



Tema_11

Los Sistemas

Sensoriales

Fundamentos de Psicobiología curso

2023/2024

Tutora: Mónica Martínez Ramos.

monmartinez@seu-durgell.uned.es

¿Qué aprenderemos?

- Conocer las distintas modalidades sensoriales.
- Describir los mecanismos y procesos que explican la codificación de dichas modalidades sensoriales.
- Explicar la forma en que se codifica la intensidad de los estímulos en términos nerviosos, así como su localización y duración.
- Conocer los diferentes tipos de transducción sensorial (química, mecánica, luminosa), es decir, las especializaciones celulares que permiten transformar las diferentes formas de energía en actividad nerviosa.
- Ser capaz de dar cuenta de las principales vías y centros nerviosos especializados en transmitir y realizar un primer procesamiento de los datos obtenidos en la transducción.
- Describir el papel del Tálamo y de la Corteza cerebral en el procesamiento sensorial, haciendo especial hincapié en la especialización funcional de las neuronas corticales.
- Conocer algunas de las alteraciones neuropsicológicas asociadas a los sistemas sensoriales.

■ INTRODUCCIÓN A LA FISIOLÓGIA DE LOS SENTIDOS

Los Receptores Sensoriales y la Transducción
La Codificación de la Intensidad del Estímulo
La Codificación de la Duración del Estímulo
La Localización del Estímulo: Campos Receptivos

■ LA TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN SENSORIAL AL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL Y SU PROCESAMIENTO POSTERIOR

Aproximación General a los Circuitos Sensoriales del Sistema Nervioso Central
El Papel del Tálamo en el Procesamiento de la Información Sensorial
El Procesamiento Cortical de la Información Sensorial

■ EL SISTEMA VISUAL

Fotorreceptores y Transducción Visual
Procesamiento Inicial de la Información Visual
Relevo Talámico de la Información Visual
Procesamiento Cortical en el Sistema Visual
El procesamiento Visual en V1: Las Células Simples y Complejas
El Concepto de Frecuencia Espacial
Las Columnas y los Módulos Corticales
La Percepción Visual
El Procesamiento Cortical del Color
El Procesamiento Cortical de la Forma
El Procesamiento Cortical del Movimiento

■ EL SISTEMA AUDITIVO

La Transducción de la Información Auditiva
La Transmisión de la Información Auditiva al Sistema Nervioso Central y su Procesamiento Cortical

La Percepción Auditiva
El Tono
La Intensidad
El Timbre
Las Corrientes Dorsal y Ventral en la Percepción Auditiva
La Percepción de la Música

■ EL SISTEMA SOMATOSENSORIAL

La Piel y los Receptores Cutáneos
La Transmisión de la Información Cutánea a la Corteza Cerebral y su Procesamiento Posterior

■ LOS SENTIDOS QUÍMICOS: GUSTO Y OLFATO

Receptores Gustativos, Receptores Olfativos y Vías de Comunicación al Sistema Nervioso Central
Algunas Nociones sobre la Percepción Gustativa y Olfativa

Los sistemas sensoriales o sentidos

- **Los sentidos son la vía por la que el ambiente afecta al organismo:** si no fuera porque hay una notable correspondencia entre los valores físicos de los estímulos, el tipo de energía y su intensidad, y la sensibilidad de los receptores sensoriales, la adaptación biológica sería imposible.
- Existen varias formas de energía relevantes para la adaptación de los seres vivos, varios son también los **tipos de receptores sensoriales**: unos captan estímulos externos (**exteroceptores**), otros codifican información relativa al propio organismo (**propioceptores e interoceptores**).
- A lo largo de este capítulo vamos a tratar de describir todos los procesos biológicos que intervienen y que explican cómo podemos orientarnos adaptativamente en el maremágnum ambiental en el que hemos de vivir, y ello de fuera adentro, desde los propios receptores sensoriales hasta el más sofisticado nivel de análisis de la corteza sensorial y de asociación.

• 1 • INTRODUCCIÓN A LA FISIOLOGÍA DE LOS SENTIDOS

- Los diferentes tipos de **energía** susceptibles de influir sobre la conducta de un organismo reciben el nombre genérico de **estimulación sensorial** que es el aspecto físico-material de los **estímulos**: su modalidad (luz, sonido, etc.), y sus características físicas de frecuencia, amplitud o intensidad, etc.
- La vía a través de la cual los estímulos llegan al organismo, esencialmente al SNC y rigen la conducta (o influyen sobre ella), está constituida por los receptores sensoriales localizados en los órganos de los sentidos. En el SNC, los estímulos son **codificados y procesados** pudiendo dar como resultado una respuesta que unas veces será de carácter motor (conducta motora), otras de tipo endocrino (respuesta fisiológica) y la mayor parte de las veces una combinación de ambas.

1.1 Los Receptores Sensoriales y la Transducción

- A la transformación de las diferentes modalidades energéticas en actividad eléctrica llevada a cabo por los receptores sensoriales se le llama **transducción sensorial**.
- **Primeras teorías actualmente descartadas: (Ley energía nerviosas de Müller; 1826)**. Esta ley indicaba que las vías nerviosas estimuladas por cada modalidad sensorial específica transportaban una energía nerviosa también específica: si se estimula eléctricamente el nervio óptico, las sensaciones son visuales, en el auditivo son sensaciones auditivas, en el tacto, sensaciones táctiles... las vías nerviosas son específicas de los sentidos.
- **Actualmente la Ley de líneas marcadas** : Las vías nerviosas que transmiten la información sensorial al SNC llevan esa información a zonas determinadas, diferentes para cada modalidad, por ejemplo, las vías visuales proyectan a la corteza occipital (percepción visual), mientras que las vías auditivas lo hacen sobre la corteza temporal (percepción auditiva). **Este planteamiento se conoce como ley de líneas marcadas**.
- La **modalidad sensorial** depende de que parte del SNC lleguen los impulsos nerviosos y no de cuál haya sido la energía estimular: es lo que se conoce como **ley de líneas marcadas**.

1.1.1 Codificando las Características básicas del Estímulo: Intensidad, Duración y Localización.

¿Cómo codificamos la intensidad de los estímulos?

A) La Codificación de la intensidad del Estímulo :

- Cada receptor está programado para responder a un estrecho margen de valores de un tipo determinado de energía: **el estímulo adecuado**.
- **Las neuronas sensoriales cuentan con dos mecanismos para codificar la intensidad del estímulo:**

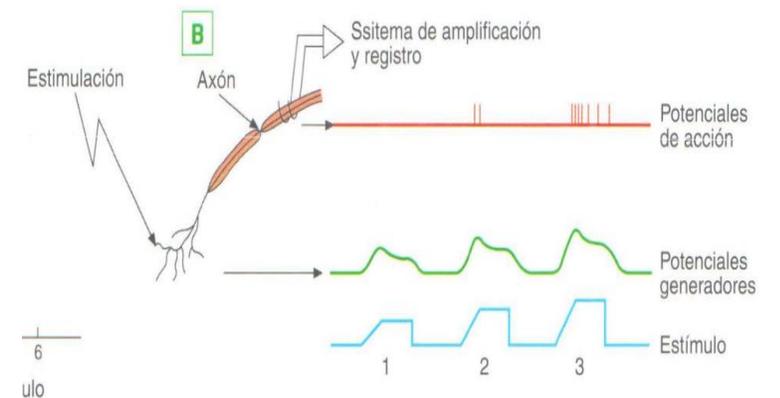
1: un **código de frecuencia**, consistente en que a medida que aumenta la intensidad del estímulo, aumenta correlativamente su frecuencia de disparo de potenciales de acción,

2: un **código poblacional** o de **fraccionamiento según el rango**, basado en que cada neurona sensorial posee un umbral de disparo prefijado.

Así, a medida que aumenta la intensidad de la estimulación, las neuronas con un **umbral** más alto empiezan a disparar potenciales de acción.



Figura 11.1



B) La Codificación de la Duración del Estímulo

Cuando se reduce la respuesta de un receptor sensorial a la presencia continuada de un estímulo, aunque su intensidad se mantenga constante, se produce **adaptación sensorial**.

Cuando el individuo deja de responder a la estimulación, se suele hablar de **habitación**, que es un tipo de aprendizaje no asociativo cuya explicación hay que buscarla en cambios fisiológicos en las sinapsis entre neuronas dentro del SNC, o en procesos más complejos.

Los receptores que se adaptan deprisa son los receptores **fásicos**, mientras que los que tardan mucho o no son adaptables se les llama **tónicos**.

B) La Codificación de la Duración del Estímulo

A. Modo de respuesta característico de los distintos tipos de receptores en función de la forma de adaptación a la presencia continuada de un estímulo. Los receptores de adaptación lenta o tónicos, como los discos de Merkel (mecanorreceptores de la piel), responden de forma continua mientras el estímulo está presente, aunque la magnitud de su respuesta va disminuyendo (potencial generador). **Los receptores de adaptación rápida o fásicos, como los corpúsculos de Pacini**, situados también en el tejido cutáneo, responden únicamente al comienzo de la estimulación, pero dejan de hacerlo a pesar de que la intensidad del estímulo se mantiene, y sólo vuelven a responder cuando se retira la estimulación.

B. Velocidad de adaptación sensorial de diferentes receptores: las curvas que caen casi verticales corresponden a receptores de **adaptación rápida (fásicos)**, como los corpúsculos de Pacini y los receptores del pelo, mientras que las curvas que mantienen una asíntota muy por encima de cero, son receptores de **adaptación lenta (tónicos)**, como los receptores de las articulaciones y los husos musculares.

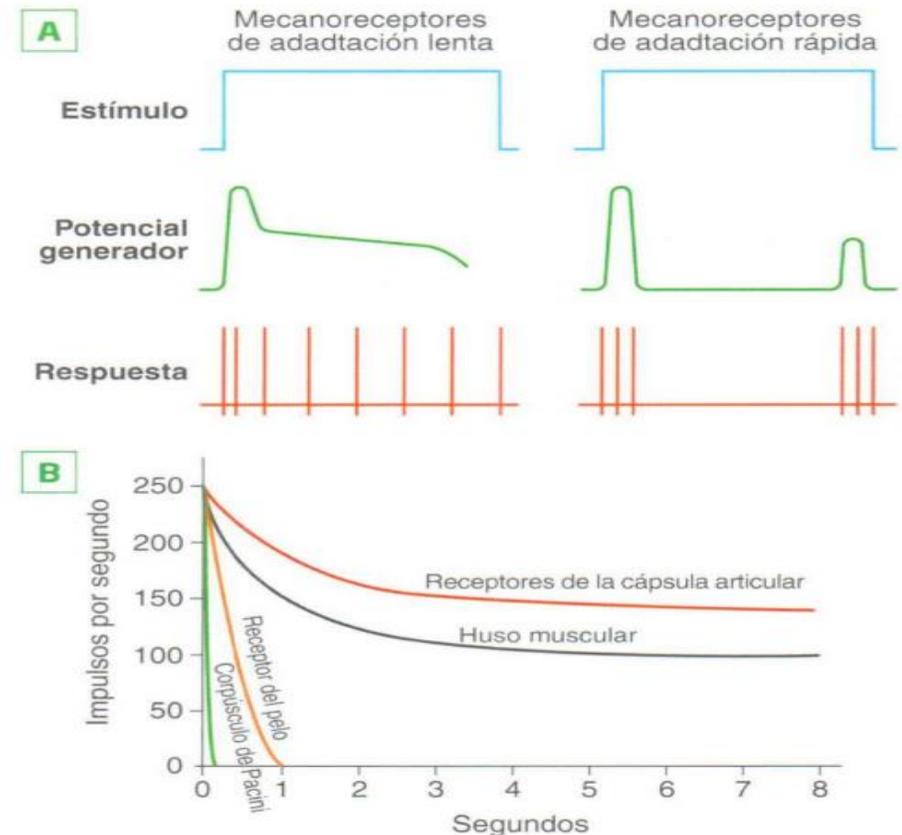


Figura 11.2

C) La Localización del Estímulo: Campos Receptivos

La actividad de una neurona sensorial resulta modificada por la estimulación de los receptores que contacten con ella: es lo que se conoce como **campo receptivo**.

Hay campos receptivos de diversos receptores cutáneos de **adaptación lenta y de adaptación rápida**.

Los puntos oscuros indican la zona de máxima sensibilidad. Los discos de Merkel y los corpúsculos de Meissner tienen campos receptivos pequeños lo que permite una mayor discriminación de la situación del estímulo. Los corpúsculos de Ruffini y de Pacini tienen una zona central de máxima sensibilidad (punto marrón oscuro) y un campo receptivo (color claro) que se extiende por la palma y los dedos. Se puede observar que el tamaño del campo receptivo correlaciona con la localización en la piel: a mayor profundidad, mayor campo receptivo y, por tanto, menor capacidad de discriminación de la localización del estímulo. [Relación figura 11.2 con 11.3.](#)

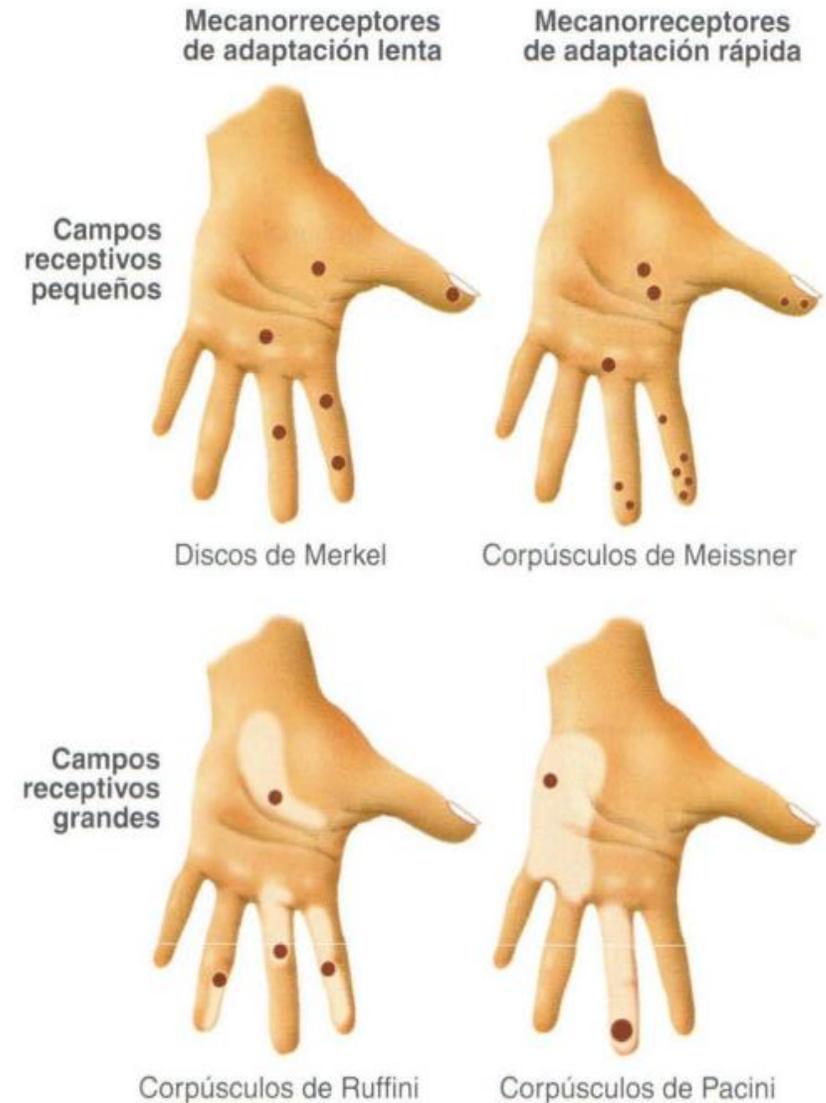


Figura 11.3

C) La Localización del Estímulo: Campos Receptivos

¿Dónde está localizado el estímulo?

Depende del **campo receptivo (densidad de receptores)**. Cada **neurona sensorial** conecta con la estimulación de sus **receptores**, y estos con las neuronas de 2º orden (2º orden=1 sinapsis, 3º orden =2 sinapsis, etc.)

