

Transducción sensorial

Sensación y percepción

Funciones de los sistemas sensoriales

Detección: ¿hay algo ahí?

Discriminación: ¿qué es? ¿qué cambió?

Horizontes temporales

Corto plazo:

Los sistemas sensoriales responden preferentemente y adaptan a estímulos cambiantes.

Largo plazo:

Los sistemas aprenden a modificar sus respuestas a estímulos, en la medida que las necesidades y circunstancias del individuo cambian.

Información sensorial

Actividad neural que se origina de la estimulación de receptores en partes del cuerpo específicas.

Sentidos clásicos (Aristóteles)

Visión, oído, tacto, gusto y olfato, cada uno vinculado a un órgano específico.

El dolor no era considerado una modalidad sensorial, sino una “aflicción” del alma.

Información sensorial

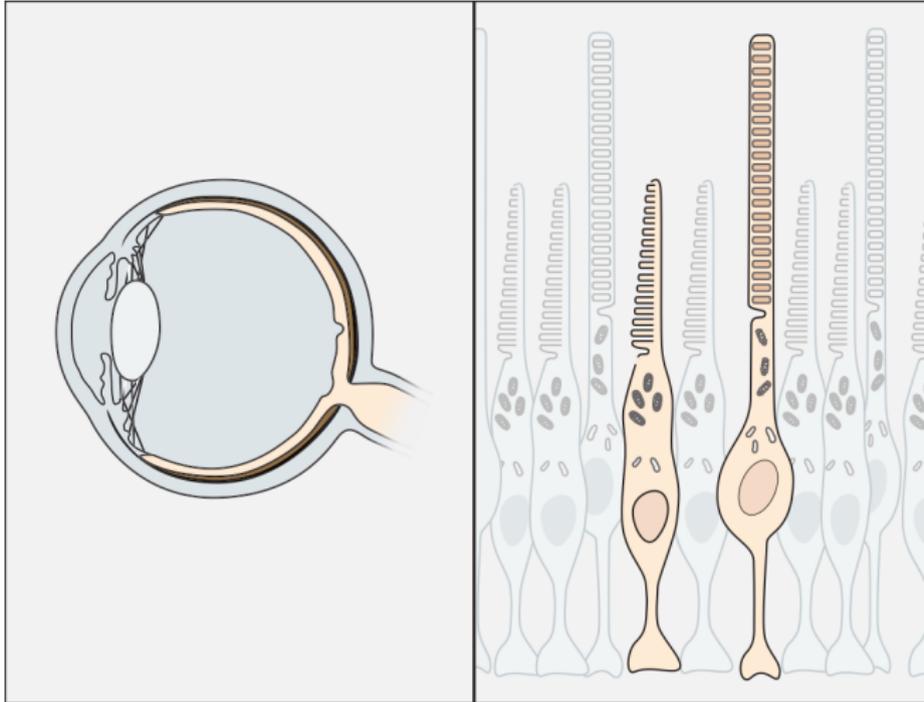
Además de los 5 sentidos clásicos:

Sensaciones somáticas: dolor, picazón, temperatura y propiocepción (postura y movimiento de nuestro cuerpo).

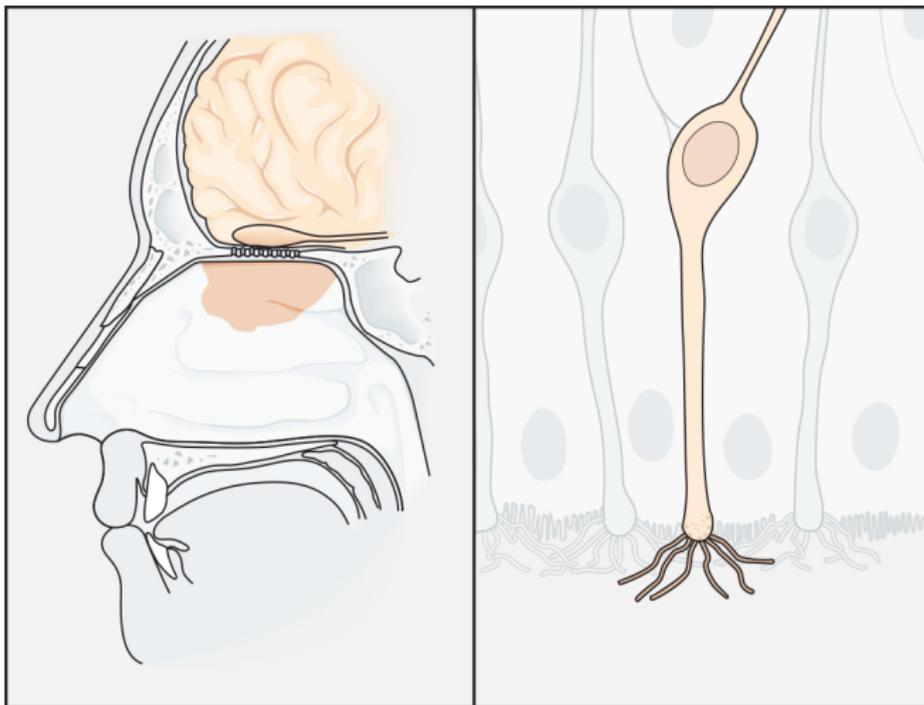
Sensaciones viscerales, conscientes e inconscientes.

Vestibulares de equilibrio (posición del cuerpo en el campo gravitacional) y movimiento de cabeza.

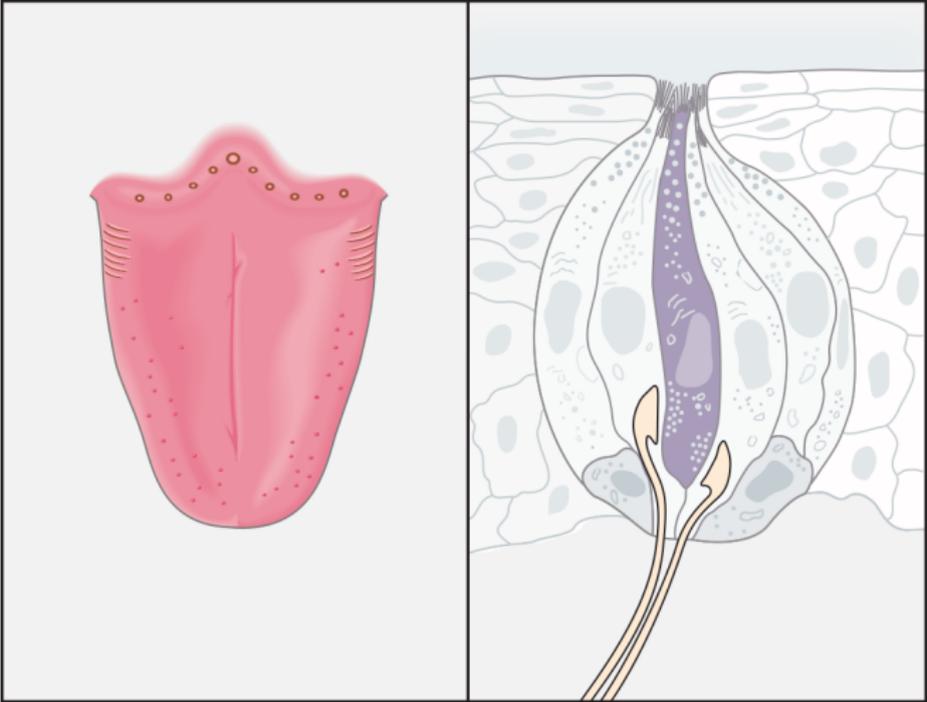
Visión



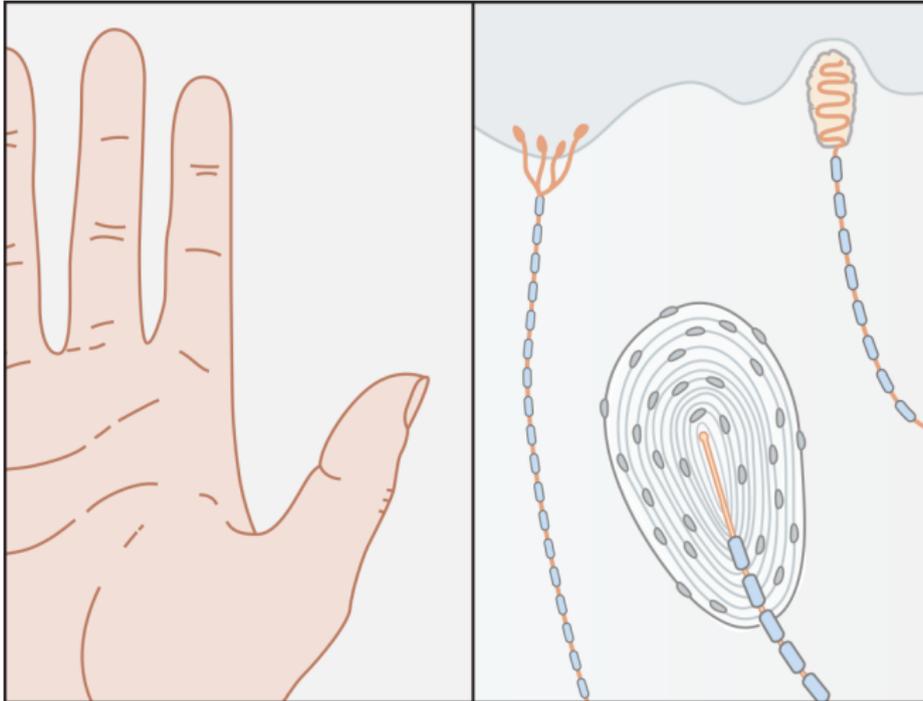
Olfato



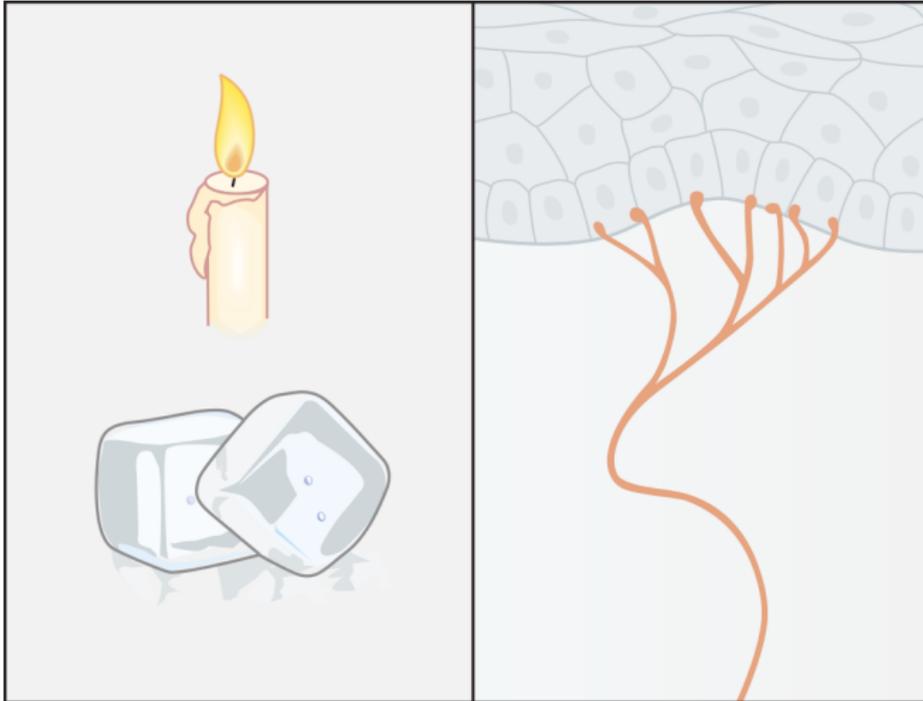
Gusto



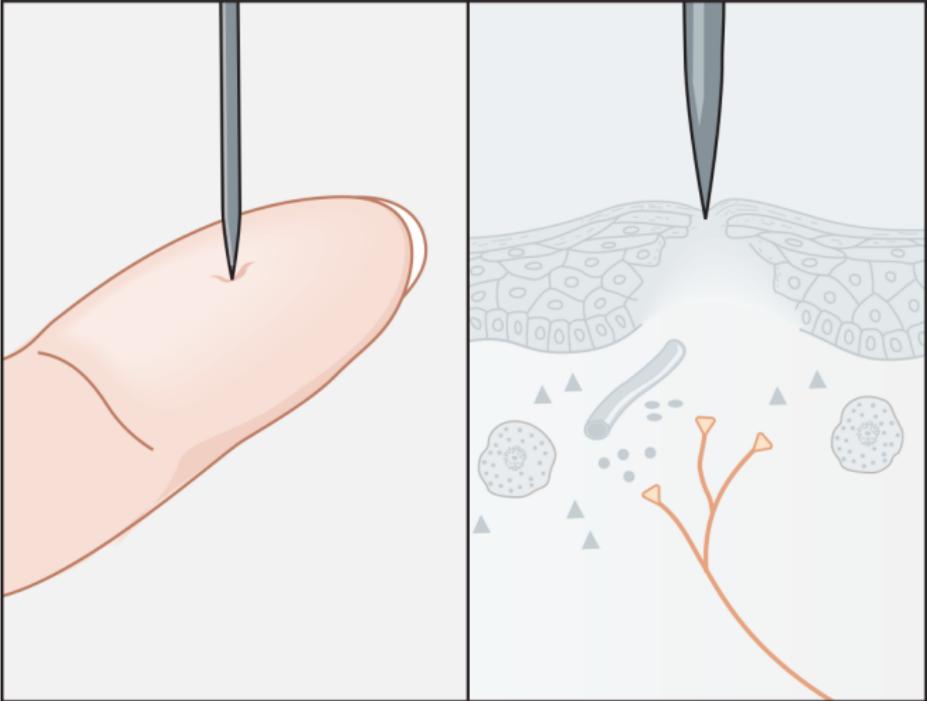
Tacto



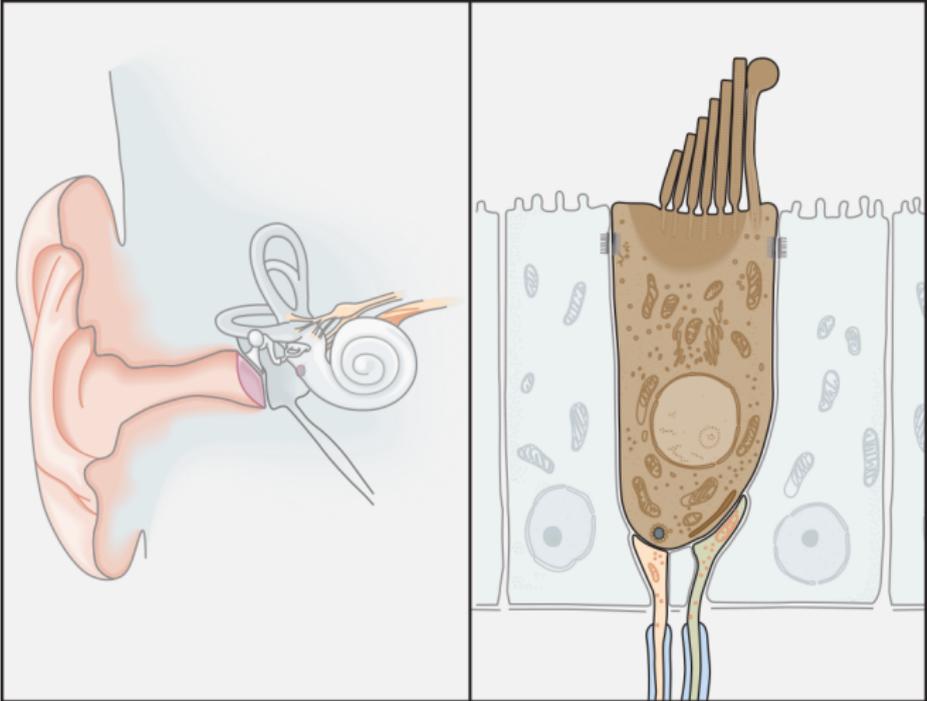
Temperatura



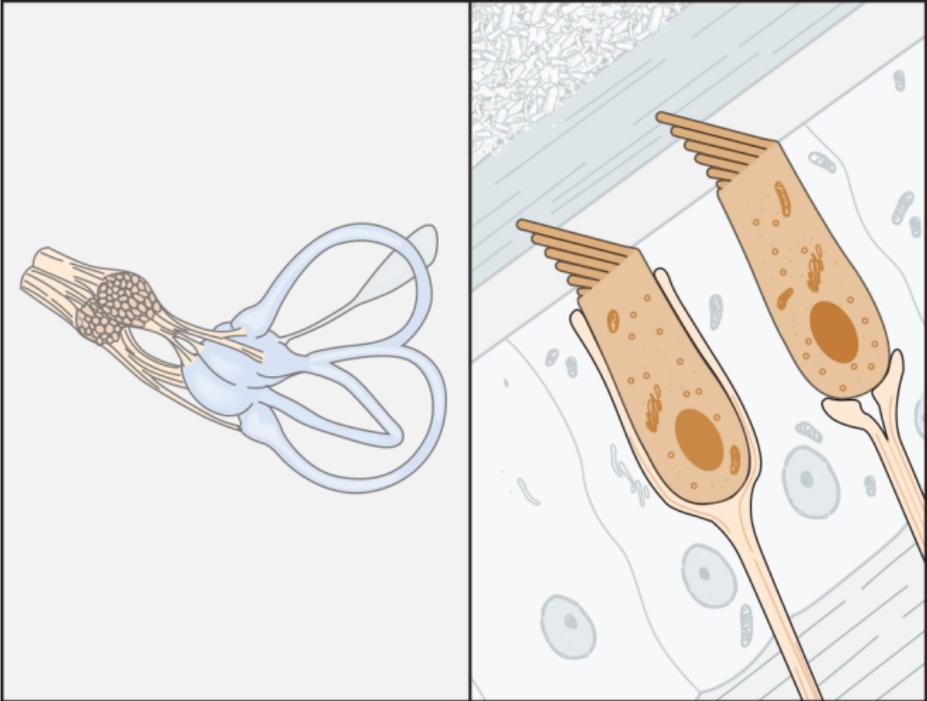
Dolor



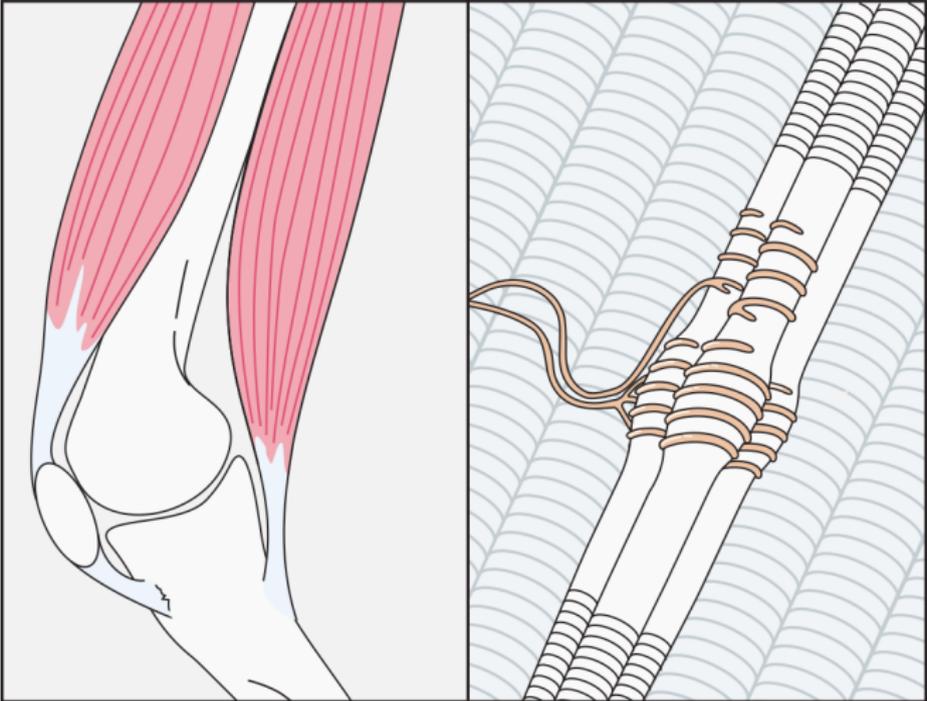
Oído



Equilibrio



Propiocepción



Percepción

Las vías sensoriales son controladas por centros superiores, que modifican y regulan las señales sensoriales realimentando información a las etapas tempranas de procesamiento.

