

# Fundamentos del procesamiento visual

- Fototransducción
- Circuitos retinales
- Procesamiento cortical
- Percepción

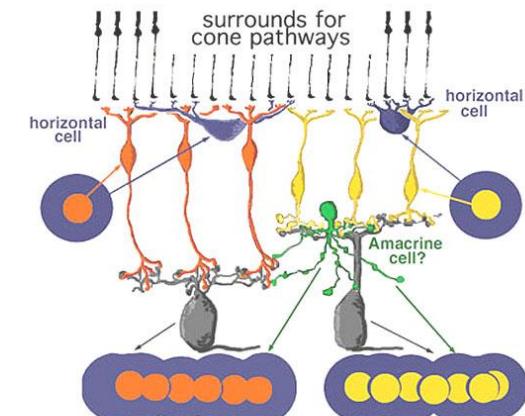
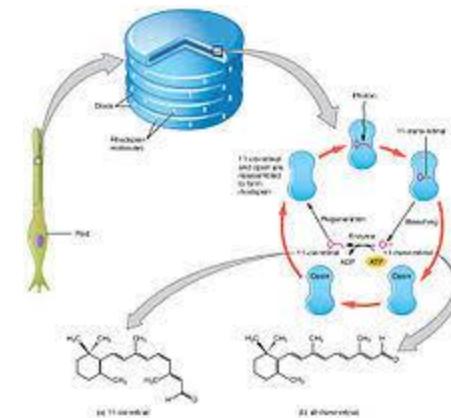
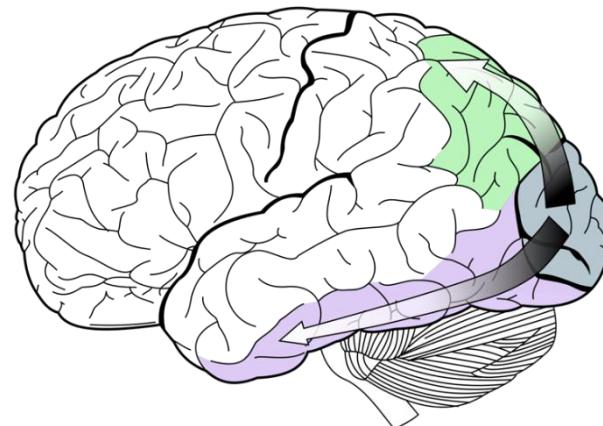
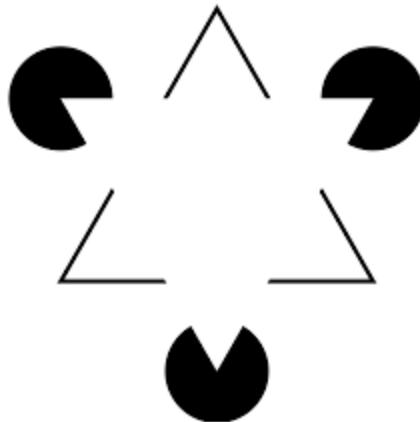
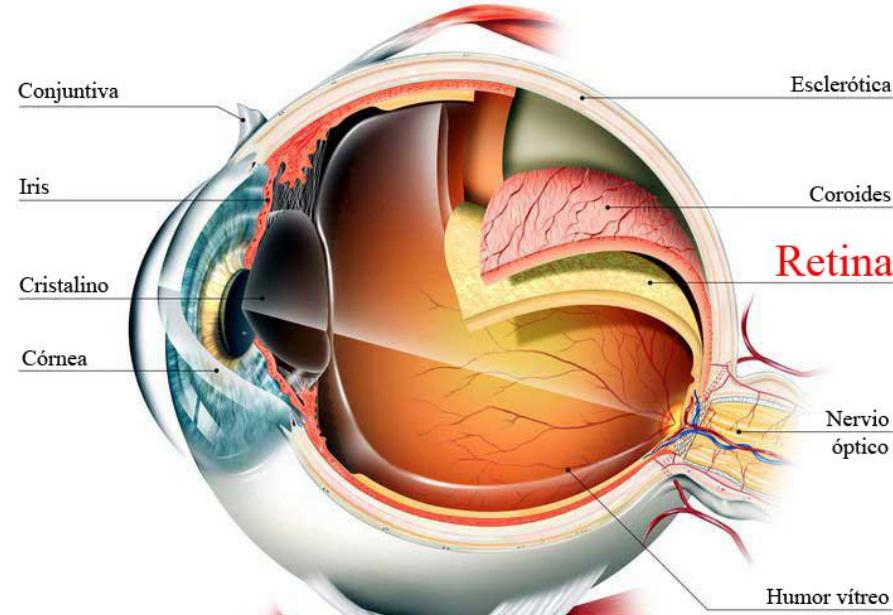
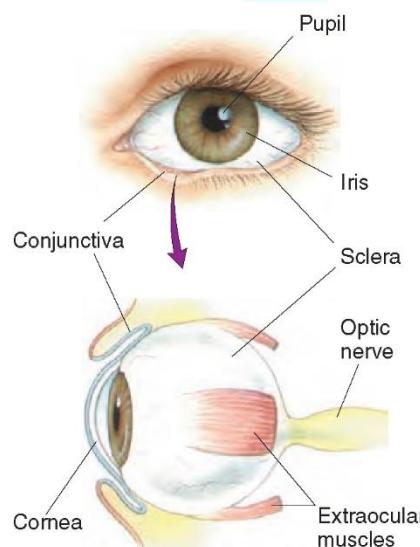


Fig. 15. Diagram of the organization of center-surround circuits using both horizontal cells and amacrine cells.

- Recepción y transducción de la luz

- La estructura del ojo



- Recepción y transducción de la luz

- La estructura del ojo

- Formación de la imagen a través del ojo

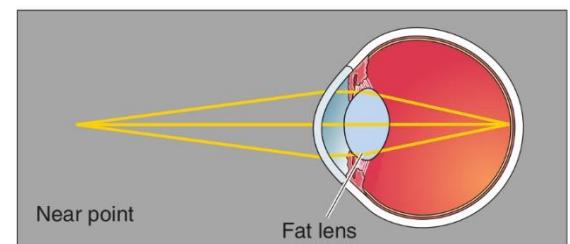
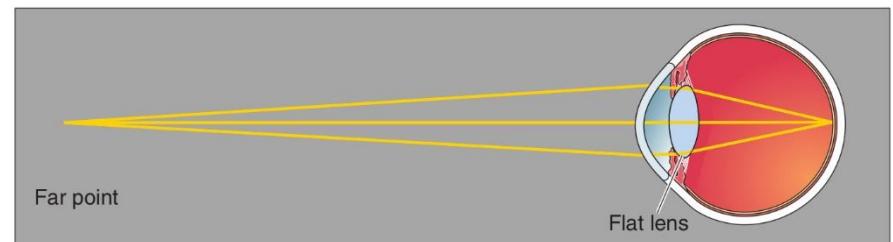
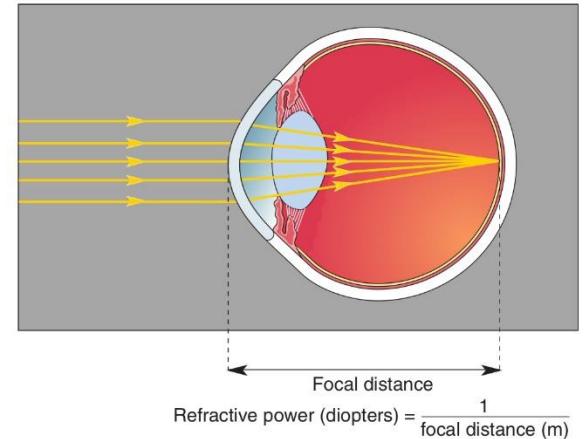
- Refracción en la córnea

- La córnea tiene un poder refractivo de 42 dioptrías (enfoca a 2.4 cm).

- Acomodación en el cristalino

- El cristalino aporta en el orden de una docena de dioptrías para crear una imagen nítida de un objeto lejano.

- Sin embargo, su función principal es la de formar imágenes nítidas de objetos cercanos (menos de ~ 9 m).



- Recepción y transducción de la luz

- **Generalidades del procesamiento en la retina**

- En lo que sigue, veremos en detalle las distintas células y caminos funcionales que componen a la retina.
- En algún sentido y en forma muy simplificada, la retina se compone de dos sistemas que se solapan: uno especializado para niveles de luz muy bajos (régimen escotópico), y uno especializado para niveles de luz más altos, con procesamiento cromático (régimen fotópico).
- En cualquiera de ambos casos, la retina no se especializa en realizar una representación fiel de la luminosidad incidente, sino más bien en detectar diferencias en la luz que llega a diferentes regiones.

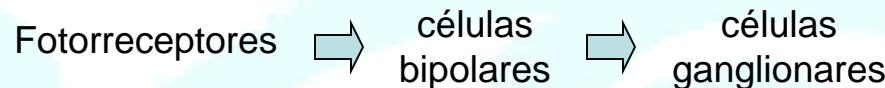
- Recepción y transducción de la luz

- Generalidades del procesamiento en la retina

- Anatomía microscópica de la retina

- ¿Cómo es la arquitectura celular?

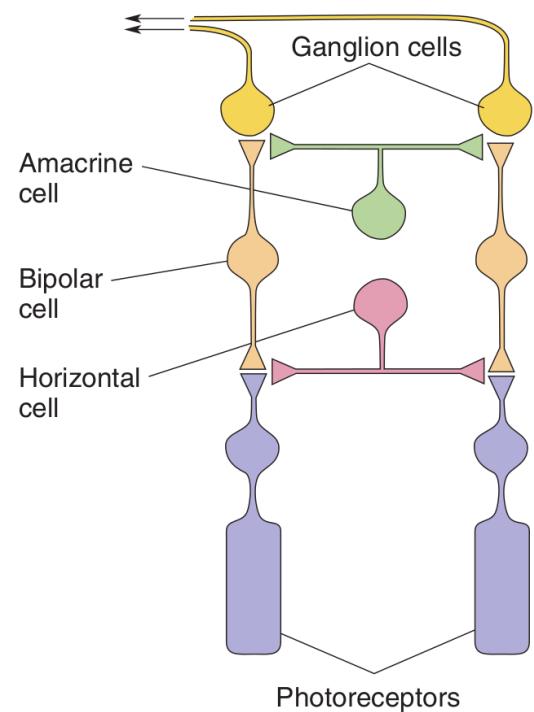
- La secuencia directa del procesamiento visual es:



- Las células ganglionares son las que producen disparos, que se transmiten vía el nervio óptico hacia el resto del cerebro.

- Otras dos células influencian el procesamiento: las células horizontales y las células amacrinas. En ambos casos, producen un procesamiento lateral.

