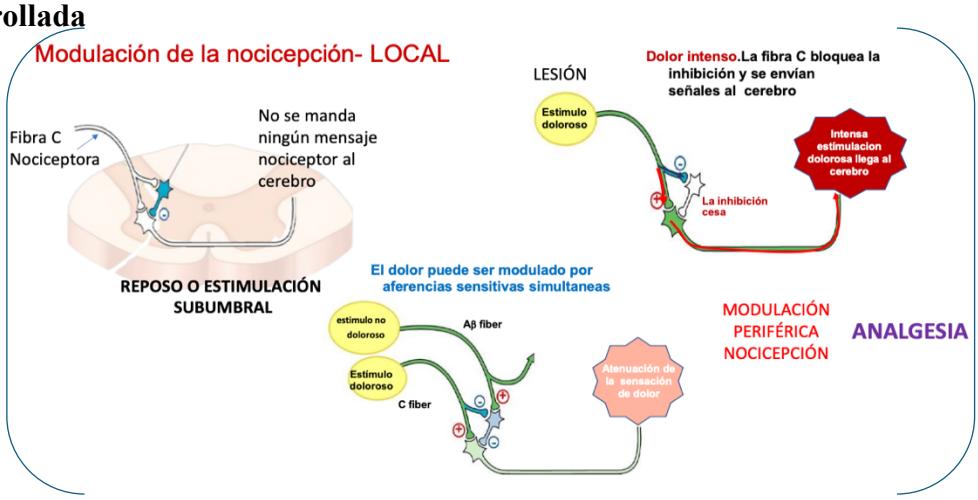
Aquí se explica cómo el **dolor puede ser modulado a nivel local**, antes de llegar al encéfalo, mediante la interacción entre distintas fibras nerviosas:
- **Fibras C** → nociceptoras (dolor)
- **Fibras Aβ** → tacto (no dolorosas)

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:

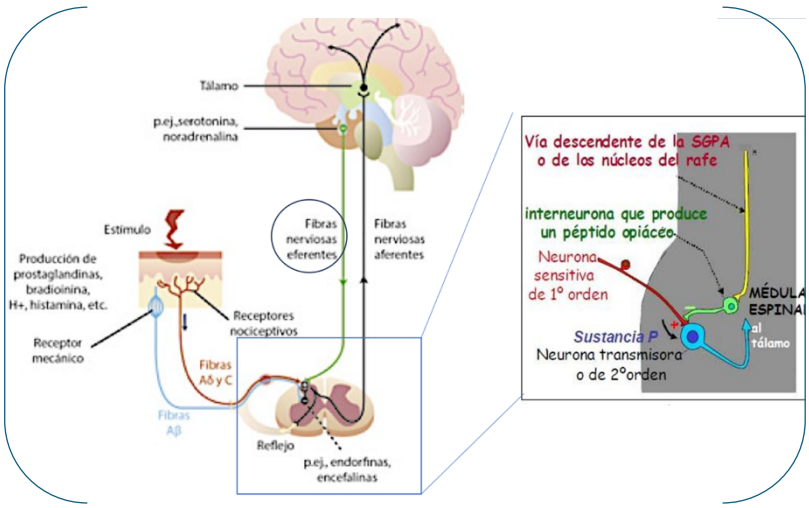
- Es un mensaje **regulable**
- Filtrado a nivel periférico y medular

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.

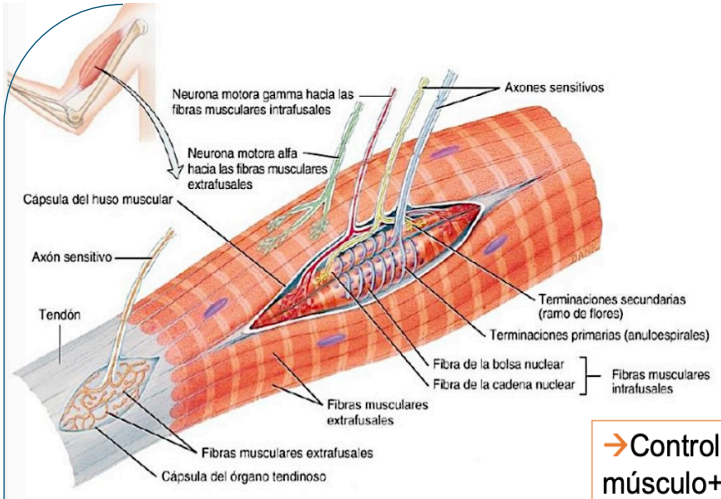
⇒ **<u>SENSACIONES PROPIOCEPTIVAS Y REFLEJOS</u>**

En este tema se introducen los **receptores propioceptivos** y los **reflejos asociados al control muscular**, destacando:
- **Huso muscular**
- **Órgano tendinoso de Golgi**
- **Propioceptores articulares**

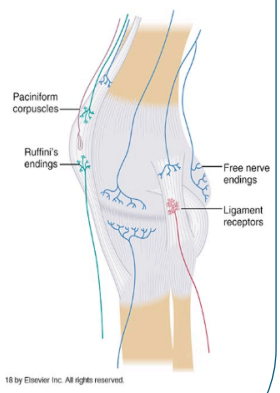
Se mencionan dos reflejos:
- **Reflejo miotático**
- **Reflejo miotático inverso**

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:

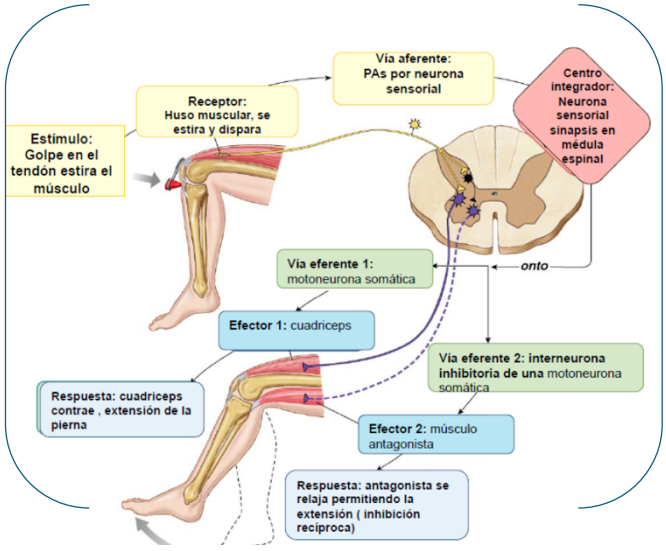
- Dentro del músculo esquelético

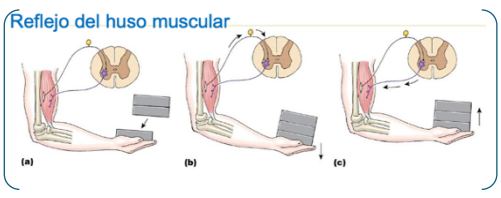
Detecta:

- 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.