La percepción no es la información sensorial “cruda”, sino que también tiene componentes cognitivos y de experiencia.

Psicofísica

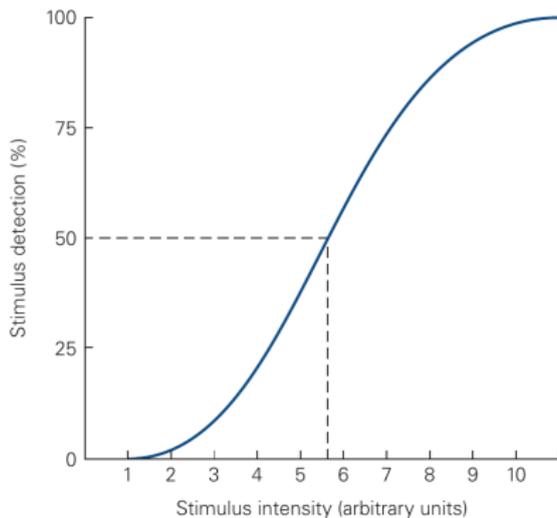
Cuantificación experimental de la percepción

El umbral sensorial se define como la amplitud de estímulo que es detectada en la mitad de las pruebas.

Todos los sistemas sensoriales tienen umbral, para disminuir el ruido.

Función psicométrica

Se define como el porcentaje de veces que un sujeto reporta detectar el estímulo en función su amplitud.



Fisiología sensorial

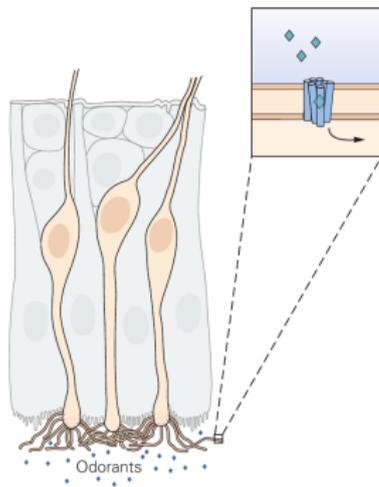
Receptores y potencial receptorial

Los **receptores sensoriales** responden a tipos específicos de energía del estímulo (a veces con un patrón temporal o espacial específico) y se encuentran en epitelios especializados llamados órganos sensoriales (ojo, oído, nariz, lengua y piel).

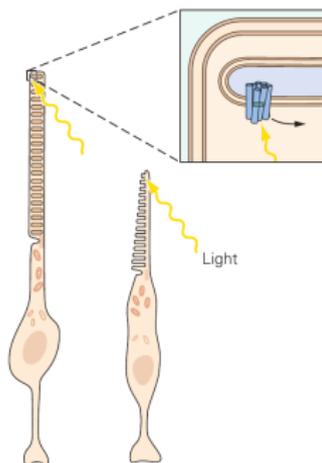
Transforman la energía del estímulo en energía eléctrica (transducción del estímulo). La señal eléctrica producida por el receptor es llamado **potencial receptorial**.

Los receptores sensoriales transducen un tipo de estímulo en señales eléctricas

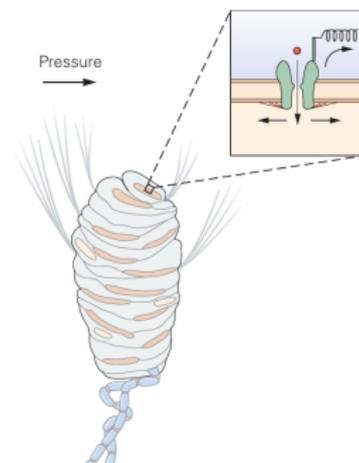
A Chemoreceptor



B Photoreceptor



C Mechanoreceptor



Tipos de receptores sensoriales

Ionotrópicos: mecanorreceptores y termorreceptores (TRP).

Metabotrópicos: fotorreceptores, quimiorreceptores.

En general, los metabotrópicos son más lentos, pero tienen mayor ganancia.

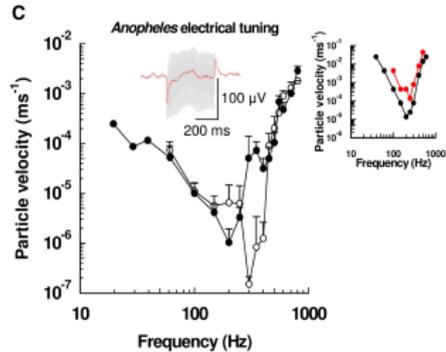
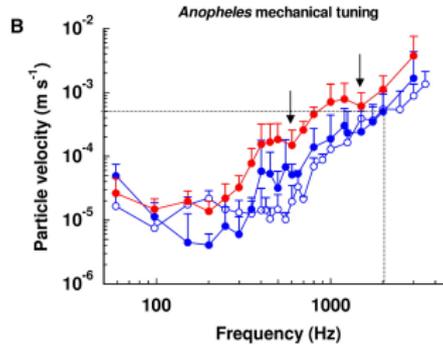
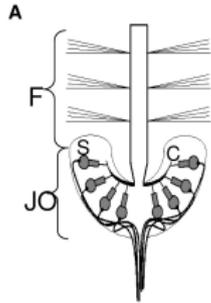
Tipos de receptores sensoriales

Un receptor actúa como un filtro para un rango/ancho de banda de energía, y está sintonizado para un estímulo óptimo que lo activa con baja energía y genera la mayor respuesta neural.

Se definen curvas de sintonía (tuning curve) para cada receptor.

Curvas de sintonía

Mosquito *Anopheles gambiae*

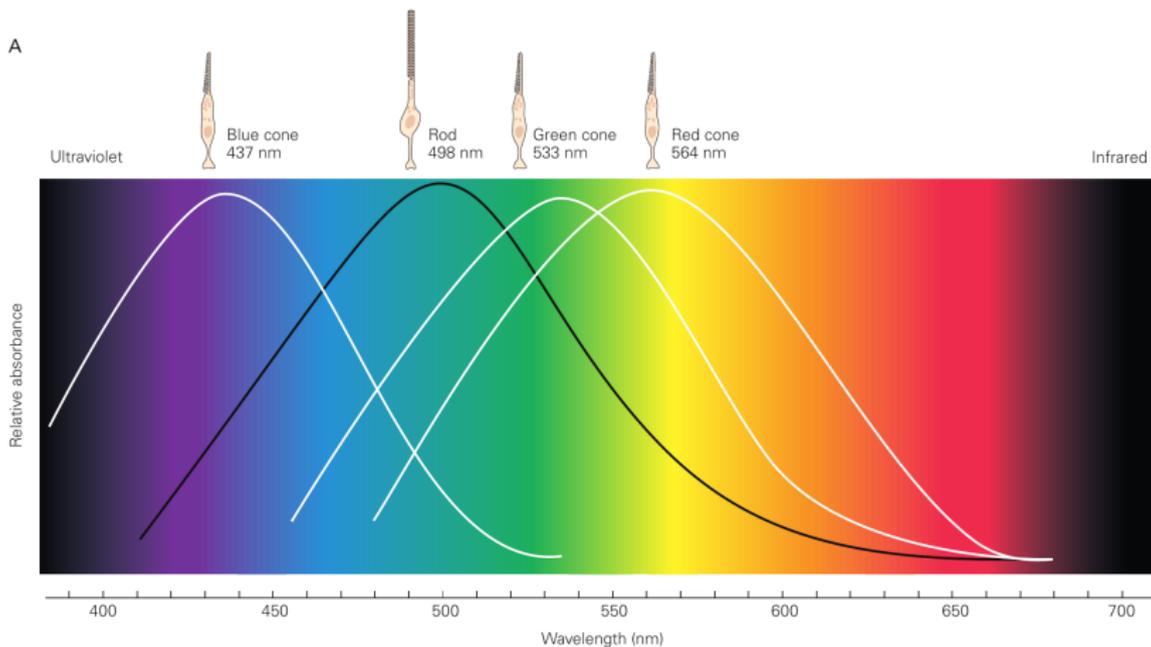


Submodalidades sensoriales

Existen submodalidades en cada sistema sensorial: el gusto puede ser dulce, amargo, salado, umami o agrio; los objetos visuales tienen características de color, forma o patrón; el tacto incluye temperatura, textura y rigidez.

Algunas submodalidades son mediadas por subclases de receptores, mientras que otras surgen de combinar información de distintos tipos de receptores.

La percepción de los colores en humanos resulta de la activación simultánea de 3 diferentes tipos de fotorreceptores en la retina



Potencial receptorial

El potencial receptorial es una señal analógica, cuya amplitud es proporcional a la intensidad del estímulo, que es codificada digitalmente, por ejemplo a través de la frecuencia de disparo y/o de código poblacional.

Muchos sistemas sensoriales tienen receptores de bajo y alto umbral, para extender el rango dinámico.

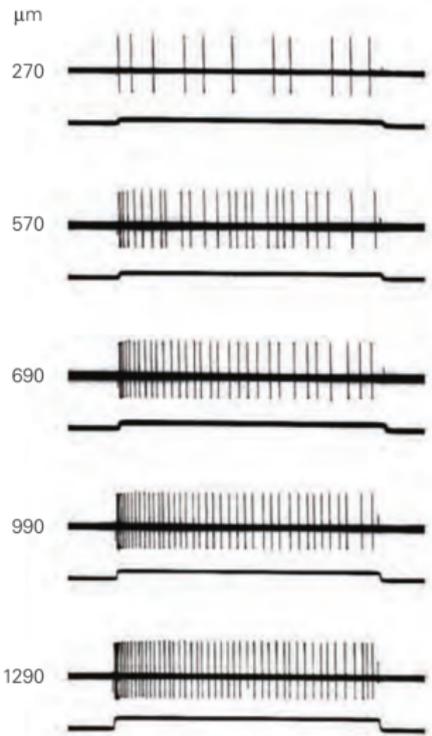
Receptores de adaptación lenta y rápida

Los sistemas temporales detectan contrastes: cambios en los patrones espaciales o temporales de estimulación. Si el estímulo no cambia por varios minutos, la respuesta neural disminuye, debido a la adaptación del receptor.

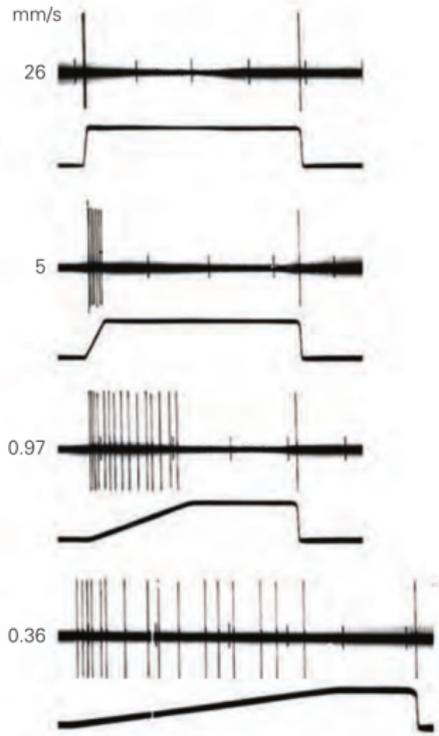
Hay receptores de adaptación lenta y rápida: las neuronas no sólo señalizan cuando disparan, sino cuando dejan de hacerlo.

Receptores de adaptación lenta y rápida

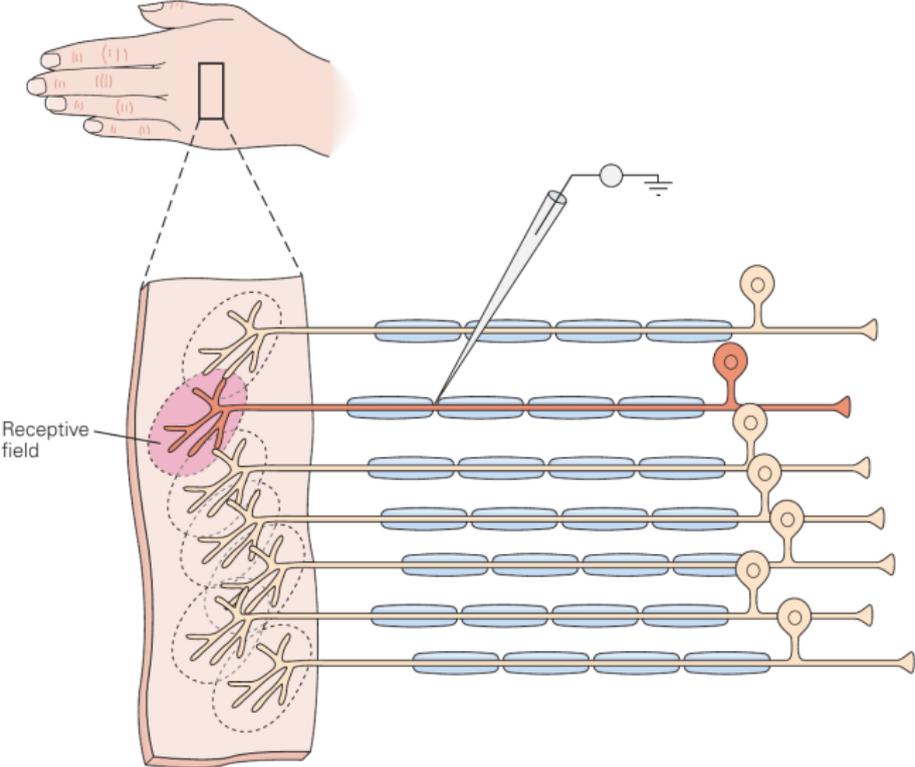
A Slowly adapting receptor



B Rapidly adapting receptor



Campos receptivos



Procesamiento en el sistema nervioso central

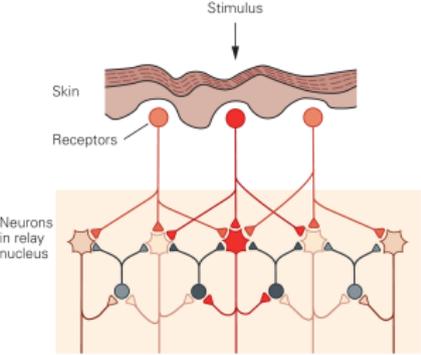
En las etapas tempranas de procesamiento, cada clase de receptores periféricos alimenta un clúster de neuronas en un núcleo relé que está dedicado a una modalidad sensorial específica.

Los núcleos relé también reciben entradas inhibitorias, que aumentan el contraste entre estímulos, así como regular (“normalizar”) el nivel de excitación generado.

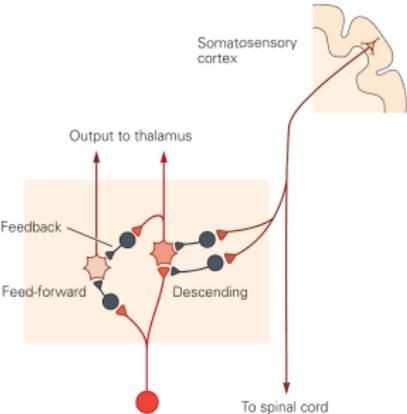
Las respuestas centrales evocadas son mucho más variables que las periféricas, debido a que están afectadas por el nivel de alerta del sujeto, experiencia previa del estímulo y activación reciente de la vía por un estímulo similar.

Procesamiento en el sistema nervioso central

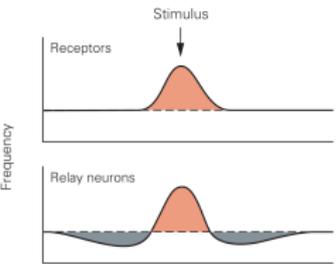
A Neural circuits for sensory processing



C Types of inhibition in relay nuclei



B Spatial distribution of excitation and inhibition



Organización de los núcleos

En los núcleos relé de los sistemas somatosensorial, visual y auditivo, los núcleos están organizados somatotópica, retinotópica y tonotópica, respectivamente.

Las neuronas de las áreas primarias sensoriales de la corteza cerebral mantienen las características espaciales específicas de un estímulo, organizándose de forma similar a los núcleos relé.

Sistema somatosensorial

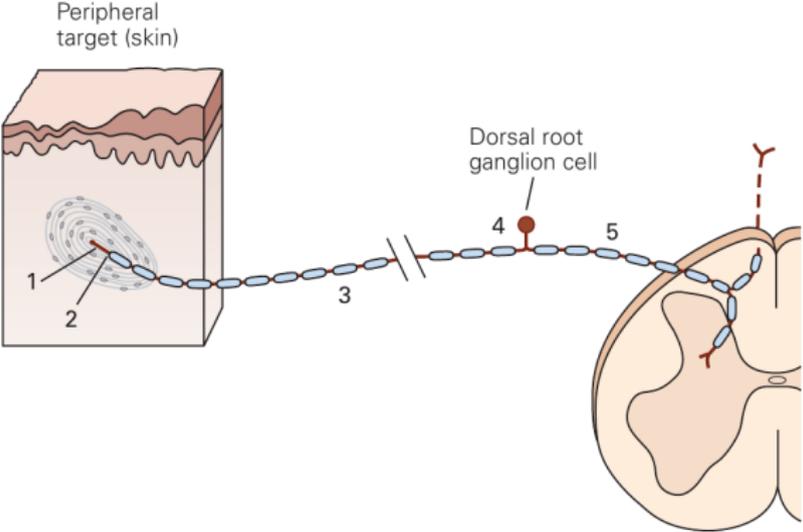
Funciones del sistema somatosensorial

Propiocepción

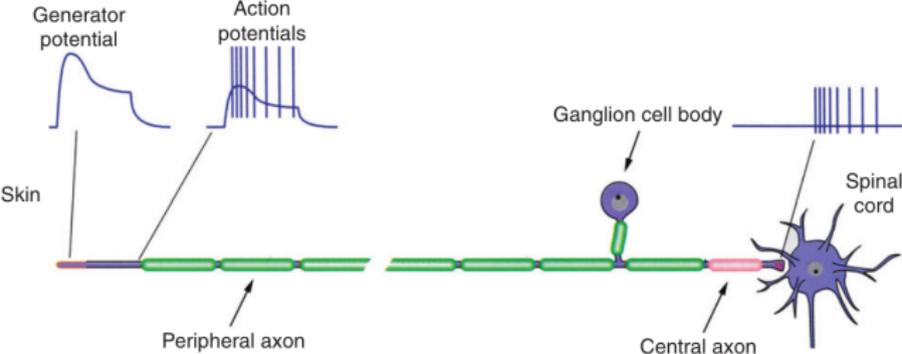
Exterocepción

Interocepción

Los ganglios de la raíz dorsal son los células sensoriales primarias del sistema somatosensorial



Los ganglios de la raíz dorsal son las células sensoriales primarias del sistema somatosensorial

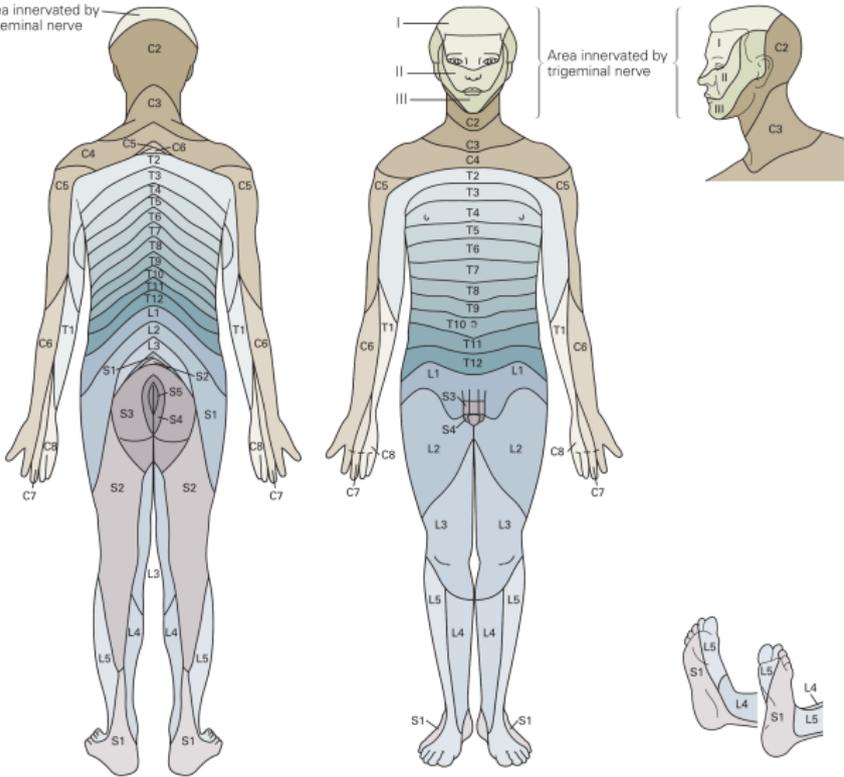


Distribución de dermatomas

C: cervical, T: torácico, L: lumbar, S: sacro

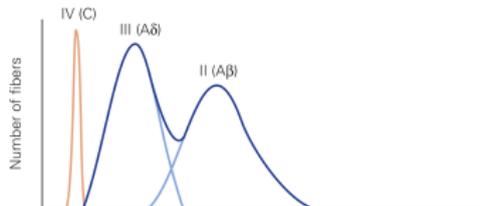
Area innervated by trigeminal nerve

I
II
III
Area innervated by trigeminal nerve

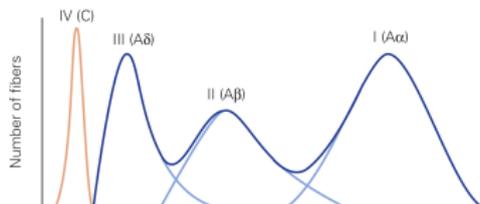


Las fibras periféricas somatosensoriales tienen distintas velocidades de conducción