Representación esquemática de la estructura espacial de los campos receptivos.

- A. A medida que nos adentramos en el SNC, los campos receptivos se van haciendo más grandes y complejos.
- B. El campo receptivo de una neurona dentro del SNC (o de las células ganglionares de la retina) puede estar formado por zonas excitatorias y zonas inhibitorias; la inhibición es fruto de la estimulación de interneuronas inhibitorias.

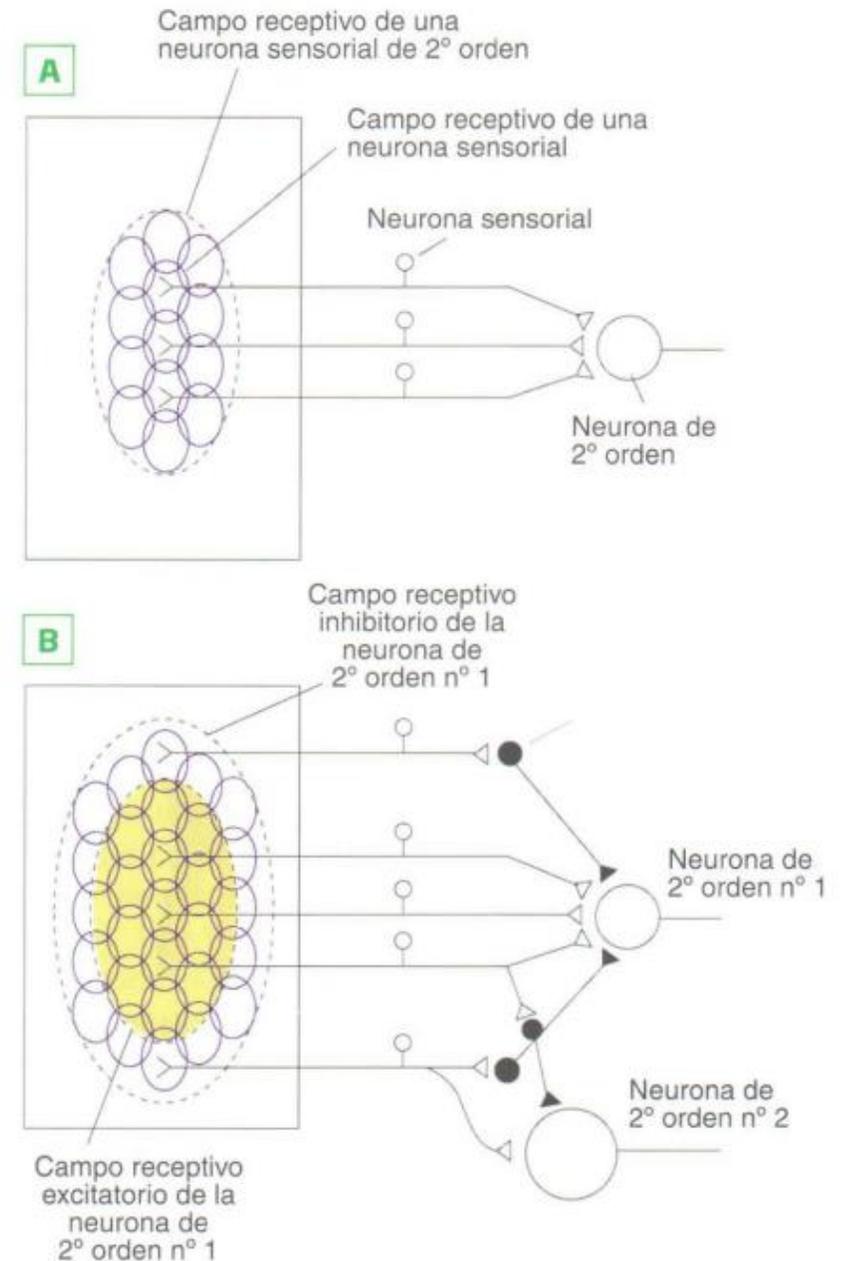


Figura 11.4

C) La Localización del Estímulo: Campos Receptivos

- Los mecanismos mediante los cuales se recoge la información sensorial relevante, es preciso conocer que cada receptor está diseñado para responder a un estrecho margen de valores de un tipo determinado de energía, es decir, a un **estímulo adecuado**, distinguiéndose mecanorreceptores, fotorreceptores, quimiorreceptores...
- La **transducción sensorial** se inicia con un cambio eléctrico en el potencial de reposo producido en la célula receptora sensorial por la energía estimular incidente. Este cambio eléctrico es normalmente una despolarización graduada que recibe el nombre de **potencial de receptor** (excepto en los fotorreceptores, donde se produce una hiperpolarización). En el caso de que el receptor sensorial sea una neurona, si el potencial de receptor (también llamado potencial generador) alcanza el umbral de disparo se desencadenará un potencial de acción en su axón y la información alcanzará el SNC. Si se trata de una célula no neuronal, este cambio de potencial tendrá que llegar a afectar al potencial de membrana de la neurona sensorial con la que el receptor sensorial establece sinapsis, para que ésta pueda transmitir la información al SNC. Los mecanismos implicados en la transducción son muy diversos dependiendo de cada receptor. En general, el potencial de receptor se produce por la apertura y/o cierre de canales iónicos específicos, por ejemplo, de canales de Na⁺ y K⁺, bien sea de forma directa, o bien de forma indirecta mediante segundos mensajeros como el AMPc o el GMPc.

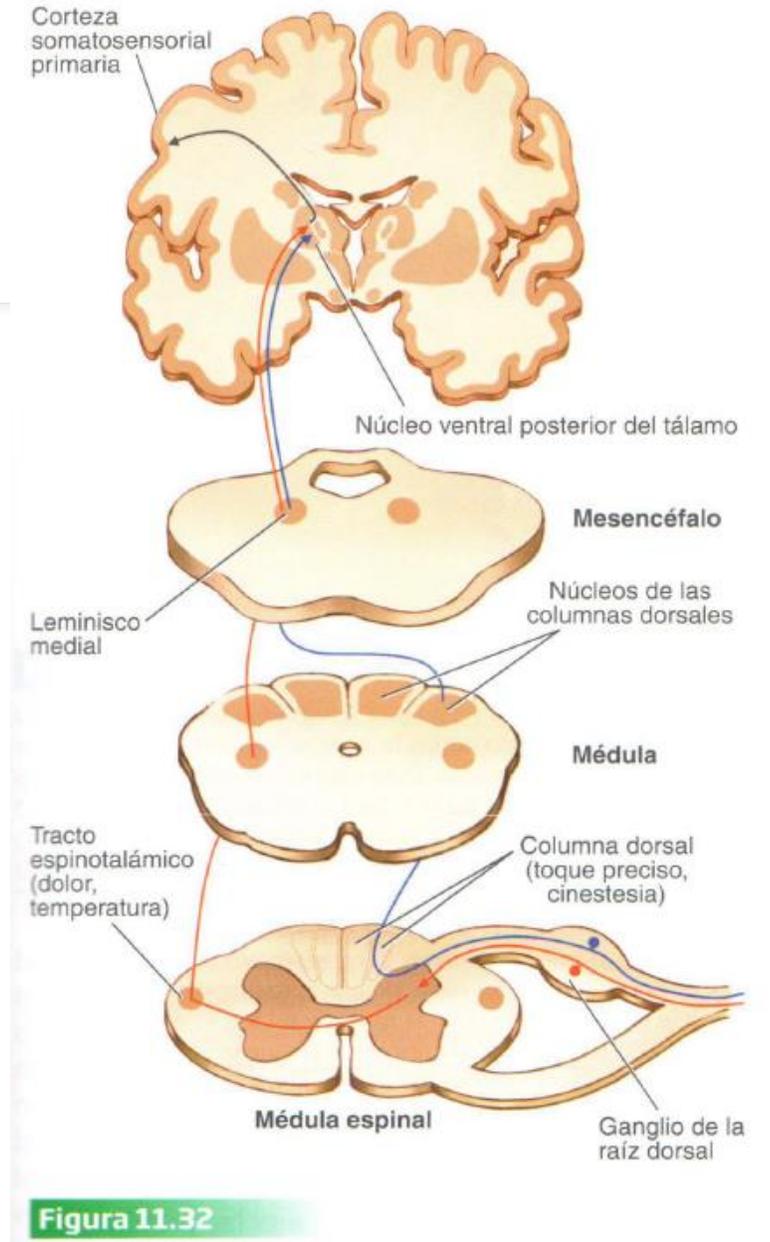
2- LA TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN SENSORIAL AL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL Y SUPROCESAMIENTO POSTERIOR

2.1- Aproximación General a los Circuitos Sensoriales del Sistema Nervioso Central

- Los **circuitos nerviosos** implicados en la transmisión de la información al SNC, que están organizados de forma jerárquica, de modo que las señales sensoriales fluyen desde niveles inferiores a niveles superiores.
- En general, la información procedente de los receptores sensoriales es transmitida a la médula espinal y al tronco del encéfalo mediante **vías aferentes** constituidas por axones de neuronas primarias agrupadas en los **ganglios periféricos**.
- Estas neuronas establecen sinapsis con neuronas secundarias situadas en la médula espinal y el tronco del encéfalo. La información visual y la olfativa son una excepción pues alcanzan directamente el tálamo y los bulbos olfatorios, respectivamente.
- Las neuronas secundarias establecen sinapsis con neuronas terciarias situadas en núcleos especializados del tálamo. Esta organización se denomina **en serie**, pero también existe una organización **en paralelo** de los circuitos sensoriales. Algunos de estos circuitos presentan una decusación de sus fibras, como ocurre en el sistema somatosensorial o visual, de modo que la información de una parte del cuerpo llega al hemisferio contralateral. Una característica de especial relevancia es la existencia de una disposición ordenada de las aferencias sensoriales, que se mantiene en los diferentes niveles de relevo de la información hasta alcanzar el nivel cortical. Ello permite que en la corteza cerebral exista una representación de las diferentes partes del cuerpo, de la retina, de la cóclea, etc., dando lugar a un **mapa** somatotópico, retinotópico o tonotópico.

2.1- Aproximación General a los Circuitos Sensoriales del Sistema Nervioso Central

- ✓ Organización en serie: solo un procesamiento.
- ✓ Organización en paralelo: se percibe la información a la vez (procesamiento en paralelo).
- ✓ En la figura se aprecian las vías de transmisión de la información somatosensorial desde la médula espinal hasta la corteza somatosensorial. Pueden observarse las dos vías de procesamiento en paralelo, **la lemniscal en azul**, encargada de la información más precisa del tacto y la **espinotalámica en rojo**, que lleva información más grosera (dolor o termocepción por ejemplo).



- Aproximación General a los Circuitos de los Sistemas Sensoriales

- Características:

- Organización Jerárquica de los Sistemas Sensoriales:

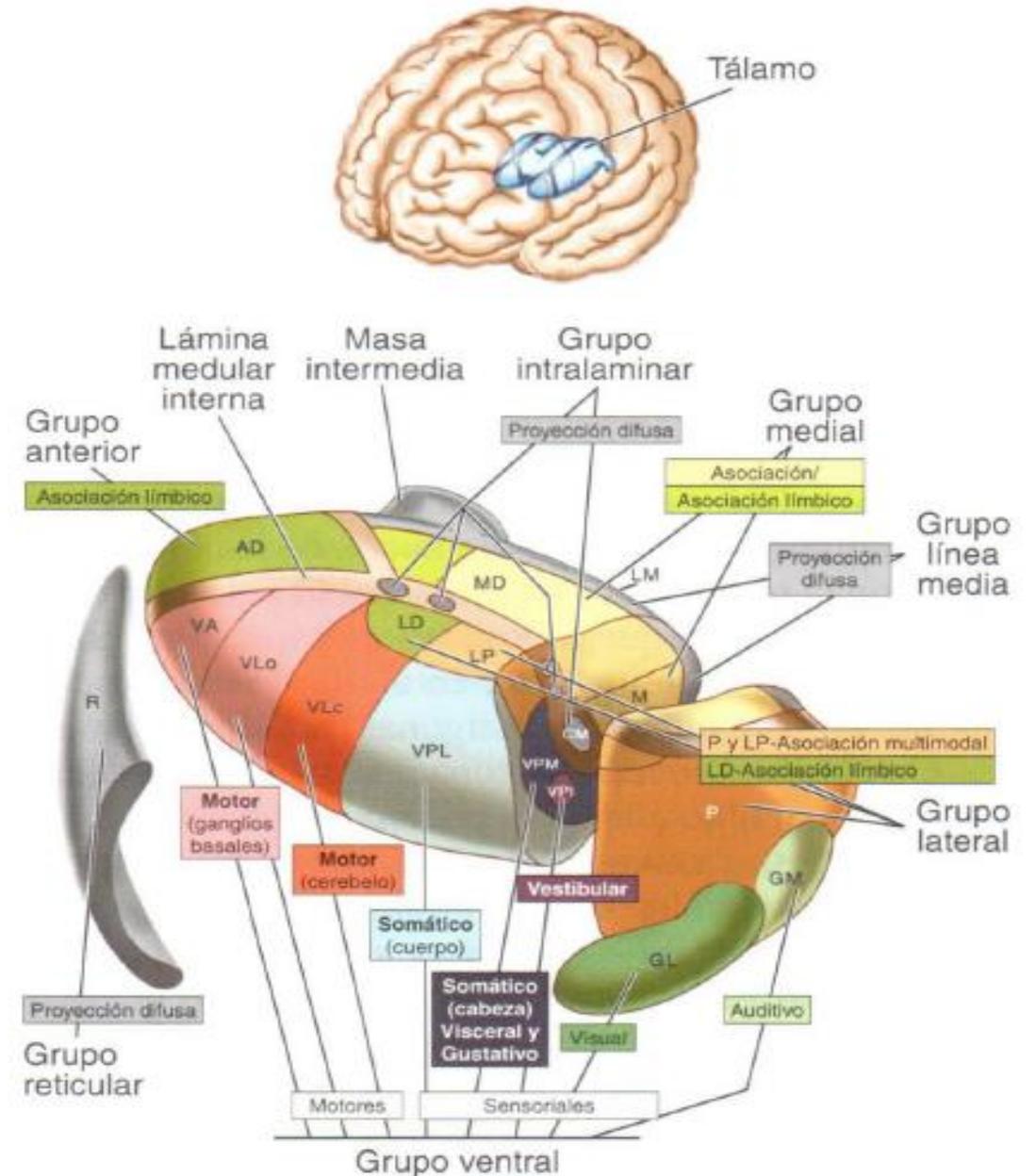
- Neuronas de Primer Orden (en ganglios periféricos – espinales o craneales-, salvo olfato y vista).
- Neuronas de segundo orden (en diferentes del SNC)
- Neuronas de tercer orden (talámicas)
- Vista y olfato no muestran esta organización de relevos, pero sí muestran jerarquías.
- Concepto de procesamiento en serie y procesamiento en paralelo (ejemplos de sistemas lemniscal y anterolateral).

2.2- El Papel del Tálamo en el Procesamiento de la Información Sensorial

El tálamo está organizado en diferentes grupos nucleares, entre los que se encuentran los **núcleos de relevo** (ver Fig. 8.12).