Ganglion cell axons projecting to forebrain

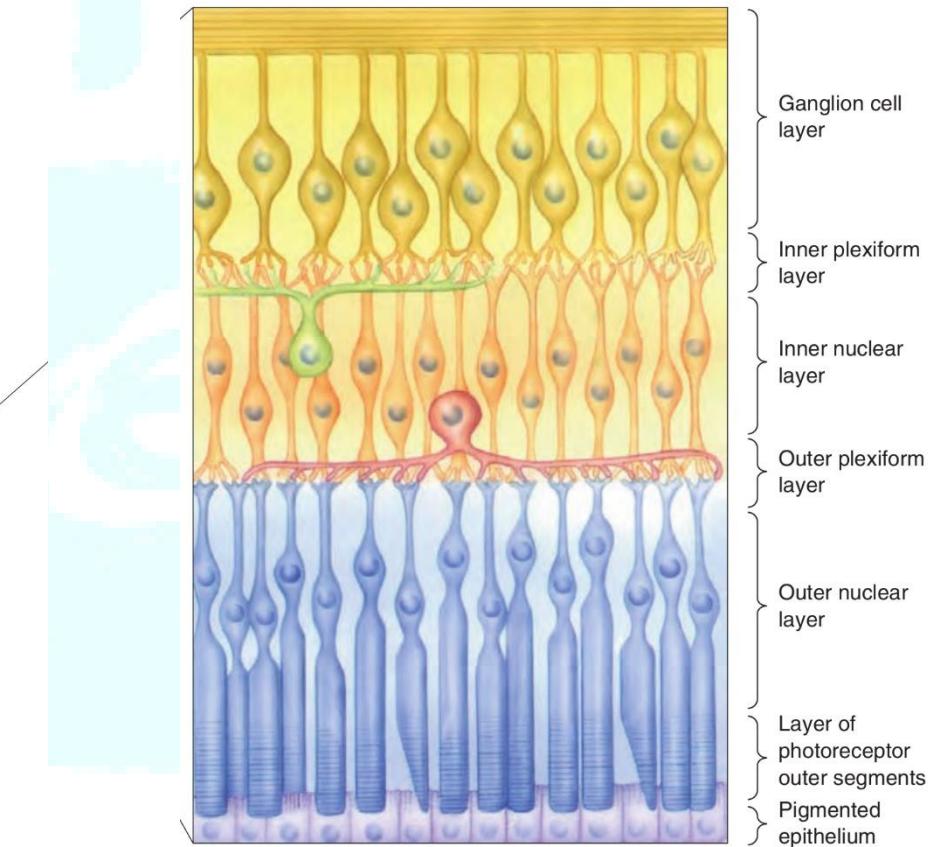
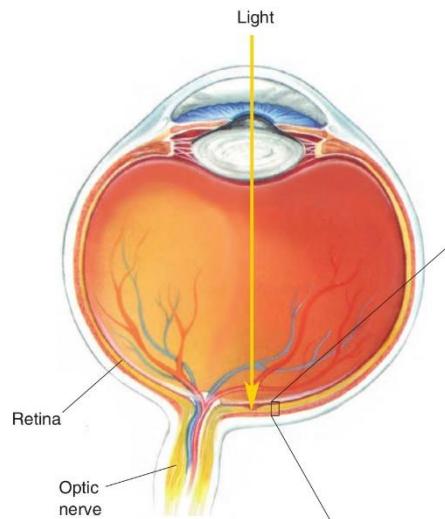


- Recepción y transducción de la luz

- Generalidades del procesamiento en la retina

- Anatomía microscópica de la retina

- Organización laminar



- Recepción y transducción de la luz

- Generalidades del procesamiento en la retina

- Anatomía microscópica de la retina

- Estructura de los fotorreceptores

- Tenemos del orden de  $125 \times 10^6$  fotorreceptores.

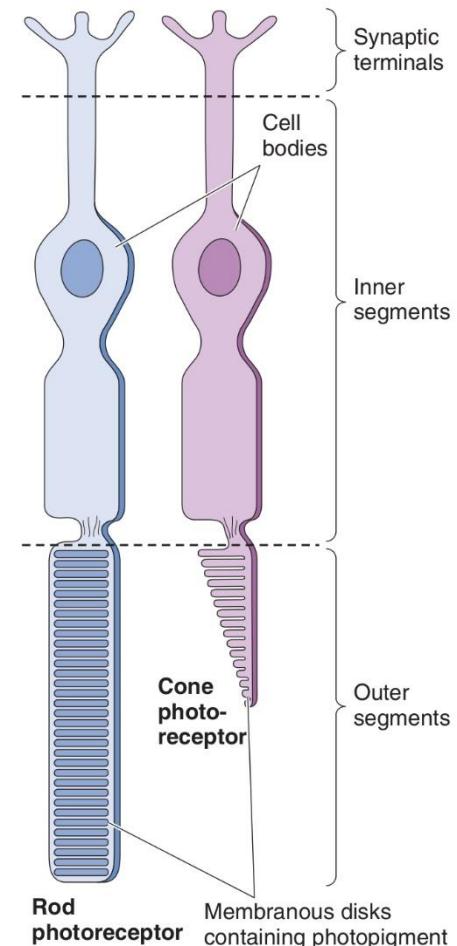
- Cada uno tiene 4 regiones: un segmento exterior, un segmento interior, un cuerpo celular, y las terminales sinápticas.

- El segmento exterior contiene una serie de discos que poseen pigmentos fotosensibles, donde se absorbe la luz y se produce la foto-transducción.

- 2 tipos de fotorreceptores: conos y bastones.

- Los bastones son ~1000 veces más sensibles a la luz que los conos. Condiciones escotópicas/fotópicas.

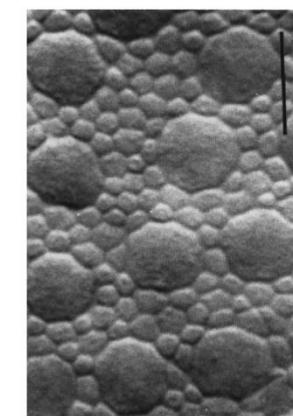
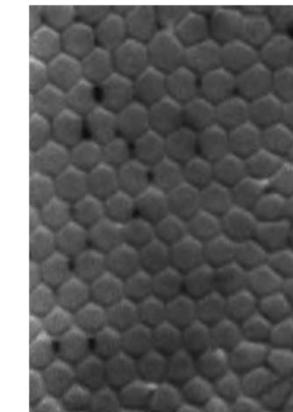
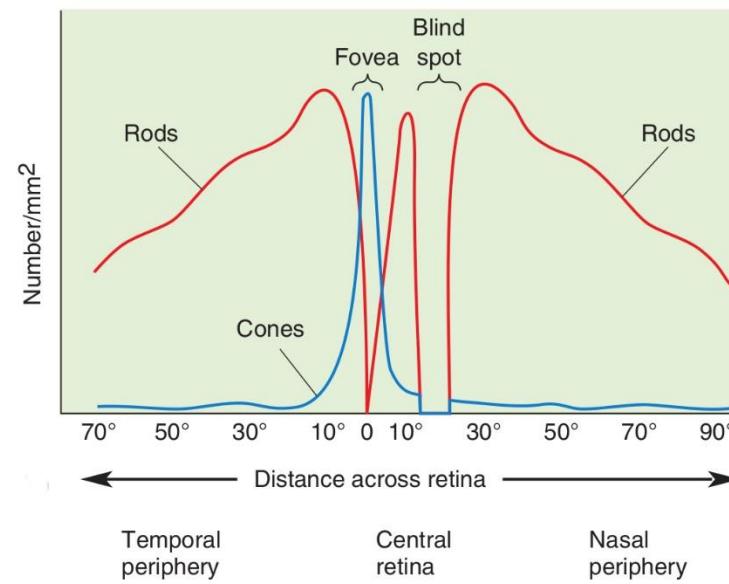
- Los pigmentos son diferentes. Cromaticidad.



- Recepción y transducción de la luz

- Generalidades del procesamiento en la retina

- Anatomía microscópica de la retina
  - Diferencias regionales en la estructura retinal
    - La estructura retinal varía de la fovea a la periferia.



→ La densidad de fotorreceptores depende de qué región consideremos.

- Recepción y transducción de la luz

- Generalidades del procesamiento en la retina

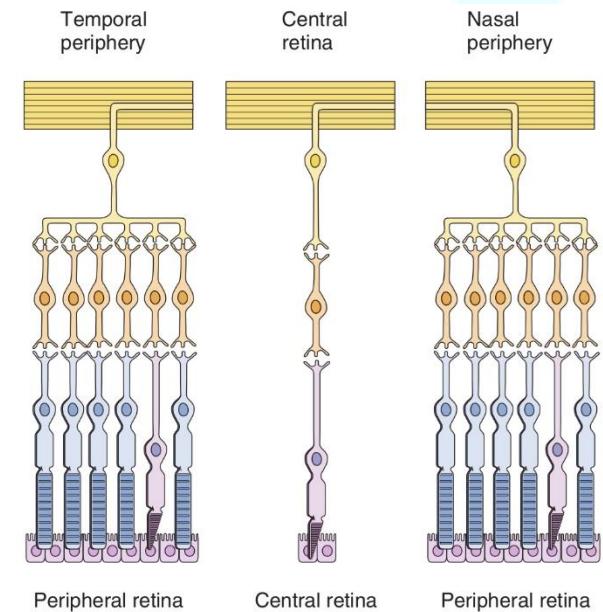
- Anatomía microscópica de la retina

- Diferencias regionales en la estructura retinal

- La convergencia de señales a las células ganglionares varía de la fóvea a la periferia.

- La periferia es más sensible a la luz porque: 1) Se compone principalmente de bastones, los cuales se especializan en condiciones escotópicas, 2) muchas señales de fotorreceptores convergen a una dada célula ganglionar.

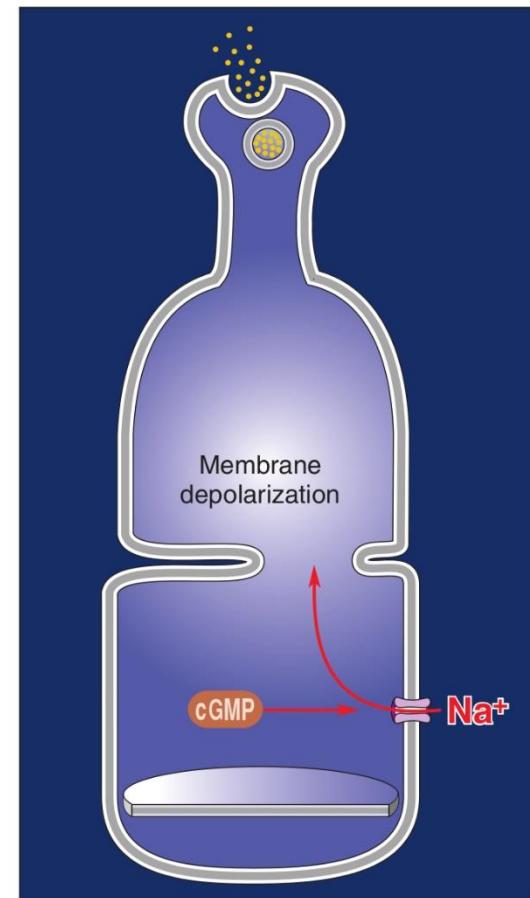
- El mismo motivo por el cual la periferia es muy buena detectando bajas intensidades de luz (convergencia de señales), es por el que es muy malo en cuanto a distinguir puntos cercanos. En este caso, la fóvea es la encargada de la visión de alta resolución.