Cutaneous nerve



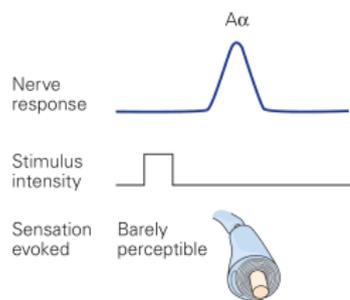
Muscle nerve



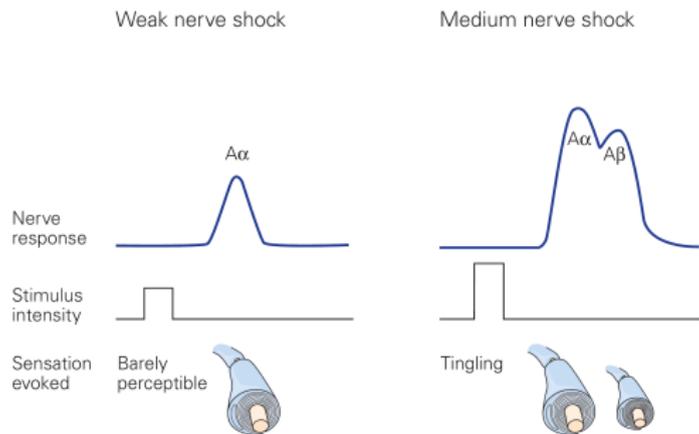
axon diameter (μm)	1	5	12	20
conduction velocity (m/s)	1	30	72	120

Medida clínica de velocidades de conducción de nervios periféricos

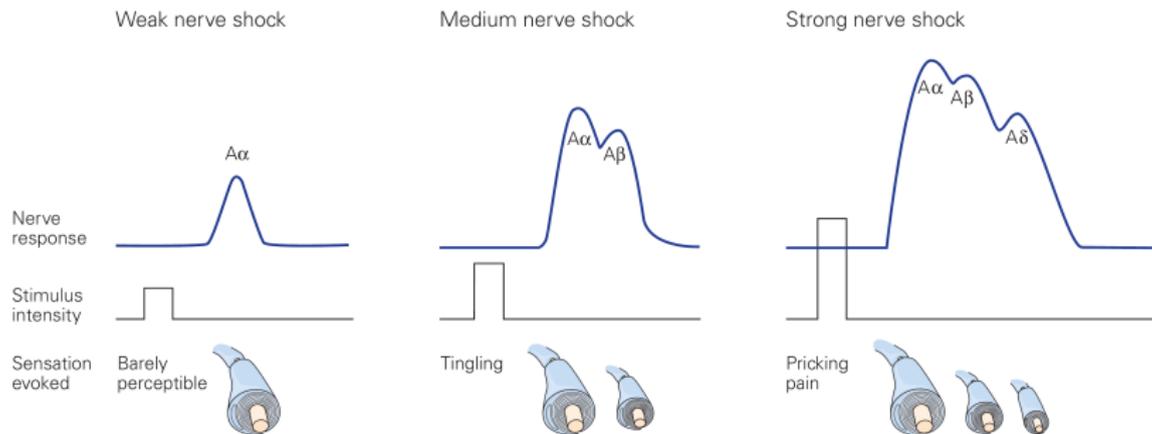
Weak nerve shock



Medida clínica de velocidades de conducción de nervios periféricos



Medida clínica de velocidades de conducción de nervios periféricos



Medida clínica de velocidades de conducción de nervios periféricos

Very strong nerve shock

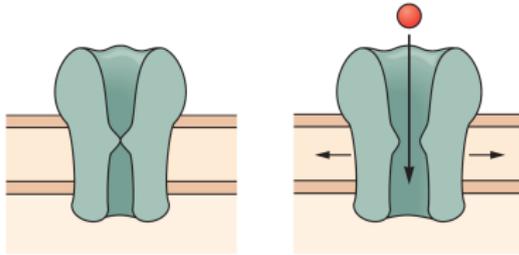


Pricking pain followed by burning pain

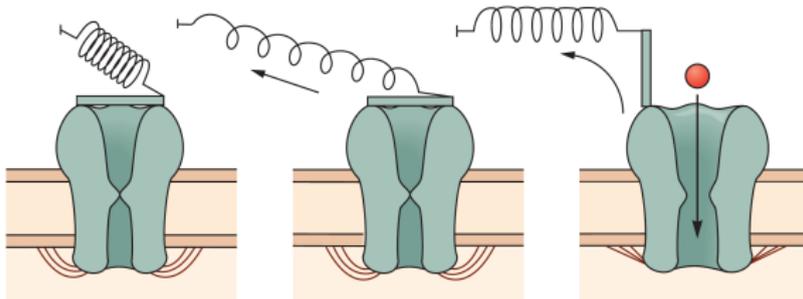


Tipos de mecanorreceptores

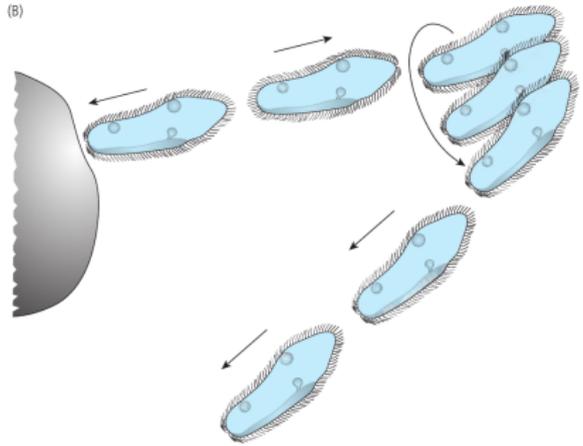
A Direct activation through lipid tension



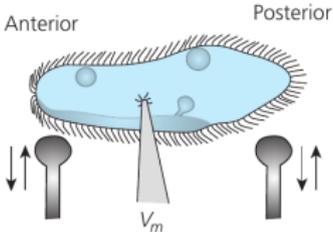
B Direct activation through structural proteins



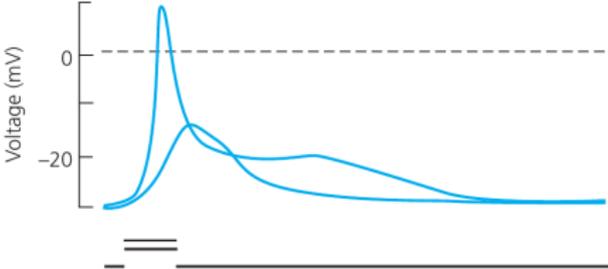
Respuesta al contacto en el protozoario *Paramecium*



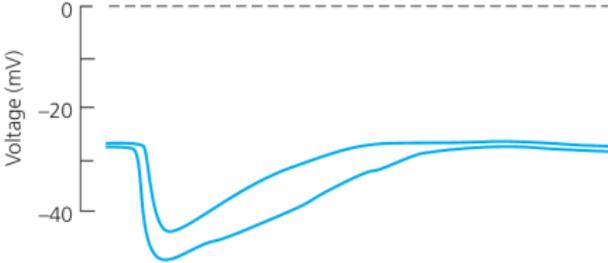
Respuesta al contacto en el protozoario *Paramecium*



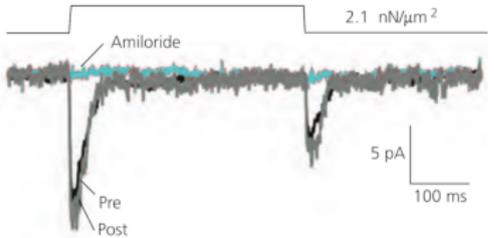
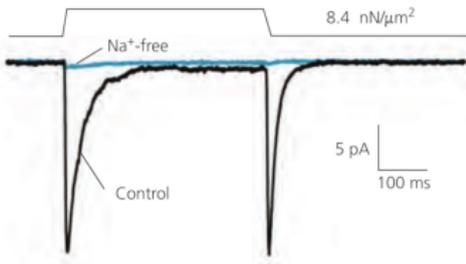
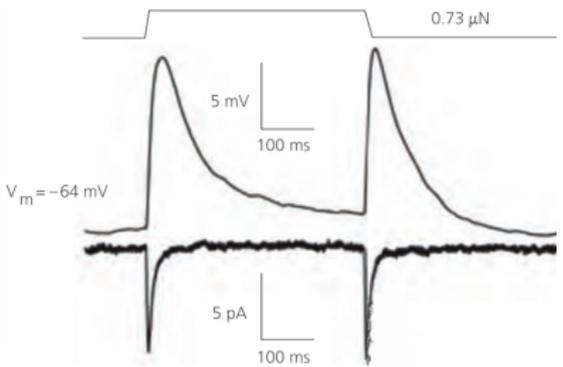
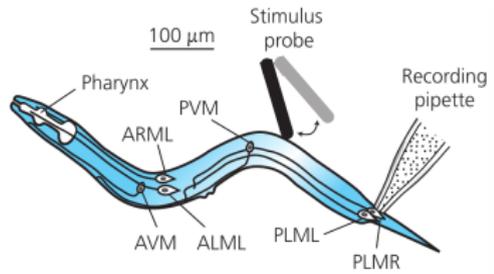
Anterior stimulation



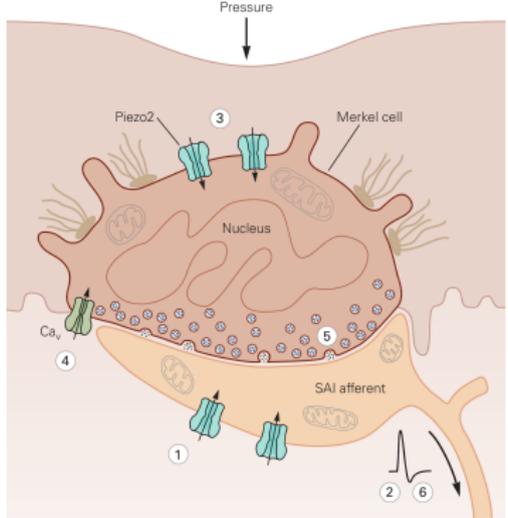
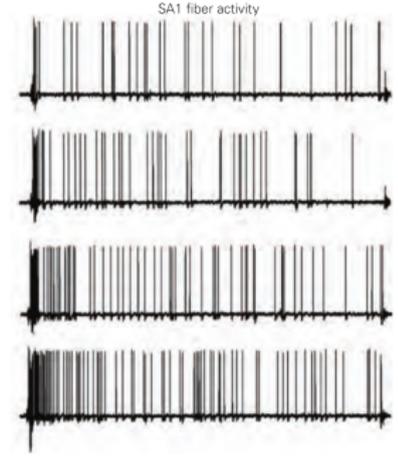
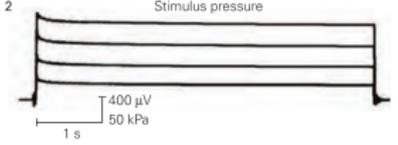
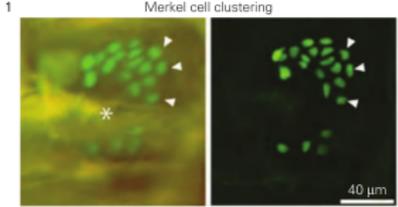
Posterior stimulation



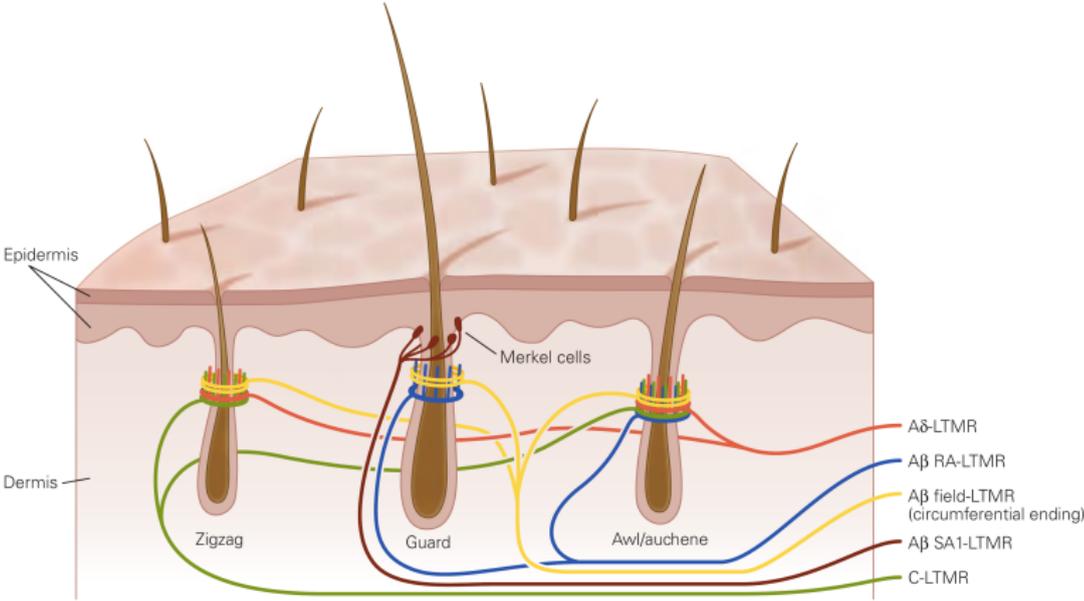
Respuesta al contacto en el gusano *C. elegans*



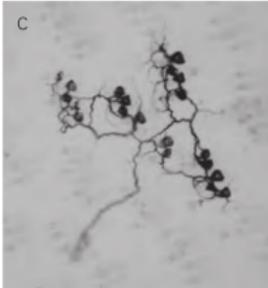
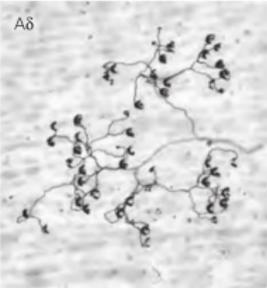
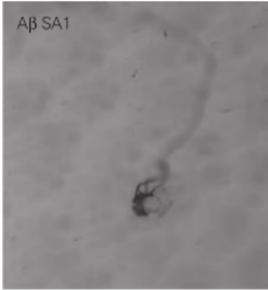
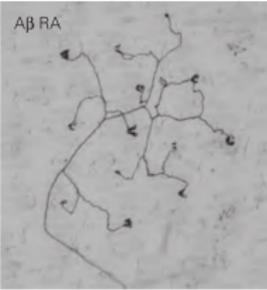
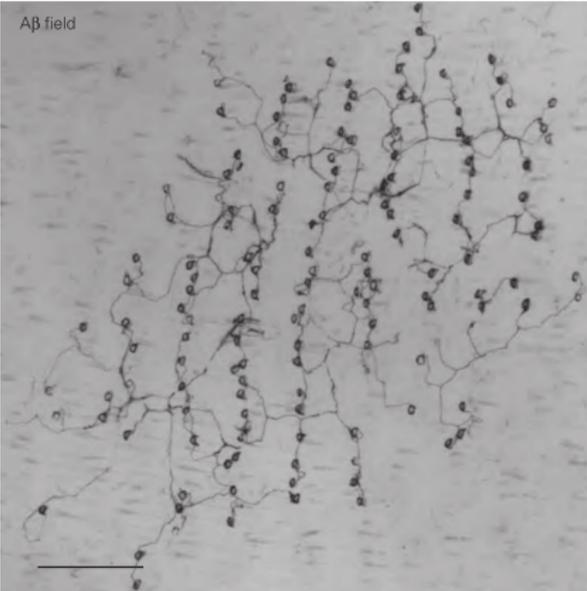
Células de Merkel en la piel humana



Inervación de los pelos en la piel

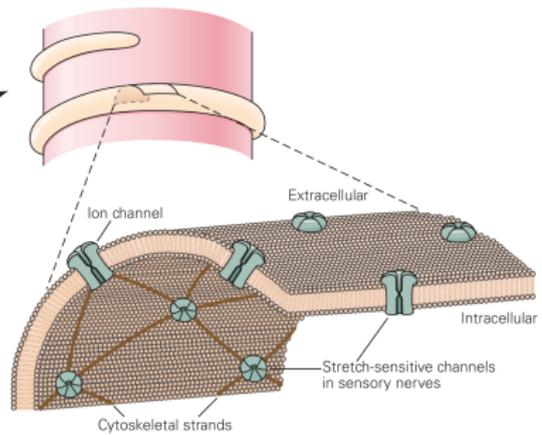
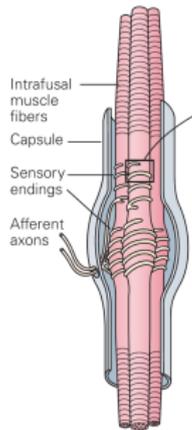