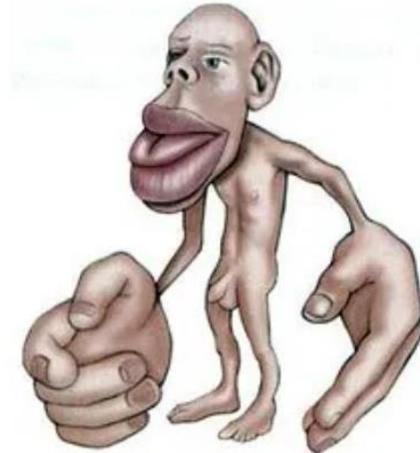
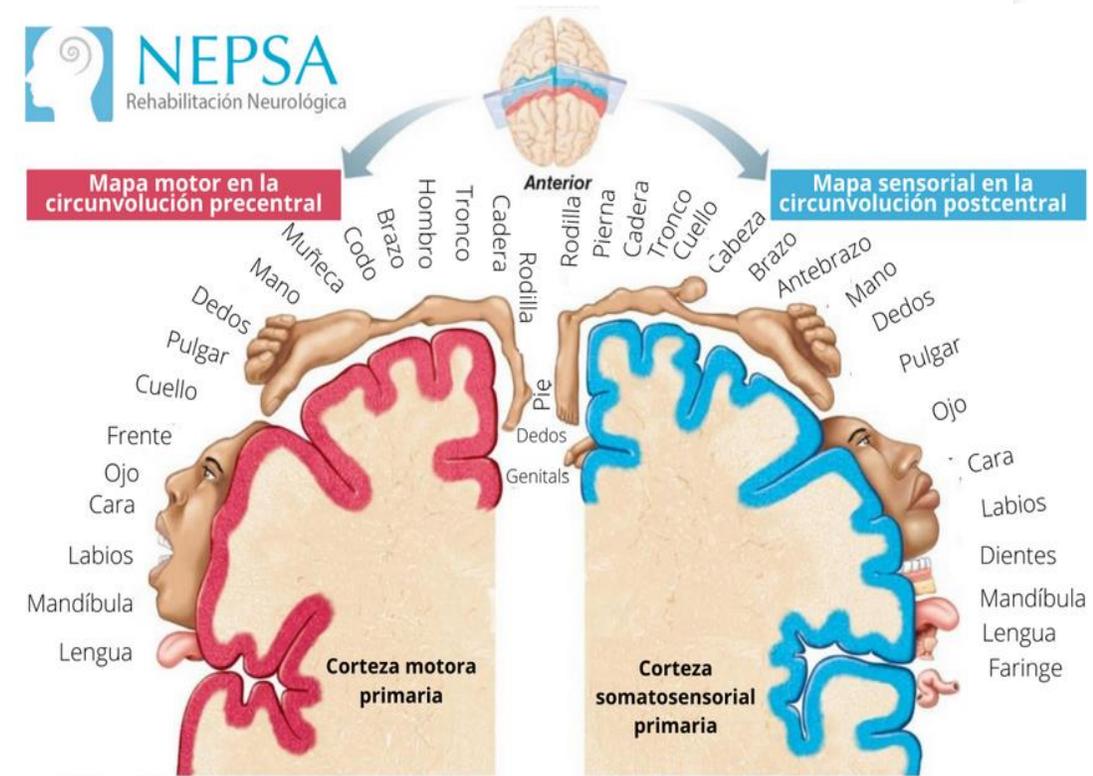
El **Grupo ventral**, participa en el procesamiento y relevo de la información sensorial y no como mera estación repetidora de las señales que recibe.

Los núcleos de relevo envían de forma específica **proyecciones a áreas concretas de la corteza cerebral**, recibiendo también de forma específica aferencias de las áreas corticales a las que proyectan.



1.3- El Procesamiento Cortical de la Información Sensorial

- El procesamiento más complejo de la información sensorial tiene lugar a nivel **cortical** y en este procesamiento están implicadas diferentes áreas corticales. Toda la información proviene de núcleos especializados del tálamo (a excepción de la información olfatoria) alcanzando diferentes áreas .
- **Las áreas primarias** transmiten la información a las **áreas corticales secundarias** y a las **áreas de asociación**, donde tiene lugar el nivel más complejo de procesamiento de la información sensorial, integrándose en algunas de ellas las señales procedentes de las áreas que procesan diferentes modalidades sensoriales.
- **La corteza somatosensorial** tiene dos zonas: **corteza somatosensorial primaria y secundaria**. Esta contiene un **mapa representativo** de todas las partes del cuerpo, aunque este no tiene relación con su tamaño (**homúnculo sensorial**) y representa una organización **columnar**. Cada columna es un módulo funcional que codifica localización y cualidad del estímulo y nos permite percibir el objeto completo.
- **La corteza parietal posterior** interviene en la percepción de las relaciones espaciales y de la imagen corporal.



3- EL SISTEMA VISUAL

3.1- Fotorreceptores y Transducción Visual

- El procesamiento de la información visual se inicia con la transformación de la luz en señales eléctricas por parte de los fotorreceptores de la retina del ojo (Fig. 11.6 y Fig. 11.7).
- Fig. 11.6 Disposición de los diferentes componentes del ojo humano. La **retina** está en la parte posterior.
- En **A**, se representa la localización de componentes como los músculos oculares, el **crystalino** y la **córnea** que enfocan, modulan y centran la luz que atraviesa el humor vítreo antes de llegar a la **retina**. En la parte media de la retina hay una pequeña invaginación llamada **fóvea**.
- En **B**, aparece la organización celular de la **retina**. Puede observarse que en la zona central de la **fóvea**, la **foveola**, los cuerpos neuronales de las células de la retina están desplazados hacia los lados para facilitar la llegada de la luz a los fotorreceptores. El **epitelio pigmentado** absorbe la luz que no hayan podido recoger los fotorreceptores para que no se distorsione la imagen.
- **Fóvea:** Zona de la retina que tiene forma de invaginación y una gran densidad de conos. En esta área la agudeza visual es máxima.
- **Foveola:** Parte central de la fóvea, en la que solamente hay conos.

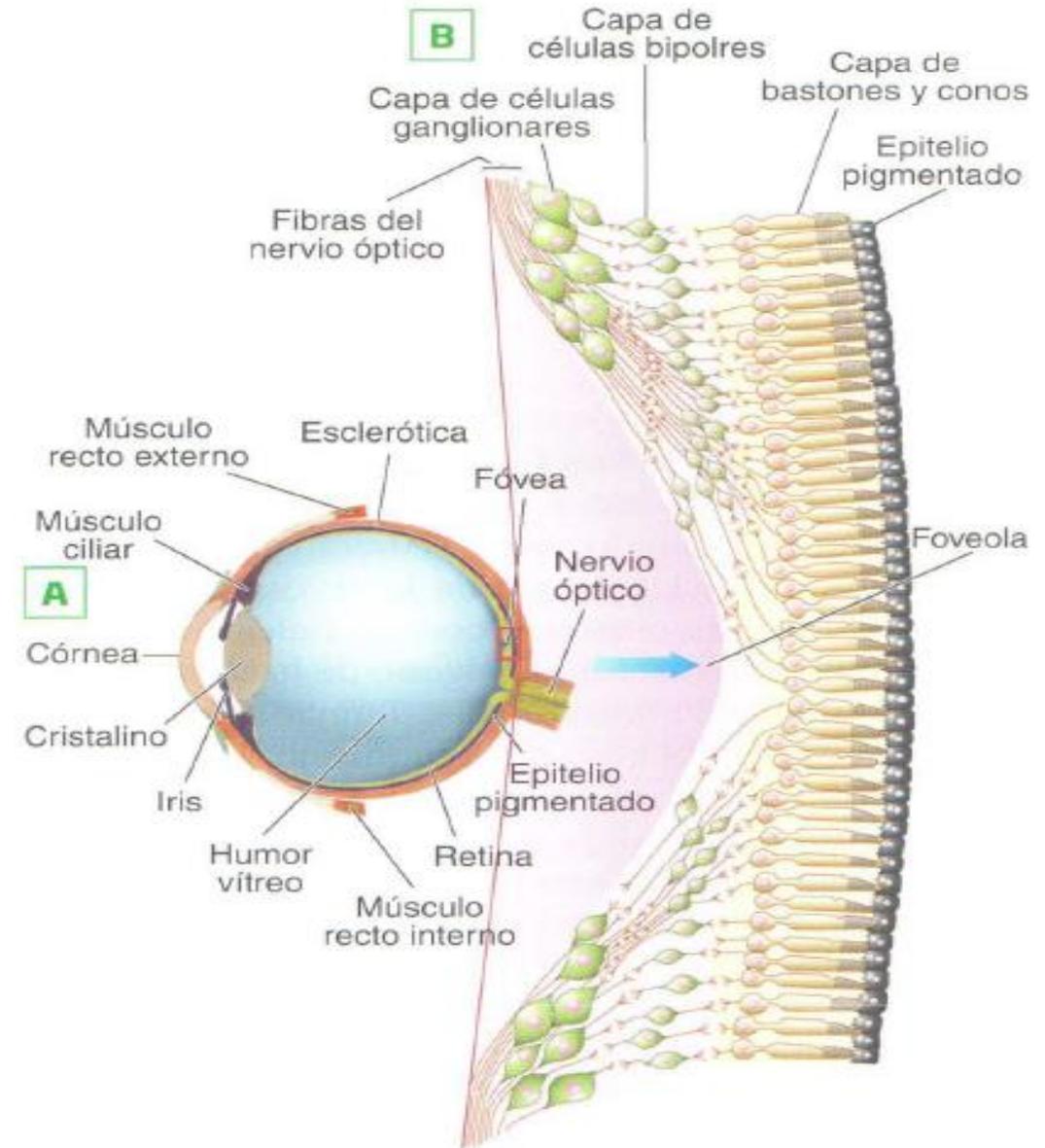
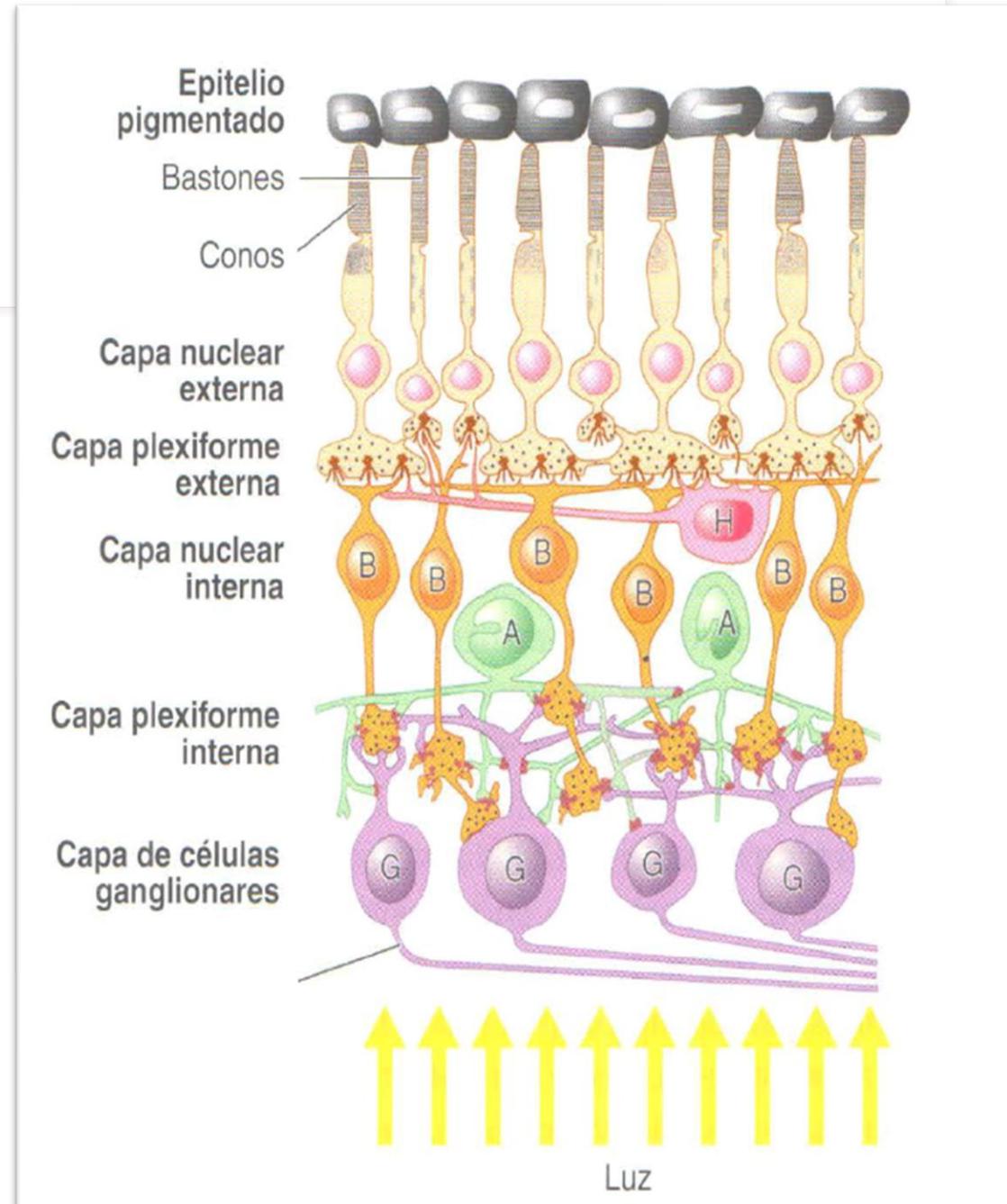


Figura 11.6

3.1- Fotorreceptores y Transducción Visual

- **Organización celular de la retina y su disposición en diferentes capas.** El **epitelio pigmentado** sirve de soporte a los fotorreceptores.
- **Las células bipolares (B) y horizontales (H) establecen sinapsis directamente con los fotorreceptores y entre sí, formando la capa plexiforme externa.** Los cuerpos celulares de las células bipolares, horizontales y amacrinas (A) constituyen la capa nuclear interna. Las células bipolares, amacrinas y ganglionares (G) contactan en la capa plexiforme interna.
- La capa de células ganglionares está formada por los cuerpos neuronales de estas células, cuyos axones constituyen el **nervio óptico**.
- Obsérvese que la luz llega primero a la capa de células ganglionares y que tiene que atravesar el resto de las capas celulares hasta llegar a los fotorreceptores.



3.1- Fotorreceptores y Transducción Visual

Todos los vertebrados, con escasas excepciones, tienen dos tipos de células fotorreceptoras (responden a cambios potencial membrana) denominadas conos y bastones.

Cono: Fotorreceptor de la retina que posibilita la visión con luz diurna y la visión del color.

Bastón: Fotorreceptor de la retina que posibilita la visión en la oscuridad o con luz débil.

Como puede observarse en la Figura 11.9, tanto los conos como los bastones establecen sinapsis con neuronas bipolares.