- Recepción y transducción de la luz

- El mecanismo de fototransducción (bastones)

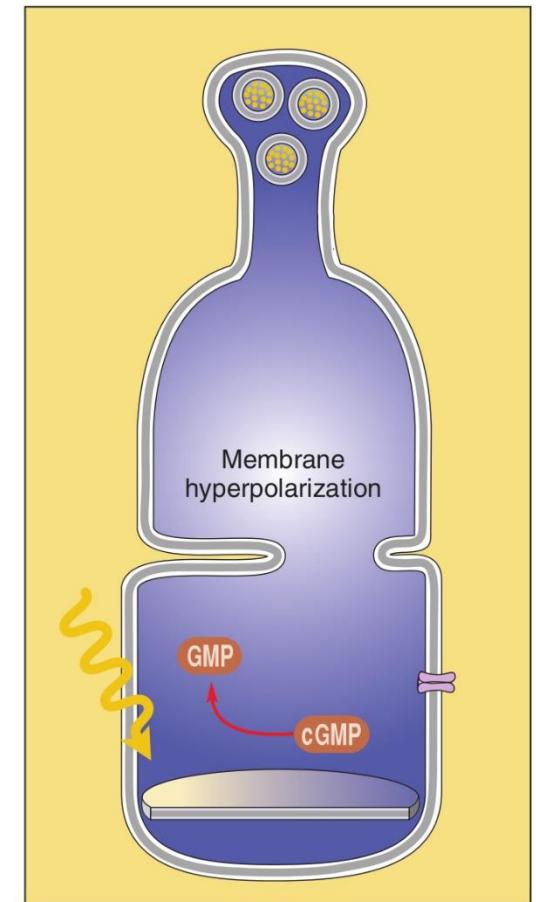
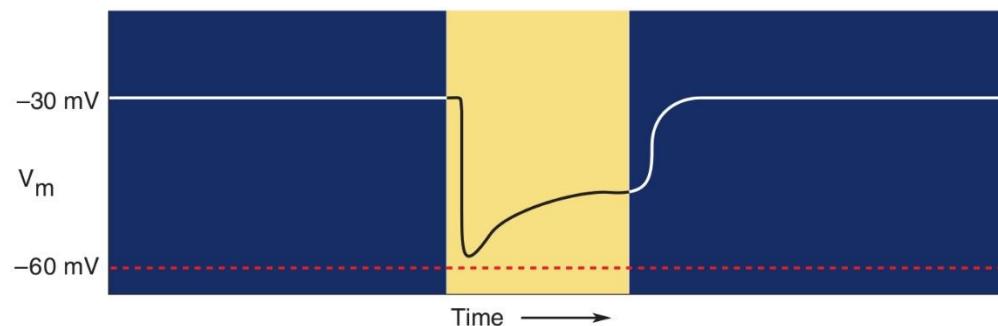
- En oscuridad total, el potencial de membrana del segmento exterior de los bastones se encuentra a ~ - 30 mV.
- Esta depolarización es causada por el influjo constante de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  a través de ciertos canales iónicos ubicados en la membrana del segmento exterior, cuya apertura está regulada por la concentración de guanosin monofosfato cíclico (cGMP). Obviamente, esta corriente se conoce como “dark current”.
- Esta depolarización produce una transmisión sináptica continua de glutamato. De cierta manera, los fotorreceptores están codificando la oscuridad, en lugar de codificar la luz.



- Recepción y transducción de la luz

- El mecanismo de fototransducción (bastones)

- La recepción de luz reduce, en una secuencia de pasos, la concentración de cGMP, estimulando la producción de GMP no cíclico.
- De esta manera, los canales cGMP-gated se cierran.
- La célula se hiperpolariza y se detiene la transmisión sináptica.

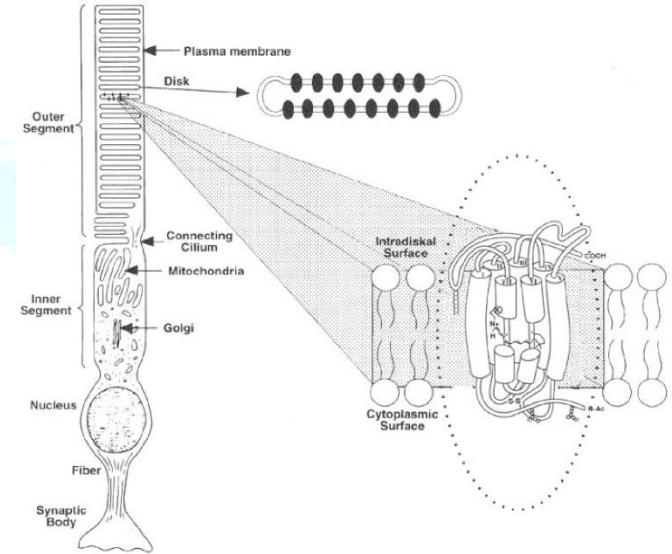


- Recepción y transducción de la luz

- El mecanismo de fototransducción (bastones)

- Cascada bioquímica

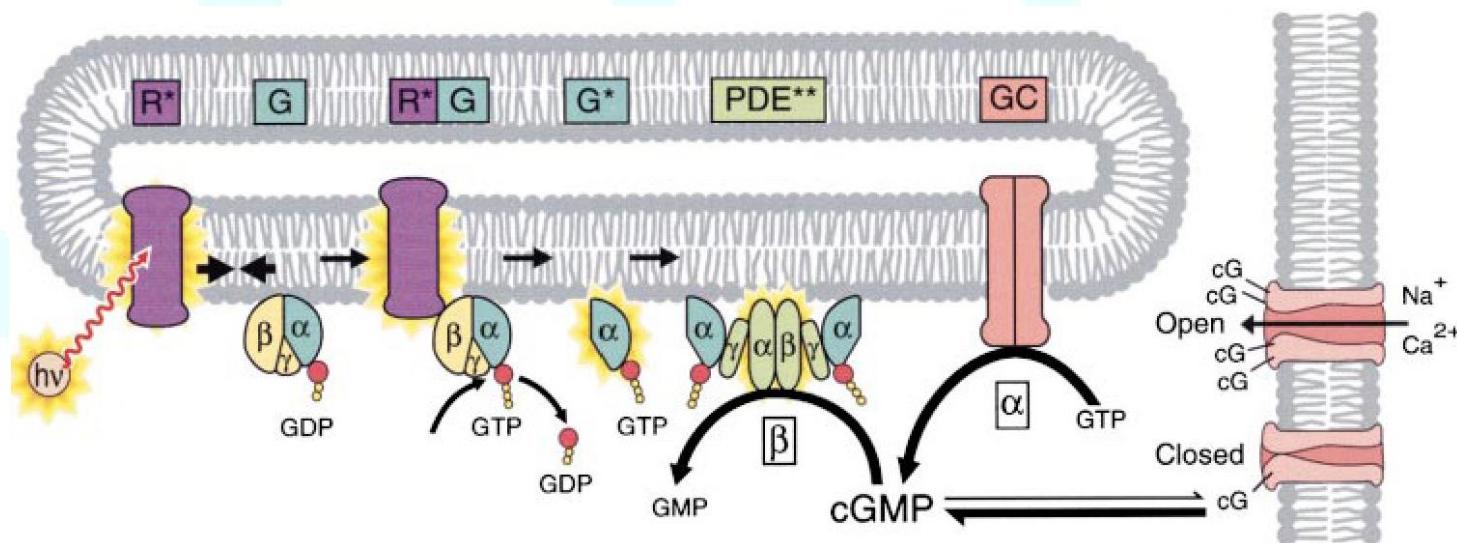
- La fototransducción se inicia con la absorción de un fotón por parte de un pigmento sensible a la luz llamado rodopsina (rhodopsin).
- La rodopsina es una proteína transmembranosa (familia de las opsinas), con un agonista pre-ensamblado llamado retinal (isómero cis), un derivado de la vitamina A.
- La absorción de luz hace que el retinal cambie su conformación (trans), haciendo que la rodopsina quede en un estado activado.
- Este proceso se conoce como blanqueado (bleaching).



- Recepción y transducción de la luz

- El mecanismo de fototransducción (bastones)

- Cascada bioquímica



R: Rodopsina

G: Proteína G, llamada transducina. Aquí se produce **AMPLIFICACION**.

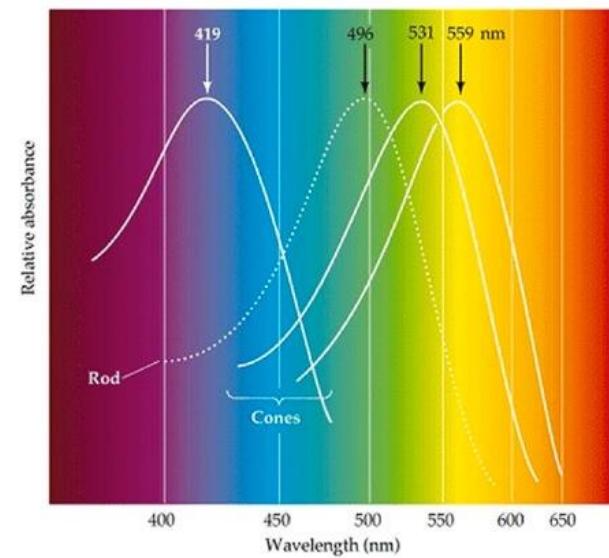
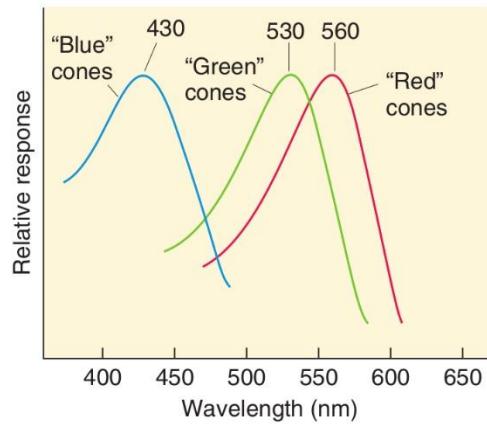
PDE: Fosfo-di-esterasa (se encarga de deshidrolizar el cGMP). Aquí también.

GC: Guanil ciclase (se encarga de desfosforilar y ciclar el GTP).

- Recepción y transducción de la luz

- **El mecanismo de fototransducción (conos)**

- En un día normal, el nivel de luz hace que la concentración de cGMP en los bastones caiga hasta el punto en que la respuesta se encuentra saturada. En este punto, los conos toman la delantera.
- El proceso de transducción es esencialmente el mismo, aunque con moléculas ligeramente distintas.
- Opsinas en los conos:



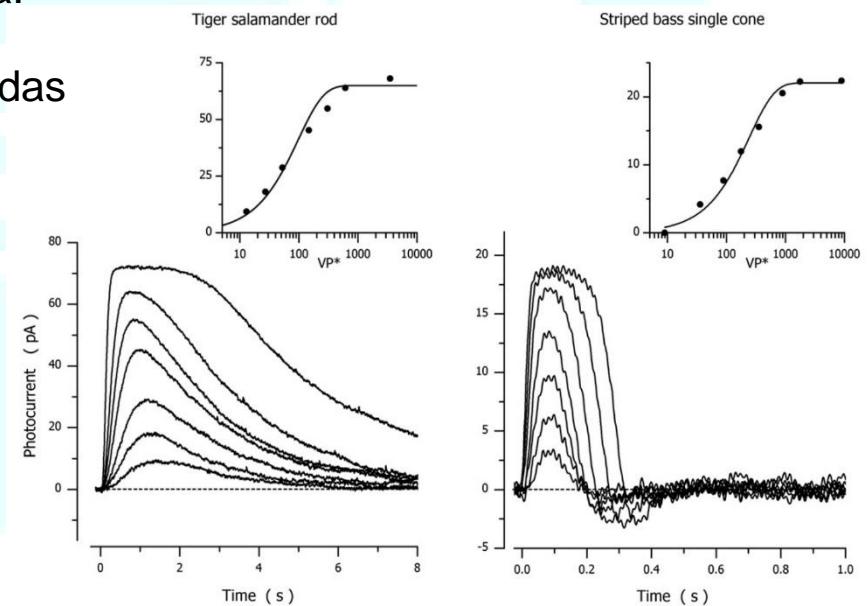
- Recepción y transducción de la luz

- **El mecanismo de fototransducción (conos vs bastones)**

- Existen dos diferencias importantes:

- 1) La sensibilidad (qué intensidad de luz puedo discriminar del fondo de ruido), o umbral.
- 2) El curso temporal de la respuesta.

- Ambas diferencias parecen estar asociadas a la cinética de terminación del PDE\*.
- Posiblemente existan diferencias en la eficiencia de absorción de fotones.