Campos receptivos de los mecanorreceptores de bajo umbral

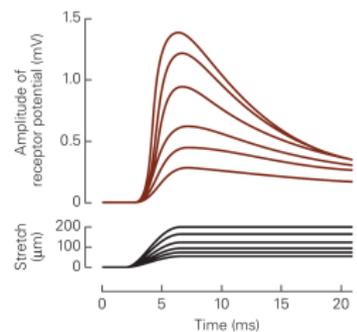


El huso muscular es el receptor principal de la propiocepción

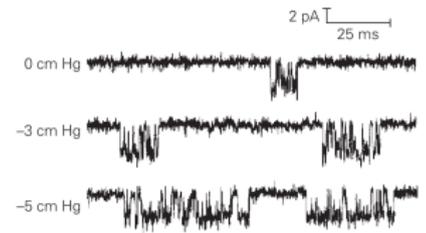
A Muscle spindle



B Receptor potential in nerve

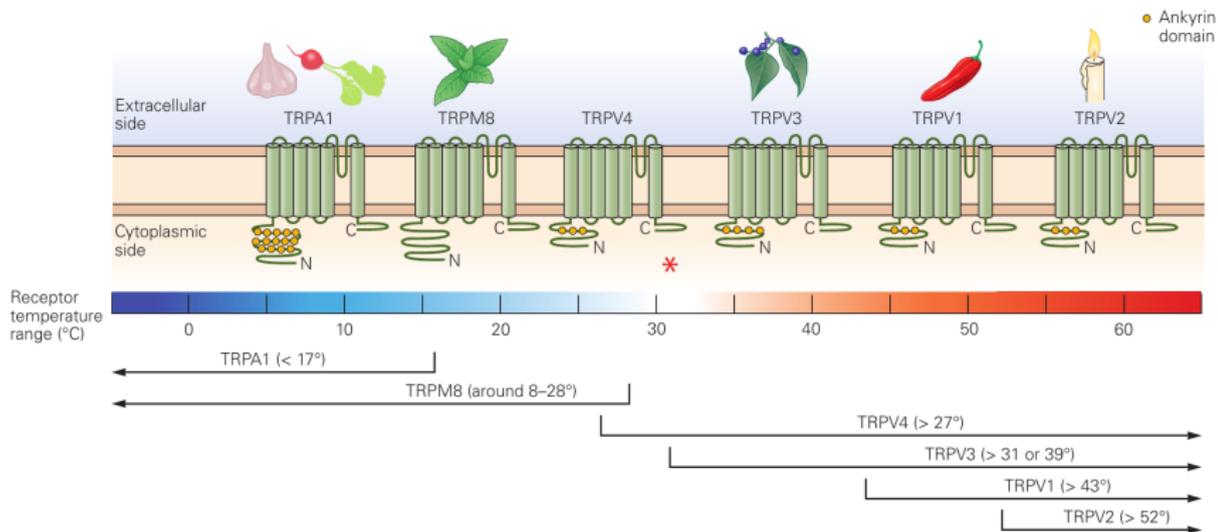


C Single-channel response to stretch

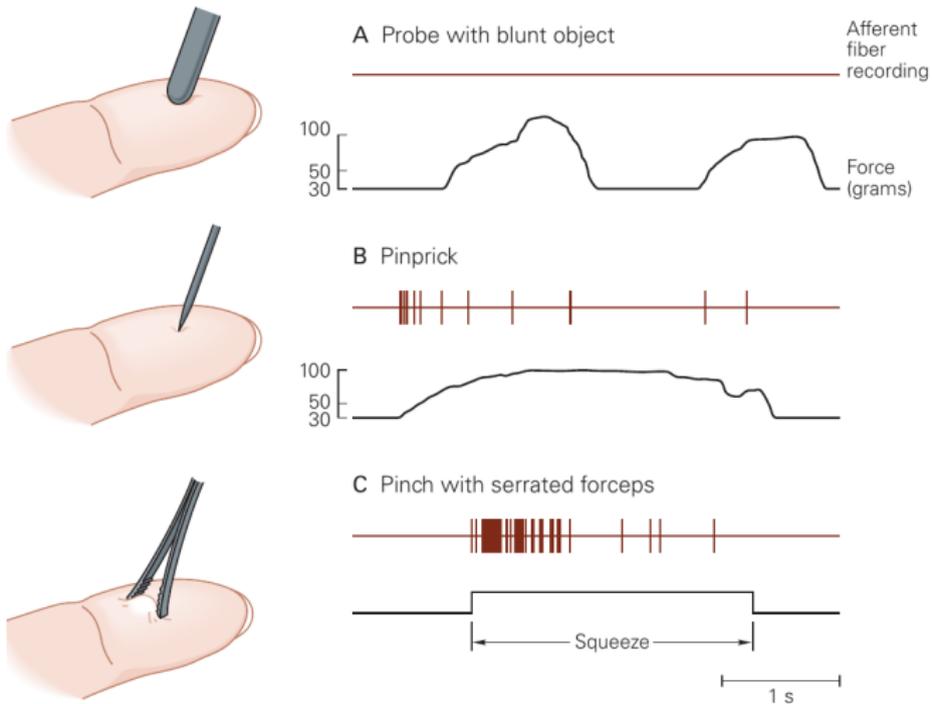


Distintos receptores térmicos detectan cambios en la temperatura de la piel

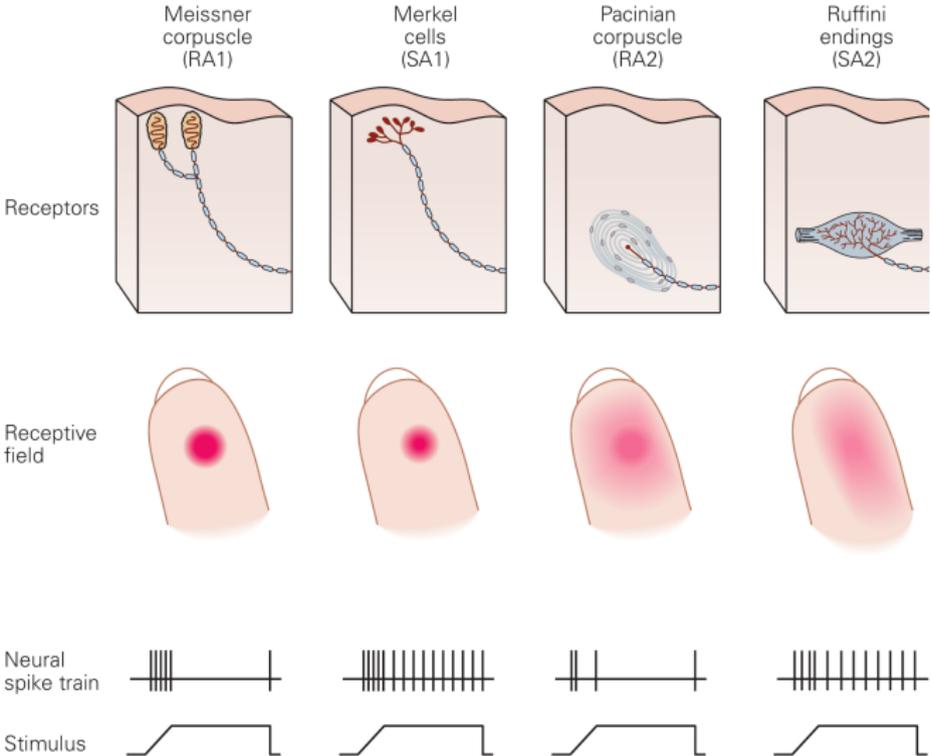
TRP: Transient receptor potential



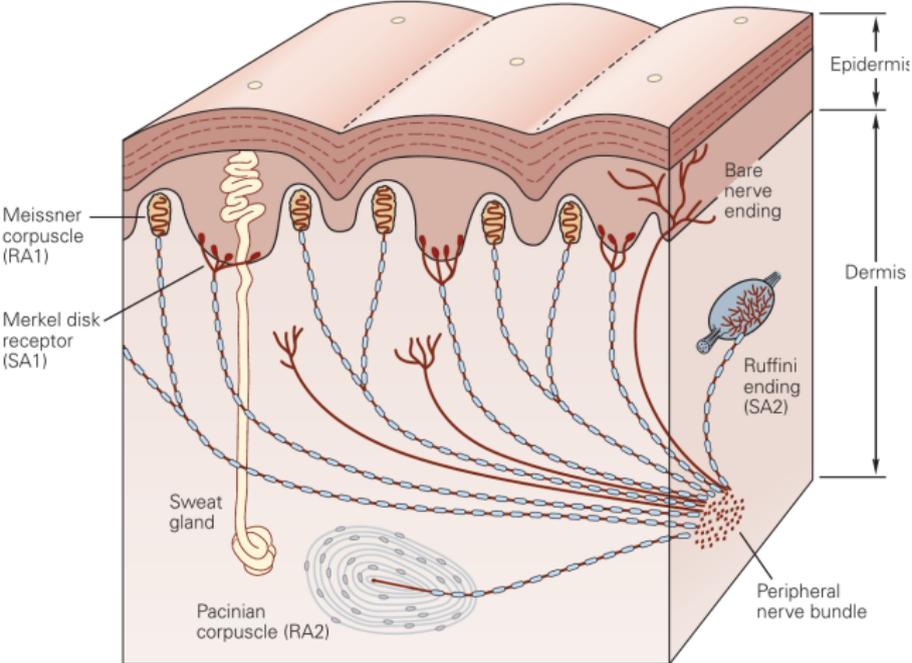
Los nociceptores mecánicos en la piel responden a estímulos que pinchan o apretan la piel



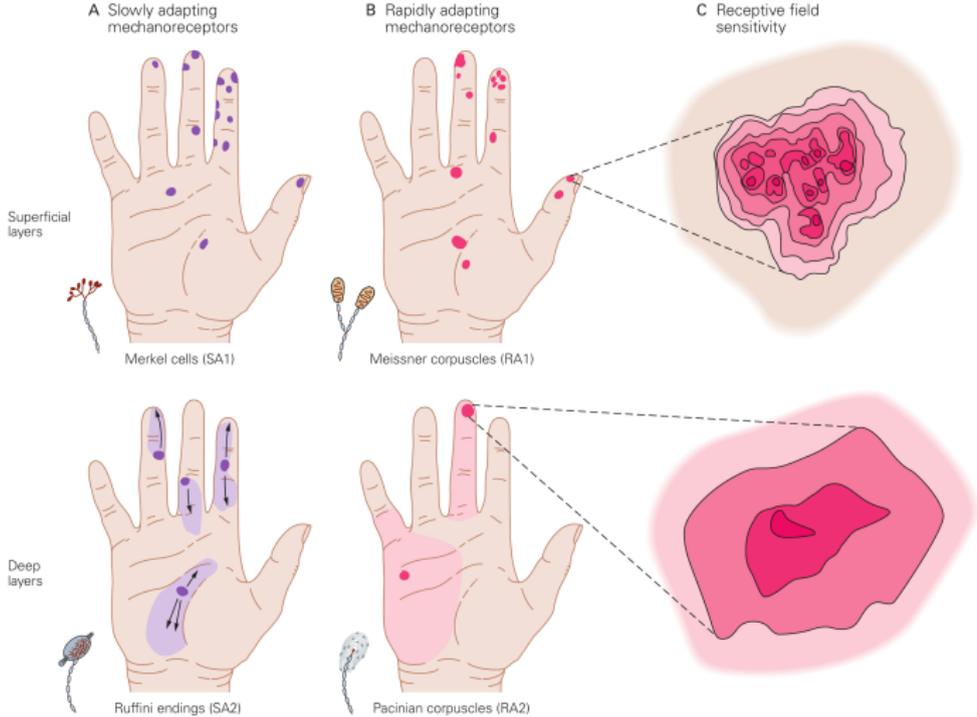
Mecanorreceptores responsables del sentido del tacto en la mano humana



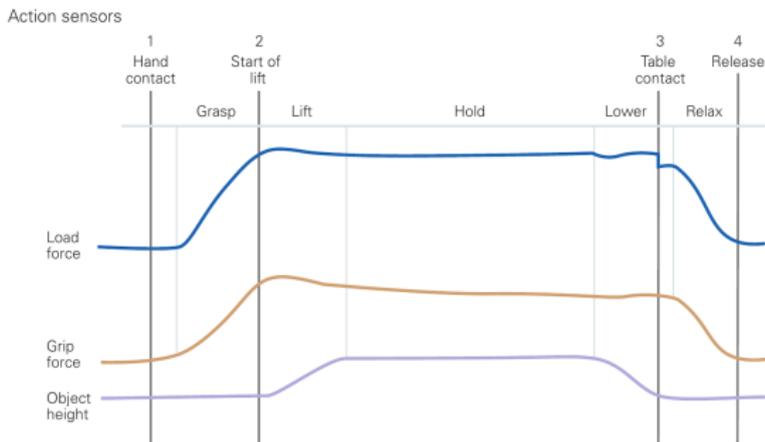
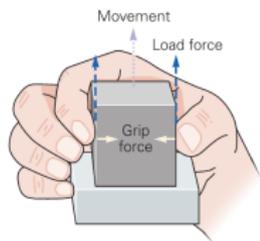
Inervación de la piel sin pelos en humanos



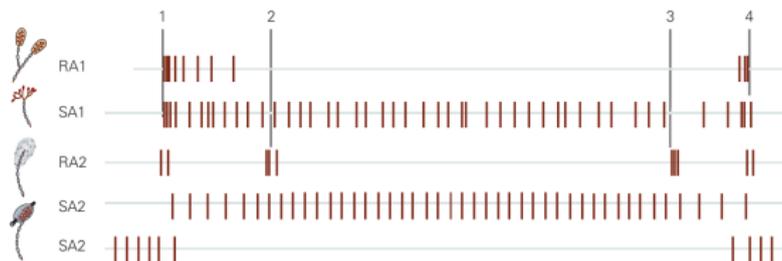
Campos receptivos en las manos



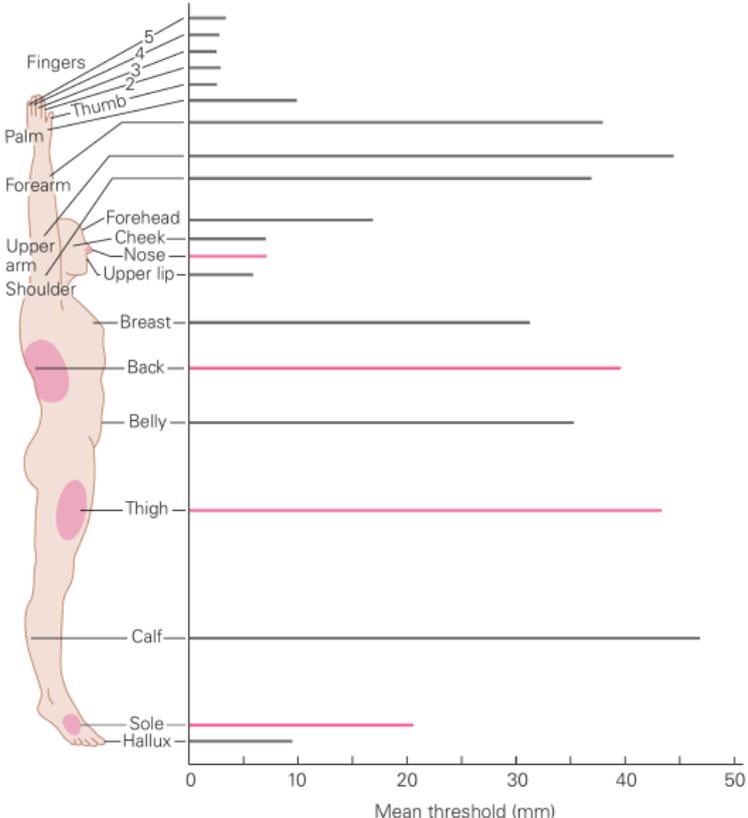
Información sensorial de la mano mientras un objeto es agarrado y levantado



Neural responses



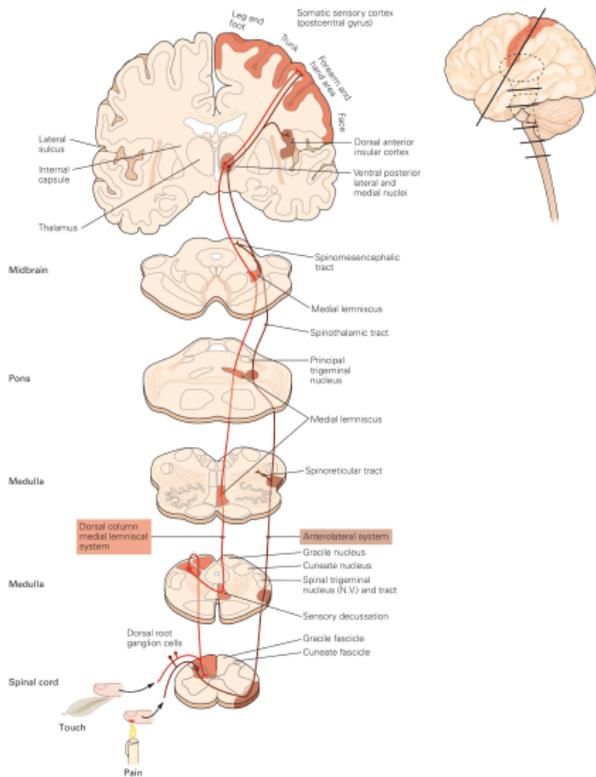
Umbral de resolución de estimulación en dos puntos



La información somatosensorial es enviada a la corteza

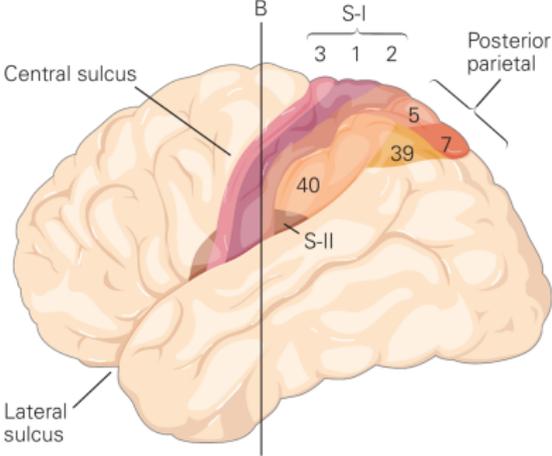
Vía dorsal-lemniscal medial: tacto y propiocepción.

Vía anterolateral: dolor, picazón, temperatura.

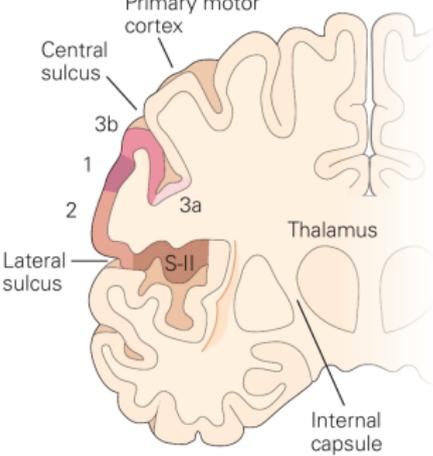


Corteza somatosensorial

A Somatosensory cortex

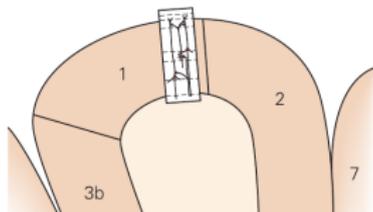


B Coronal section



Organización columnar en la corteza

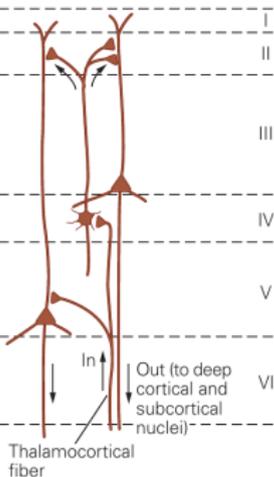
A Sagittal section of monkey S-I cortex



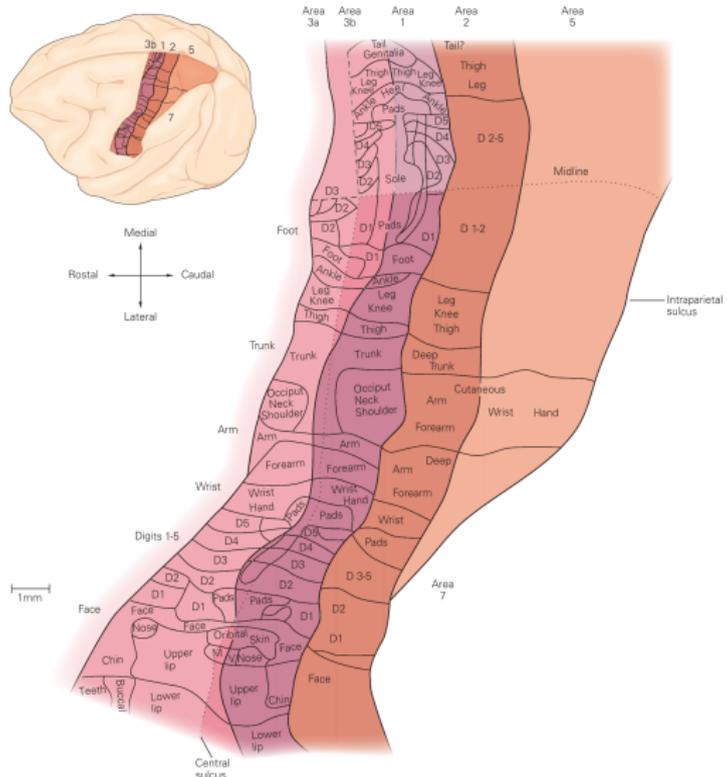
B Expanded view of cortical histology



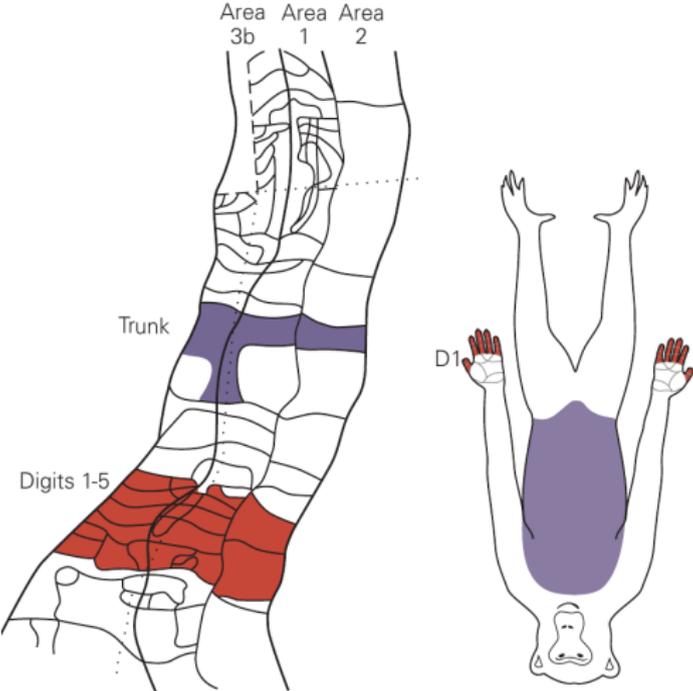
C Schematic cortical circuits



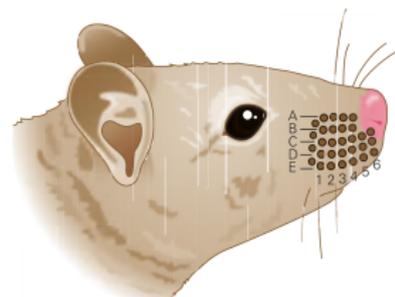
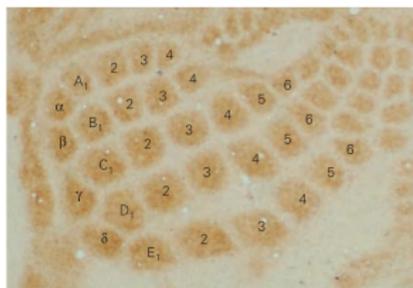
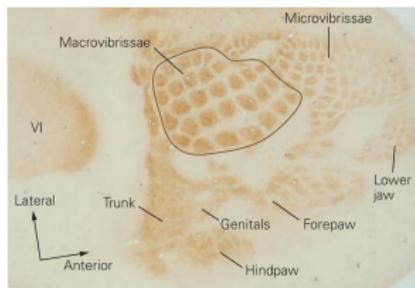
Toda la superficie del cuerpo está mapeada en regiones de la corteza somatosensorial primaria