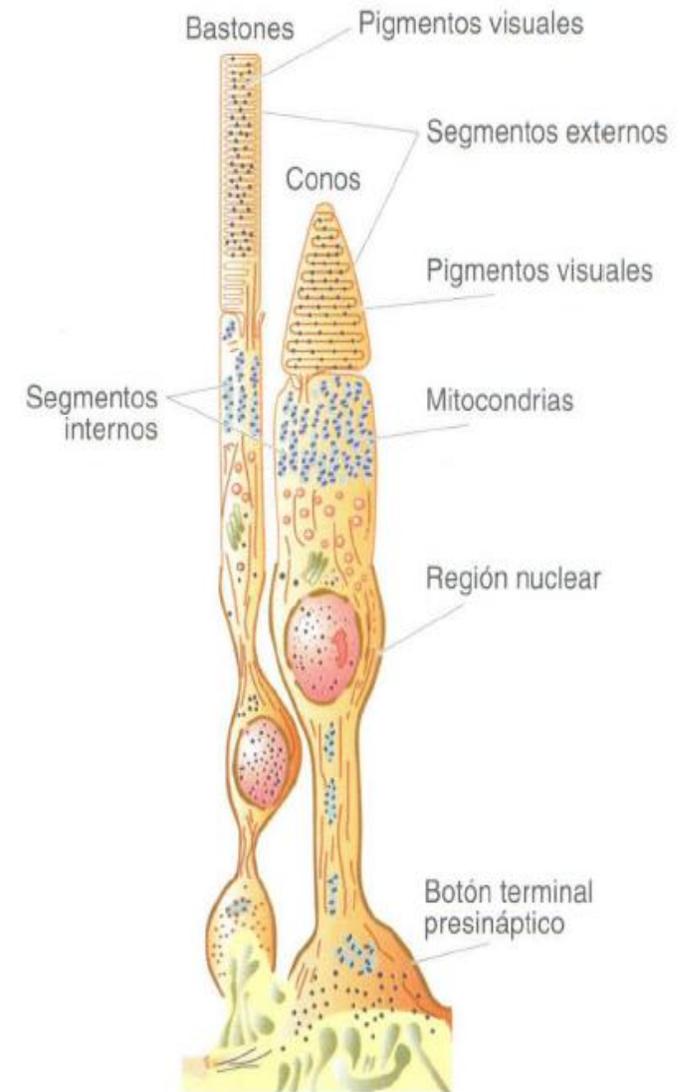


Figura 11.9

Representación de la morfología de las células fotorreceptoras

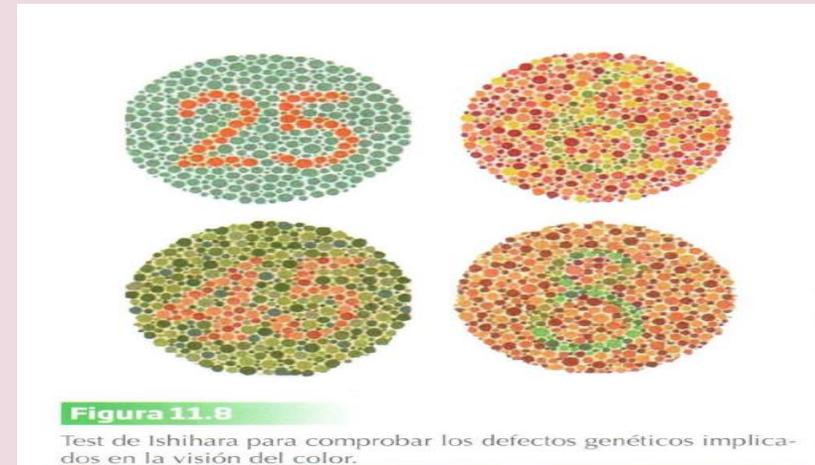
CONOS Y BASTONES

Conos:

- Menos abundantes.
- Pigmentos visuales o ftopigmento, sensibles a la luz (opsina) .
- 3 tipos de conos en función del pigmento que utilizan.
- Menos sensibles luz (necesitan centenares fotones para generar misma respuesta).
- Visión dicromática (defecto genético impide formación de algunos ftopigmentos). Daltonismo.
- Perdida conos L (protanopia), conos M (deuteranopia) o de los conos S (tritanopia).
- Presentan mayor resolución espacial (conectados fóvea, menos convergencia con otras células bipolares muestra mayor resolución imagen) y mayor resolución temporal.
- Sistema funcional retina: fototópico

Bastones:

- Más abundantes
- Pigmentos visuales o ftopigmentos sensibles a la luz (rodopsia) solo un tipo de pigmento.
- Más sensible a la luz (un único foton produce solo 1 señal eléctrica)
- Visión nocturna o tenue.
- Sistema funcional retina: escotópico



3.2- Procesamiento Inicial de la Información Visual

Las fases iniciales del procesamiento de la información visual tienen lugar en la **retina**.

En presencia de la luz los fotorreceptores se **hiperpolarizan**, produciendo menor liberación de glutamato y con ello cambio en el potencial de membrana de las células bipolares y en consecuencia cambios con el potencial de membrana de las células ganglionares. Fig. 11.10 y Fig.11.11

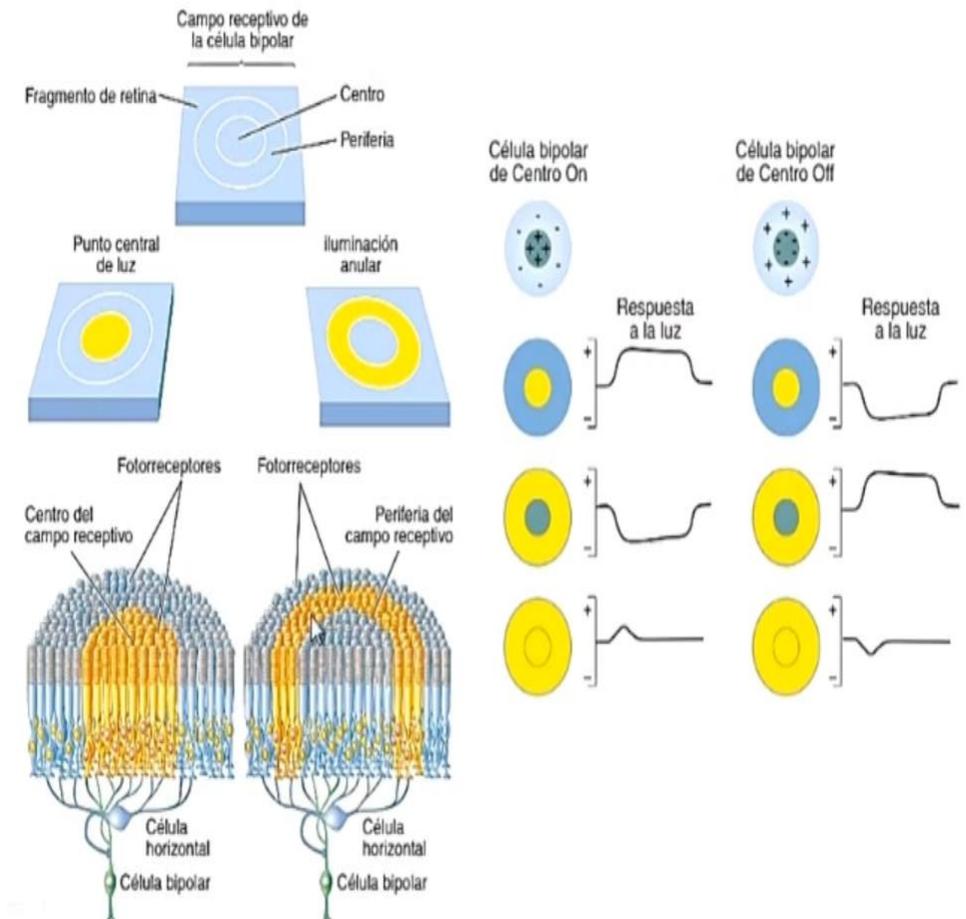


Células bipolares hacen sinapsis con células ganglionares

Al conjunto de fotorreceptores que envían información de un área concreta del campo visual a estas células nerviosas se llama **campo receptivo** de esa célula.

3. El Sistema Visual

- Procesamiento inicial de la información sensorial



Representación de los campos receptivos de las células bipolares.

- El campo receptivo de las células bipolares está constituido por dos áreas concéntricas, una central en forma de círculo y otra periférica formando un anillo alrededor de la parte central, y presenta una **organización antagónica** (centroperiferia) de sus campos receptivos (Fig. 11.10).
- Dos tipos células bipolares: **Centro On** y **Centro Off**.
- **Centro On** : responde cuando el estímulo luminoso incide sobre el centro de su campo receptivo, y se inhiben si este incide en la periferia.
- **Centro Off** : responde cuando el estímulo luminoso incide sobre la periferia de su campo receptivo, y se inhiben si este incide en el centro.

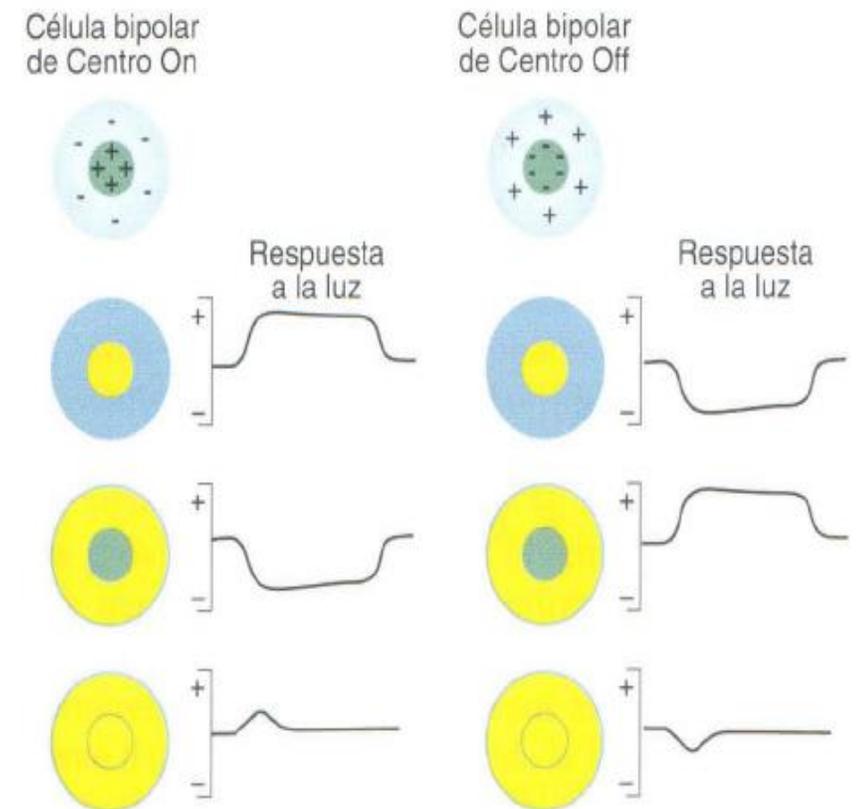


Figura 11.11

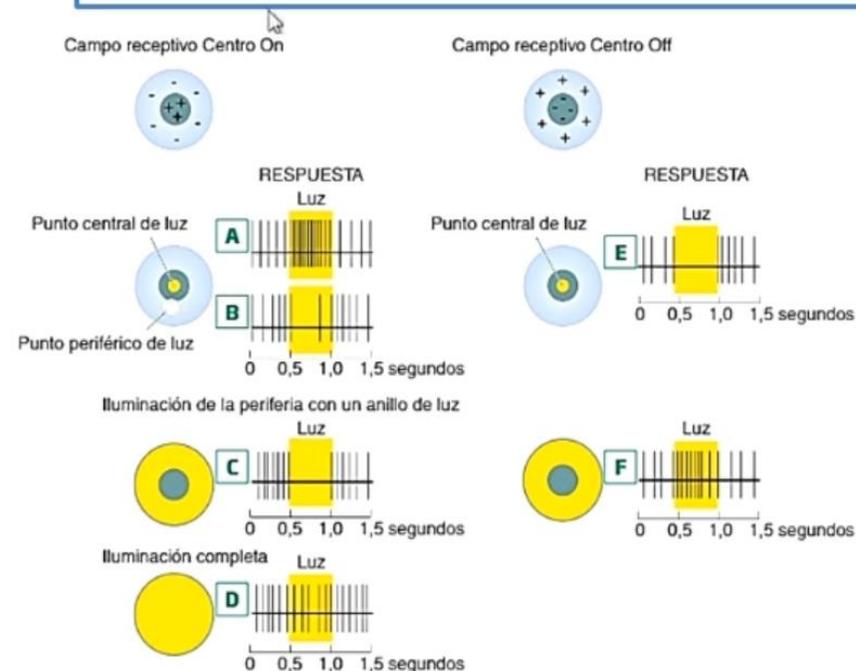
Representación de los campos receptivos de las células ganglionares.

En las células ganglionares las células de **centro On** señalan los aumentos de la iluminación que incide en el centro de su campo receptivo, mientras que las células de **centro Off** codifican los decrementos en la iluminación. Por ello se denominan **células sensibles al contraste**.

Algunas células ganglionares son **sensibles al contraste**, de forma que responden mejor cuanto mayor es el contraste en la iluminación. Otras células ganglionares son **sensibles a la dirección o al movimiento**, señalando las características temporales de los estímulos, mientras que otras responden a diferentes longitudes de onda de la luz (**color**), por lo que se llaman células **oponentes al color**.

3. El Sistema Visual

- Procesamiento inicial de la información sensorial:
 - Células ganglionares



- Sensibles al contraste
- Sensibles a la dirección o al movimiento
- Células oponentes al color

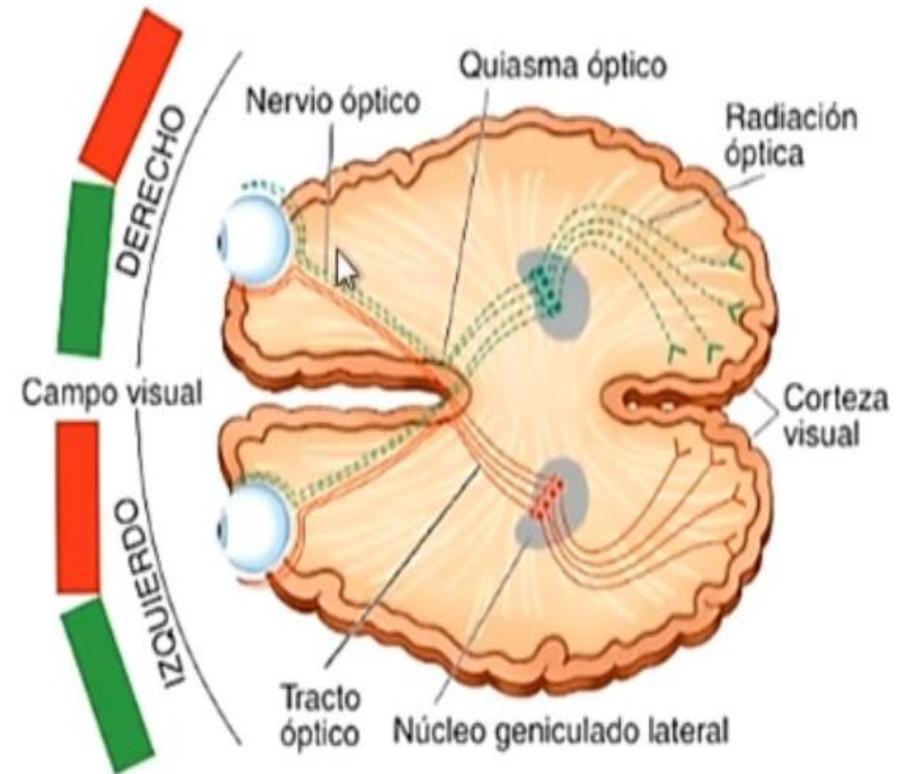
Transformación de la información y disposición ordenada de las aferencias. Procesamiento talámico de la información visual.

Toda esta información ya previamente procesada en la retina debe de transmitirse a los siguientes niveles de procesamiento, **el núcleo geniculado lateral del tálamo y posteriormente la corteza visual**. Para ello, los axones de las células ganglionares de la retina, que constituyen el nervio óptico, se dividen en dos grupos en el **quiasma óptico**.

A partir del quiasma óptico estos axones constituyen el **tracto óptico que transmite la información visual a la radiación óptica y de ahí a la corteza visual primaria**.

En humanos, la visión frontal hace que exista un cierto solapamiento entre los campos visuales de ambos ojos.

La información proveniente de la parte derecha del campo visual de cada ojo se recoge en la parte izquierda de cada retina (en rojo), mientras que la información proveniente de la parte izquierda se recoge en la parte derecha de cada retina (en verde).



3.4- Relevancia Talámica de la Información Visual

El tálamo es el centro fundamental para el procesamiento de la información sensorial procedente de la médula espinal y del tronco del encéfalo, aunque la información visual llega a él de forma directa. La información olfatoria es una excepción pues alcanza directamente la corteza cerebral, aunque también una parte de ella llega al tálamo. Los núcleos de relevancia sensorial del tálamo constituyen el grupo ventral y cada uno de ellos interviene en el procesamiento de una modalidad sensorial diferente. Estos núcleos envían también de forma específica proyecciones a áreas concretas de la corteza cerebral. En el caso del sistema visual, las señales llegan al **núcleo geniculado lateral** que presenta una organización laminar. Sus capas celulares están organizadas en sistemas: el **magnocelular**, el **koniocelular** y el **parvocelular**. Ambos sistemas proyectan a regiones diferentes de la corteza cerebral. Los campos receptivos de las neuronas talámicas presentan una organización antagónica similar a las de las células bipolares y ganglionares de la retina. Las neuronas magnocelulares son sensibles al movimiento de los objetos y contribuyen a la percepción de las características generales del estímulo, mientras que las parvocelulares de los detalles finos, percepción de la forma y color.