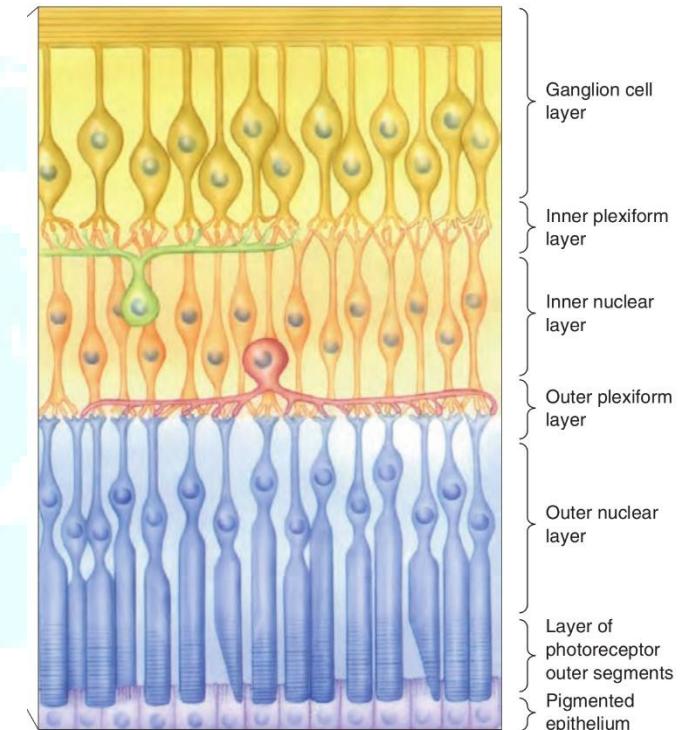


- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Outer Plexiform Layer

- Ya desde la primera sinapsis de la retina ocurre una cierta integración del mensaje visual.
- En la capa plexiforme exterior, los pedículos de los conos o los esferulos de los bastones hacen contacto sináptico con distintas células bipolares y distintas variedades de células horizontales.
- Además, aquí también existen contactos eléctricos entre fotorreceptores vecinos, produciendo un procesamiento lateral adicional.



- Circuitos retinales

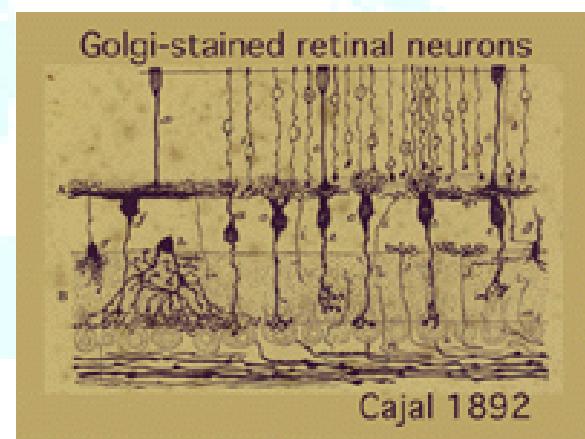
- Procesamiento mas allá de la recepción

- Outer Plexiform Layer

- En esta primera sinapsis ocurren dos interacciones importantes:

1. Se divide el procesamiento visual en canales ON y OFF, representando objetos que tienen una luminosidad por encima o por debajo de la luminosidad media o de fondo, respectivamente.
2. Se comienza a crear la estructura de contraste (campos receptivos center/surround).

- El primero en sospechar la coexistencia de un procesamientos directo o vertical y un procesamiento lateral fué Ramón y Cajal, en base a sus detalladas tinciones y dibujos.



## • Circuitos retinales

### ➤ Procesamiento mas allá de la recepción

- Outer Plexiform Layer
  - Las células horizontales
    - Las células horizontales forman una especie de gran red interconectada por junturas eléctricas.
    - En humanos, hay tres tipos de células horizontales: HI, HII y HIII.
    - Tienen especializaciones cromáticas.

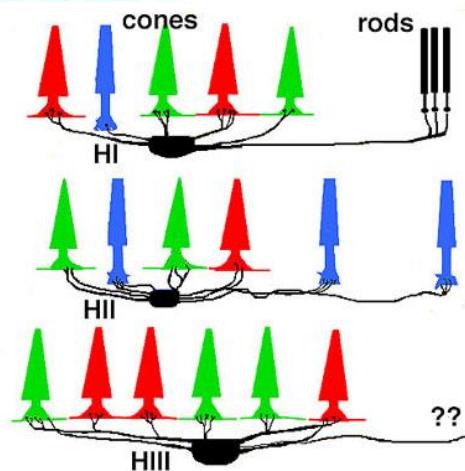
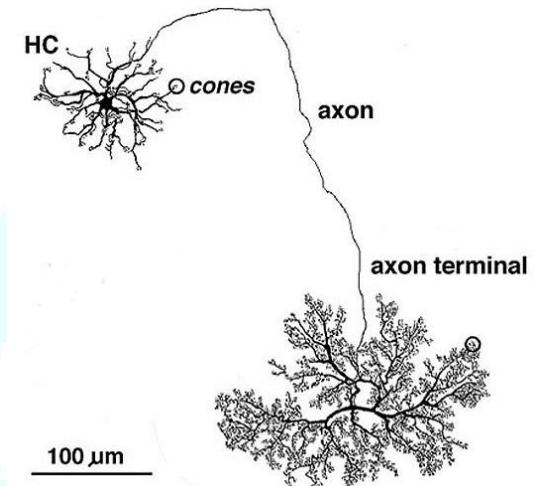


Fig. 15. Summary of the spectral connections of the three HC types of the primate retina.

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Outer Plexiform Layer
  - Las células bipolares

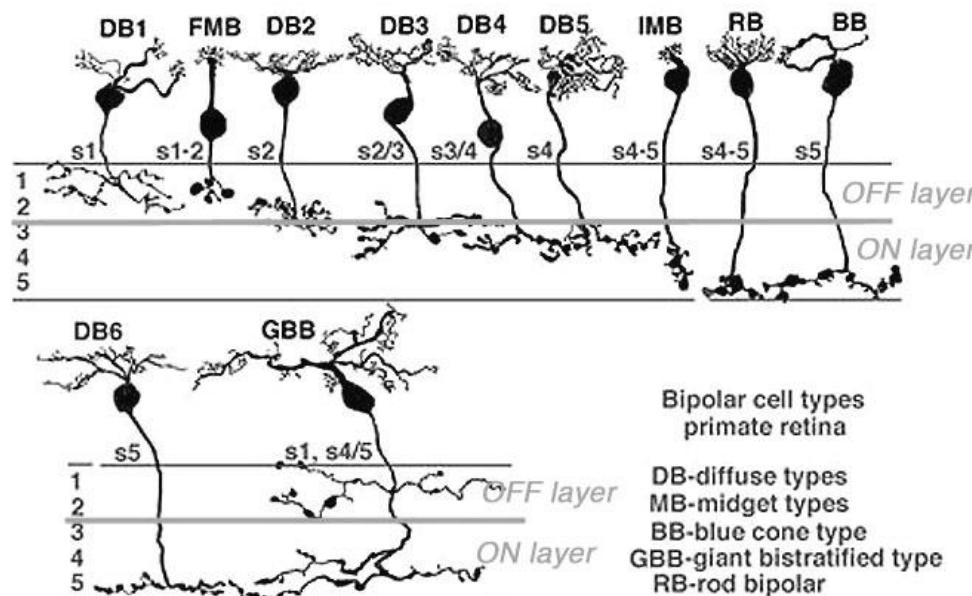


Fig. 4. Bipolar cell types in human retina. (From Golgi staining).

→ 10 cone bipolar cells  
1 rod bipolar cell

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Outer Plexiform Layer

- Las células bipolares. Contactando a los bastones (rod bipolar cell).

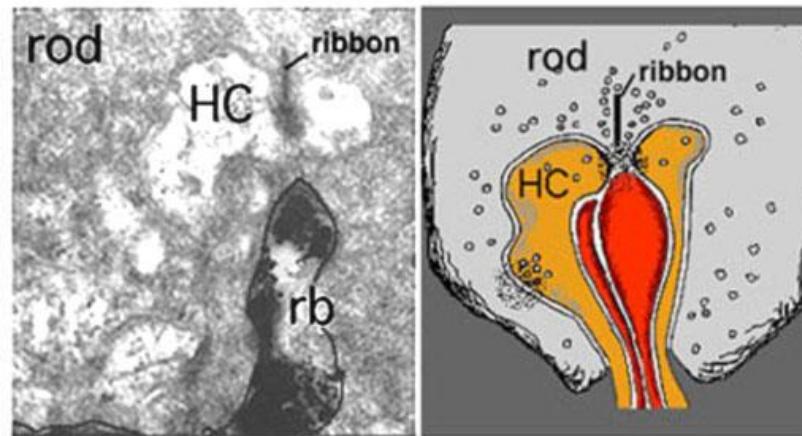


Fig. 28. EM and drawing of a rod triad (monkey).  
rb, rod bipolar dendrite; HC, horizontal cell axon terminals.

- En regiones centrales, las arborizaciones dendríticas son pequeñas (~15μm) y se contactan 10-15 bastones.
- En regiones periféricas, el árbol dendrítico tiene ~30μm y contactan 40-50 bastones.

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Outer Plexiform Layer
  - Las células bipolares. Contactando a los conos (cone bipolar cells).
    - En humanos, hay 10 tipos: 7 de ellos toman información de muchos conos (información convergente), y se conocen como de tipo *difuso*. Los otros 3 tipos contactan conos en una relación uno-a-uno (FMB, IMB, BB).
    - En la fovea, cada cono contacta a las dos variedades midget (información divergente), y posiblemente a alguna de las variedades difusas. Las variedades midget (IMB y FMB, invaginating y flat, respectivamente) difieren en cómo acometen a la sinapsis.

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Outer Plexiform Layer

- Las vías ON y OFF, y la estructura center/surround se inician en OPL.

- Sabemos que los fotorreceptores liberan neurotransmisores (glutamato) estando en oscuridad, pues se encuentran depolarizados (válido para conos y bastones).
- Cuando se estimula con luz, la célula se hiperpolariza y se interrumpe esta transmisión.
- La respuesta post-sináptica puede ser depolarizante o hiperpolarizante, dependiendo del tipo de célula bipolar que la contacta (depolarizante/hiperpolarizante para ON/OFF center).
- Estos dos canales surgen por el tipo de contacto sináptico que se establece con los esferulos de los bastones o los pedículos de los conos.

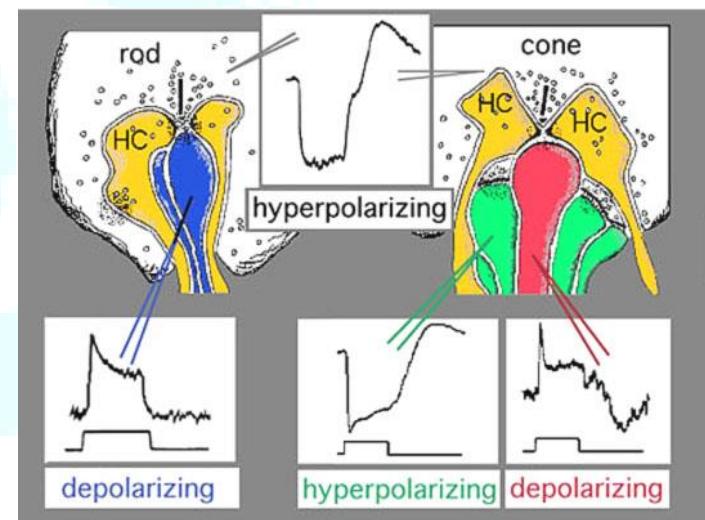


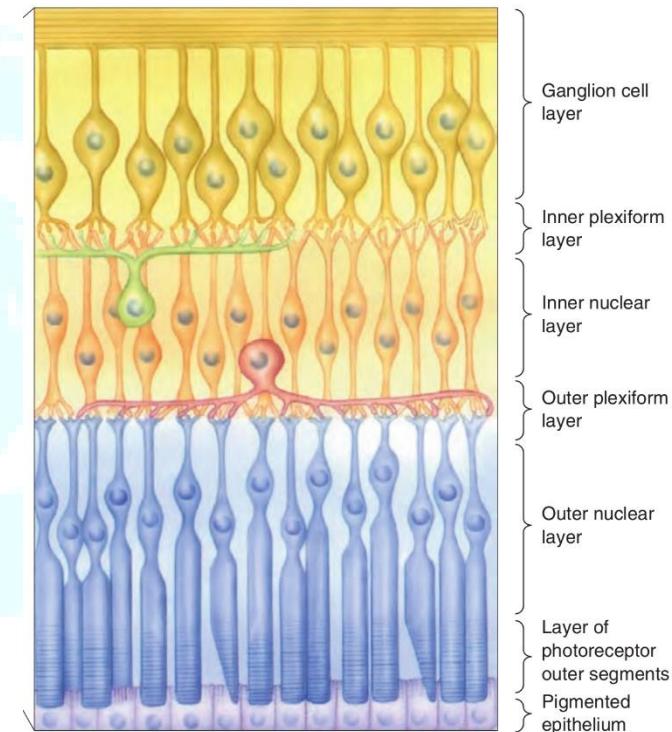
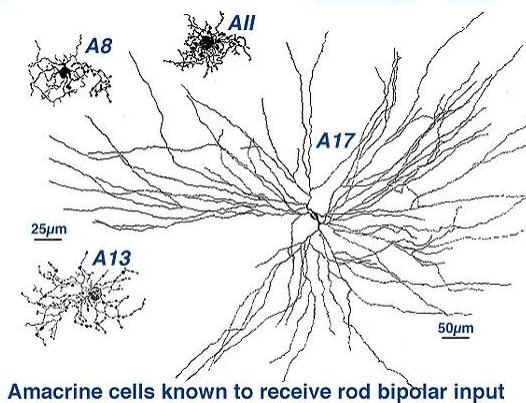
Fig. 16. Origin of ON-center and OFF-center channels. Invaginating, ribbon related contacts give rise to depolarizing responses; flat or basal contacts give rise to hyperpolarizing responses.