La inervación sensorial es heterogénea

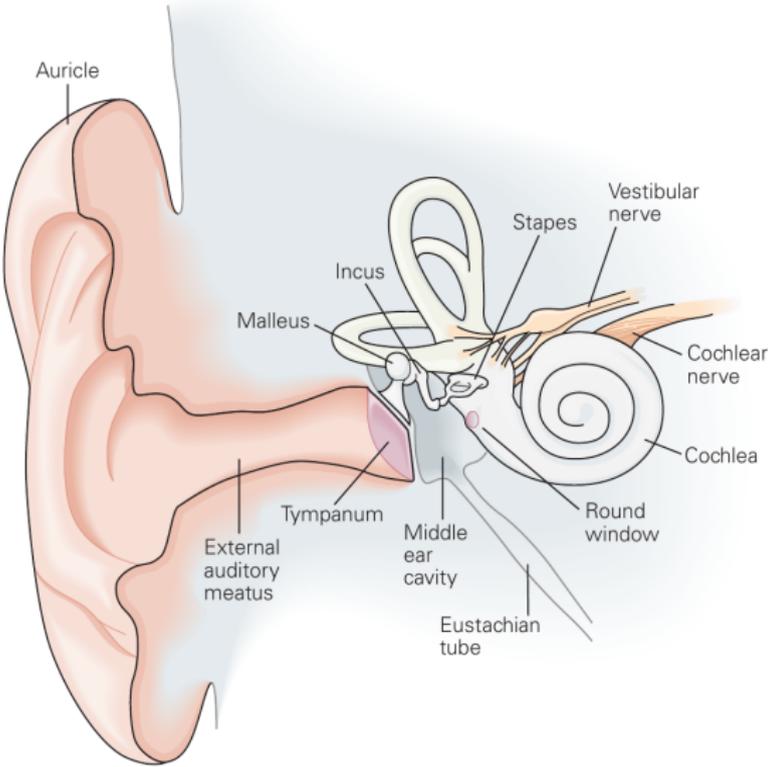


“Barriles” de vibrisas en roedores como modelo para procesamiento somatosensorial

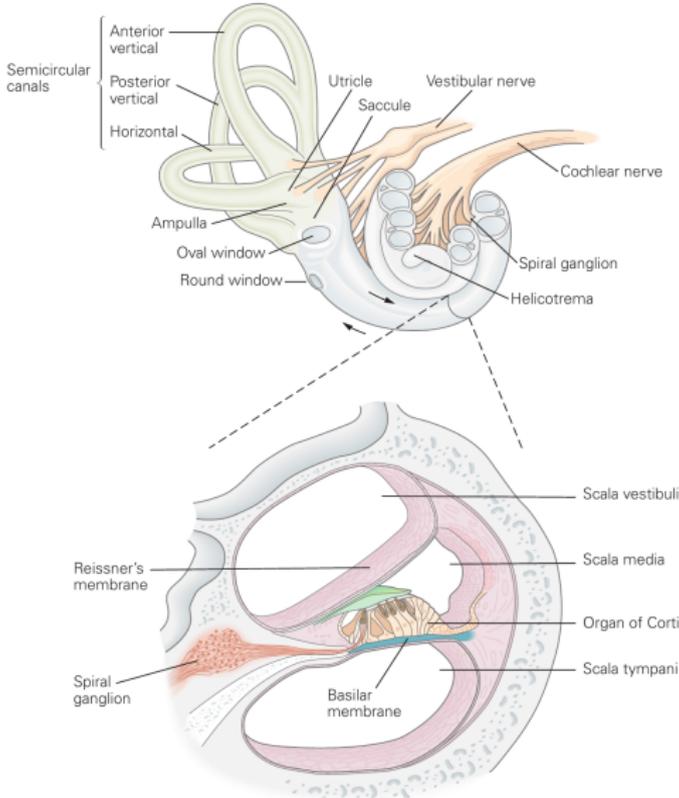


Oído y equilibrio

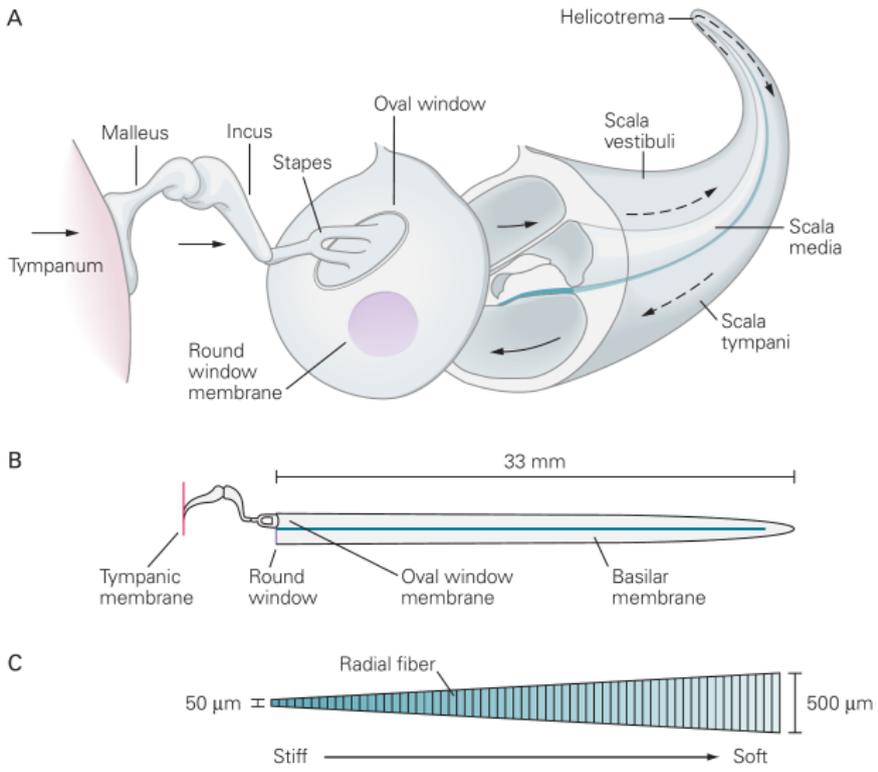
Estructura del oído humano



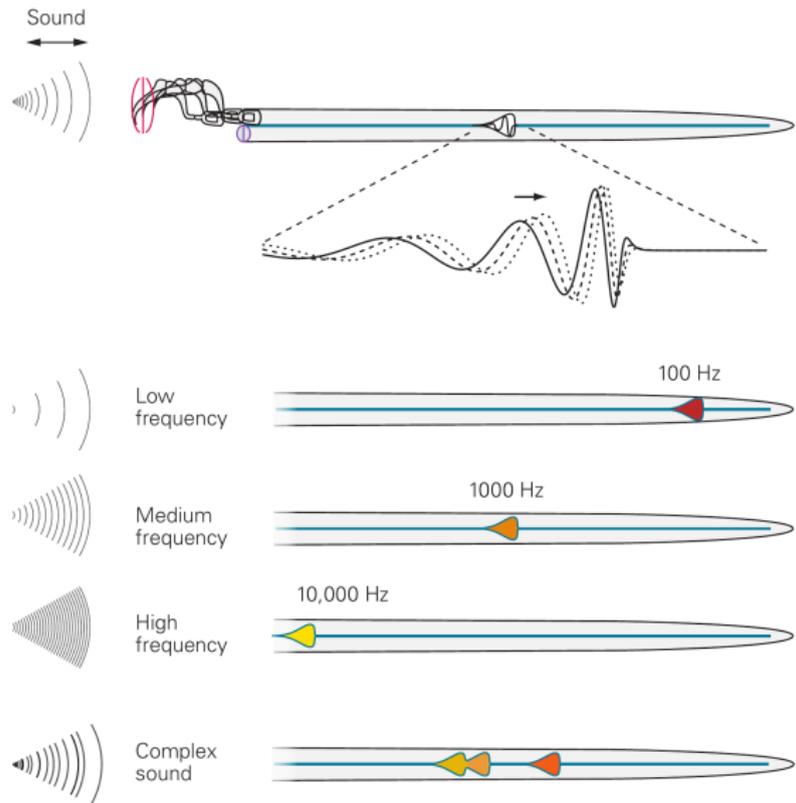
Estructura de la cóclea



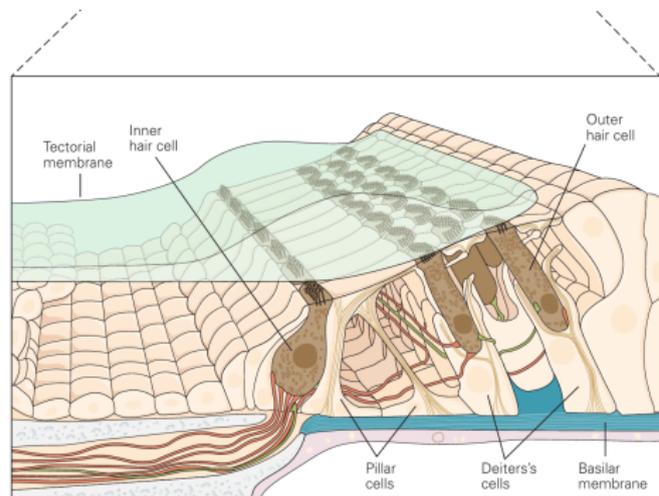
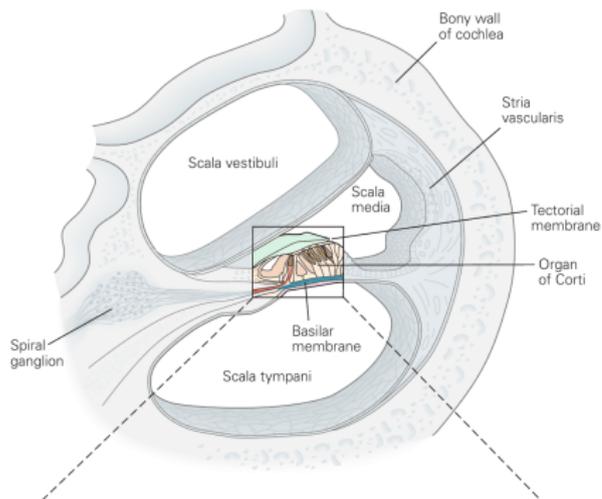
Membrana basilar de la cóclea



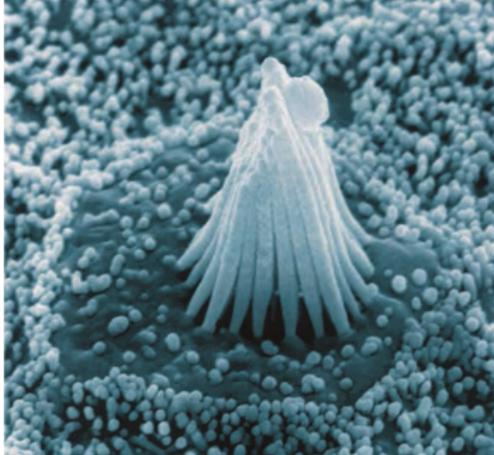
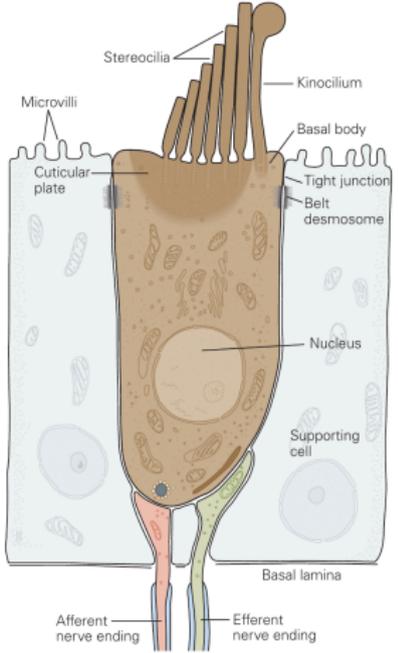
Procesamiento espectral de la membrana basilar



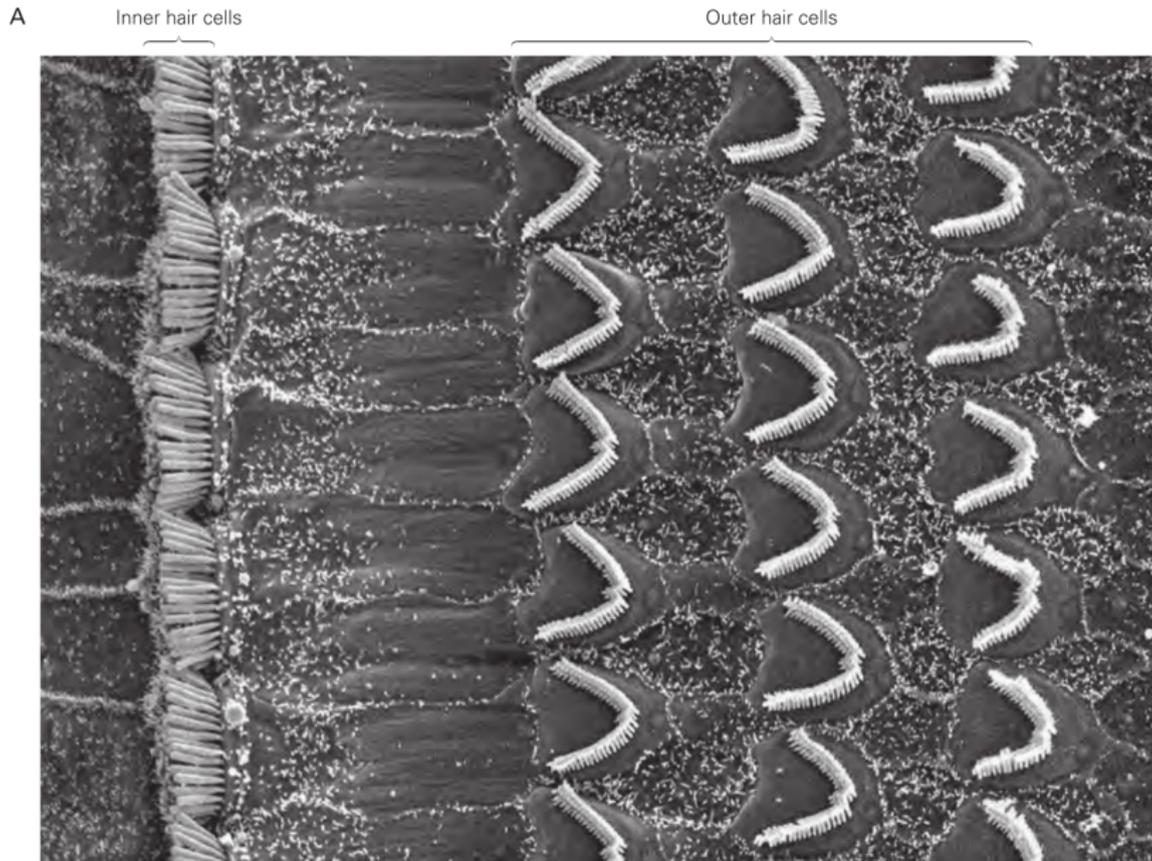
Arquitectura celular del órgano de Corti humano



Estructura de una célula ciliada en vertebrados

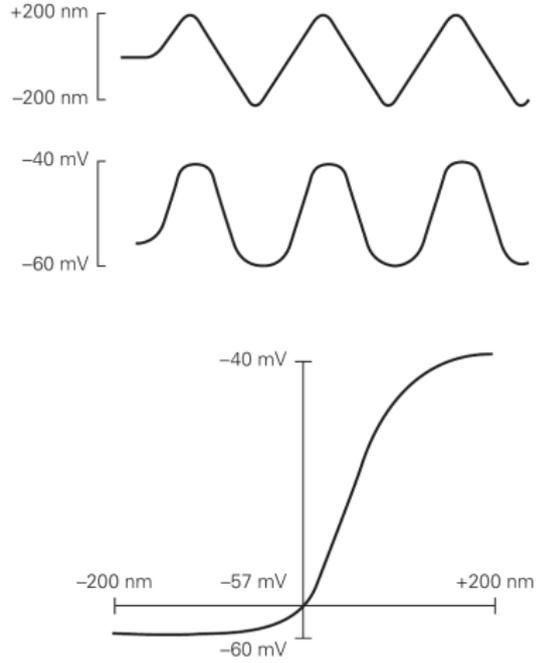
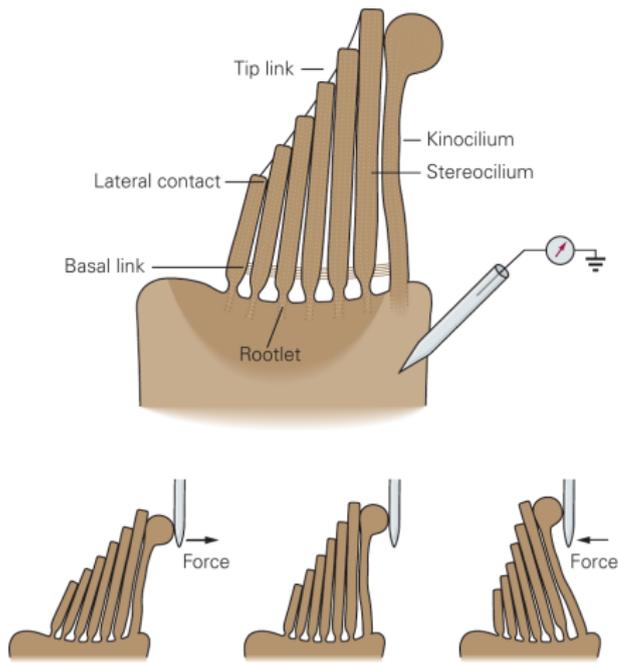


Organización de las células ciliadas interiores y exteriores

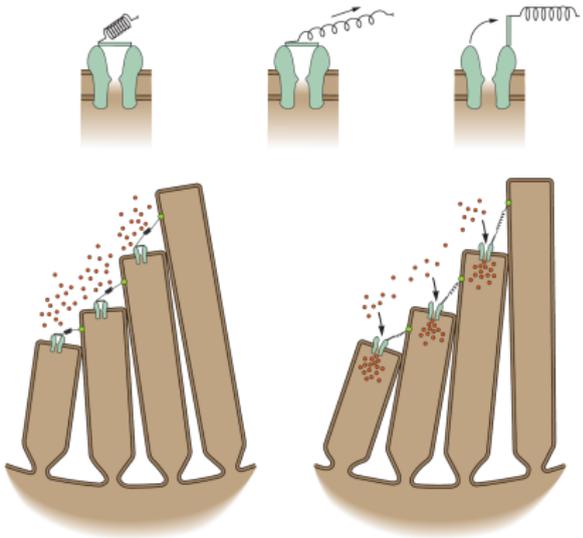
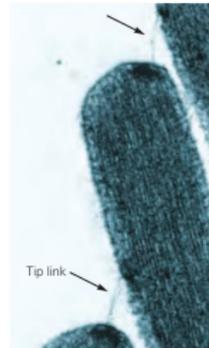
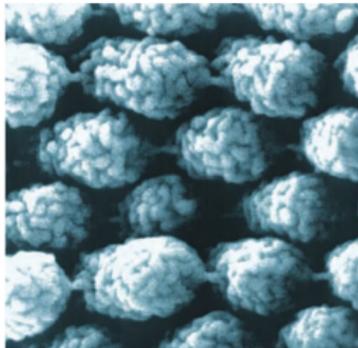