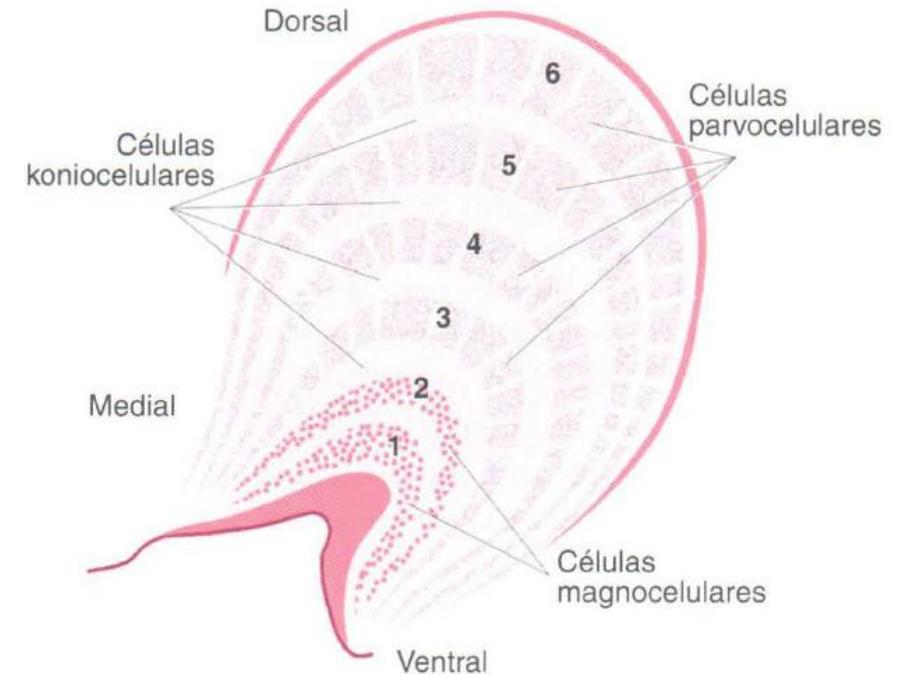


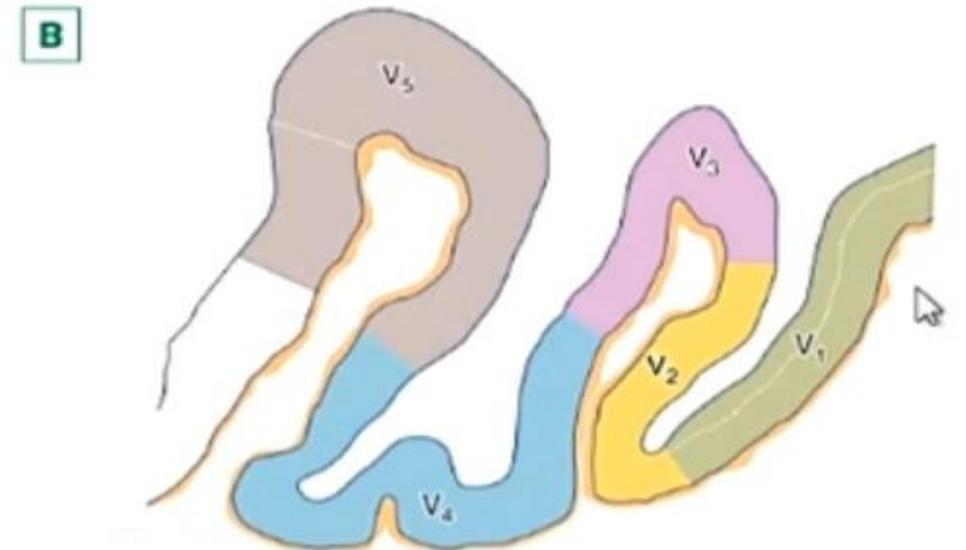
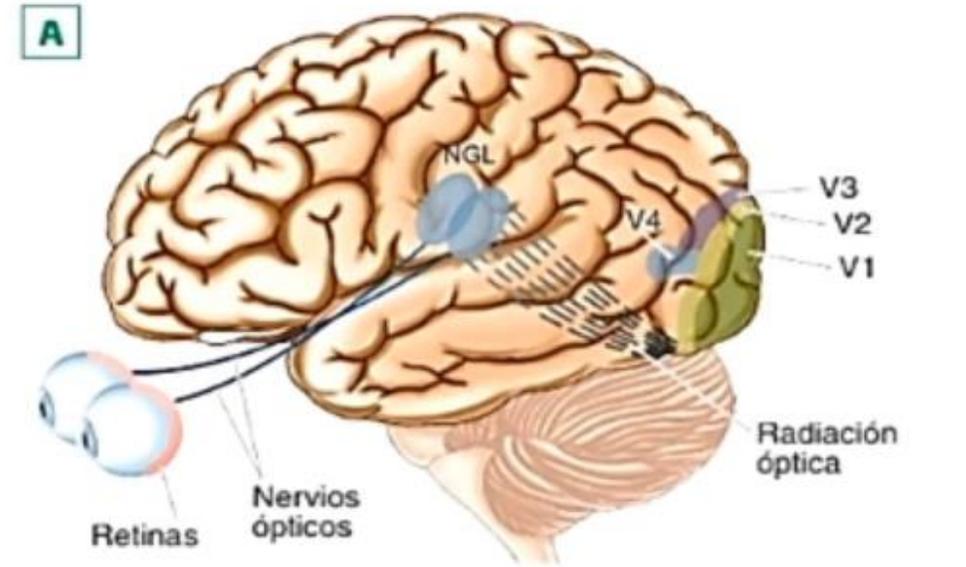
Figura 11.14

Organización del núcleo geniculado lateral del tálamo. Las seis capas que forman este núcleo están claramente delimitadas. **Las capas 1 y 2 contienen células magnocelulares** (de gran tamaño) y se observan más teñidas, mientras que el resto de las capas están constituidas por **células parvocelulares** (de pequeño tamaño).

3.4- Procesamiento Cortical en el Sistema Visual

A- El procesamiento Visual en V1: Las Células Simples y Complejas

La información visual llega a través de los tractos ópticos al tálamo, al núcleo geniculado lateral y desde allí es enviada por las radiaciones ópticas a un área concreta de **la corteza cerebral situada en el lóbulo occipital, la corteza visual primaria (también llamada corteza estriada o V1)** (ver Fig. 11.13). Existen además otras áreas de la **corteza visual denominadas V2, V3, V4 y V5 (conocidas en su conjunto como corteza extraestriada)**, que procesan también diversos aspectos de la información visual (Fig. 11 .15).



A-El procesamiento Visual en V1: Las Células Simples y Complejas

- Las neuronas de la corteza visual primaria responden a estímulos cada vez más complejos, por lo que en función de sus respuestas se distinguen **células simples** y **células complejas**.
- Las *células simples* responden a estímulos alargados, como hilos o barras de luz, con diferentes orientaciones en el espacio.
- Las *células complejas* sólo responden si el estímulo alargado se mueve en una dirección determinada, presentando las propiedades de selectividad de la dirección y finalización de campo receptivo.
- Al conjunto de las columnas que cubren todos los ángulos posibles de orientación se les denomina **hipercolumnas**.

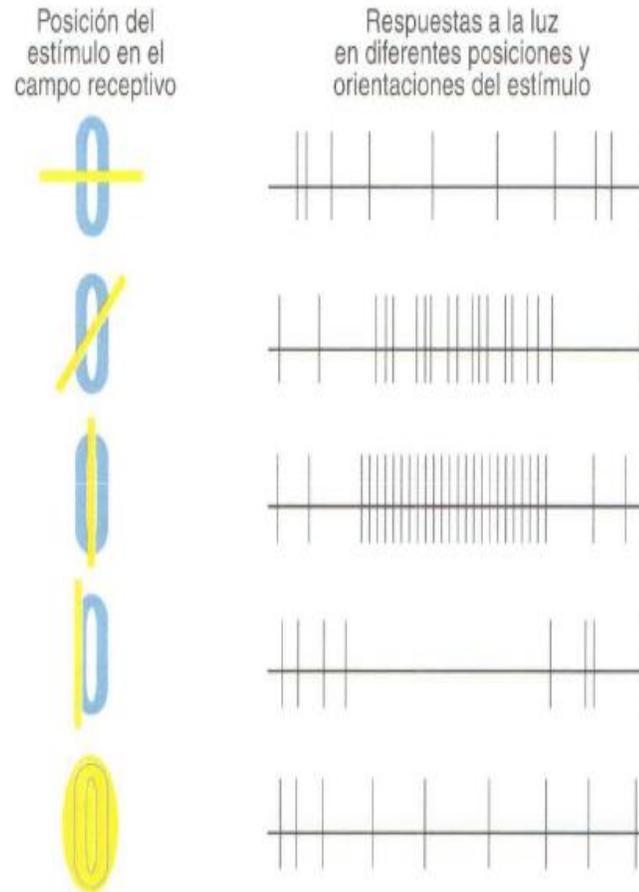


Figura 11.16

Representación de las respuestas (tasa de descarga de potenciales de acción) de las células corticales simples a la estimulación luminosa. El campo receptivo de estas células es alargado y presenta una organización centro-periferia antagónica con zonas On y Off. Los estímulos apropiados para estas células son hilos o barras de luz (en amarillo) a los que responden vigorosamente cuando su orientación se corresponde con su campo receptivo.

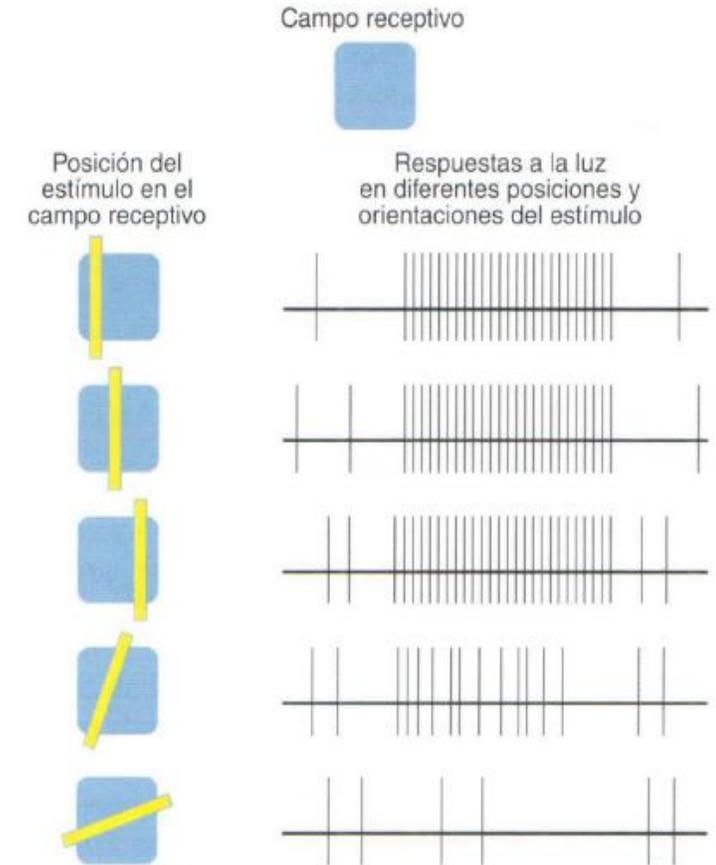


Figura 11.18

Representación de las respuestas de las células corticales complejas a la estimulación luminosa. El campo receptivo de estas células no tiene zonas On y Off claramente definidas. Los estímulos apropiados para estas células son del tipo de barras de luz (en amarillo) a los que responden vigorosamente cuando están orientados y se mueven adecuadamente en sus campos receptivos. Como puede observarse, cuando el estímulo (que está verticalmente orientado en este caso) se mueve de izquierda a derecha del campo receptivo la célula responde vigorosamente. En otras orientaciones, la respuesta disminuye o no se produce, lo que también ocurre si el estímulo no se mueve.

B- El Concepto de Frecuencia Espacial

- ✓ Experimentos iniciales de Hubel y Wiesel sugerían que las neuronas de la corteza visual primaria se especializaban entre otras cosas en la detección de líneas y bordes.
- ✓ Estudios posteriores realizados por De Valois y colaboradores a finales de los años 70 demostraron que en realidad las neuronas en V1 respondían de una manera muy específica a un tipo de estímulo especial, **la rejilla sinusoidal** (Fig.11.19).
- ✓ Los estímulos responden a variaciones de **luz de onda sinusoidal**.
- ✓ La frecuencia y el grosor de las barras están definidas por la función sinusoidal que describe el estímulo:
- ✓ **Estímulos de alta frecuencia:** barras mas delgadas con bordes mas definidos.
- ✓ **El sistema magnocelular** (véase la sección Relevo Talámico de la Información Visual), que es evolutivamente más antiguo es el que **se encarga de procesar las frecuencias espaciales bajas, que son las que aportan más información.**

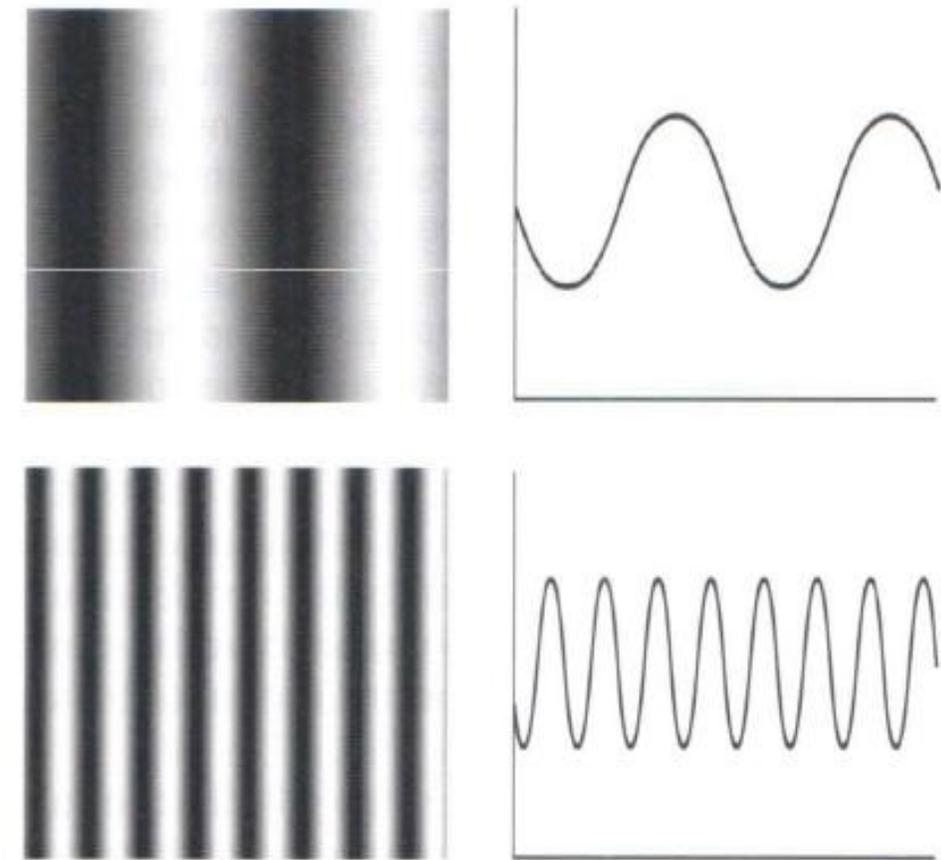


Figura 11.19

Representación de un estímulo tipo rejilla sinusoidal. Como puede observarse, el estímulo queda descrito por la frecuencia de la onda sinusoidal asociada. A mayor ciclos por unidad de tiempo, mayor es la frecuencia espacial de la rejilla.

C- Las Columnas y los Módulos Corticales

Aunque la mayoría de las neuronas corticales son binoculares, las células simples y complejas muestran una respuesta preferente a la información proveniente de un ojo, formando las columnas de **dominancia ocular**. Además, aquellas que muestran una preferencia por la orientación determinada de un estímulo se agrupan en las denominadas **columnas de orientación**. Al conjunto de las columnas que cubren todos los ángulos posibles de orientación se les denomina **hipercolumnas**. Otras agrupaciones de neuronas corticales son sensibles al color (**doblemente oponentes al color**) y se denominan **estacas o manchas**. Las columnas de dominancia ocular, las estacas y las de orientación se disponen de modo que constituyen bloques funcionales denominados **módulos**, en los que se procesan aspectos muy variados de la información visual como la forma, la profundidad, el color ... etc.