## • Circuitos retinales

### ➤ Procesamiento mas allá de la recepción

#### ▪ Inner Plexiform Layer

- En esta capa, los terminales de las células bipolares se comunican con distintas variedades de células amacrinas y con las dendritas de las células ganglionares.
- A partir de estudios con tinciones, se sabe que hay, al menos, 25 tipos diferentes de células amacrinas en la retina del humano y de los primates, y otro tanto de células ganglionares.



- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Inner Plexiform Layer

- Las células ganglionares se clasifican en diferentes tipos. Como en el caso anterior, para su clasificación influye el tamaño y la dispersión del árbol dendrítico, los patrones de ramificación, y el nivel de estratificación de las dendritas.

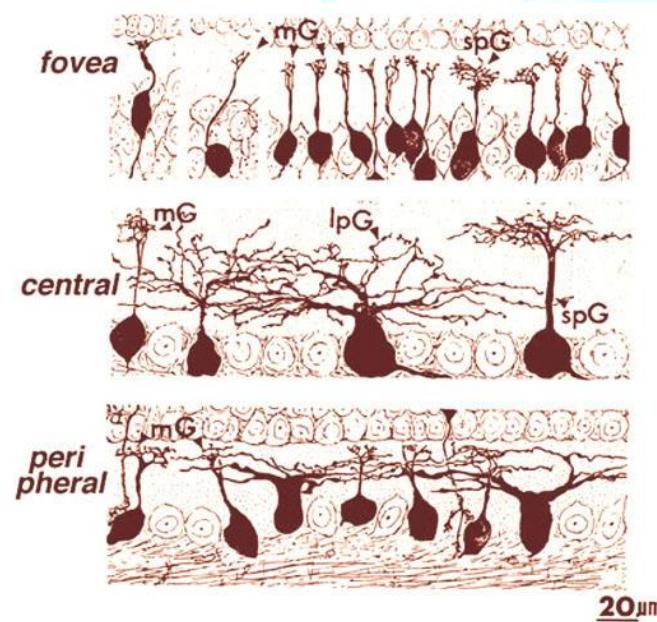


Fig. 9. View of Golgi stained ganglion cells in vertical section (From Polyak, 1941).

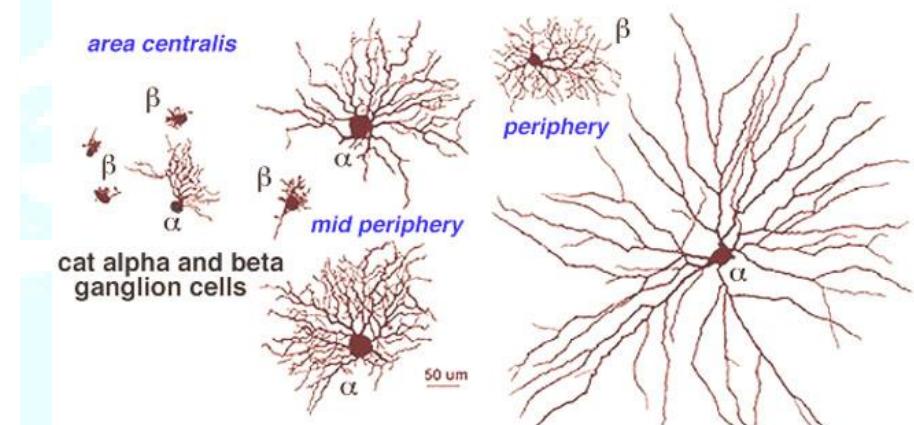


Fig. 11. Cat ganglion cells (Golgi stained wholemount views).

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Inner Plexiform Layer

- En los humanos y primates, las células ganglionares más comunes son las parasol (células M, proyectando a la capa Magnocelular del LGN) y las midget (células P, proyectando a la capa Parvocelular del LGN).

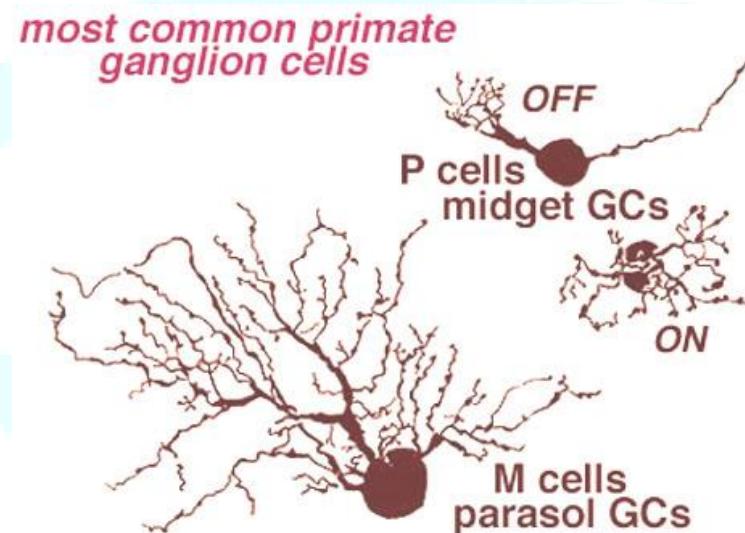


Fig. 12. The most common primate ganglion cells are P and M cells that occur as ON and OFF pairs.

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - Las células ganglionares son las que codifican el mensaje de salida de la retina. Los axones de estas células, mucho más grandes que los de otras células en la retina, se agrupan en el nervio óptico (~  $10^6$  fibras) y transmiten información en forma de disparos.
  - Estas células colectan el mensaje eléctrico sobre la señal visual que le envían las capas precedentes.
  - En la retina humana (y primates) existen al menos 18 tipos morfológicos de células ganglionares.
  - De particular importancia son las llamadas células midget y células parasol, pues son las que soportan la alta resolución visual en la fovea y el procesamiento del color.

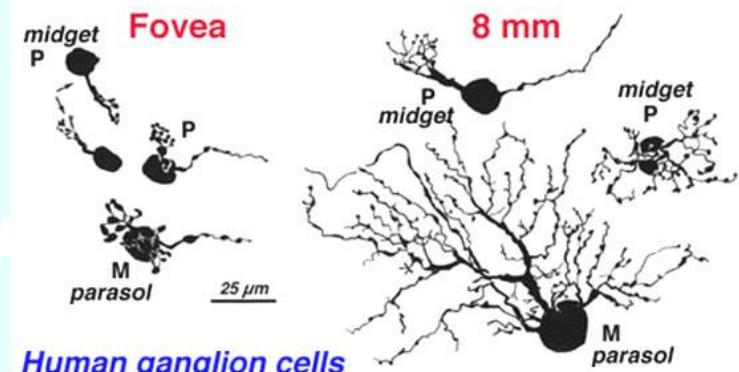


Fig. 19. Ganglion cell types involved in geniculate-striate pathways of primate retina.

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - En 1967 el premio Nobel de Medicina/Fisiología fué otorgado a Ragnar Granit y a Keffer Hartline por sus registros (y por desarrollar la tecnología necesaria) de la actividad eléctrica en las células ganglionares de la retina.
  - Los registros eléctricos de Hartline de respuestas individuales de estas células revelan que existen distintos patrones de descargas en respuesta a la luz.
  - Se describieron tres tipos.

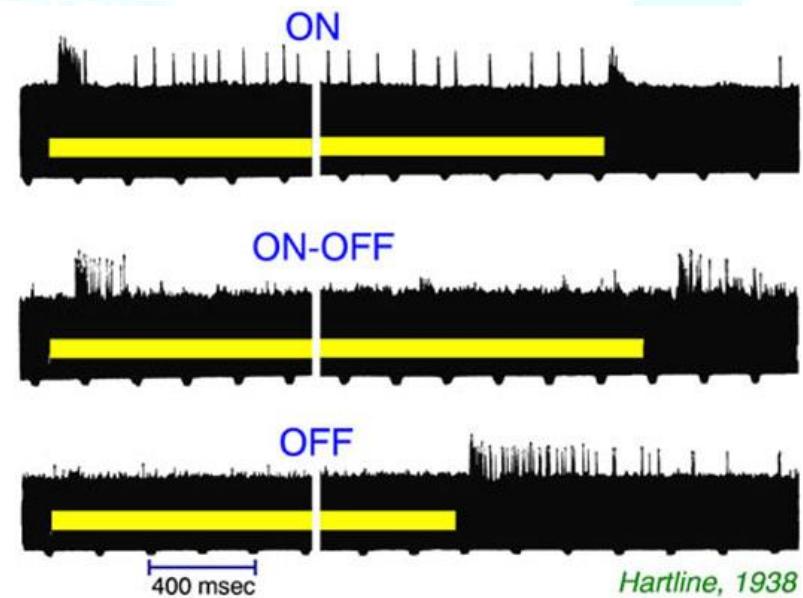


Fig. 3. ON, OFF and ON-OFF ganglion cells (after Hartline, 1938; 1967).

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - En base al trabajo de Sherrington (premio Nobel de Medicina) describiendo la relación entre la ubicación corporal de ciertos estímulos sobre la respuestas reflejas, Hartline definió en concepto de “**campo receptivo**” en sistemas sensoriales.
  - En sus propias palabras, “en una dada fibra del nervio óptico, las respuestas pueden obtenerse sólo iluminando una región restringida de la retina, llamada el campo receptivo de la fibra”.
  - Esto es, Hartline describió las propiedades espaciales de las células ganglionares por medio de la técnica de “spot mapping” (Kuffler, 1953).