Respuesta mecánica de una célula ciliada

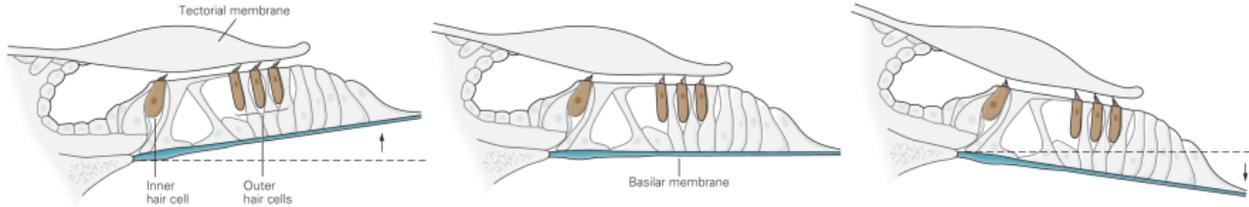
Célula ciliada de rana



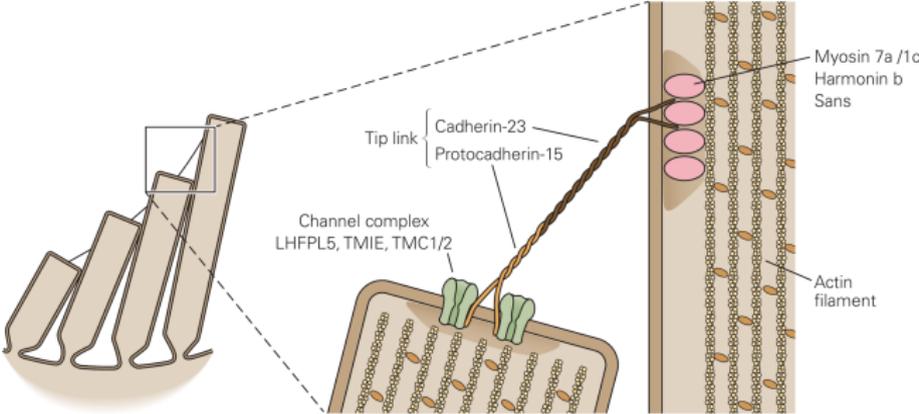
Transducción mecanoeléctrica en las células ciliadas



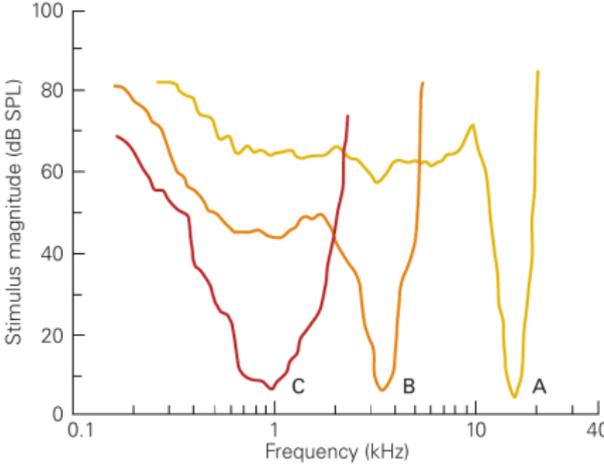
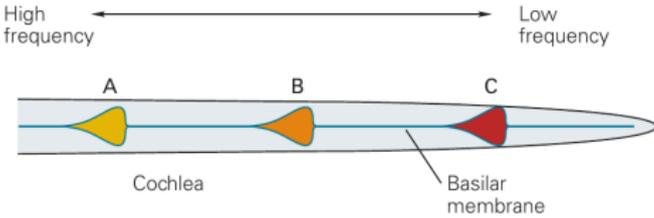
Fuerzas sobre las células ciliadas de la cóclea



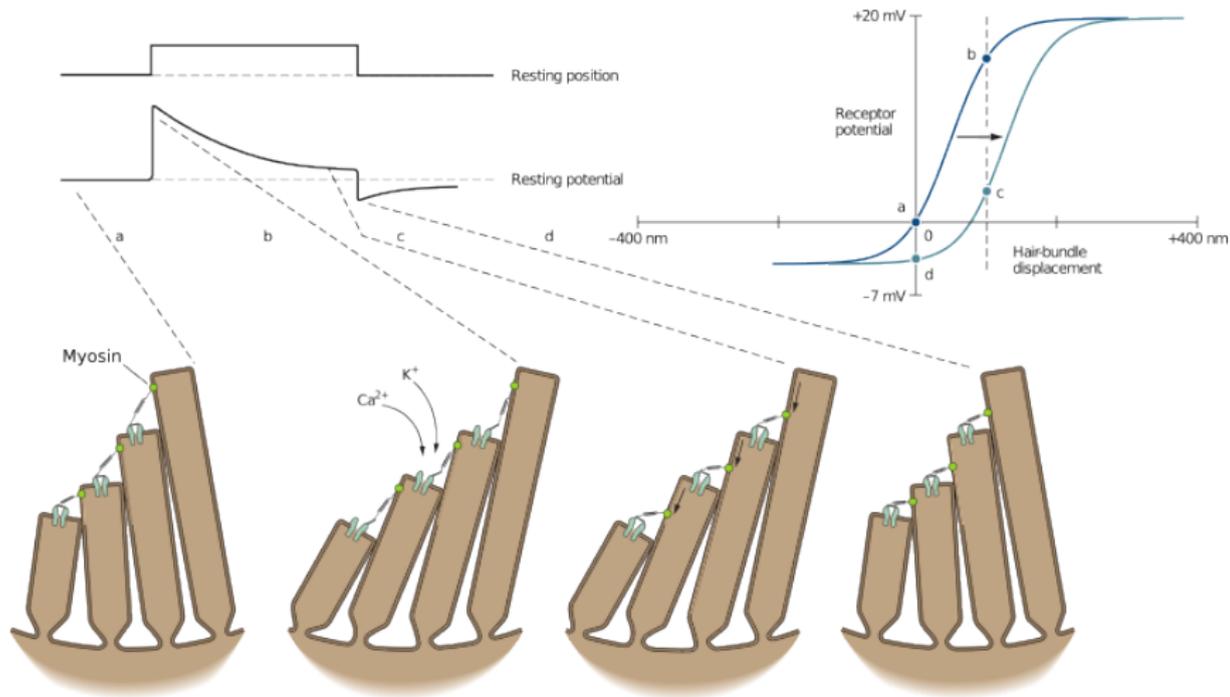
Composición molecular de la maquinaria de transducción



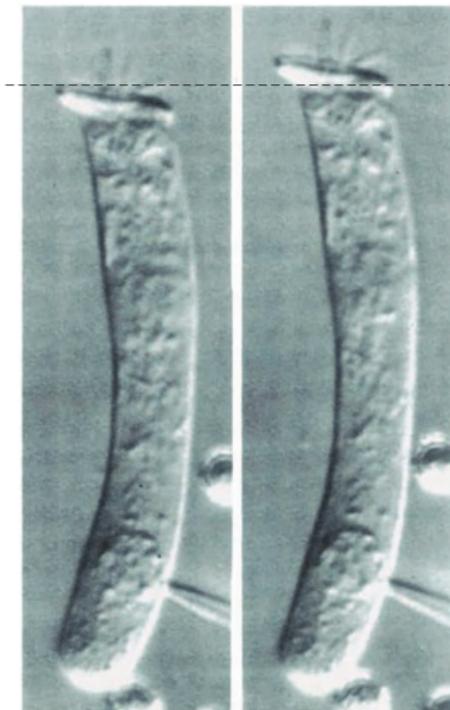
Curvas de sintonía de las células ciliadas en la cóclea



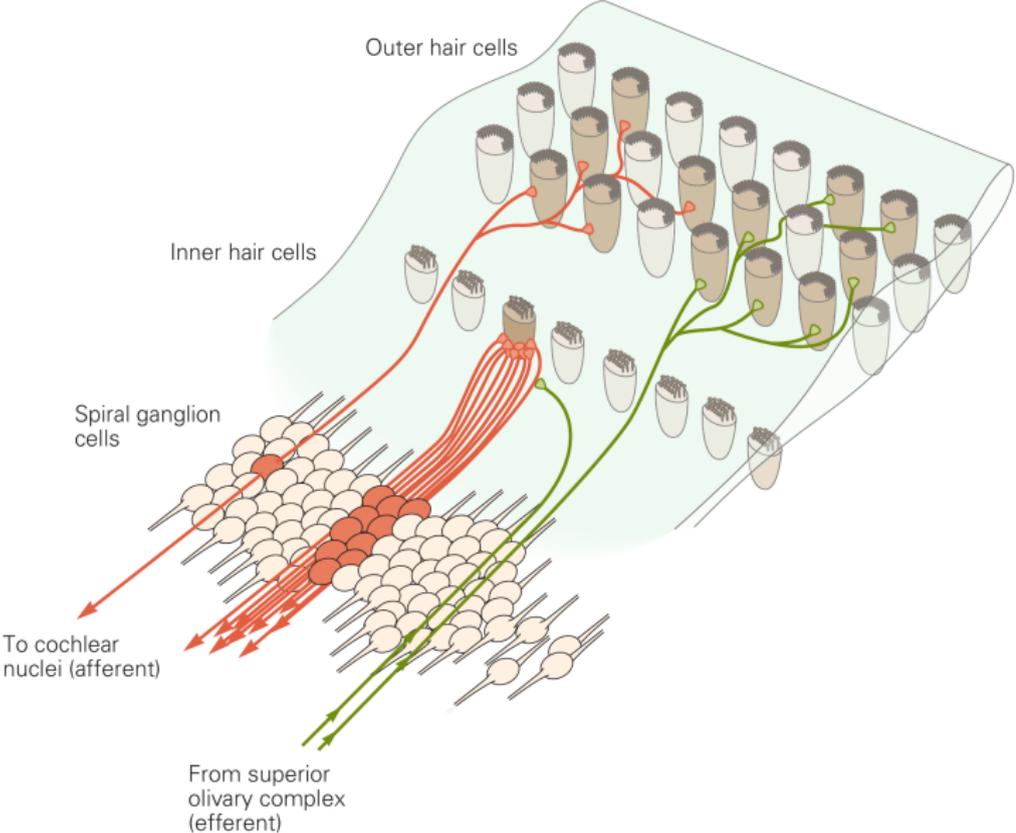
Adaptación de la transducción mecanoeléctrica en las células ciliadas



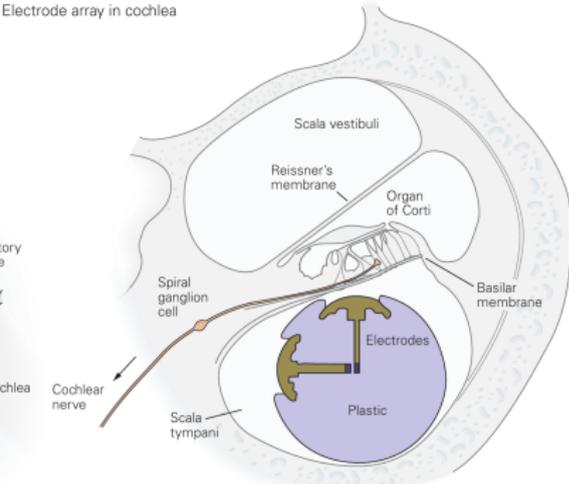
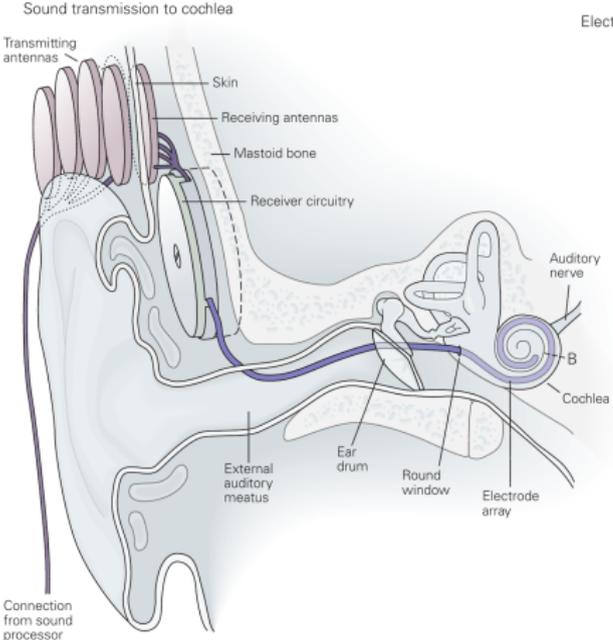
Movimiento de una célula ciliada externa inducido por voltaje



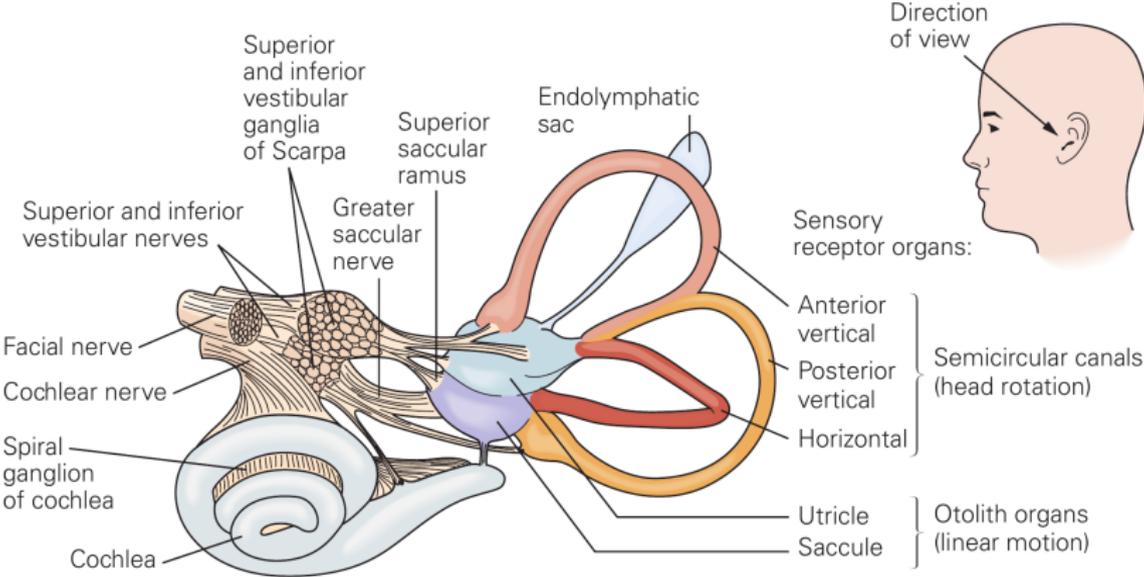
Inervación de las células ciliadas



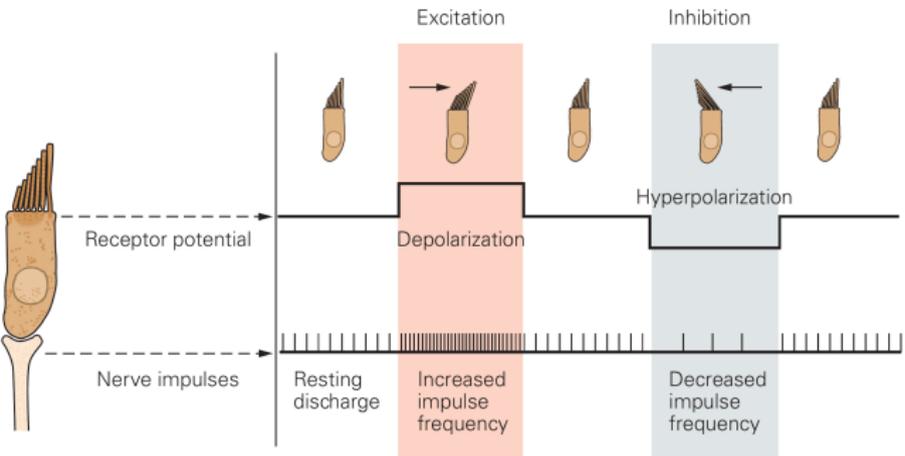
Implantes cocleares



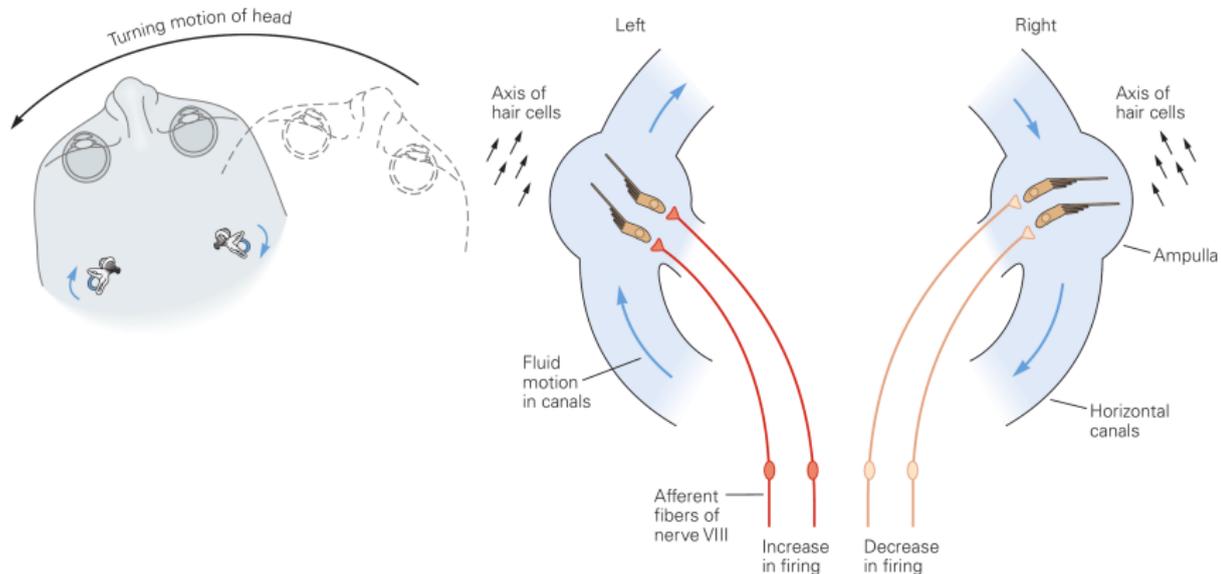
Aparato vestibular del oído interno



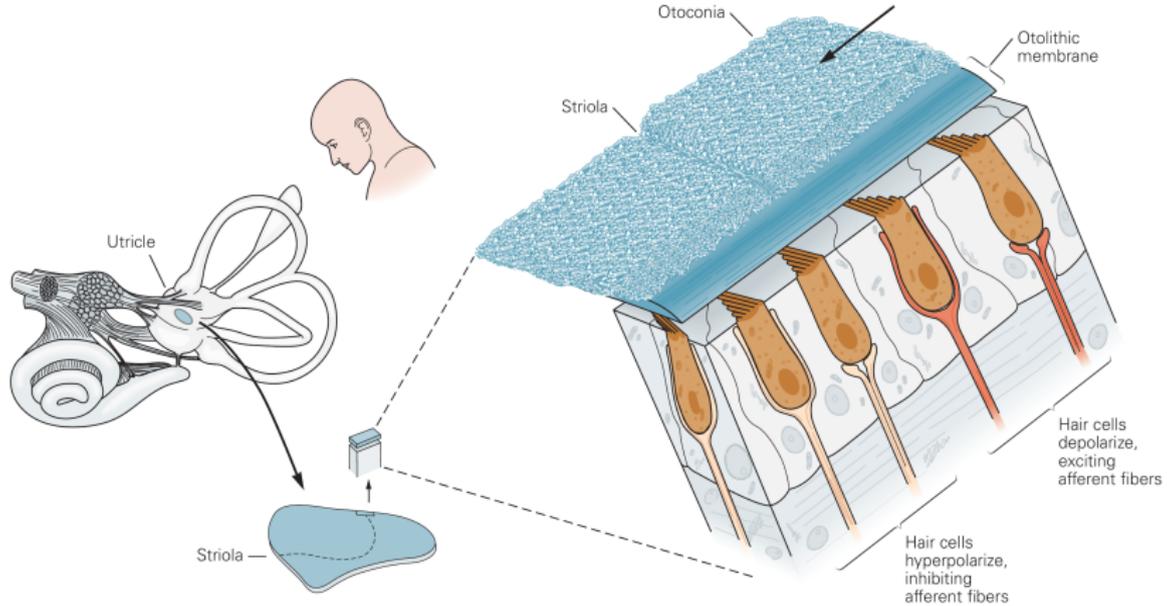
El aparato vestibular también tiene células ciliadas