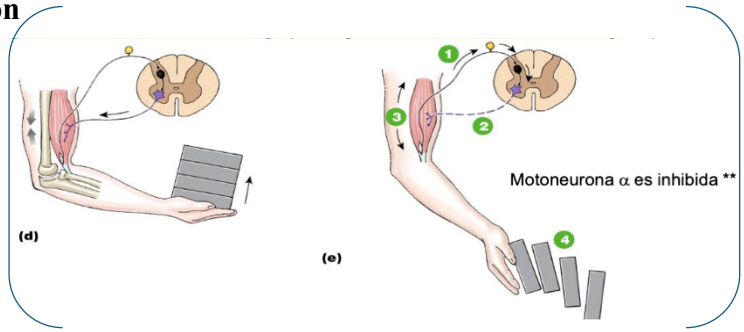
1. Localización y estructura

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

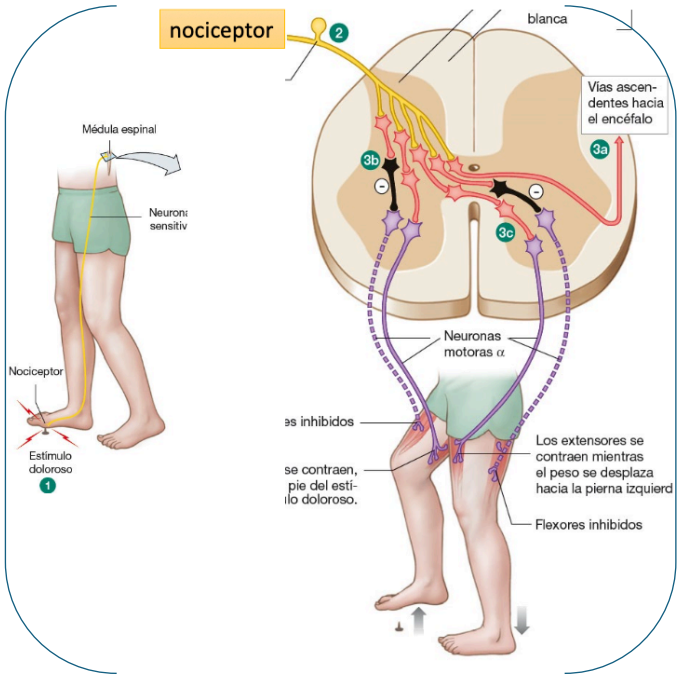
👉 El órgano tendinoso de Golgi es el **sensor de seguridad del músculo**.
Gracias a él, el sistema nervioso puede:

- 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:

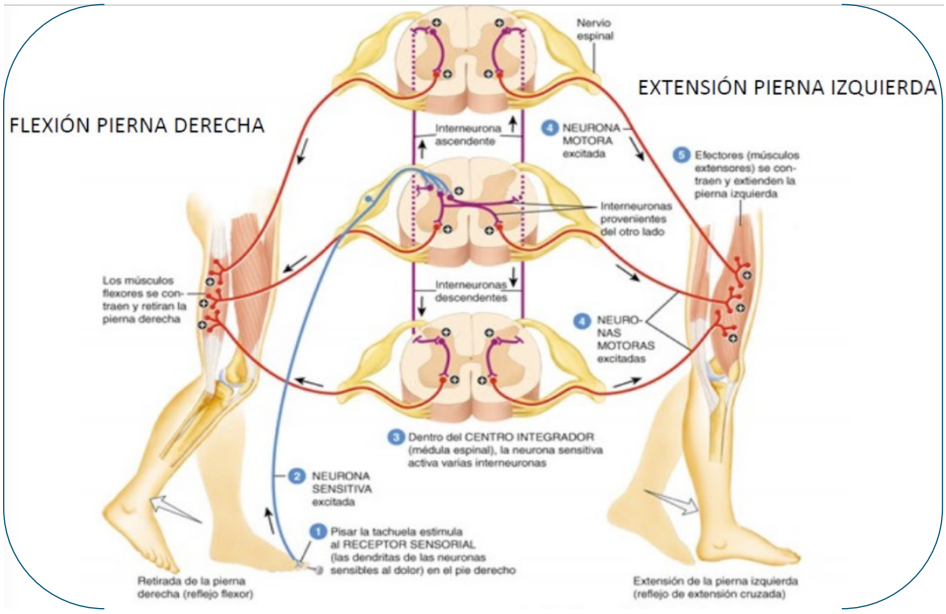
- Involucran **varias sinapsis**
- Activan múltiples interneuronas
- Coordinan varios grupos musculares

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

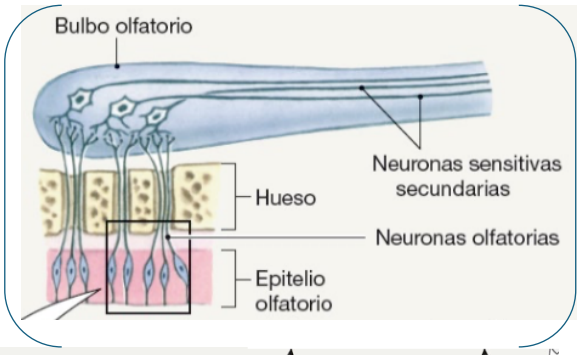
⇒ **SENTIDOS QUÍMICOS: OLFATO**

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



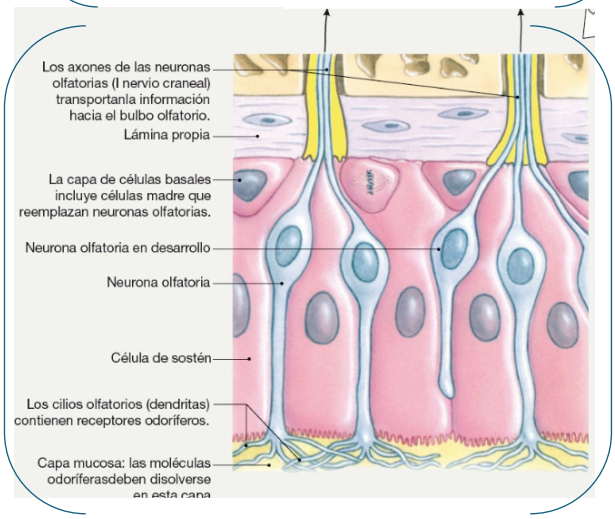
El olfato detecta:

- **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



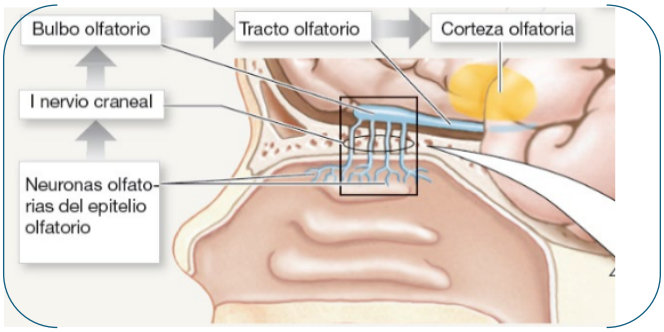
El **epitelio olfatorio** es la estructura donde ocurre todo el proceso inicial:

- 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

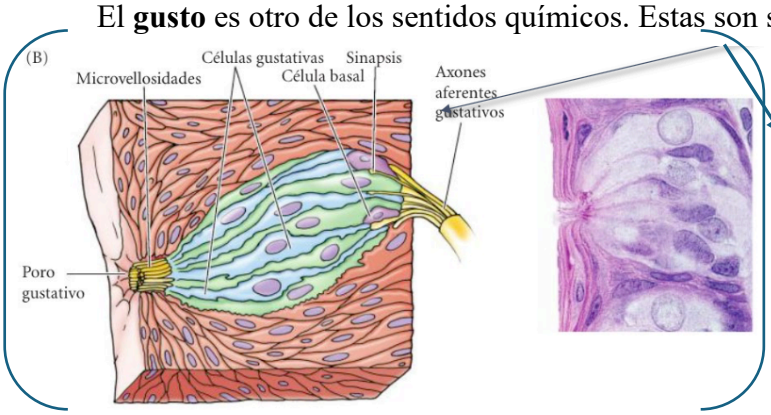
👉 **Idea clave**

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

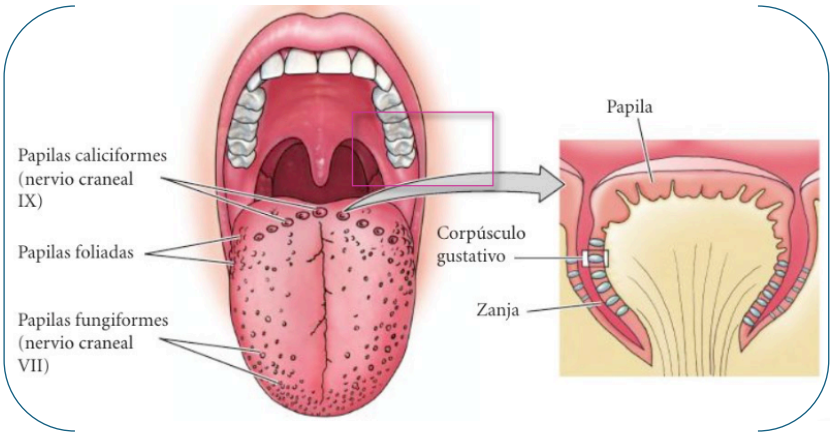
Existe gran **variabilidad individual** en el número de papilas gustativas:

- 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**

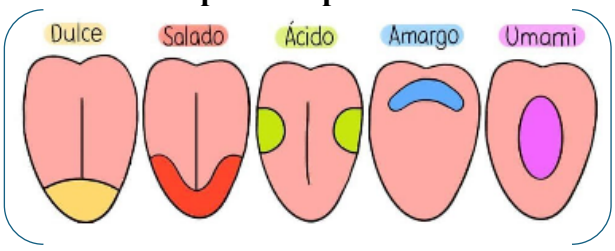
El gusto es un sentido químico:

- 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)

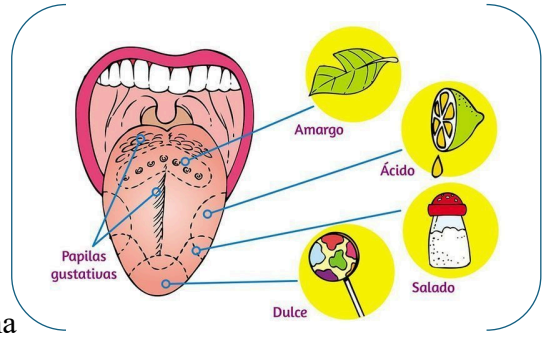
Esto explica:

- 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**

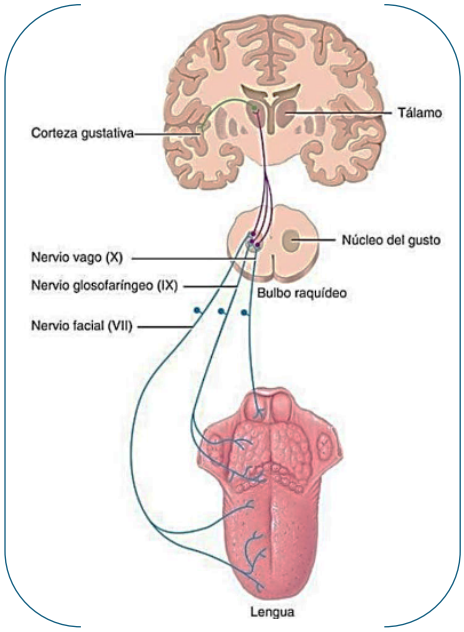


👉 El clásico "mapa rígido de la lengua" es una **simplificación didáctica**, no una realidad estricta.

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:

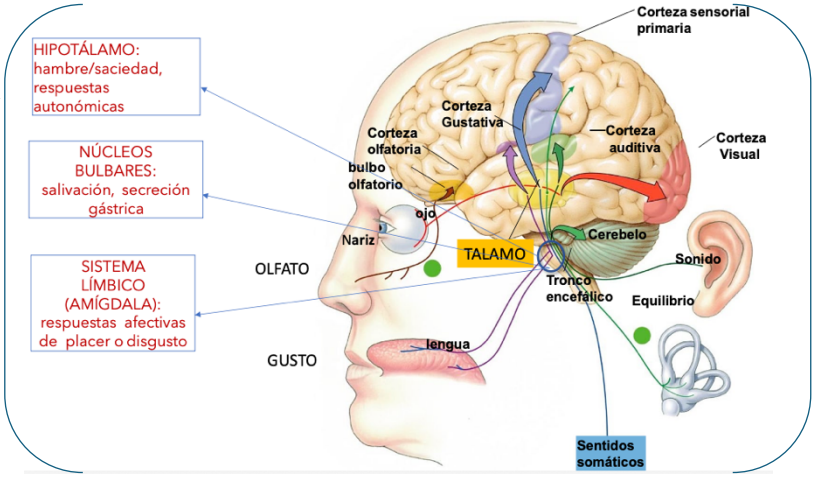
- Limitado en modalidades
- Altamente significativo desde el punto de vista biológico
- Estrechamente integrado con emociones y conducta alimentaria

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)**

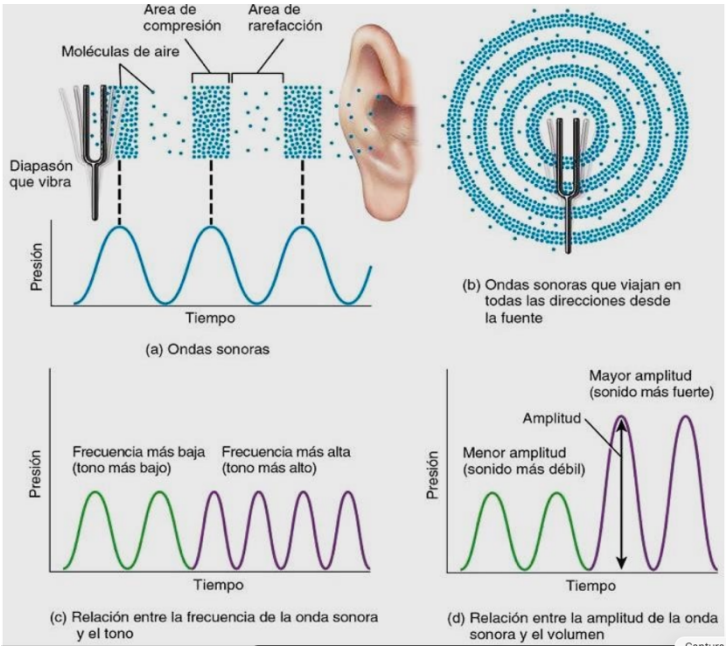
→ **Explicación desarrollada**
Antes de estudiar el oído, hay que entender **qué tipo de energía detecta**.

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**:

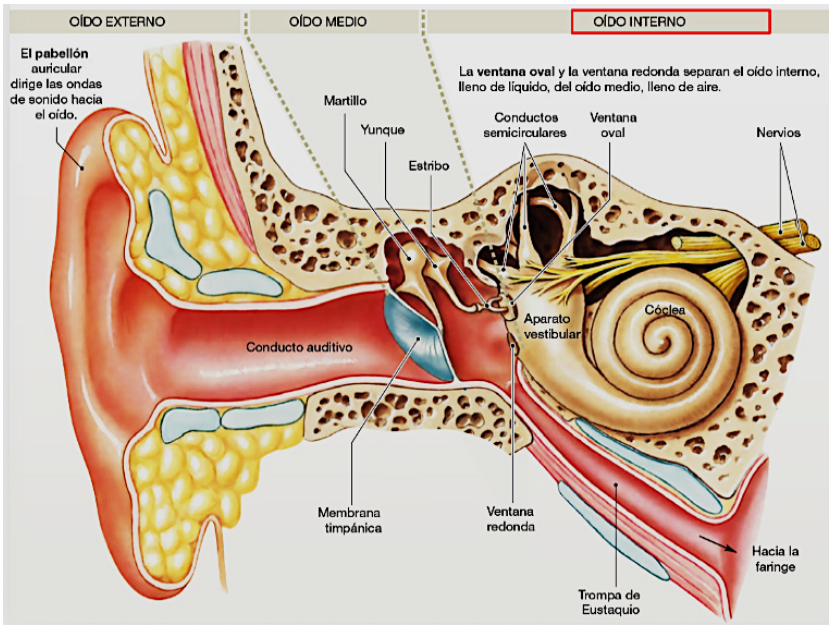
- **Sistema vestibular**
- **Cóclea**

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

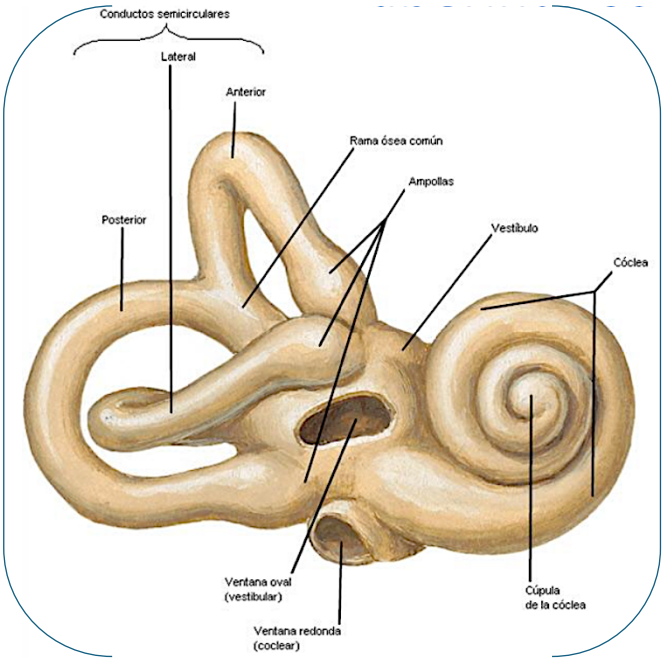
Aquí entramos en la **organización interna del oído interno**, distinguiendo claramente entre:

- **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.



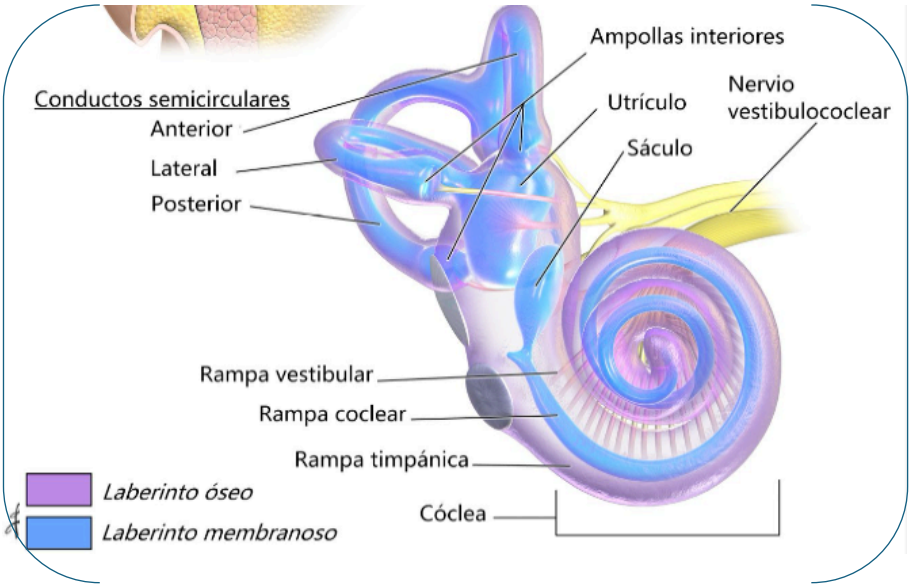
→ Pasamos a analizar estas imágenes ya que son **clave para entender la transducción auditiva y vestibular**, porque introduce un principio electrofisiológico fundamental.

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:

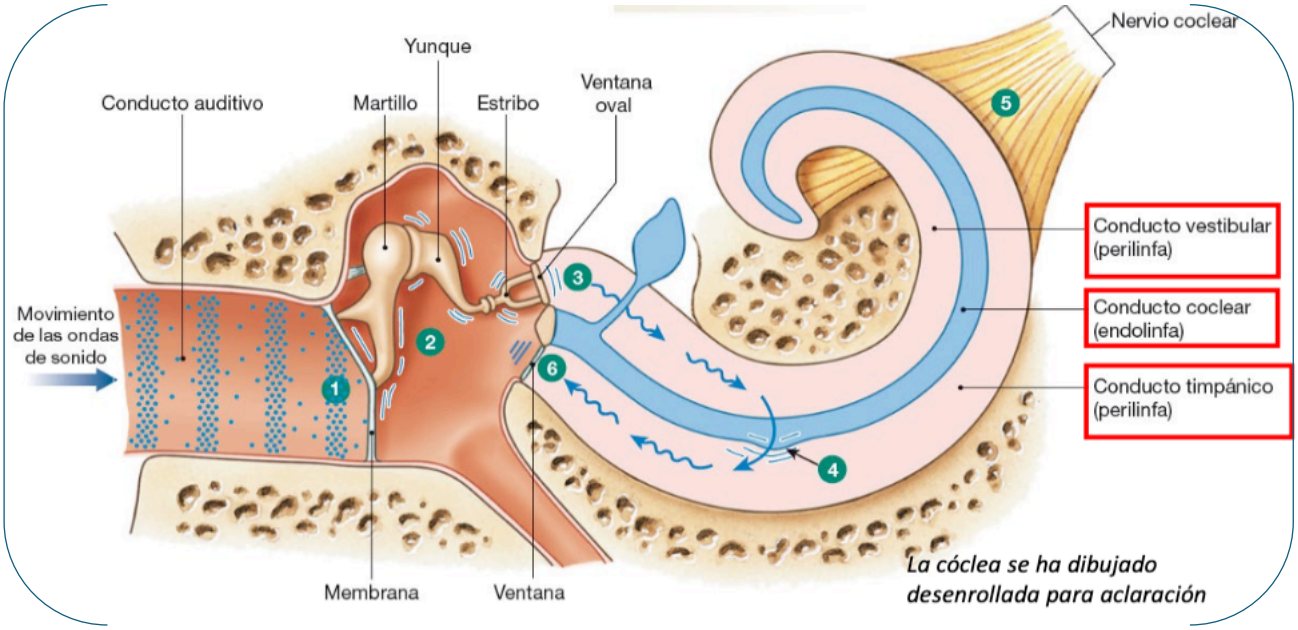
- Alteraciones en la endolinfa afectan a ambos sistemas
- Mareos y problemas auditivos suelen coexistir

👉 **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

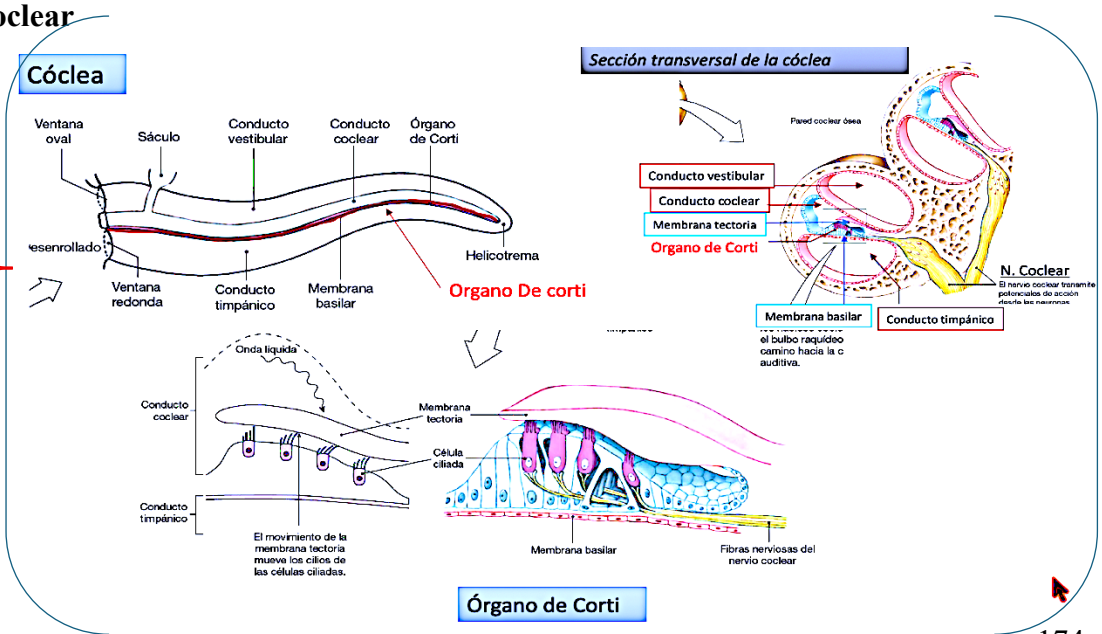
La transmisión por perilinfa y endolinfa es el paso indispensable antes de que el sonido se convierta en información neuronal.