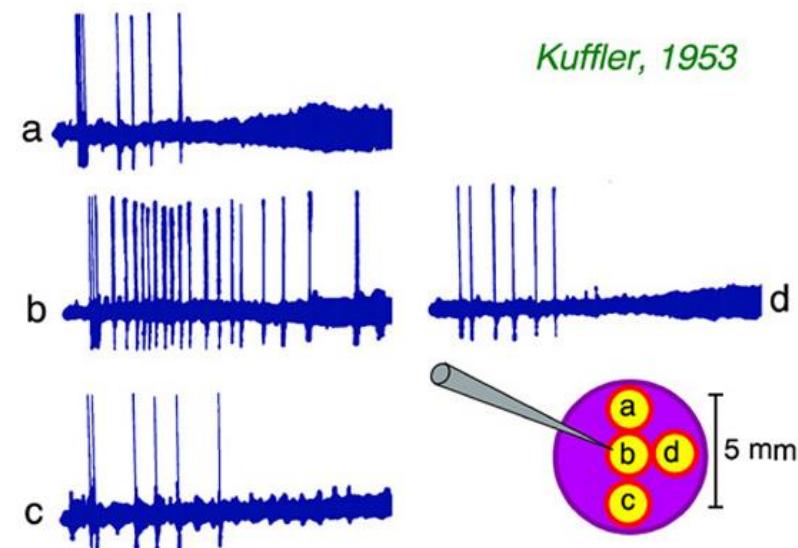
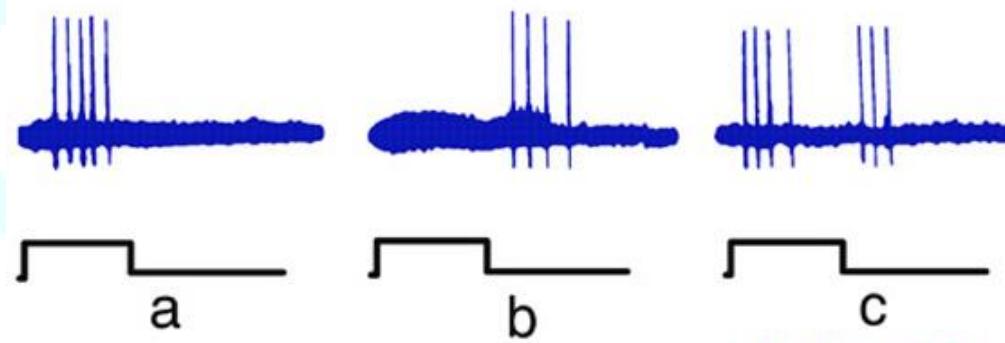


Fig. 5. Spot mapping of cat retinal ganglion cell receptive-field center (Kuffler, 1953).

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - La extensión del campo receptivo era mucho más grande que la esperada a partir de los fotorreceptores individuales, lo cual sugirió que debía existir un procesamiento de señales e integración a través de la retina.
  - La **estructura center/surround**: Fué descubierta por Stephen Kuffler en 1953, al caracterizar el antagonismo en la respuesta que produce un estímulo ubicado en los alrededores.



Kuffler, 1953

Fig. 6. Opposed center and surround responses in cat ganglion cell  
(Kuffler, 1953).

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - Campo receptivo y estructura center/surround
  - Midiendo intracelularmente

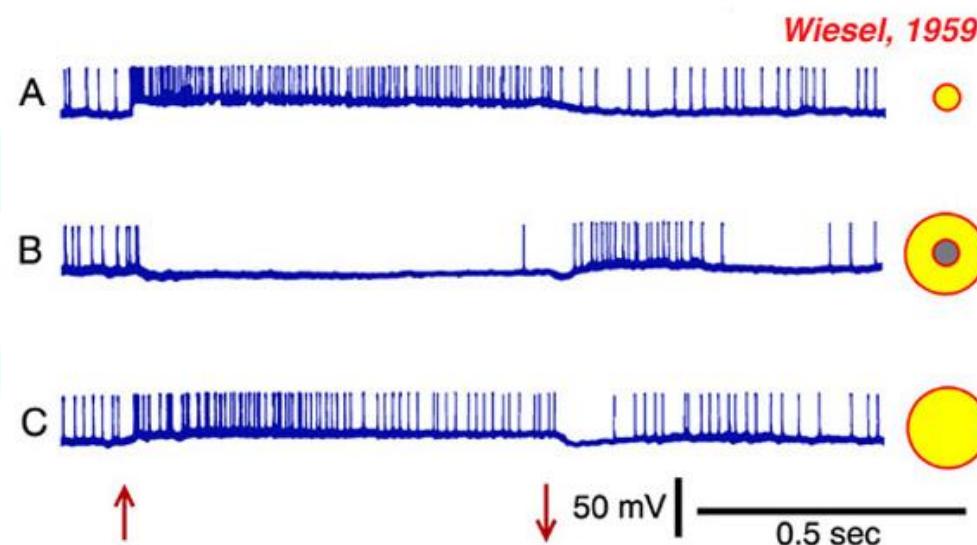


Fig. 7. Changes in ganglion cell membrane potential accompanying center and surround responses (Wiesel, 1959).

- Circuitos retinales

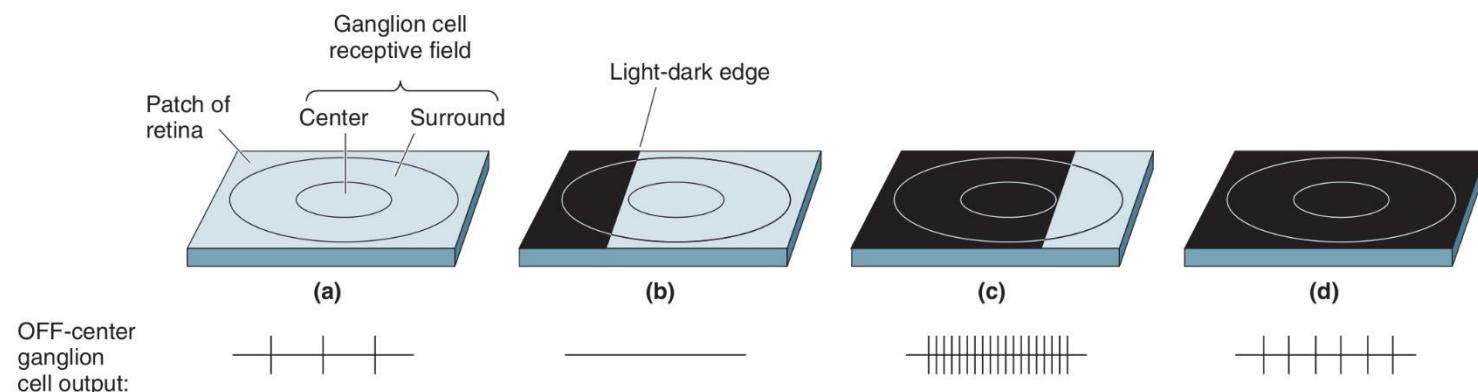
- **Procesamiento mas allá de la recepción**

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - Campo receptivo y estructura center/surround
    - Propiedades de la interacción center/surround
  - 1. Pasamos de una respuesta sostenida a una transitoria, a medida que el estímulo se desplaza del centro.
  - 2. Estimulando el surround inhibimos la respuesta evocada por el estímulo en el centro (ambos estímulos con la misma polaridad).
  - 3. Se obtiene una respuesta excitatoria si estimulamos el surround con el estímulo de polaridad opuesta.
  - 4. Selectividad al tamaño: Con un spot de un tamaño óptimo se obtiene una respuesta máxima.

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - Campo receptivo y estructura center/surround
  - Detector de bordes



**Responses to a light-dark edge crossing an OFF-center ganglion cell receptive field.**

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - Campo receptivo y estructura center/surround

→ Spatial tuning

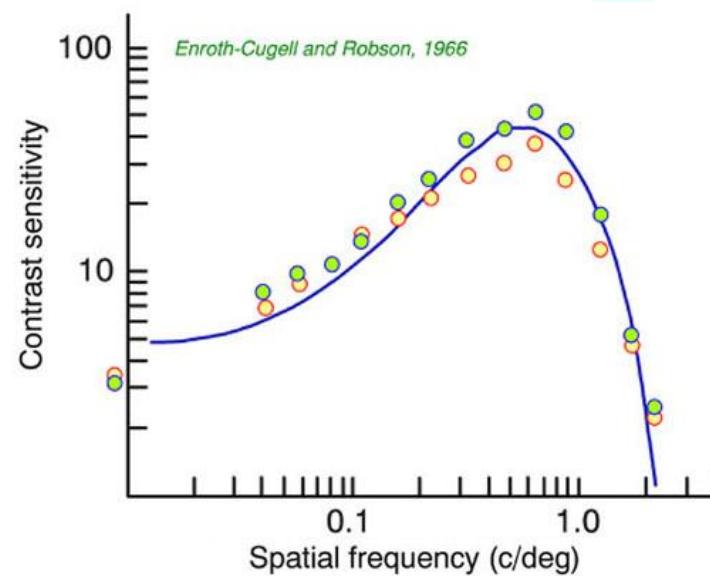


Fig. 8. Contrast sensitivity function of cat retinal ganglion cell. Green and yellow symbols are the data generated with vertical and horizontal patterns respectively, showing a symmetry of size sensitivity (Enroth-Cugell and Robson, 1966).

→ La arquitectura center/surround explica este fenómeno

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
    - Campo receptivo y estructura center/surround
- Construyendo un modelo fenomenológico de este tipo de respuestas: DOG

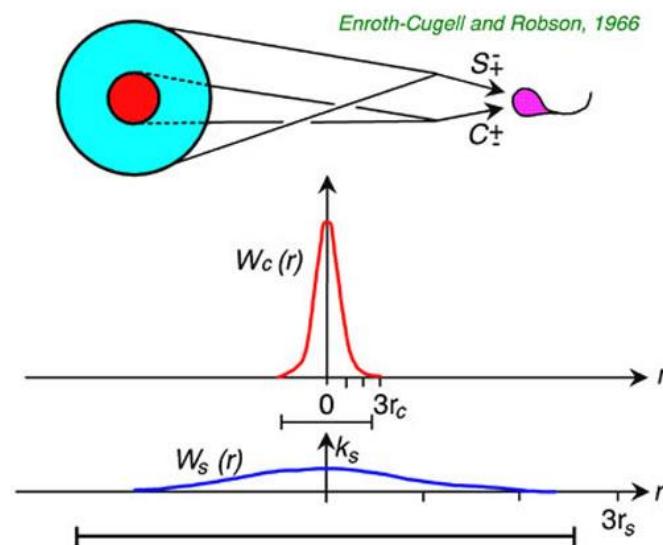
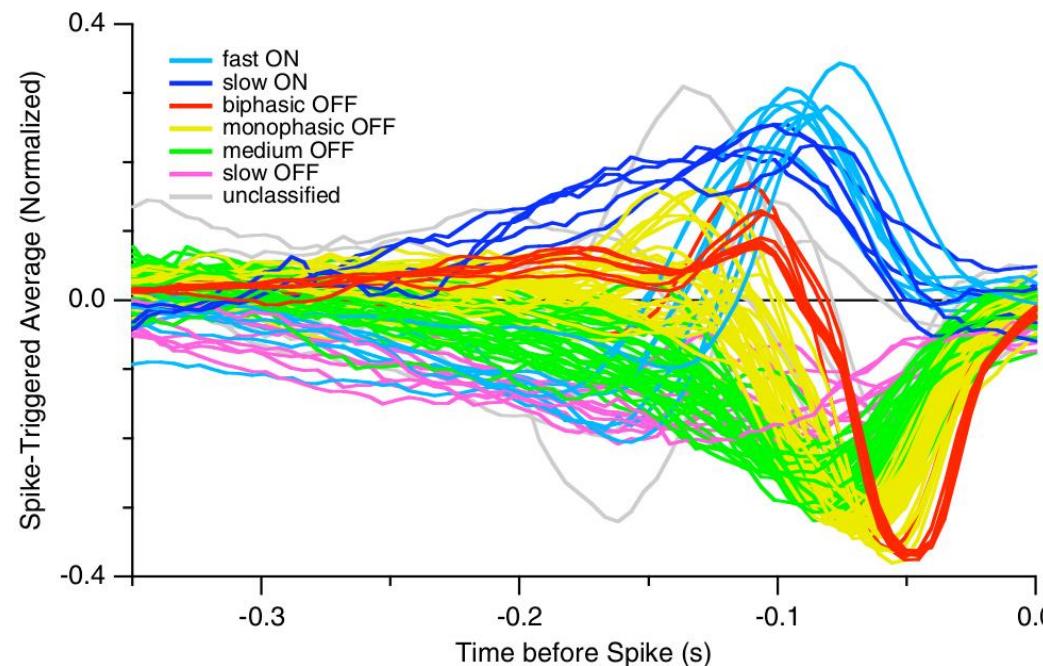


Fig. 10. Difference-of-Gaussians Receptive-Field Model (Enroth-Cugell and Robson, 1966).