Los canales semicirculares de ambos lados de la cabeza señalan movimientos de la cabeza

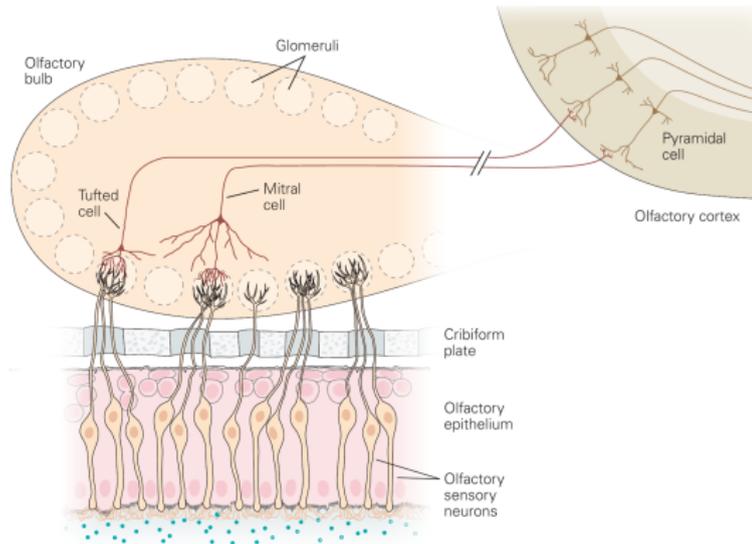
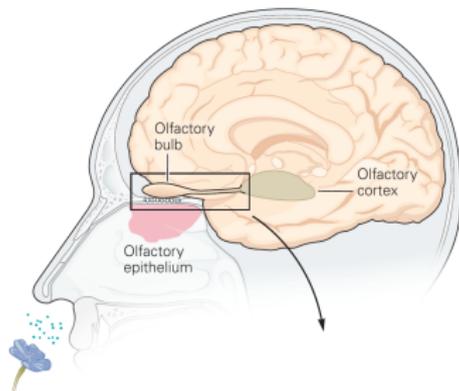


El utrículo detecta la inclinación de la cabeza

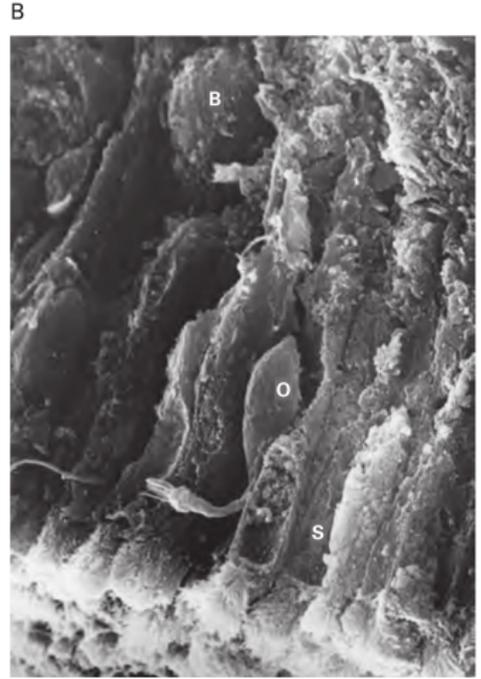
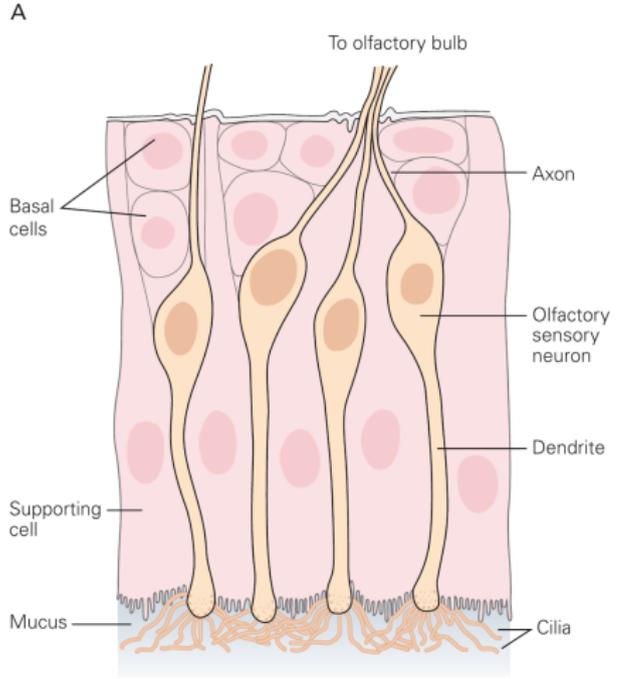


Olfato y gusto

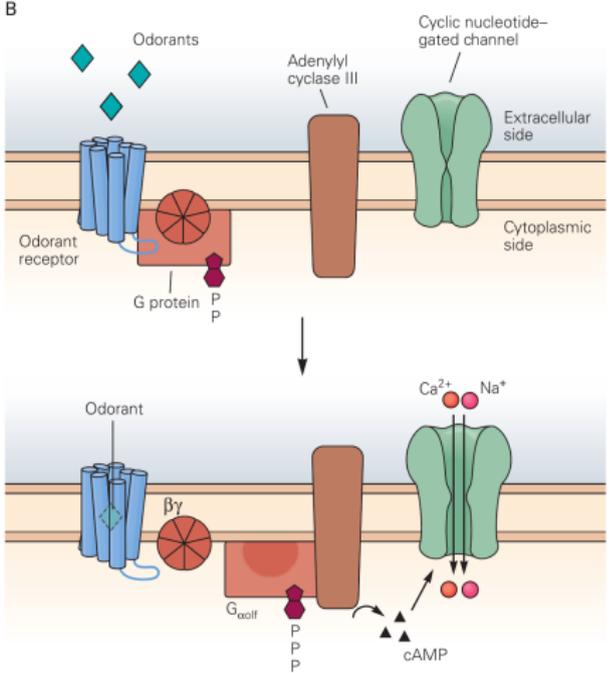
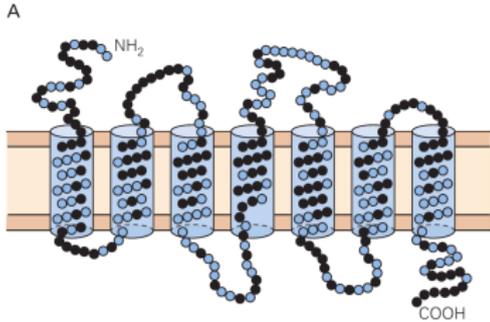
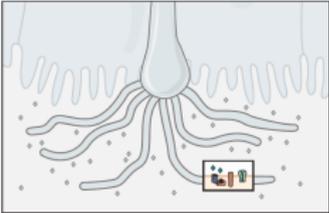
Sistema olfativo



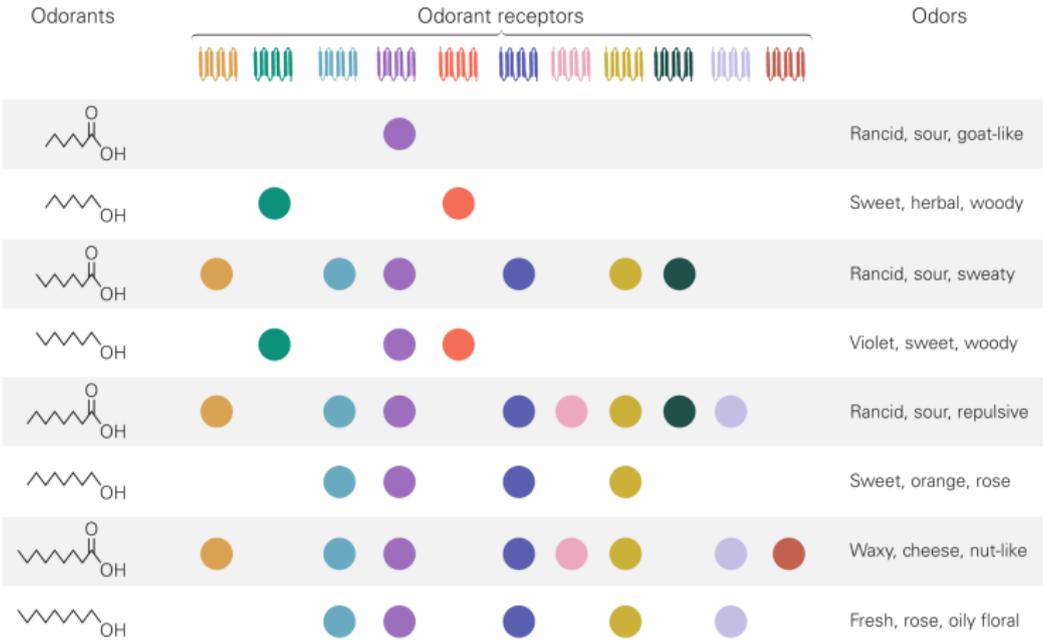
Epitelio olfativo



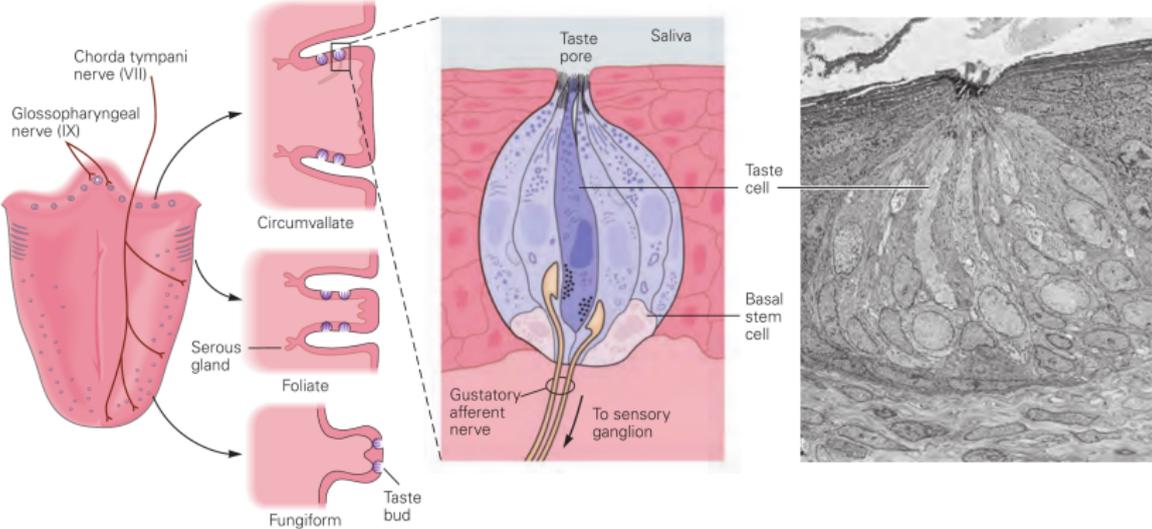
Receptores olfativos



Cada olor es reconocido por una combinación única de receptores

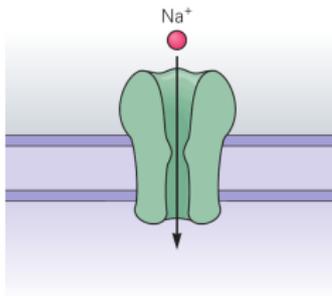


Las papilas gustativas tienen receptores químicos

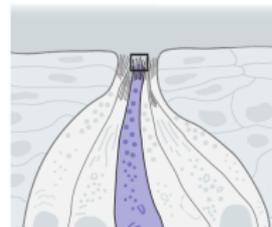
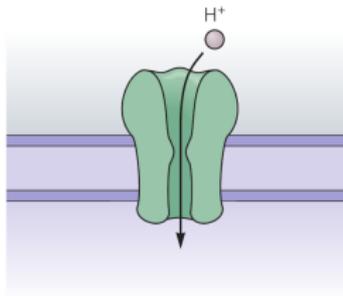


Transducción sensorial en células del gusto

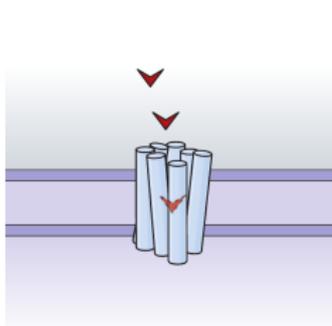
Salty (ENaC)



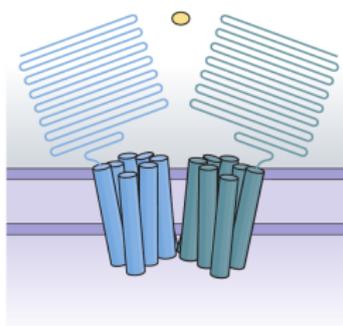
Sour (Otop1)



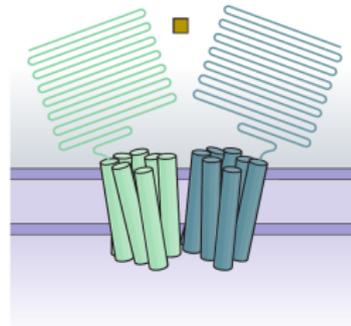
Bitter (T2Rs)



Sweet (T1R2 + T1R3)

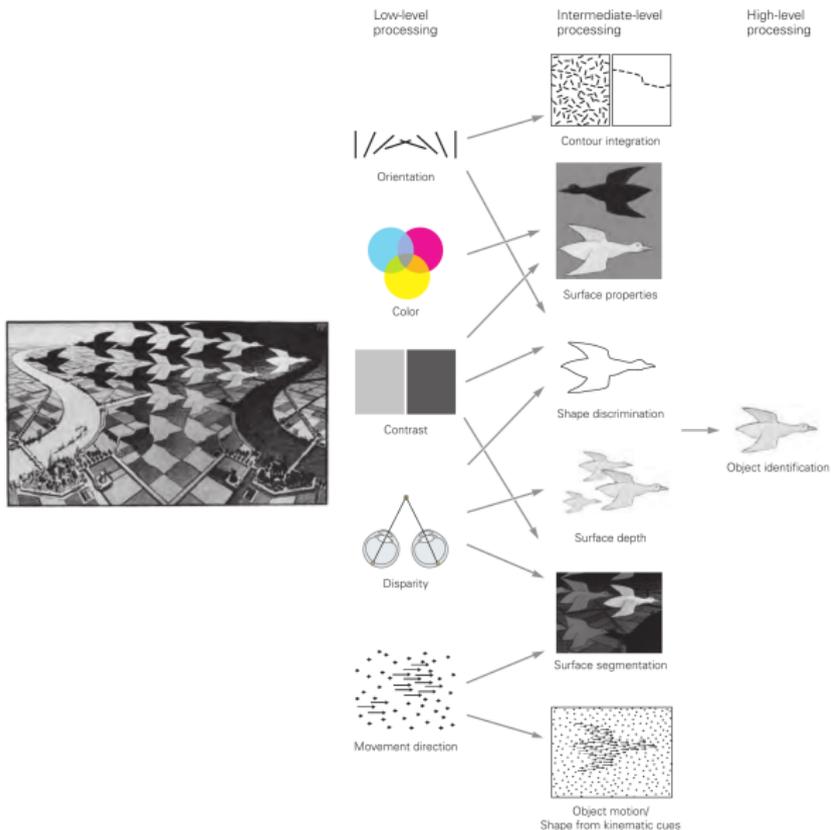


Umami (T1R1 + T1R3)

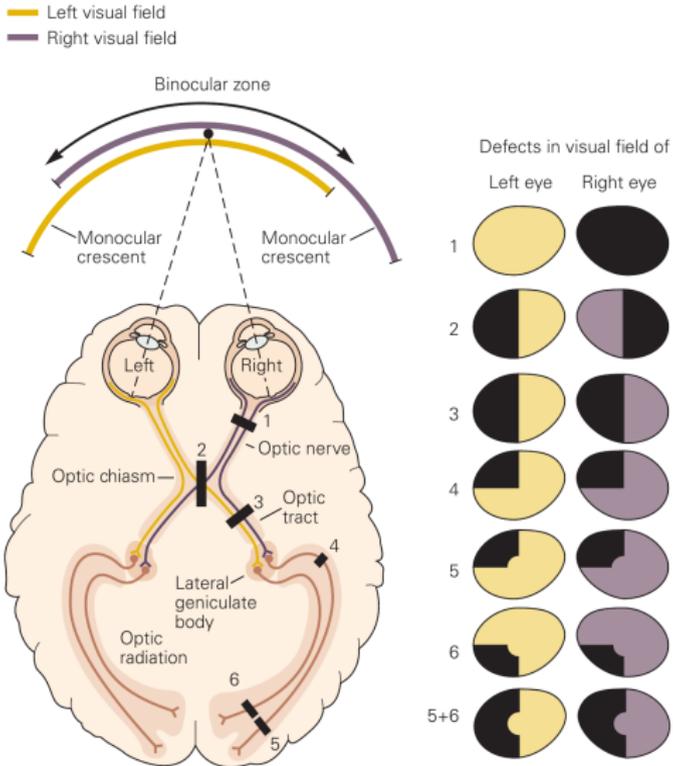


Visión

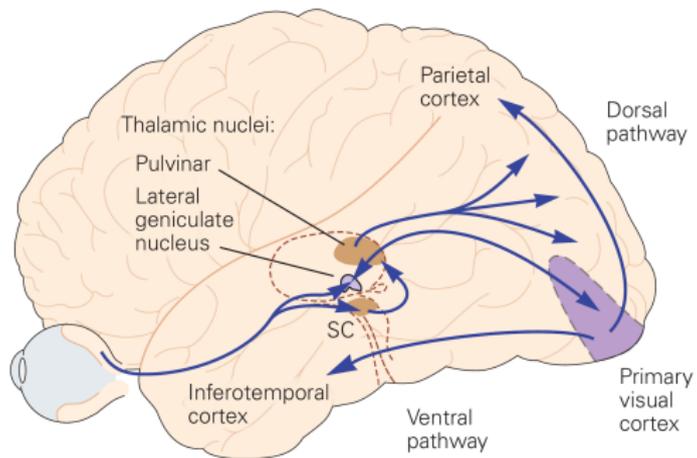
3 niveles de análisis de una escena



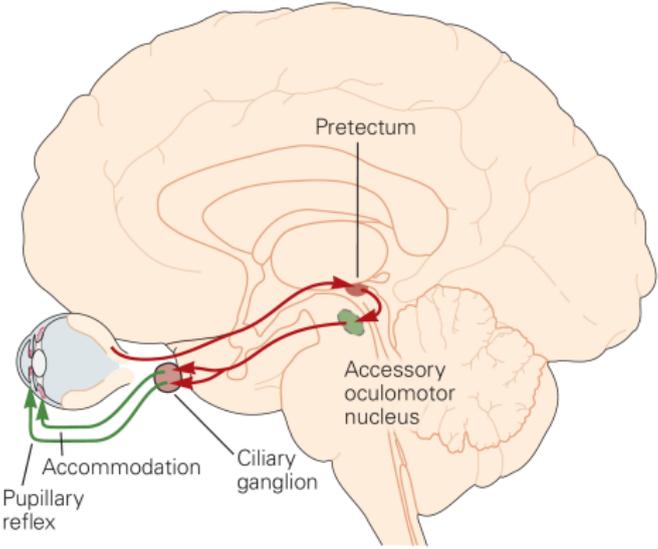
Campo visual a lo largo de la vía visual