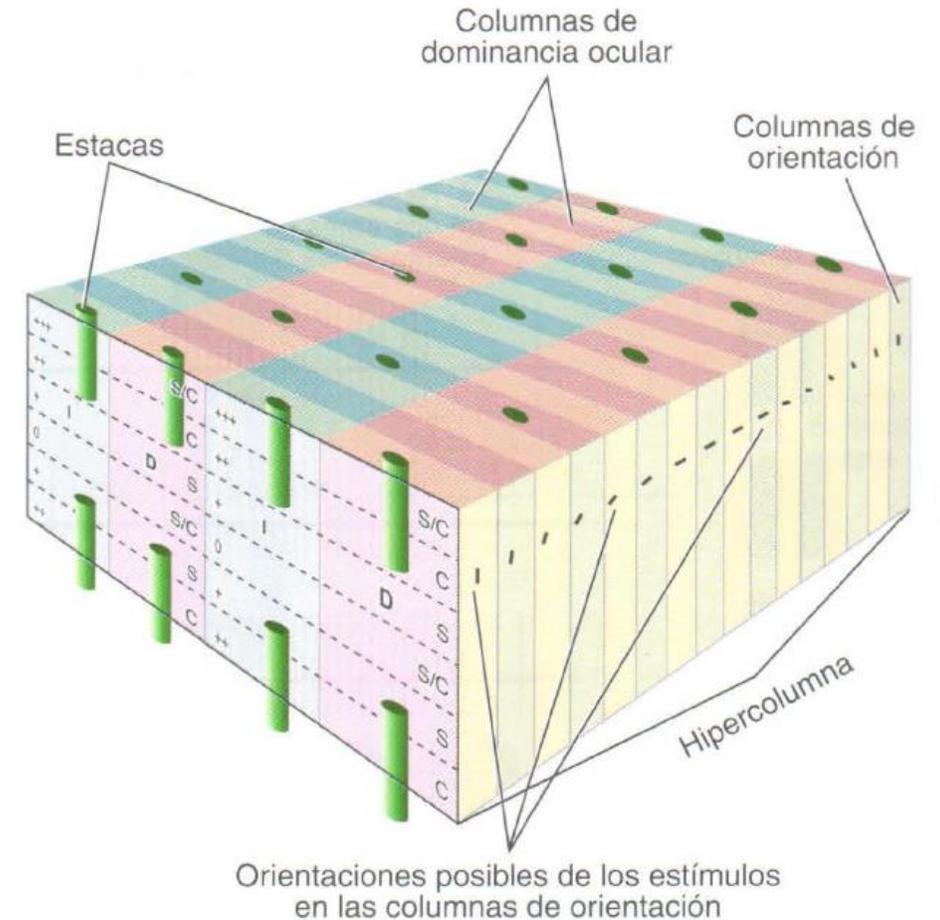


Figura 11.20

3.4- La Percepción Visual

La percepción visual parecer ser el resultado del análisis integrado de miles de módulos corticales a los que llega la información procedente de niveles inferiores de procesamiento.

En todos estos niveles se mantiene una segregación de funciones, de modo que los componentes de la imagen visual, como el color, el movimiento, la forma o la profundidad se analizan de forma separada.

En concreto se produce una segregación del procesamiento en dos vías:

- 1)- **la vía del Qué (o ventral)**
- 2)- **la Vía del Dónde (o dorsal)**

El procesamiento del color depende de la región **TEO** en primates, el procesamiento de la forma ocurre de manera distribuida en regiones corticales como **V4, TE o TEO**.

- La Percepción Visual:
 - Segregación de funciones
 - Procesamiento del color (V4 → constancia del color; TEO → acromatopsia cerebral)
 - Procesamiento de la Forma (V4, TEO, TE)
 - Procesamiento del movimiento (V5)
 - Corrientes de Procesamiento
 - Corriente Ventral o del “Qué”
 - Corriente Dorsal o del “Dónde”
 - Caso del Paciente D.F.

Paciente D.F : daño en el área ventral. No tenía orientación pero si pudo coordinar la orientación gracias a tener intacta el área ventral.

A)- *El Procesamiento Cortical del Color*

- **Constancia del color**, es un fenómeno de la percepción del color que permite que percibamos un determinado objeto siempre como del mismo color a pesar de que reciba luz de diferentes intensidades o esté sujeto a diferentes condiciones de iluminación.
- En seres humanos, existe una alteración neuropsicológica conocida como **acromatopsia cerebral** y que surge en parte por la lesión de una zona de la corteza que corresponde anatómicamente con la zona TEO en monos.
- **El fenómeno de acromatopsia y el procesamiento cortical del color** son un ejemplo más de **modularidad de la mente**.

B)- El Procesamiento Cortical de la Forma

- **Agnosia visual**, indica que el procesamiento cortical de los objetos depende de la modalidad sensorial: los pacientes con lesiones en la corteza visual de asociación muestran un déficit conocido como **agnosia visual** que consiste en la incapacidad de reconocer los objetos a través de la visión. Estos pacientes tienen agudeza visual normal y pueden leer y escribir sin problemas, pero cuando se les señala un objeto y se les pide que indiquen de qué se trata, son incapaces.
- **Prosopagnosia** o incapacidad para percibir las caras (npócrnmov -prósopon- en griego quiere decir máscara).
- **Áreas concreta en la base del lóbulo temporal:**
 - 1- **área fusiforme facial** que parece activarse específicamente ante la visión de una cara.
 - 2- **región parahipocampal**, que se activa al presentar a los sujetos fotografías de escenas de exterior (paisajes) y con fondos o escenas de interior y no lo hacía al presentarle fotos de objetos o patrones visuales.
 - 3- **área corporal extraestriada** y responde preferencialmente a imágenes corporales o de partes del cuerpo y no lo hace ante fotos de rostros, de objetos, etc ...

C)- *El Procesamiento Cortical del Movimiento*

- **Akinetopsia** incapacidad de percibir el movimiento.
- Lesiones en el área conocida como TM (de temporal media) y TMS (temporal medial superior), áreas que corresponden a al área VS de la corteza visual.
- La **atención** cumple una importante función en la percepción visual gracias a una atención selectiva extraemos y seleccionamos parte de la información del mundo que nos rodea. Igualmente, datos recientes indican que la participación de las **áreas de asociación parietal posterior y temporal inferior** es decisiva en el análisis final de la información visual.

4.- EL SISTEMA AUDITIVO

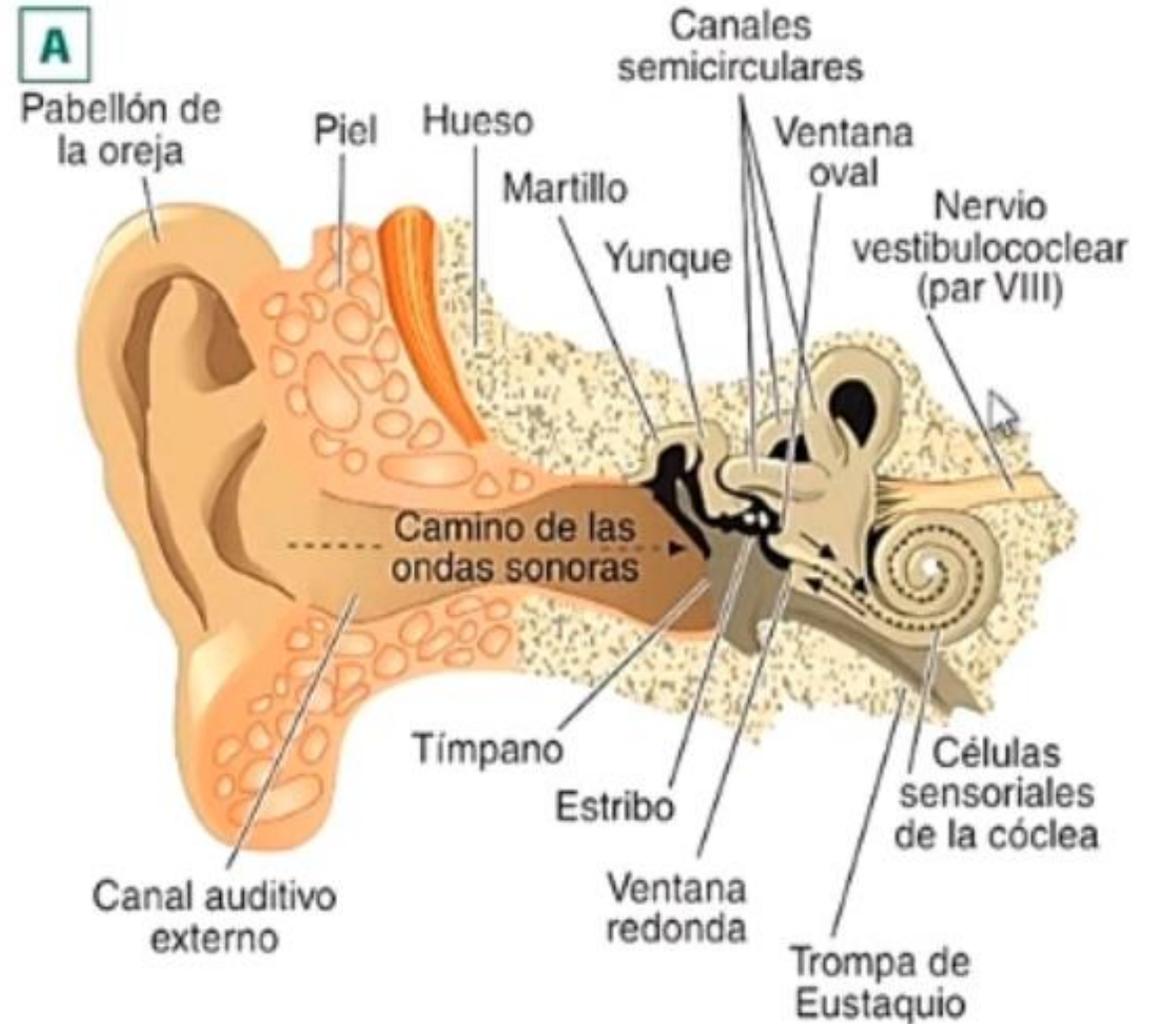
A)- Las Transducción de la Información Auditiva

La transducción auditiva es el resultado del efecto de las ondas sonoras, que son una forma de fuerza mecánica ejercida por las moléculas del aire, sobre los receptores auditivos: las células ciliadas.

Como éstas se encuentran dentro de la **cóclea**, es preciso que la onda sonora llegue hasta allí. **La onda sonora**, en su recorrido hasta la **cóclea (Fig. 11 .25)** tiene que pasar por el **meato auditivo**. Probablemente, el conjunto formado por la oreja y el estrecho tubo que es el **meato auditivo (oído externo)** actúan como una especie de trompetilla amplificadora del sonido.

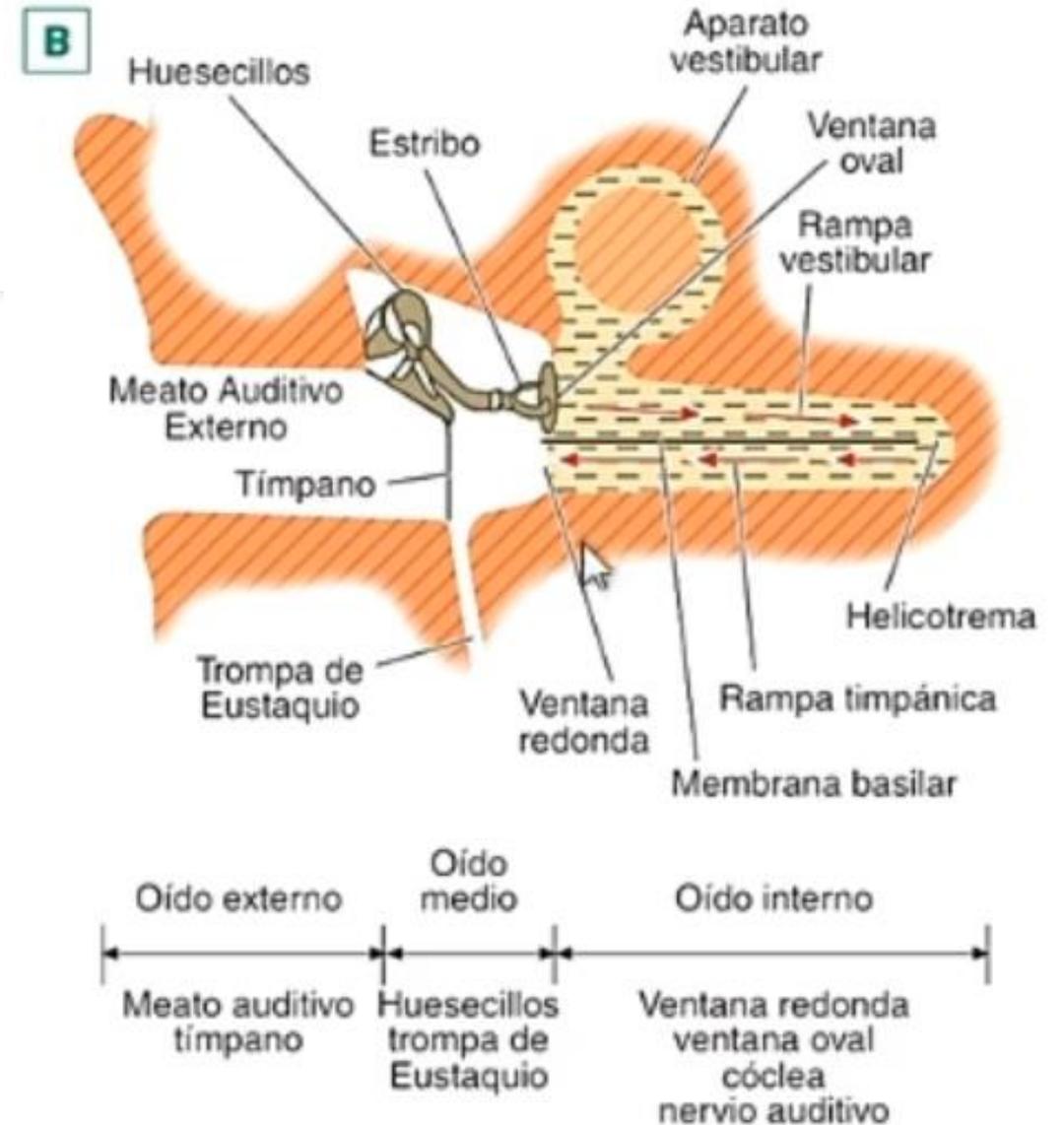
En su desplazamiento hacia el interior del oído, la onda sonora «tropieza» con la **membrana timpánica**.

Las variaciones de presión de la onda sonora se transmiten al **tímpano** que, en consecuencia, empieza a vibrar con una frecuencia y una amplitud proporcional a la frecuencia e intensidad de la onda sonora que llega.



A)- Las Transducción de la Información Auditiva

- **El tímpano** y la cadena de **huesecillos** del **oído medio** constituyen una adaptación específica para captar ondas sonoras que viajan a través del aire: originariamente, el oído era una estructura especializada en recoger las vibraciones del medio líquido (de hecho, la cóclea está llena de líquido).
- **¿Qué ocurre cuando las ondas sonoras llegan a la ventana oval?**: sencillamente, que sus vibraciones se transmiten a la **perilinfa** que rellena la **rampa vestibular de la cóclea** y, en su recorrido de retorno hasta la **ventana redonda**, también a la **rampa timpánica**. Como el líquido coclear no se puede comprimir, cada vez que la ventana oval oscila hacia dentro de la cóclea aumenta la presión del líquido, mientras que cuando oscila hacia fuera, se reduce dicha presión: esto significa que la onda sonora se ha transformado en la cóclea en una onda de presión que recorre la **perilinfa líquida** (ver Fig. 11.25B).



- En este recorrido, la vibración de la perilinfa afecta a las dos membranas que delimitan la rampa media o conducto coclear, relleno de endolinfa (**Fig. 11.26**): la membrana de Reissner o vestibular, por arriba y la membrana basilar, por abajo; y ambas membranas sufren una deflección. Concretamente, la deflección de la membrana basilar va a ser determinante en el proceso de transducción auditiva, precisamente porque el órgano de Corti, donde se localizan las células ciliadas, se encuentra recubriendo la superficie superior de esta membrana: la incurvación de la membrana basilar por la acción de la vibración de la perilinfa afecta directamente a las células ciliadas.