- Circuitos retinales

- Procesamiento mas allá de la recepción

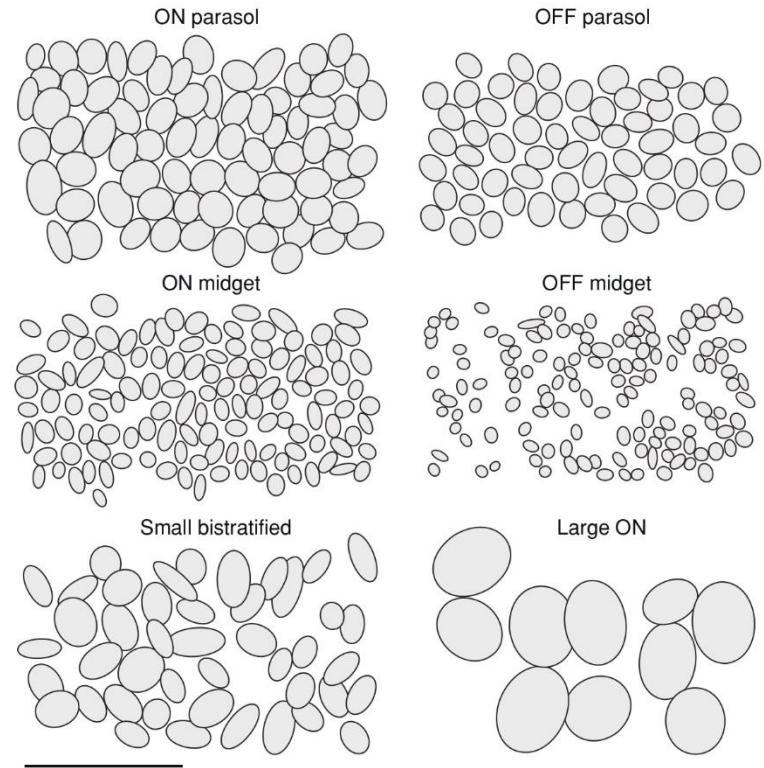
- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - Campo receptivo. Respuesta temporal.



## • Circuitos retinales

### ➤ Procesamiento mas allá de la recepción

- Génesis y comportamiento de la respuesta de las células ganglionares
  - Distribución espacial de los campos receptivos. Mosaicos.
    - La información visual se distribuye en diferentes canales funcionales.
    - Cada tipo funcional se distribuye en un mosaico estructurado.
    - Existe poco overlap dentro de cada mosaico, y los distintos canales cubren toda la imagen.
    - Los mosaicos de cada tipo son independientes.



- Circuitos retinales

- Los caminos visuales

- La vía de los bastones
  - Obviamente, es la responsable de la visión escotópica.
  - Ya vimos que sólo existe un tipo de célula bipolar asociada a los bastones, que invierten la polaridad en la respuesta. Cada célula bipolar se conecta con 15-30 bastones.

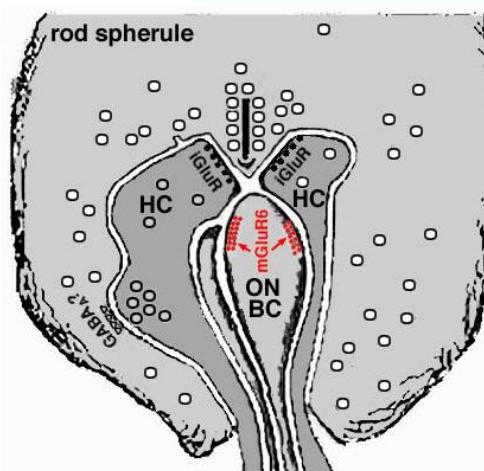


Fig. 5. The present understanding of the receptor molecules thought to be present at the rod to bipolar and horizontal cell dendrites in the mammalian retina.

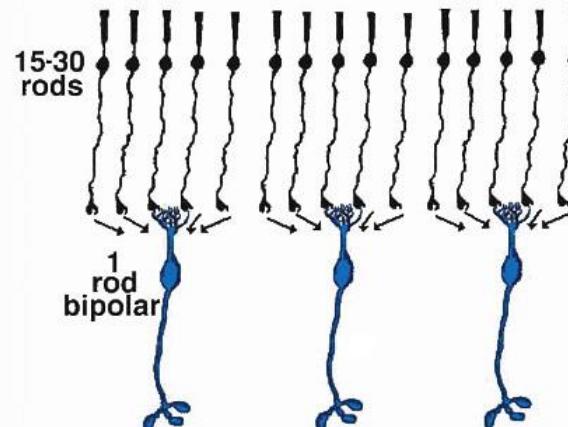


Fig. 3. Convergence of rod pathways. 15-30 rods contact a single rod bipolar cell.

- Circuitos retinales

- Los caminos visuales

- La vía de los bastones

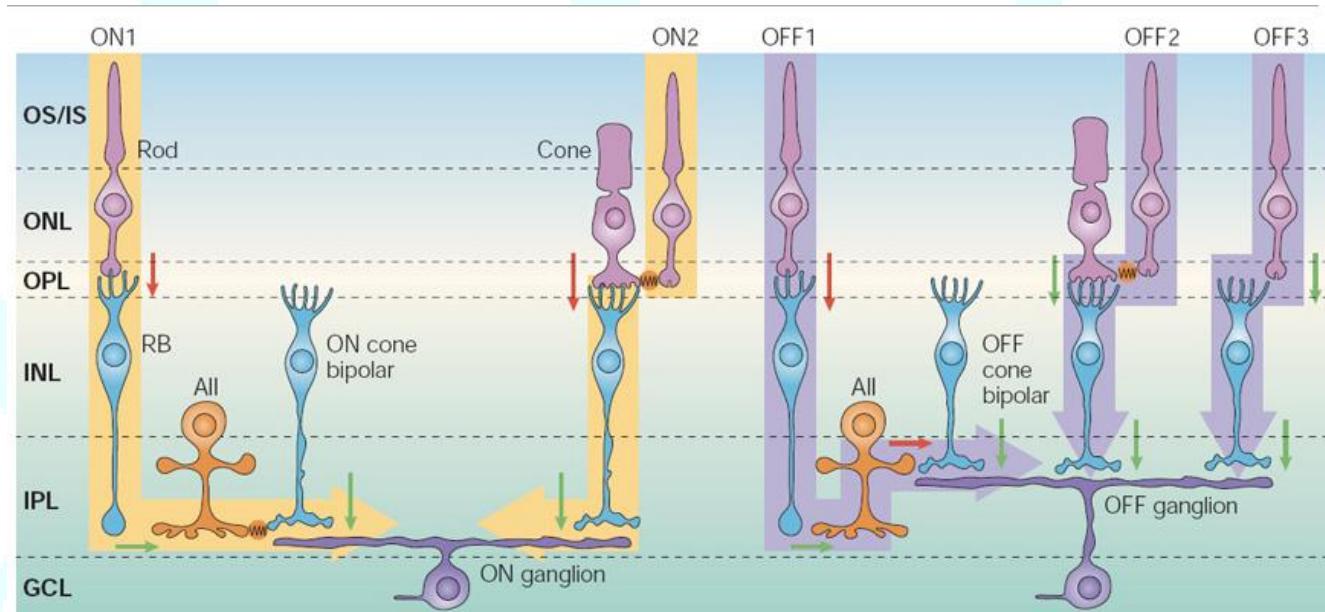


Figure 37. Cone and rod afferent pathways through the mammalian retina. Schematic wiring diagram of the mammalian retina, emphasizing the rod (scotopic) pathways. Left, ON pathways. Right, OFF pathways. Cone circuitry is indicated using just two cone photoreceptors; that in the left half is shown connecting via an ON cone bipolar cell to an ON ganglion cell; that in the right half is shown connecting via an OFF cone bipolar cell to an OFF ganglion cell. The rod pathways are described in the text. From Wässle (2004).

- Circuitos retinales

- Los caminos visuales

- La vía de los bastones

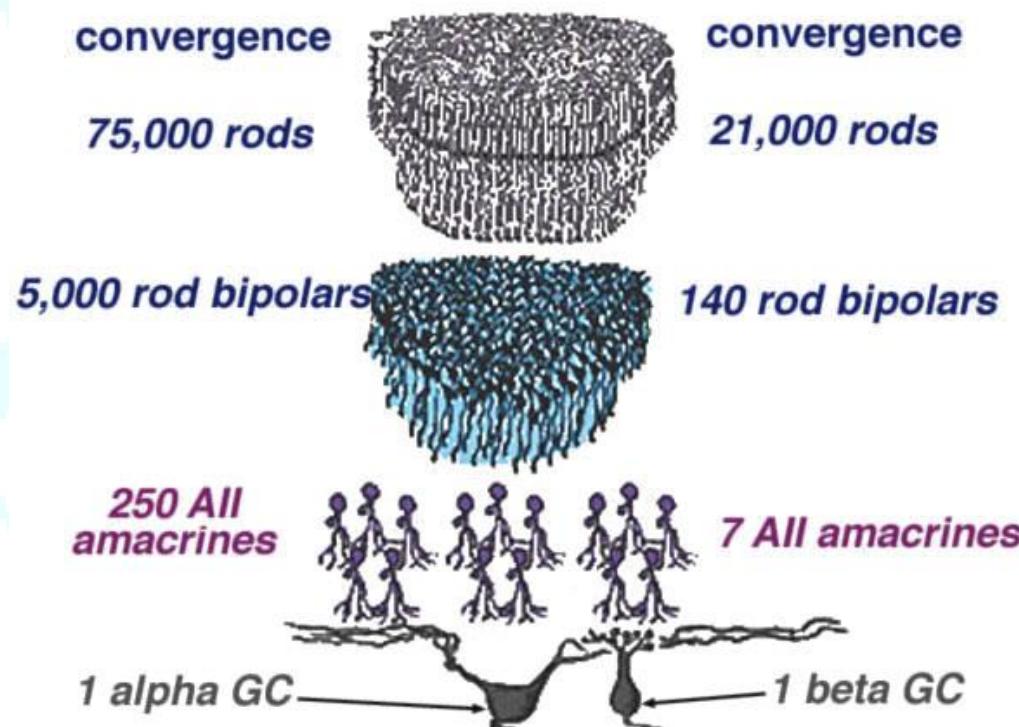


Fig. 16. Convergence of rods, rod bipolar and All amacrine cells to alpha and beta cells of cat retina.

- Circuitos retinales

- Los caminos visuales

- La vía de los conos
  - El mensaje de los conos se multiplexa en dos caminos: ON/OFF al nivel del contacto fotorreceptor-célula bipolar (ahora, existe una gran variedad).
  - Los caminos ON/OFF se mantienen separados al hacer contacto sináptico con las células ganglionares (estratificación). Se mantiene la polaridad en esta sinapsis.
  - Las células horizontales y las células amacrinas aportan inhibición lateral, creando la estructura de surround.
  - La convergencia cambia de la fovea a la periferia, y de acuerdo a la clase considerada (midget, parasol, etc).