⇒ 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:

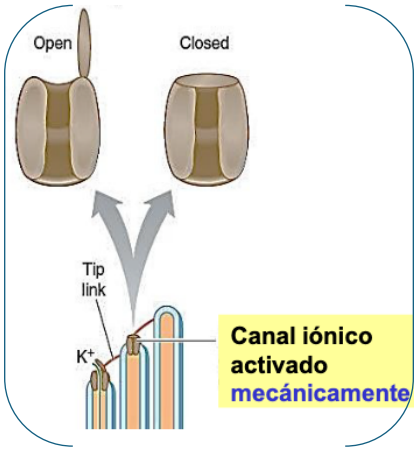
- La mecánica del sonido
- La anatomía
- Y la electrofisiología

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**.

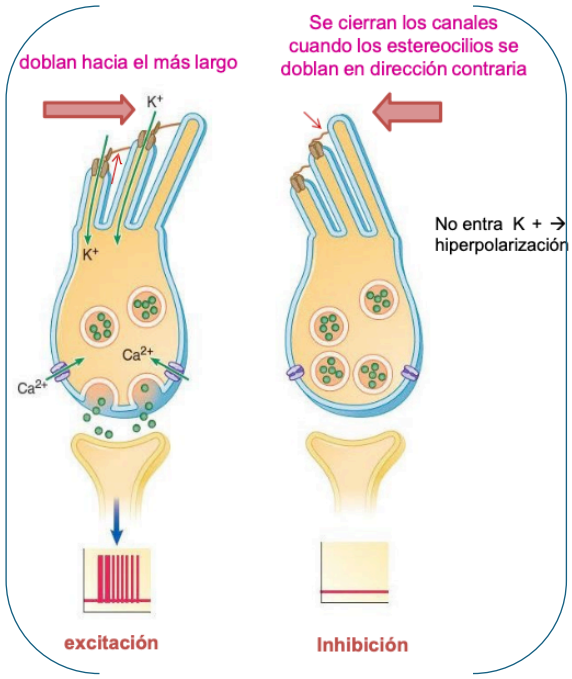
1. Células ciliadas: función básica

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**

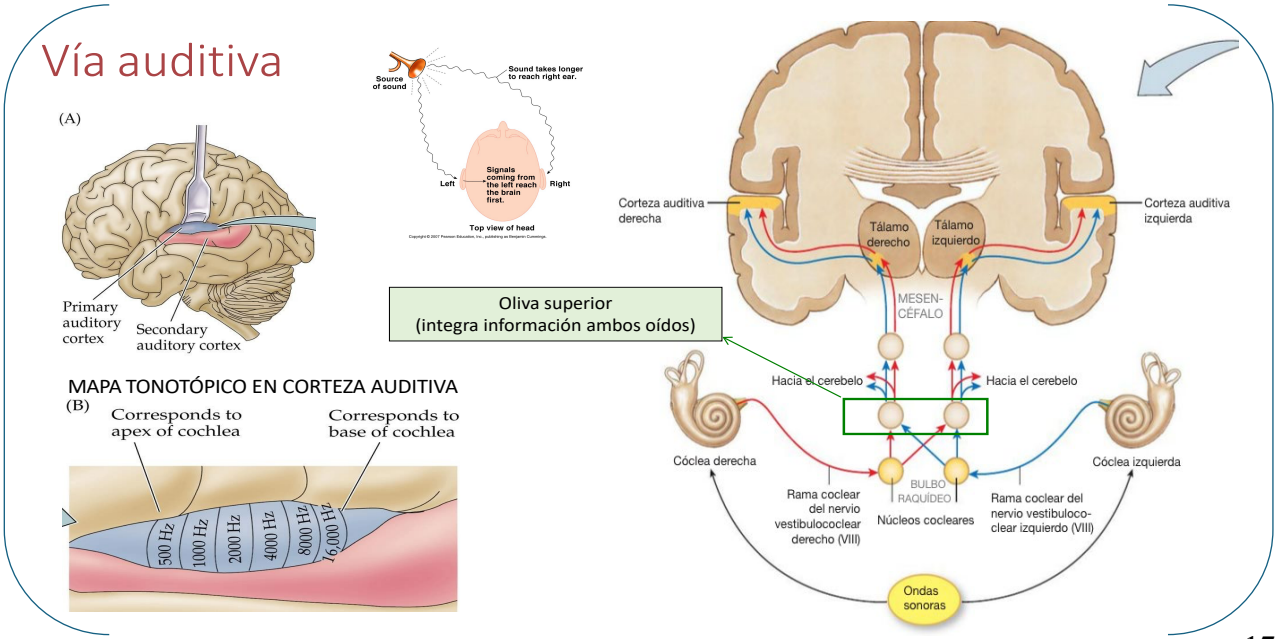
La audición no funciona con un "encendido/apagado":

- 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.

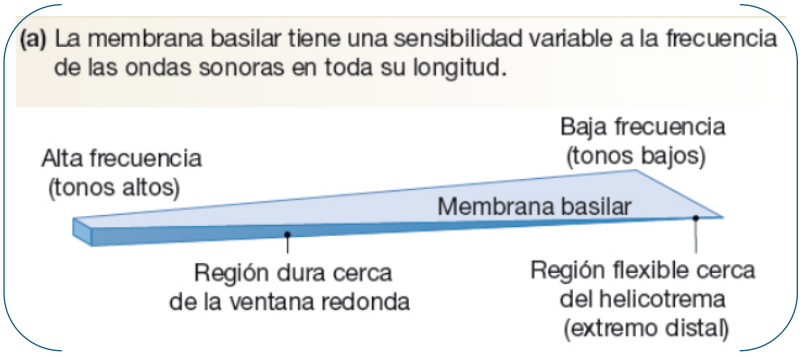
→ **Explicación desarrollada**

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.