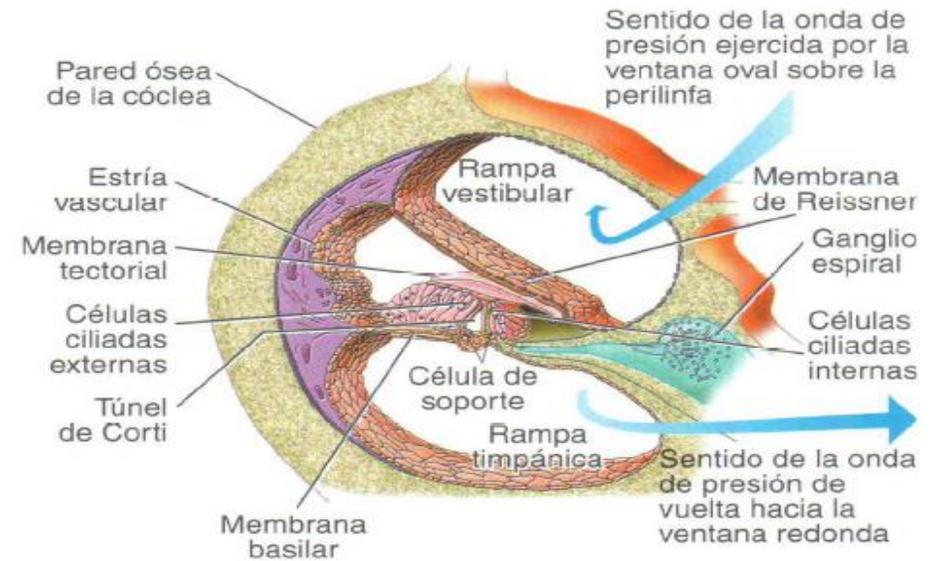


Figura 11.26

- Cuando la membrana basilar se curva, las células ciliadas se curvan paralelamente.
- Los **estereocilios**, que son las vellosidades que poseen las células ciliadas en su parte superior, están en contacto y embebidos en la membrana tectorial, por lo que al incurvarse la membrana basilar, sufren un desplazamiento en su base pero no en la zona de contacto con la membrana tectorial, cosa lógica si pensamos que la membrana tectorial no se desplaza en paralelo con la basilar: esto hace que los estereocilios se arqueen más o menos en función de la amplitud de la incurvación de la membrana basilar (**Fig. 11.27**).

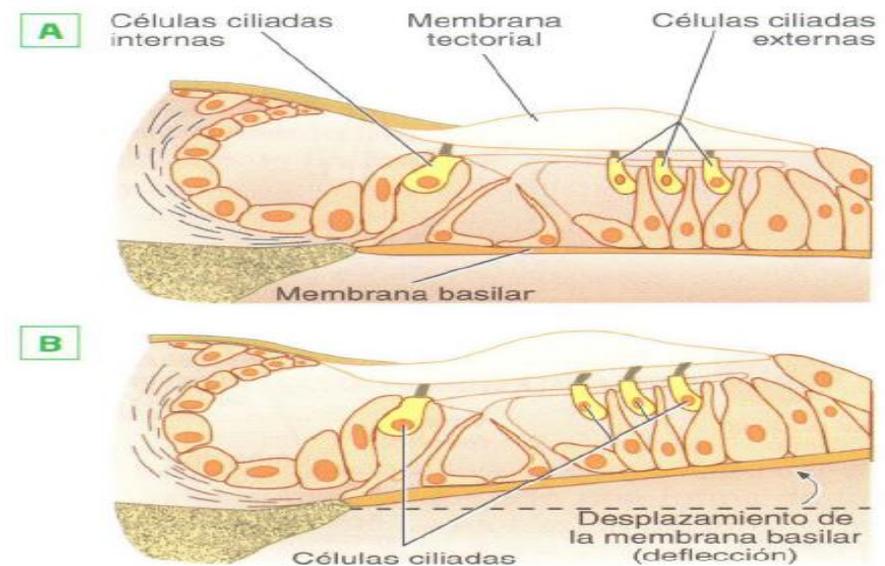


Figura 11.27

4.2 - La Transmisión de la Información Auditiva al Sistema Nervioso Central y su Procesamiento Cortical

¿Cómo se transmite la información auditiva desde el VIII par craneal hasta estructuras superiores del sistema nervioso central.?

1- Desde el **núcleo geniculado medial del tálamo**, la información auditiva se envía a **la corteza auditiva primaria (A 1)**, localizada como ya hemos dicho en el **lóbulo temporal**.

2-En A 1 la información se dispone de una manera **tonotópica** , es decir, que hay una disposición ordenada de los axones aferentes primarios, que nos permite distinguir las diferentes **frecuencias de los sonidos**.

Frecuencias altas: ventana oval codifican sonidos agudos.
Frecuencias bajas: : receptores internos sonidos graves.

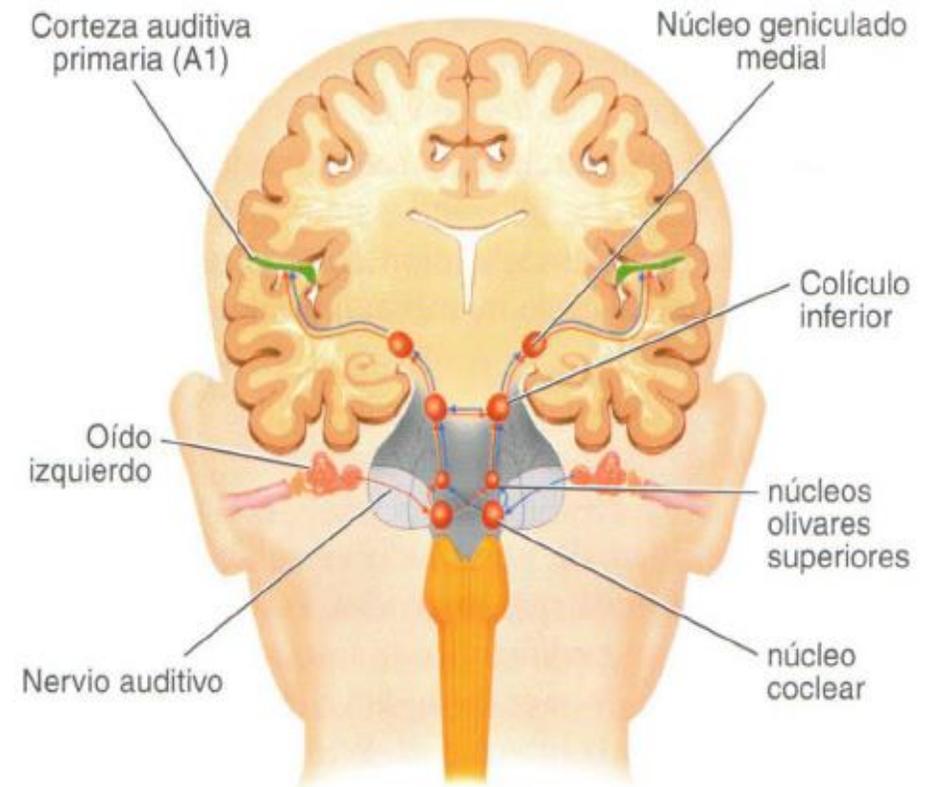


Figura 11.28

Esquema altamente simplificado de las vías auditivas. Las estructuras de procesamiento y relevo son bilaterales y aunque parte de la información se procesa de manera ipsilateral, se observa mucho cruce de las vías auditivas entre ambos hemisferios. (Adaptado de Carlson, 2013).

Las vías dorsal (qué) y ventral (dónde) y se combinan tanto en el S. Visual como en el S. Auditivo

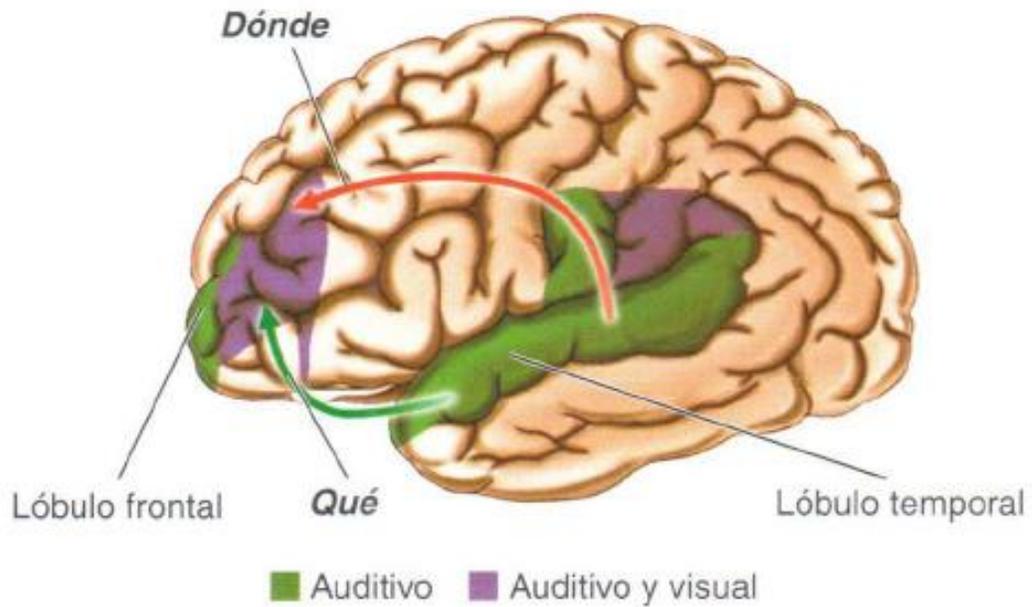


Figura 11.30

En esta figura se observa el solapamiento que existen entre las corrientes de procesamiento ventral («Qué») y dorsal («Dónde») en los sistemas visual y auditivo. Como puede comprobarse, el solapamiento ocurre no sólo a nivel temporo-parietal sino también frontal. (Adaptado de Goldstein, 2010).

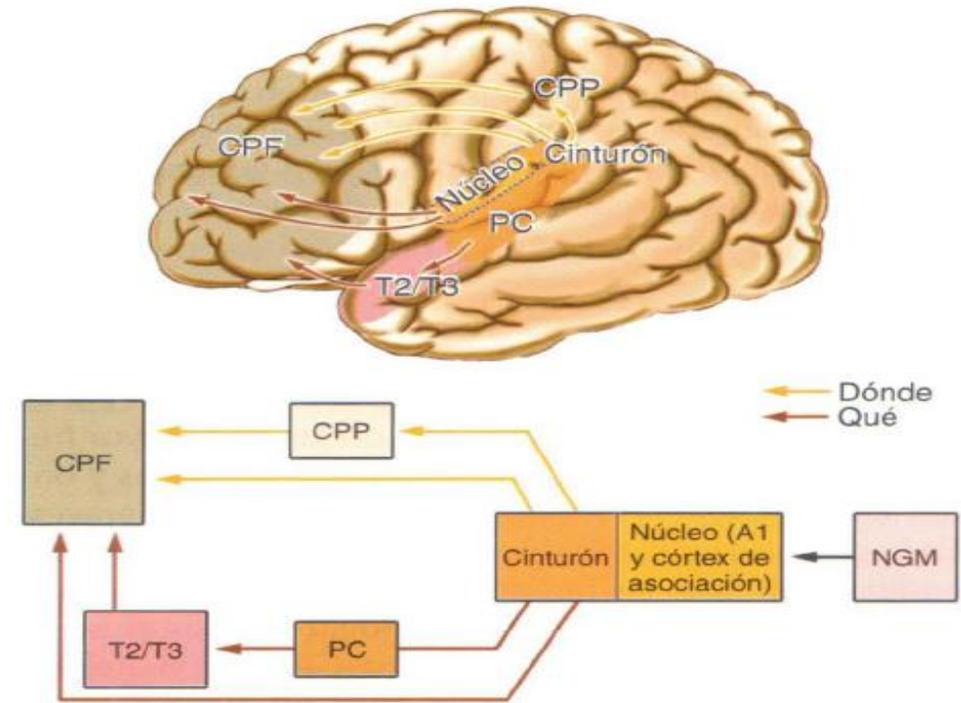


Figura 11.29

Procesamiento cortical de la información auditiva. Como puede observarse, las corrientes de procesamiento ventral y dorsal que ya hemos estudiado en el sistema visual se mantienen en el sistema auditivo (ver Figura 11.30). NGM: Núcleo Geniculado Medial. PC: Paracinturón. CPP: Corteza del Paracinturón. CPF: Corteza Prefrontal. T2/T3: Áreas de la Corteza Temporal. (Adaptado de Kandel, 2010).

4.3- La Percepción Auditiva

EL TONO	LA INTENSIDAD	EL TIMBRE	DORSAL Y VENTRAL	PERCEPCIÓN MÚSICA
Frecuencias de onda(agudas y graves).	Amplitud de onda que lo genera.	El timbre de un sonido depende de sus armónicos: conjunto ondas superpuestas (diferenciar la misma nota en dos instrumentos distintos)	A partir del V2, dos corrientes en el procesamiento en paralelo de del “qué” y el “cómo” de los objetos. Misma en visión y audición.	Los diferentes aspectos de la percepción musical dependen de áreas cerebrales concretas.
Dos mecanismos para codificar el tono: 1- código de lugar (codifica frecuencias intermedias). 2- código tasa de disparo (codifican frecuencias bajas).	A mayor intensidad estímulo, mayor frecuencia disparo axones nervio auditivo. Sonidos graves: codifican cóclea .	Otros parámetros del sonido relacionados con el timbre: ataque y decaimiento (armónicos).	La corriente dorsal o del «qué» comienza en la parte anterior de la región central auditiva y del cinturón y desde ahí se extiende hasta la corteza prefrontal. La corriente dorsal o del «cómo/dónde» comienza en las regiones más posteriores de la región central auditiva y del cinturón y se dirige a la corteza parietal y de allí a la prefrontal (Fig. 11.29 y Fig. 11.30).	Déficit neuropsicológico conocido como amusia , es decir la pérdida o el deterioro de las capacidades musicales bien de manera congénita o de manera secundaria un daño cerebral.

• 5.- EL SISTEMA SOMATOSENSORIAL

Propiocepción (percepción de la posición relativa de cada una de las partes del cuerpo y de la fuerza que se está aplicando para ejecutar un movimiento)

Procesamiento vestibular (sentido del equilibrio y orientación espacial).

La información propioceptiva y vestibular se combinan para originar la **kinestesia** o percepción del propio movimiento.