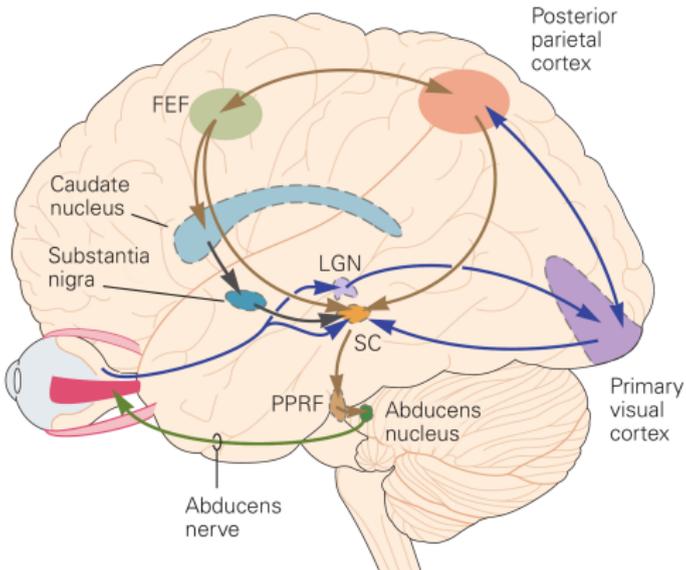
Vía visual



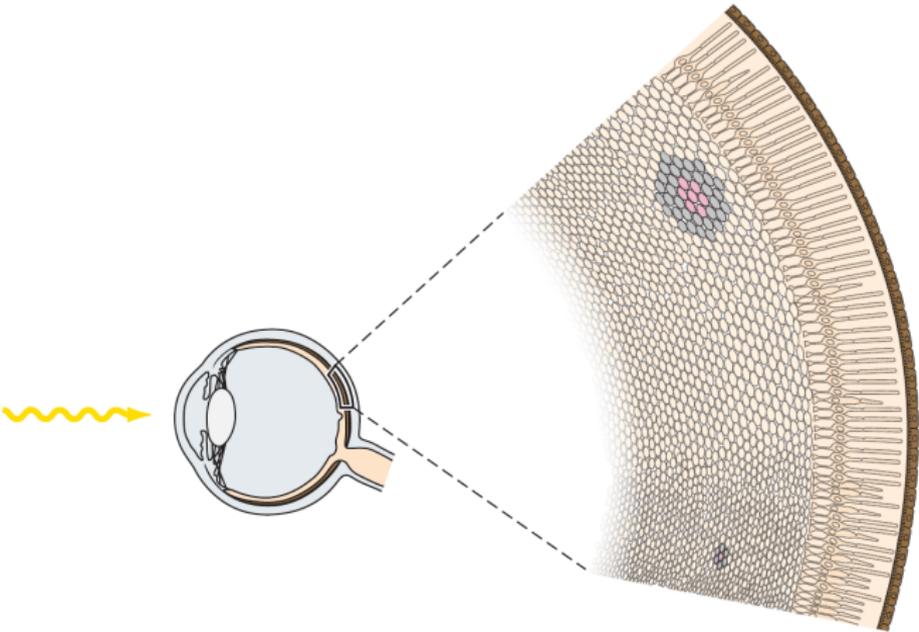
Reflejo pupilar y acomodación



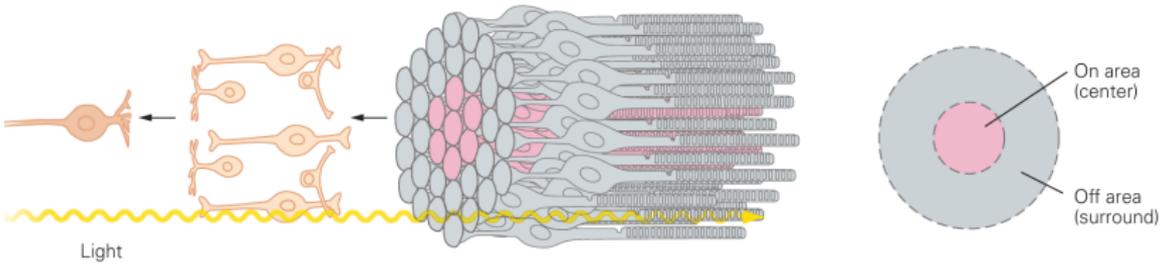
Movimiento horizontal del ojo



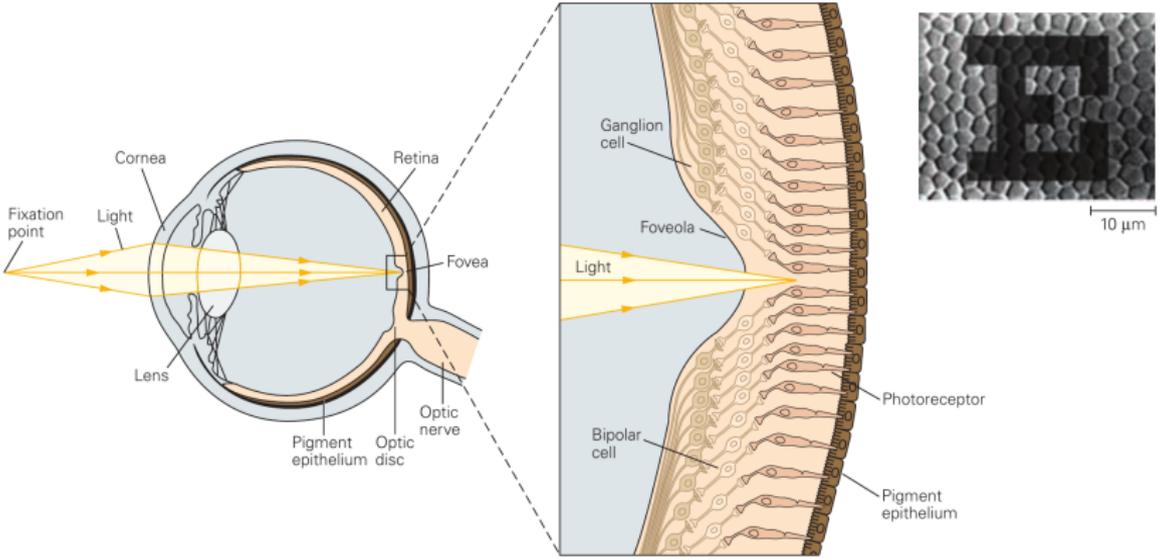
Campos receptivos en la retina



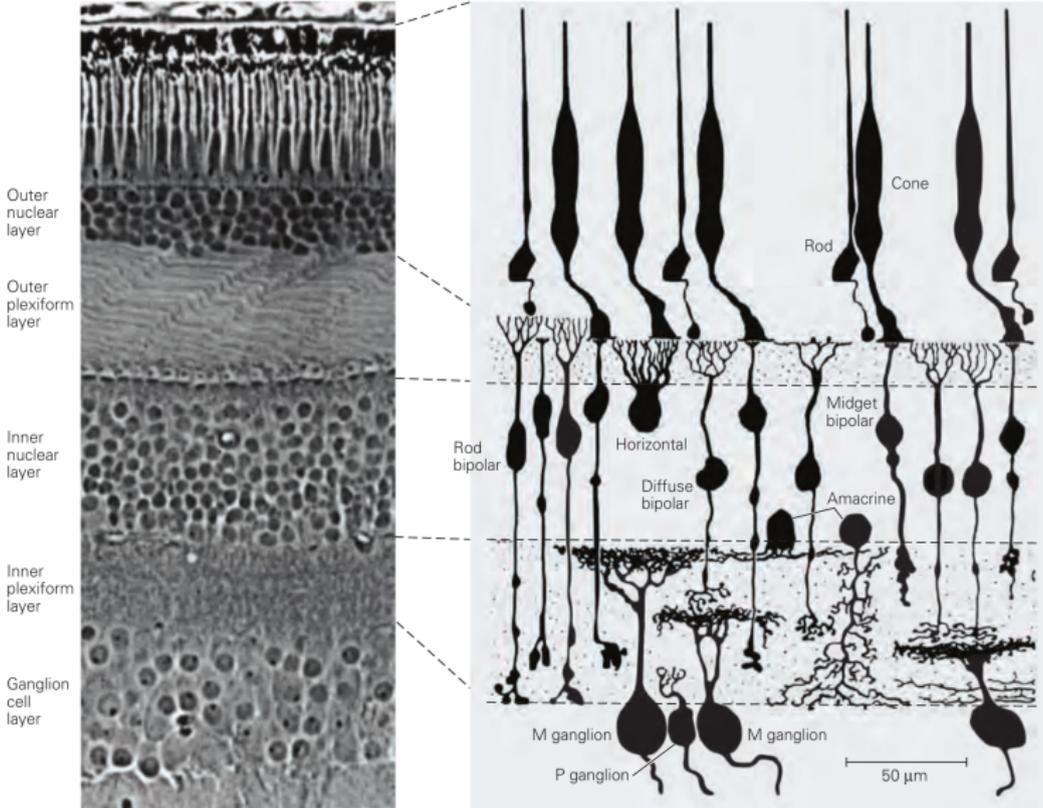
Campos receptivos de una célula ganglionar de la retina



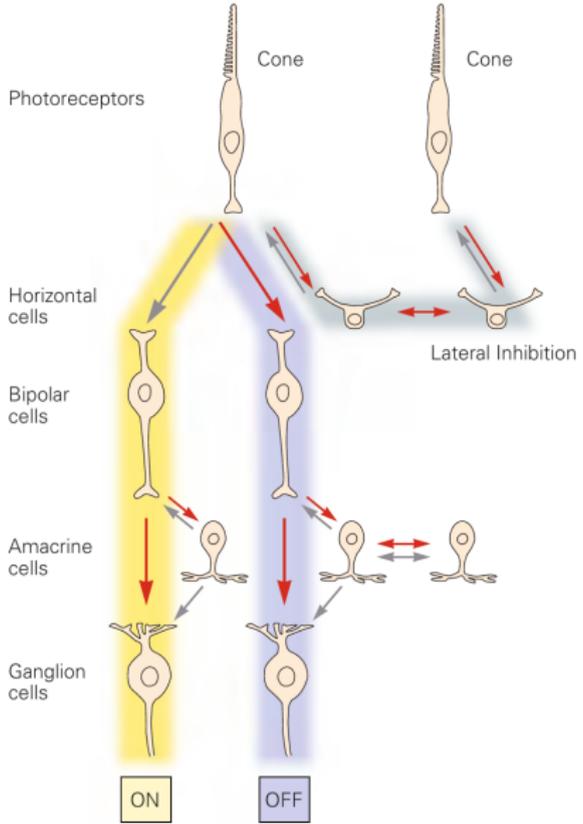
El ojo focaliza la luz en la retina



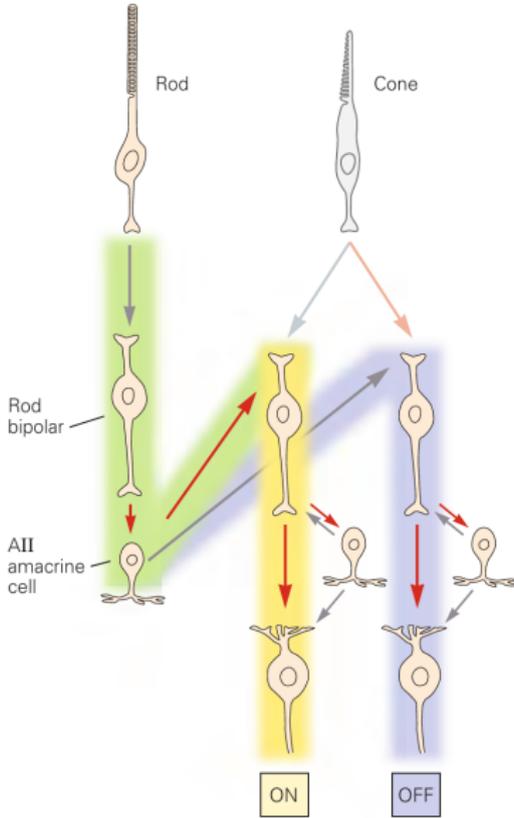
La retina tiene 5 capas de neuronas y sinapsis



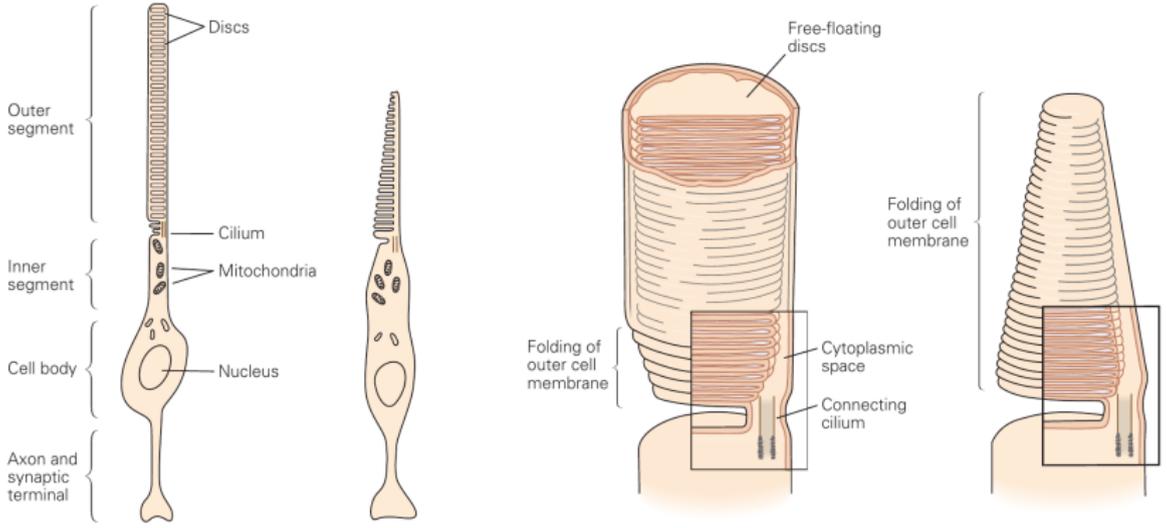
Circuito de señales provenientes de los conos



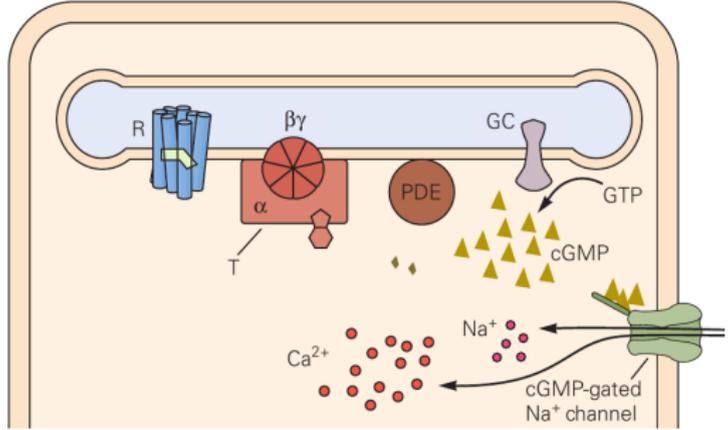
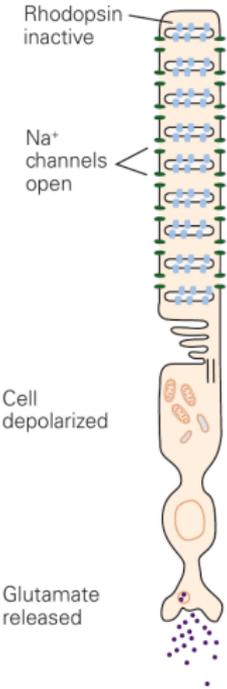
Circuito de señales provenientes de los bastones



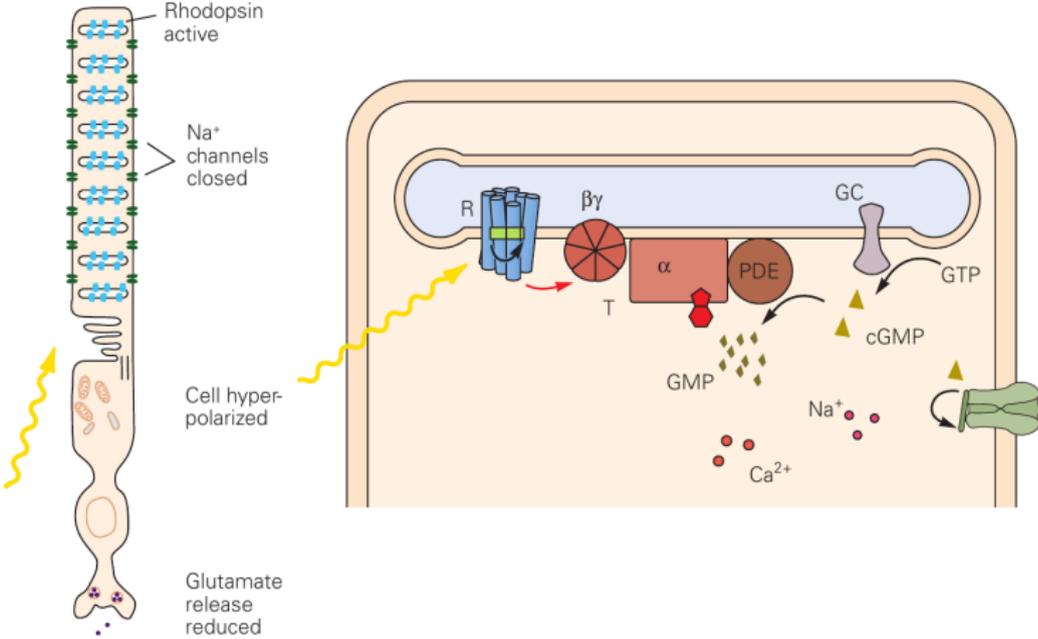
Estructura de los fotorreceptores



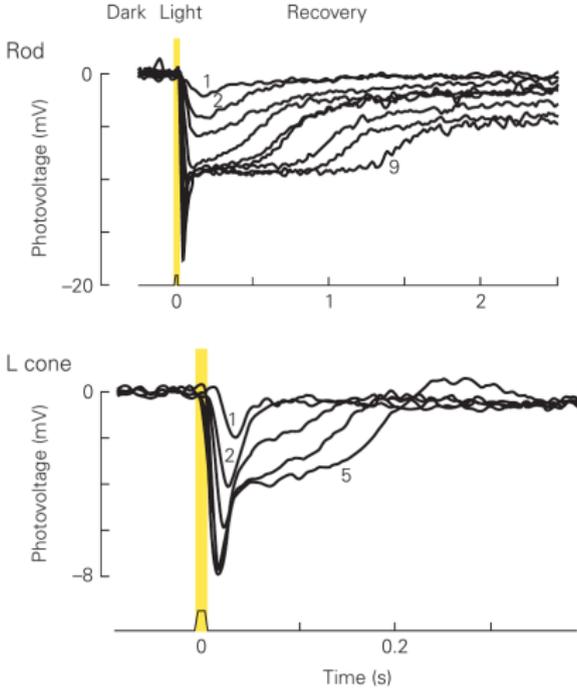
Fototransducción: Oscuridad



Fototransducción: Luz



Fototransducción: Respuesta en voltaje



Resumen

La percepción es no información sensorial “cruda”, sino que tiene componentes cognitivos y de experiencia.

Resumen

La percepción es no información sensorial “cruda”, sino que tiene componentes cognitivos y de experiencia.

Los receptores sensoriales transducen señales acondicionadas por estructuras prerreceptorales, las cuales tienen control descendente.

Resumen

La percepción es no información sensorial “cruda”, sino que tiene componentes cognitivos y de experiencia.

Los receptores sensoriales transducen señales acondicionadas por estructuras prerreceptorales, las cuales tienen control descendente.

Los receptores pueden ser ionotrópicos o metabotrópicos, y tienen curvas de sintonía y campos receptivos.

Resumen

La percepción es no información sensorial “cruda”, sino que tiene componentes cognitivos y de experiencia.

Los receptores sensoriales transducen señales acondicionadas por estructuras prerreceptorales, las cuales tienen control descendente.

Los receptores pueden ser ionotrópicos o metabotrópicos, y tienen curvas de sintonía y campos receptivos.

El potencial receptorial es analógico y proporcional a la intensidad del estímulo.

Resumen

La percepción es no información sensorial “cruda”, sino que tiene componentes cognitivos y de experiencia.

Los receptores sensoriales transducen señales acondicionadas por estructuras prerreceptorales, las cuales tienen control descendente.

Los receptores pueden ser ionotrópicos o metabotrópicos, y tienen curvas de sintonía y campos receptivos.

El potencial receptorial es analógico y proporcional a la intensidad del estímulo.

Aferentes primarias codifican digitalmente esta señal y la envían al sistema nervioso para su procesamiento.

Bibliografía

Kandel, *Principles of Neural Science*: capítulos 17, 18, 19, 21, 22 y 26.

Fain, *Molecular and Cellular Physiology of Neurons*, segunda ed.: capítulos 15 y 16.