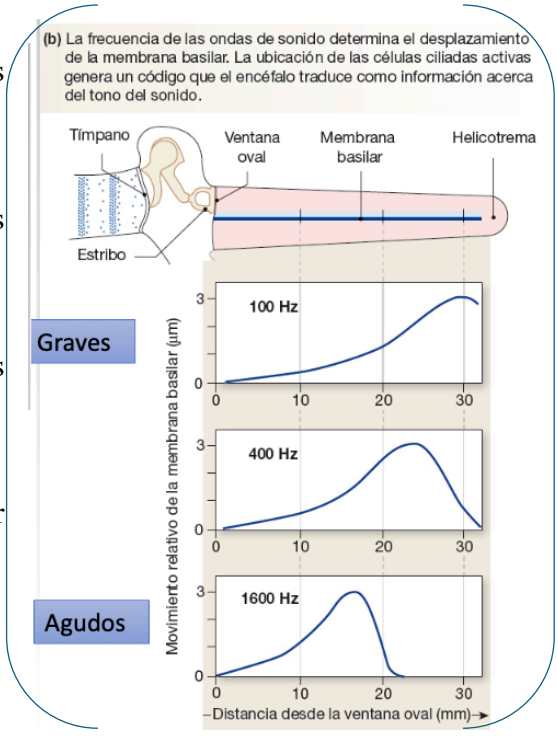
Cada frecuencia:

- 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:

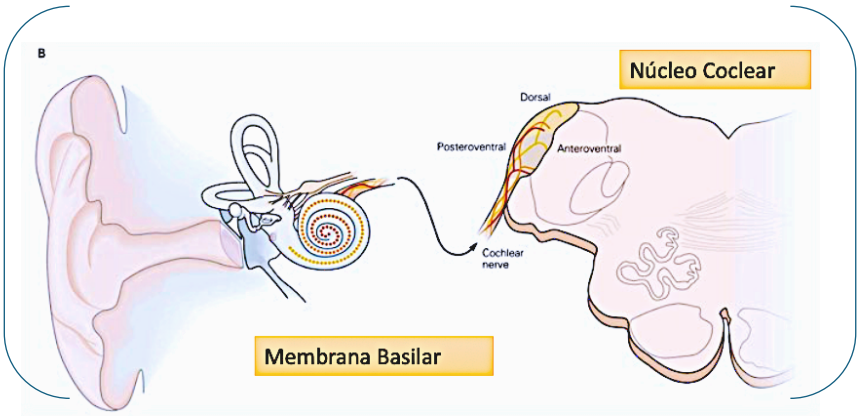
- La física del estímulo
- La anatomía
- Y la fisiología

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:

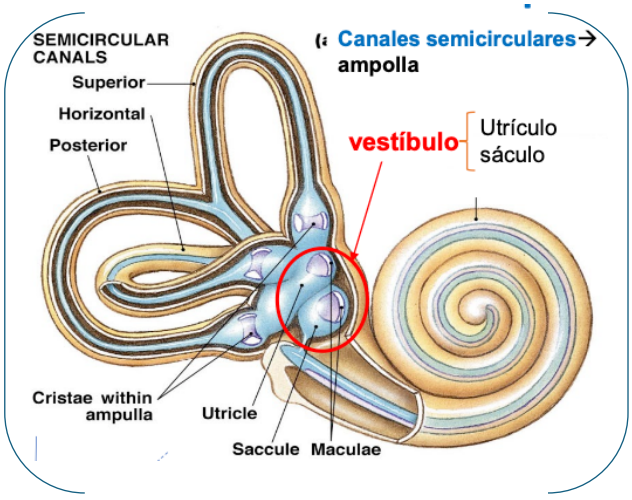
- La estabilidad
- La orientación
- La coordinación visual y postural

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**



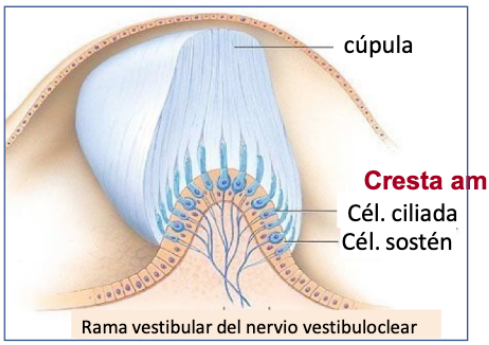
Se especifica la función de cada estructura:

- 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:

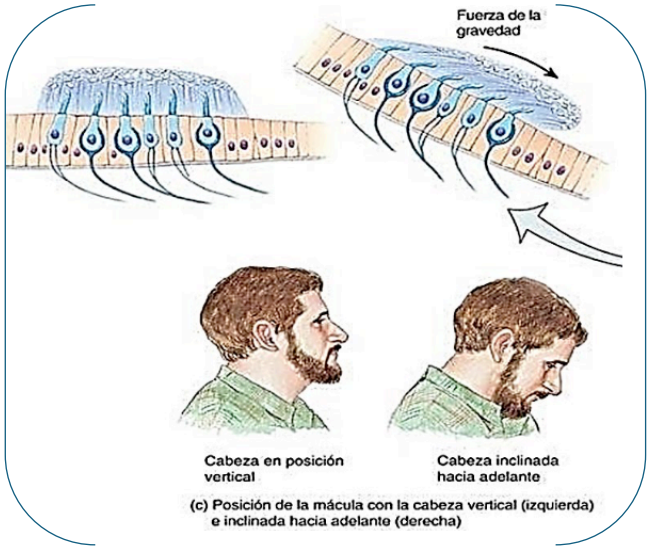
- **Aceleraciones angulares**
- Movimientos de **rotación de la cabeza**

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.

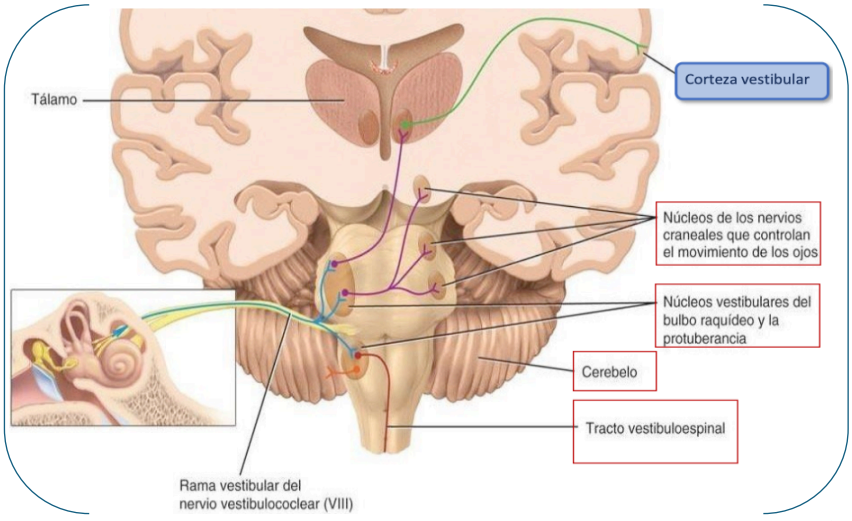
5. Proyección cortical y percepción consciente
Aunque el equilibrio es sobre todo automático:
- Parte de la información llega a la **corteza somatosensorial**
- A través del **tálamo**

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:

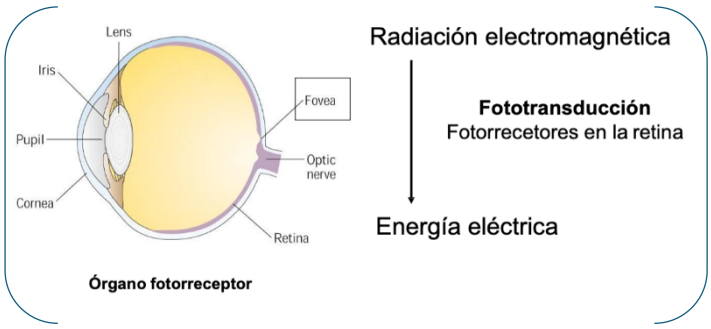
- Está orientado a la acción automática
- Pero también tiene representación cortical

→ 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

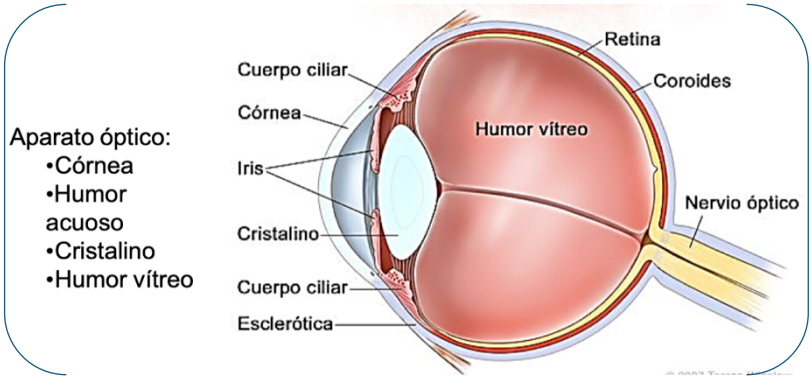
Esta diapositiva establece el **marco general** del bloque visual, sobre el que se apoyarán:

- 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

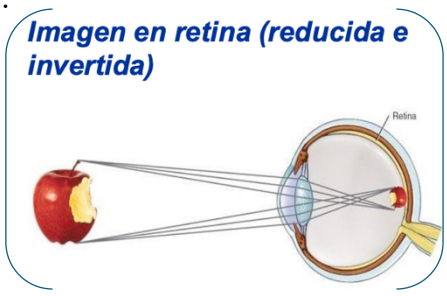
Existen tres aspectos fundamentales del sistema visual:

- **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:

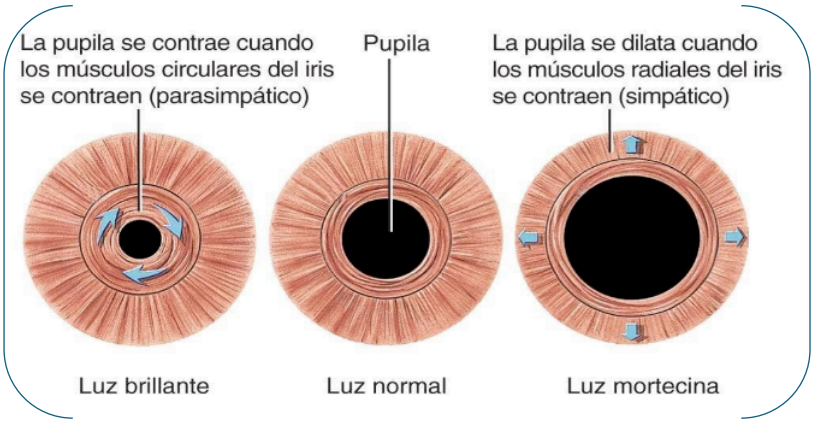
- El sistema nervioso central **reinterpreta automáticamente** la imagen
- La percepción final es coherente y estable

👉 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

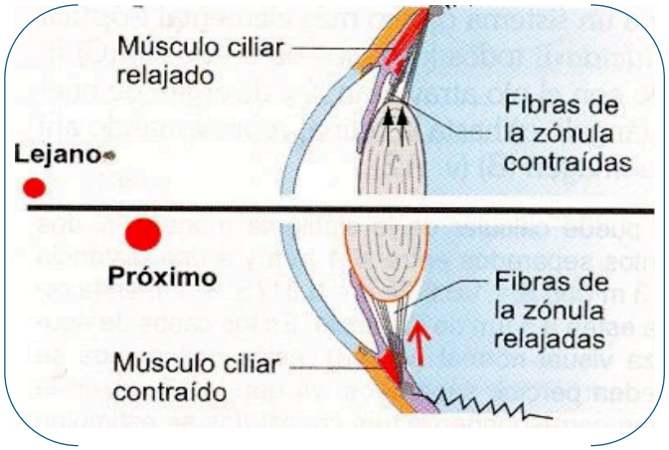


Este control es:

- 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.

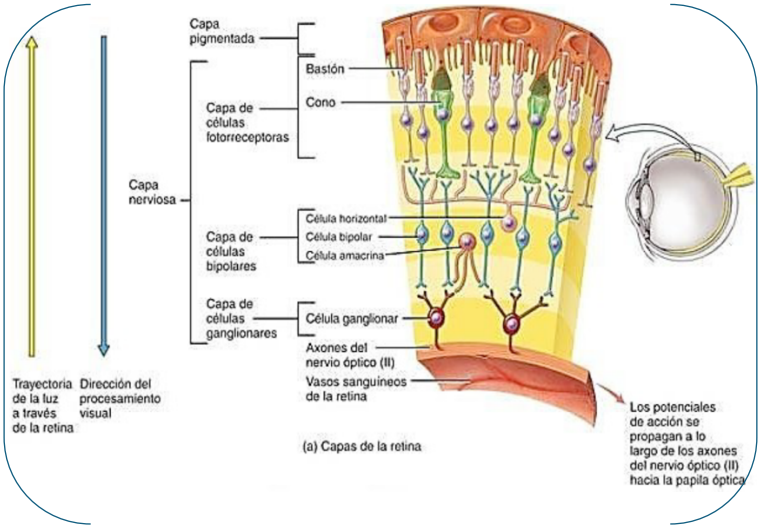
La retina **no es una simple "pantalla"**, sino una **estructura nerviosa compleja**, parte del sistema nervioso central.

→ 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.

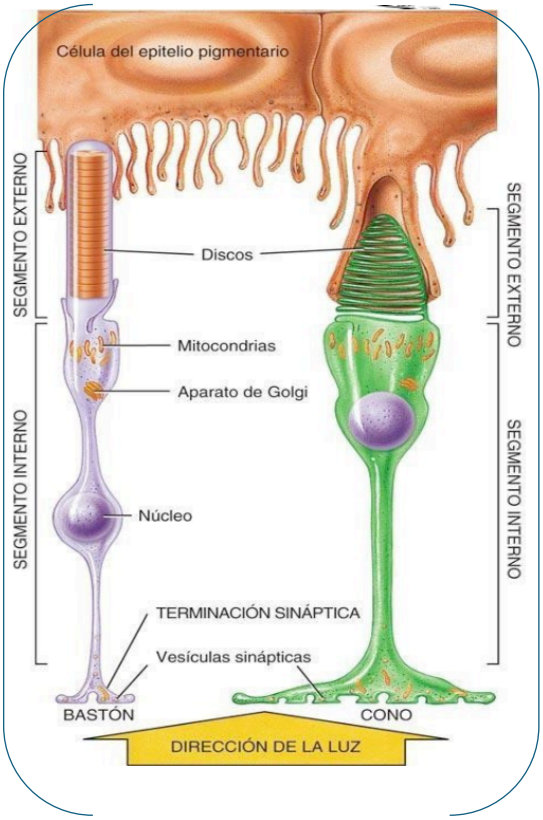
⇒ TIPOS CELULARES DE LA RETINA: BASTONES Y CONOS

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

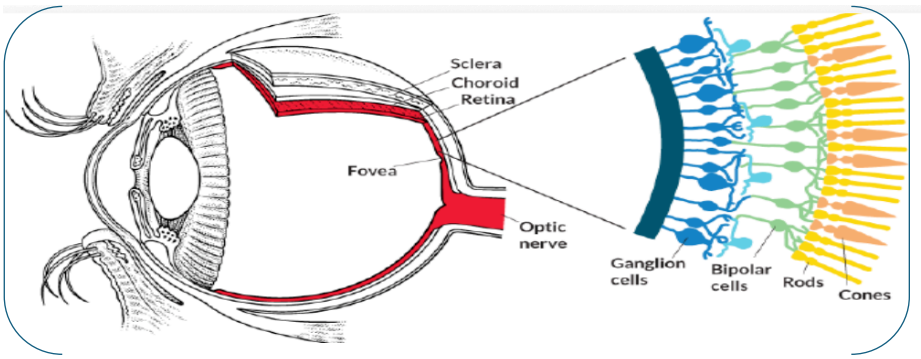
- Extremadamente sensibles (hasta 1 fotón)
- Visión **nocturna**
- Sin percepción de color
- Baja resolución espacial
- Situados en la **periferia**
- Mucha convergencia neuronal

👉 Máxima sensibilidad, poca nitidez.