- *Somestesia*: capacidad de percibir lo que ocurre en la superficie de nuestro cuerpo o fuera de él. Compuesta por:
 - Sentidos cutáneos
 - Tacto
 - Termocepción
 - Nocicepción
 - Propiocepción
 - Procesamiento vestibular
 - Propiocepción+procesamiento vestibular=*kinestesia*

5.1- La Piel y los Receptores Cutáneos

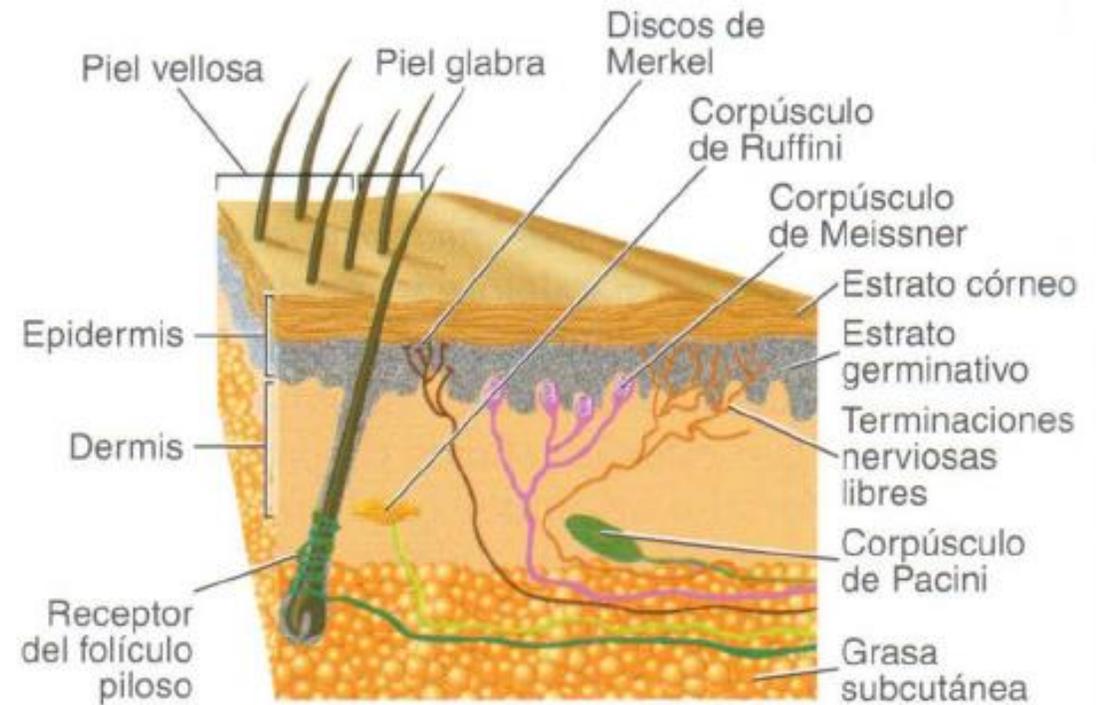


Figura 11.31

Localización de los receptores cutáneos en la piel vellosa y glabra (sin pelo). Entre ellos se encuentran mecanorreceptores como los corpúsculos de Meissner y los corpúsculos de Pacini, que son receptores de adaptación rápida, y los discos de Merkel y los corpúsculos de Ruffini, que son receptores de adaptación lenta. Los nociceptores son las terminaciones nerviosas libres.

5.2- La Transmisión de la Información Cutánea a la Corteza Cerebral y su Procesamiento Posterior

La **corteza somatosensorial** está formada por regiones diferentes situadas en la región anterior del lóbulo parietal.

La **corteza somatosensorial primaria** se sitúa en la circunvolución post-central y en el interior del surco central.

La **corteza somatosensorial secundaria** se localiza de forma lateral y algo posterior a la corteza primaria y en el interior del surco lateral.

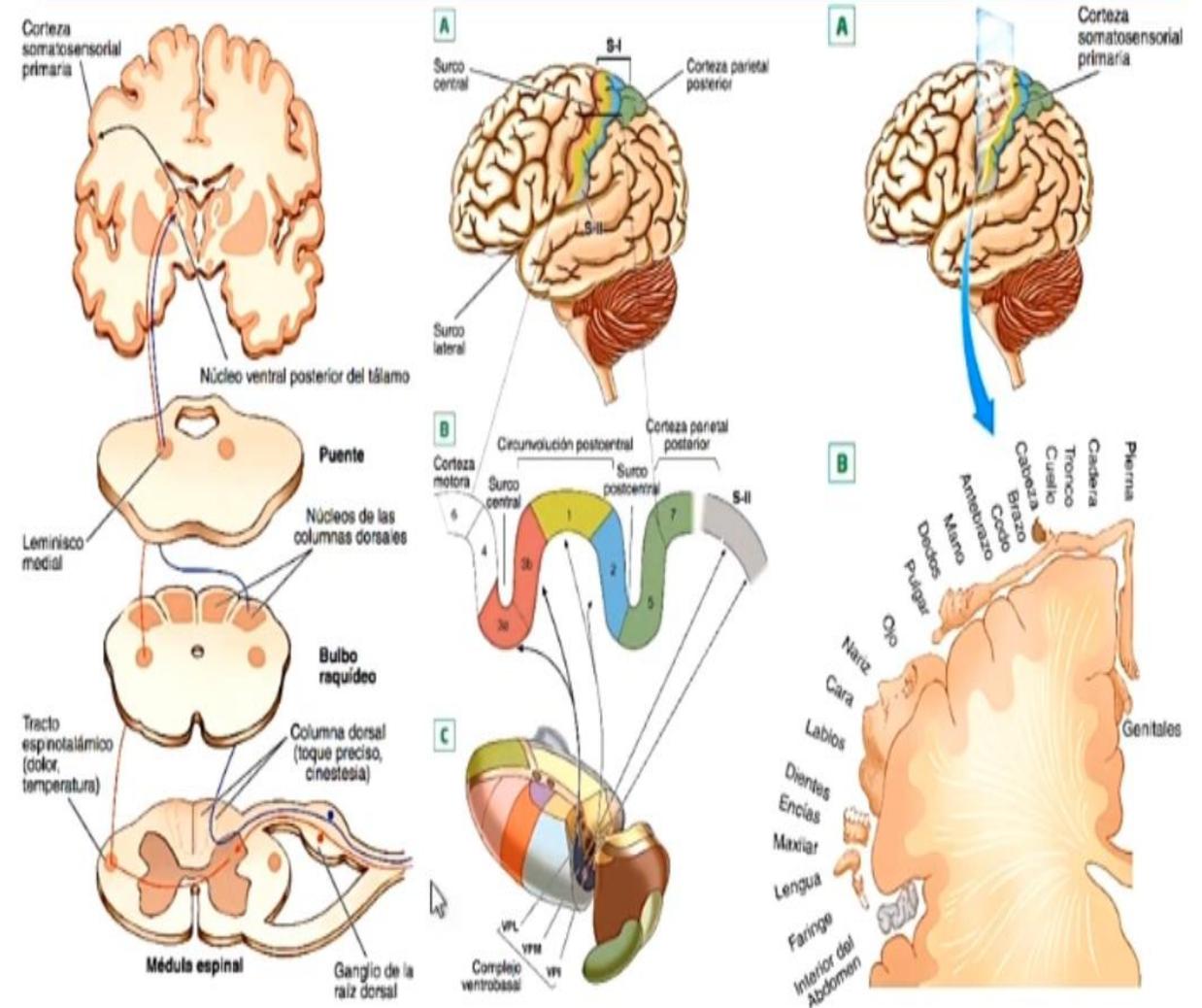
Las áreas somatosensoriales primarias y secundarias de la corteza parietal anterior proyectan a la **corteza de asociación parietal posterior** con aferencias procedentes de otros sistemas, como el visual y el auditivo.

La **corteza somatosensorial** presenta organización **somatotópica** que es una característica esencial de las aferencias sensoriales procedentes de la médula espinal y del tronco del encéfalo. Muestra una organización interna, de forma que se establecen conexiones verticales entre las neuronas de regiones concretas, presentando una **organización columnar**.

Agnosia táctil: lesión corteza somatosensorial.

Síndrome heminegligencia: percepción relaciones espaciales y la propia imagen corporal. Dificultad para orientarse, actuar o responder a estímulos o acciones que ocurren en el lado contralateral a la lesión hemisférica, es decir la mitad del campo visual contrario a la visión. Si la lesión estuviera en el hemisferio derecho, entonces, la Heminegligencia sería en el hemicampo izquierdo.

- La transmisión de la información cutánea a la corteza cerebral y procesamiento posterior. Las agnosias táctiles y la heminegligencia.



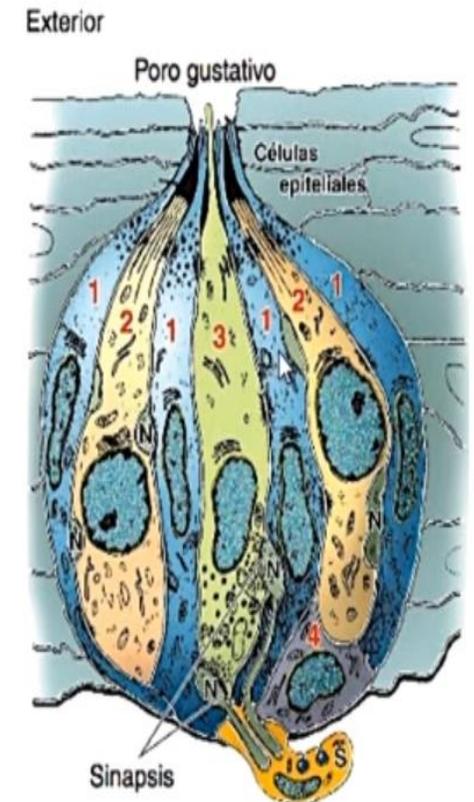
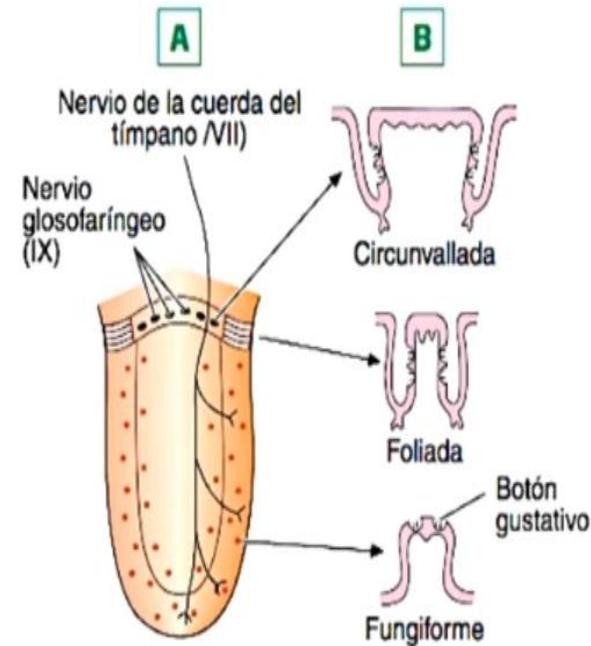
6- LOS SENTIDOS QUÍMICOS: GUSTO Y OLFATO

6.1-Receptores Gustativos, Receptores Olfativos y Vías de Comunicación al Sistema Nervioso Central

Corte longitudinal de un botón gustativo.

Los botones gustativos se sitúan en las partes superior y laterales de las papilas gustativas de la lengua. Los receptores gustativos son las células tipo 3, que proyectan microvellosidades hacia el poro gustativo y establecen sinapsis con las neuronas sensoriales en el extremo opuesto. Las células tipo 1 son células de soporte, mientras que las tipo 2 no establecen sinapsis pero sí algún tipo de contacto con las neuronas sensoriales y puede que participen de alguna manera en la generación de impulsos nerviosos. Las células tipo 4 reciben el nombre de células basales y terminan por diferenciarse y convertirse en neuronas sensoriales, nótese que la vida media de una célula gustativa es de unos 10 días.

A. Inervación de la superficie gustativa de la lengua. **B.** Sección de las papilas gustativas mostrando la disposición de los botones gustativos con respecto a la superficie de la lengua.



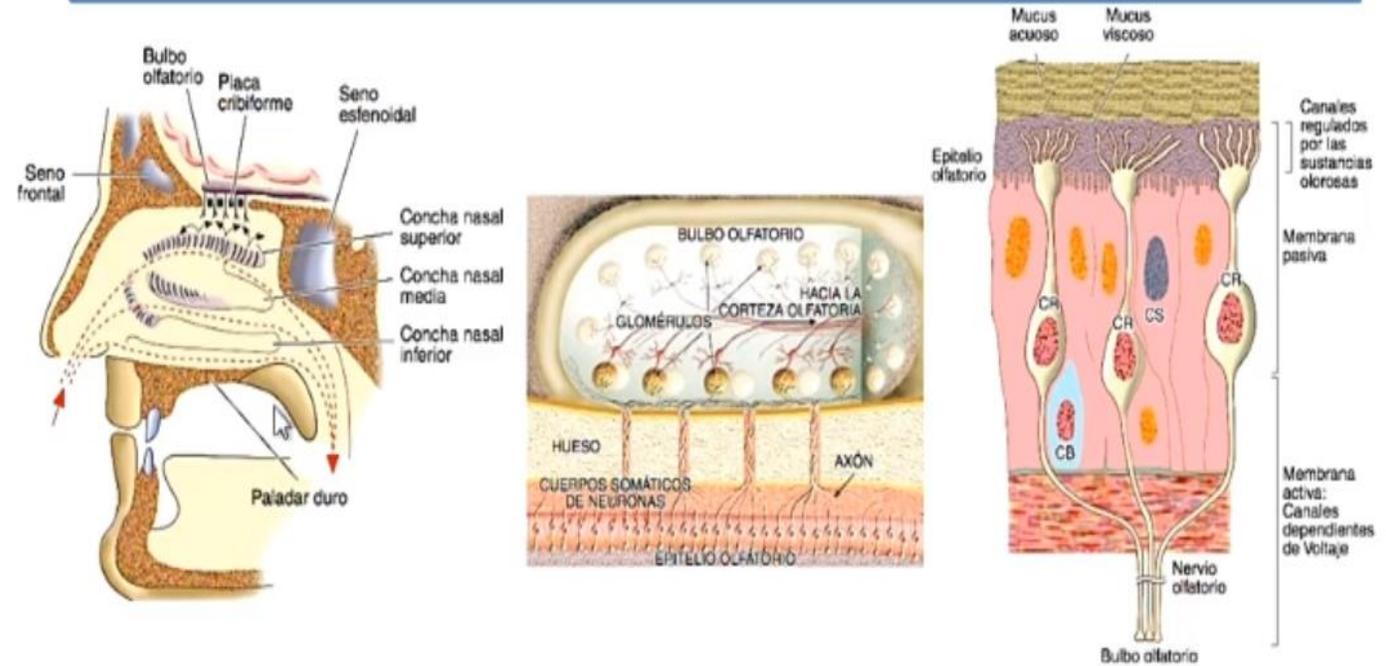
Cavidad nasal con la mucosa olfatoria situada en la parte superior; se muestran las vías que sigue el aire inspirado a través de las conchas.

La mucosa olfatoria humana alcanza una superficie de 2 cm² (la mitad a cada lado del séptum nasal; algunos textos hablan de entre 5 y 10 cm²) y la densidad de los receptores olfatorios viene a ser de unos 30.000 por mm² (6 millones de receptores en total), muy poco en comparación con las mucosas de otras especies: la del gato tiene 20 cm² y la del perro entre 20 y 200 cm².

Representación de un corte sagital del bulbo olfatorio humano.

En los glomérulos, los axones de las neuronas olfatorias establecen sinapsis principalmente con las células mitrales.

- Receptores gustativos, receptores olfativos y vías de comunicación al sistema nervioso central.



Organización celular de la mucosa olfatoria. La mucosa olfatoria consta de células receptoras (CR), células de soporte (CS) y células basales (CB). Los receptores olfatorios son neuronas bipolares con una proyección dendrítica acabada en cilios hacia la superficie de la mucosa olfatoria y una proyección axónica en el polo opuesto. Normalmente estos axones, que son extremadamente finos (tipo C), van en paquetes de 100 a 1.000, cubiertos en conjunto por una capa de mielina producida por células de Schwann y constituyen el nervio olfatorio, que se proyecta ipsilateralmente al bulbo olfatorio (hemisferios cerebrales).

6.2- Algunas Nociones sobre la Percepción Gustativa y Olfativa

- Al igual que con las otras modalidades sensoriales ya estudiadas, también en el caso del gusto y del olfato se dan casos de **agnosias**:
- **Agnosia gustativa**: suele darse en casos de lesiones en el **lóbulo temporal**, se define como la incapacidad de clasificar e identificar un determinado estímulo gustativo, a pesar de que se distinga este estímulo de otros parecidos y de que los umbrales de detección del mismo sean normales.
- **Agnosia olfativa**: se define como la incapacidad de identificar un aroma determinado a pesar de que la percepción de los olores sea normal y que el umbral de detección de los mismos no se vea alterado. Los casos de agnosias olfativas son escasísimos pero suelen estar asociados también a **lesiones temporales**. Se han observado asimismo casos de alucinaciones olfativas o **fantosmias**. En estos casos los pacientes relatan percibir un determinado olor sin que haya presencia alguna del mismo. Se han descrito casos de fantosmias tras **lesiones en la corteza orbitofrontal**.