La retina combina:

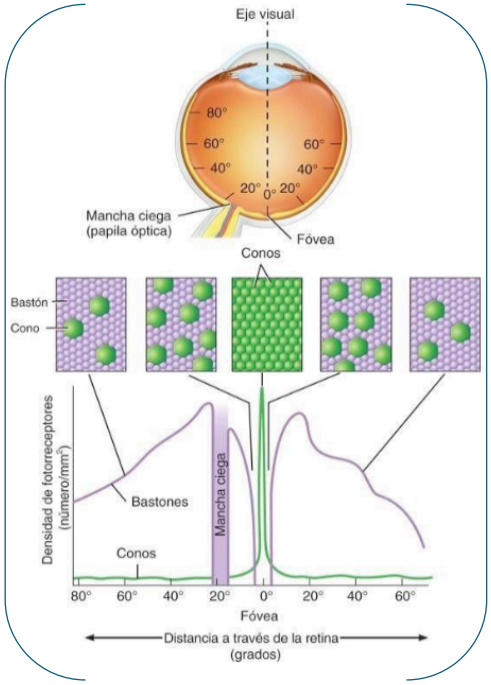
- **Conos** → precisión y color
- **Bastones** → sensibilidad en baja luz

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

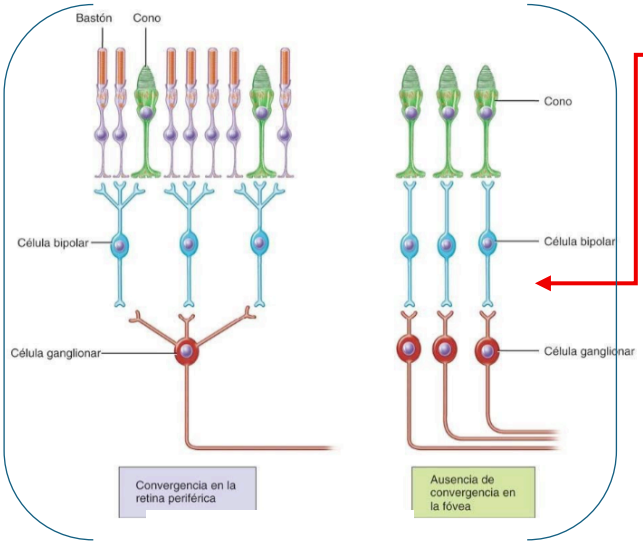


Ilustración de la **convergencia de fotorreceptores sobre neuronas ganglionares**.

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)

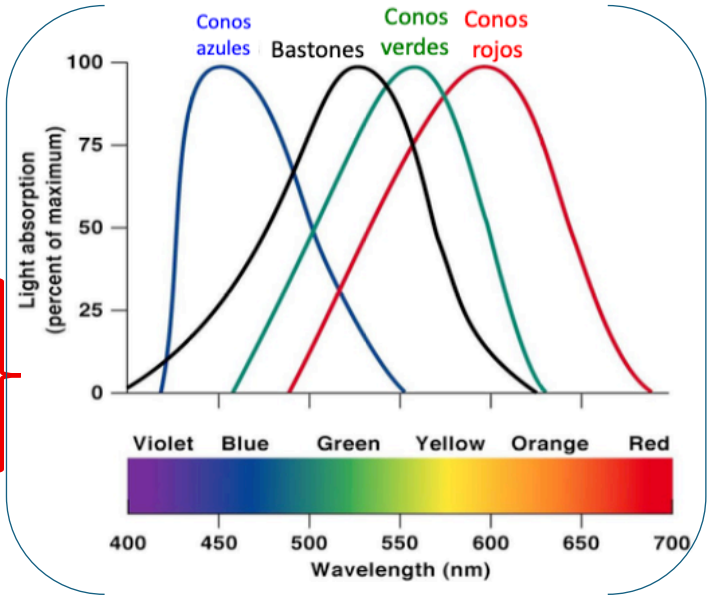
→ Esto es un compromiso clásico:
👉 **sensibilidad vs precisión**.

→ 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:

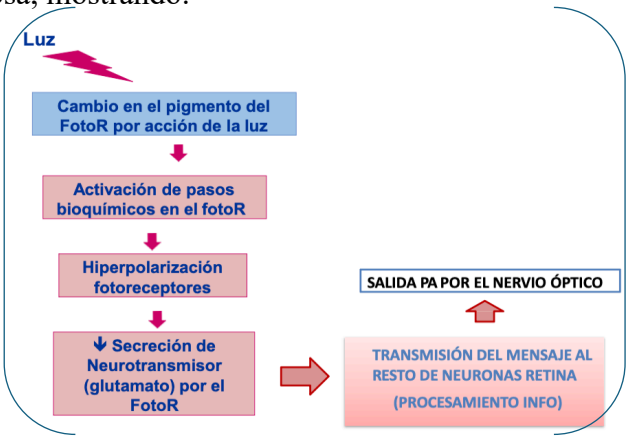
- Daltonismo
- Discromatopsias

👉 **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

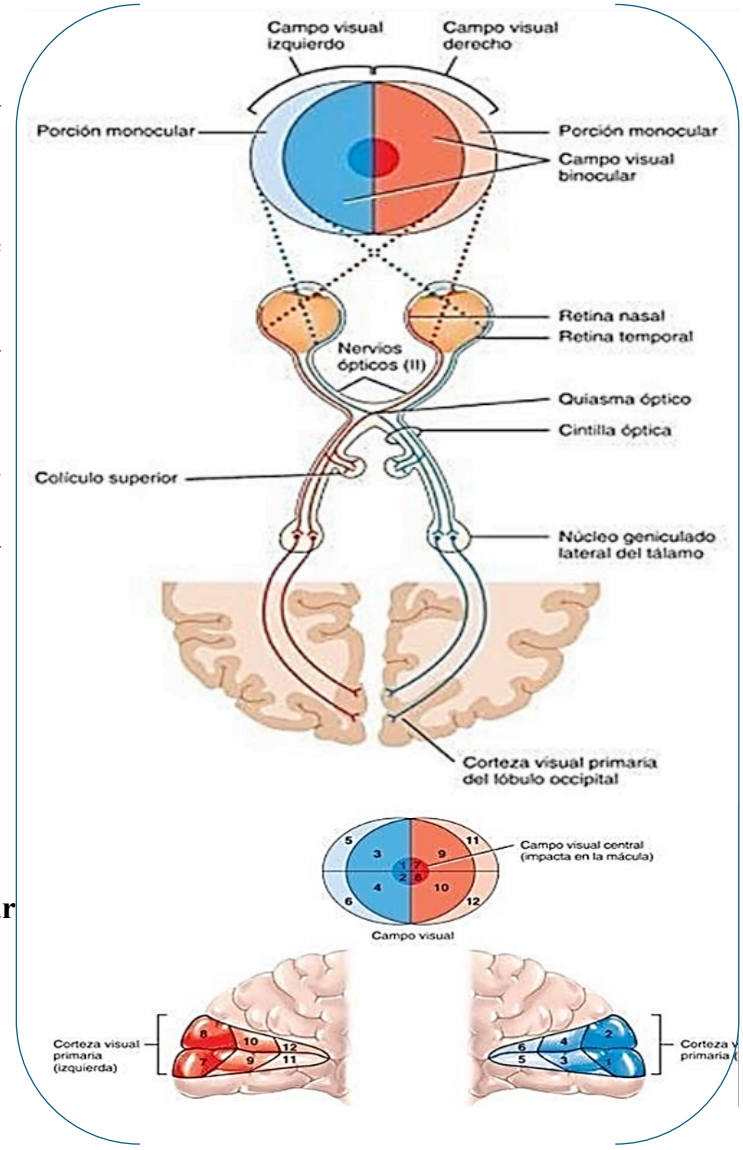
Se describe la **vía visual** desde la retina hasta el encéfalo, destacando:

- 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