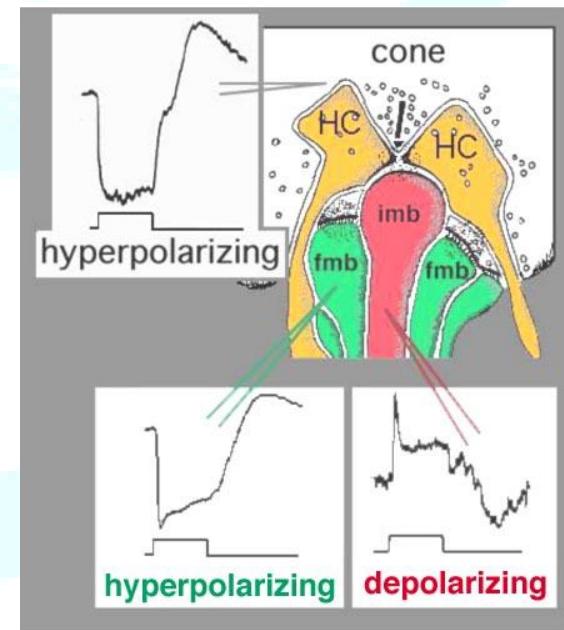
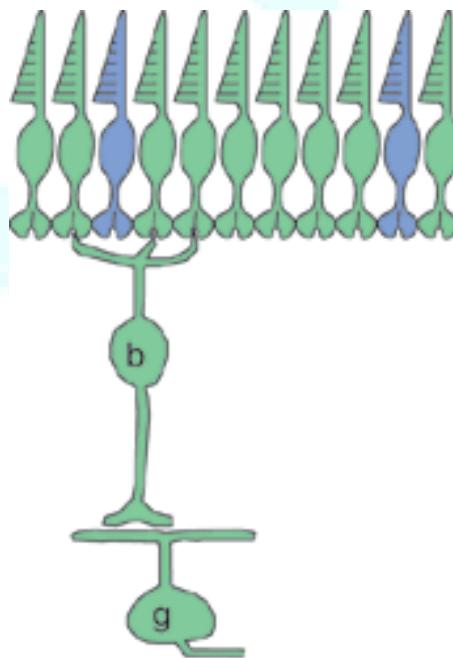


Fig. 1. Schematic drawing of the cone synapses to bipolar and horizontal cells and the intracellular responses of the neurons.

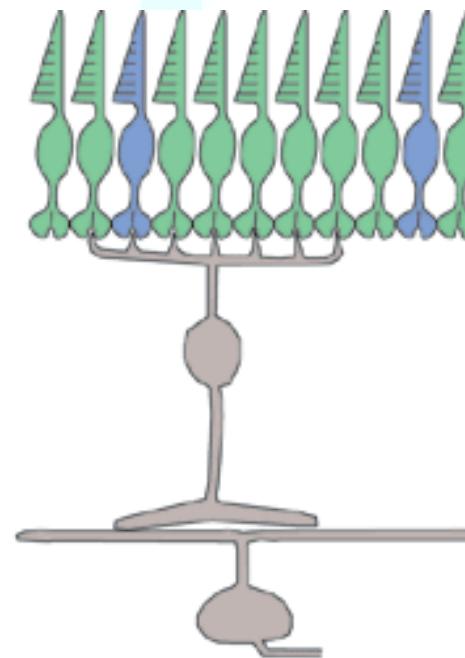
- Circuitos retinales

- Los caminos visuales

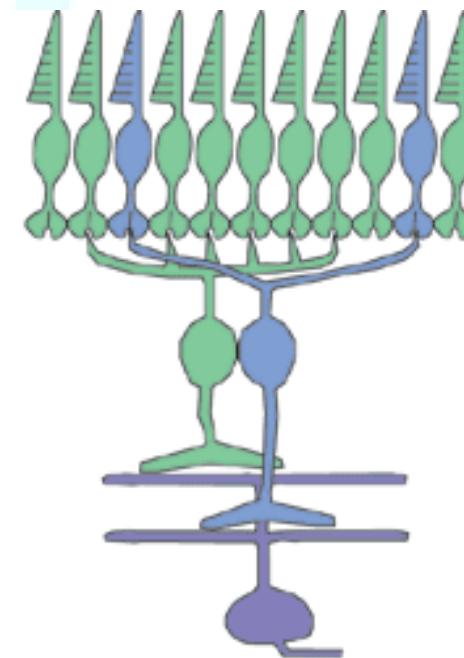
- La vía de los conos



Acuity



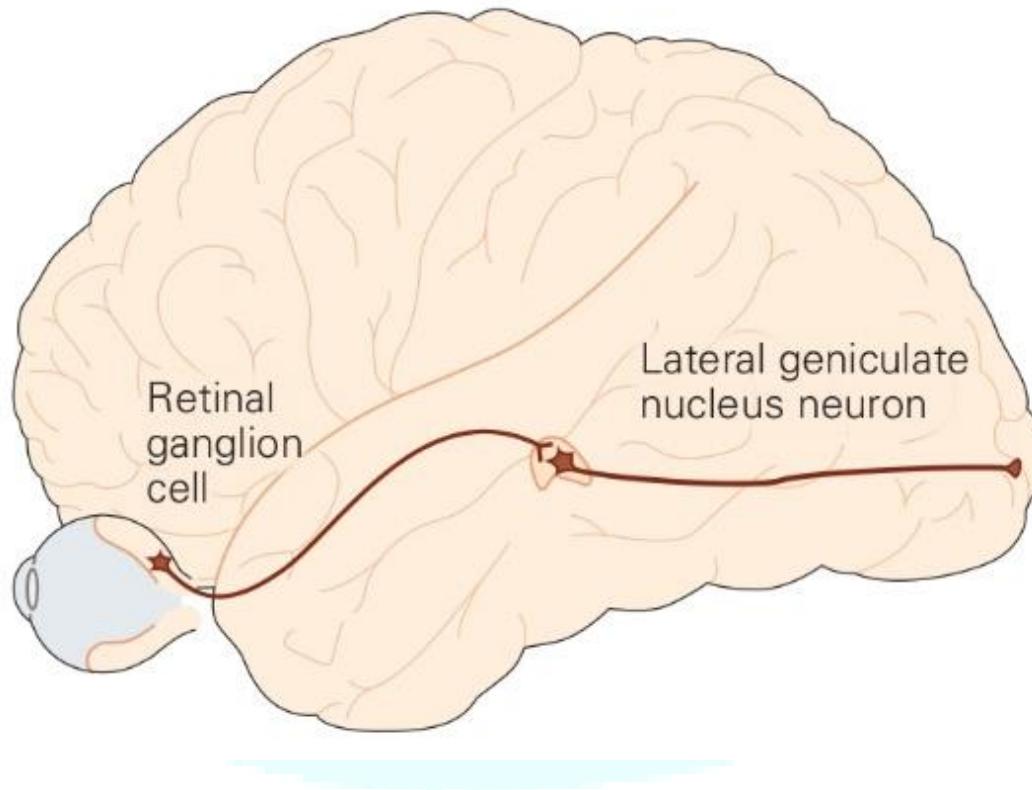
Luminance



Color opponency

- Procesamiento en la corteza

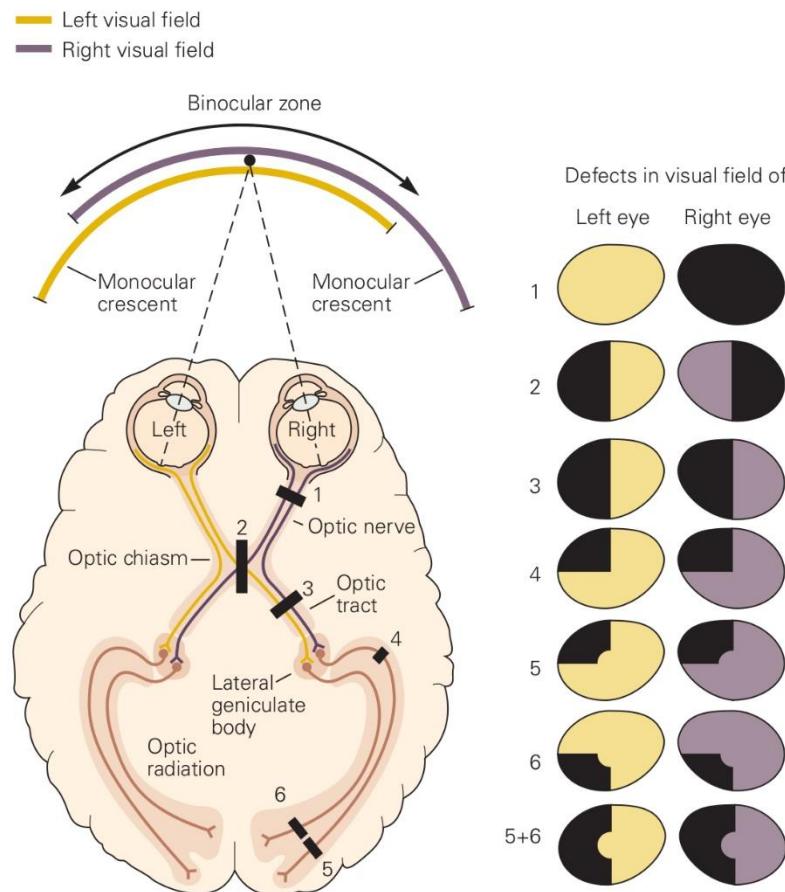
- De la retina a la corteza. La vía geniculoestriada.



- Procesamiento en la corteza

- De la retina a la corteza. La vía geniculoestriada.

- Representación del campo visual



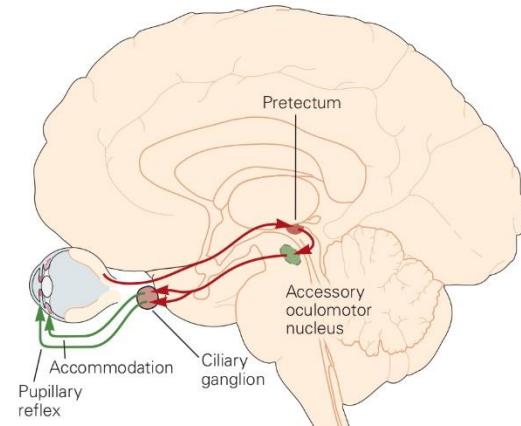
Representation of the visual field along the visual pathway. The axons of retinal neurons (ganglion cells) carry information from each visual hemifield up to the optic chiasm, where fibers from the nasal hemiretina cross to the opposite hemisphere. Fibers from the temporal hemiretina stay on the same side, joining the fibers from the nasal hemiretina of the contralateral eye to form the optic tract. The optic tract carries information from the opposite visual hemifield originating in both eyes and projects into the lateral geniculate nucleus. Cells in this nucleus send their axons along the optic radiation to the primary visual cortex.

- En la corteza visual primaria se forma un mapa neuronal completo del campo visual contralateral.
- La retinotopía se conserva en el procesamiento cortical.
- Un manojlo de fibras (cuerpo calloso) conecta ambos hemisferios, transmitiendo información a través de la línea media (la percepción es unificada).

- Procesamiento en la corteza

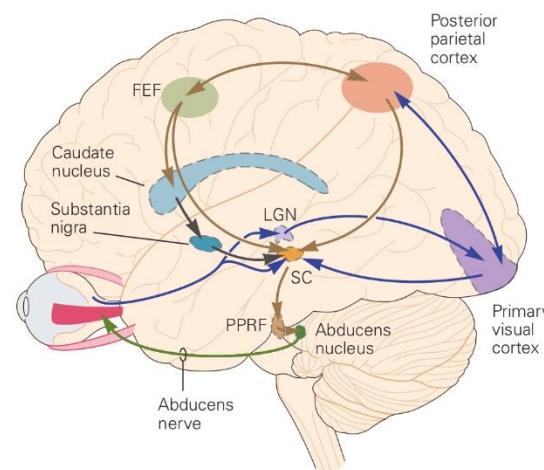
- De la retina a la corteza. Otras vías.

B Pupillary reflex and accommodation



**B. Pupillary reflex and accommodation.** Light signals are relayed through the midbrain pretectum, to preganglionic parasympathetic neurons in the Edinger-Westphal nucleus, and out through the parasympathetic outflow of the oculomotor nerve to the ciliary ganglion. Postganglionic neurons innervate the smooth muscle of the pupilary sphincter, as well as the muscles controlling the lens.

C Eye movement (horizontal)

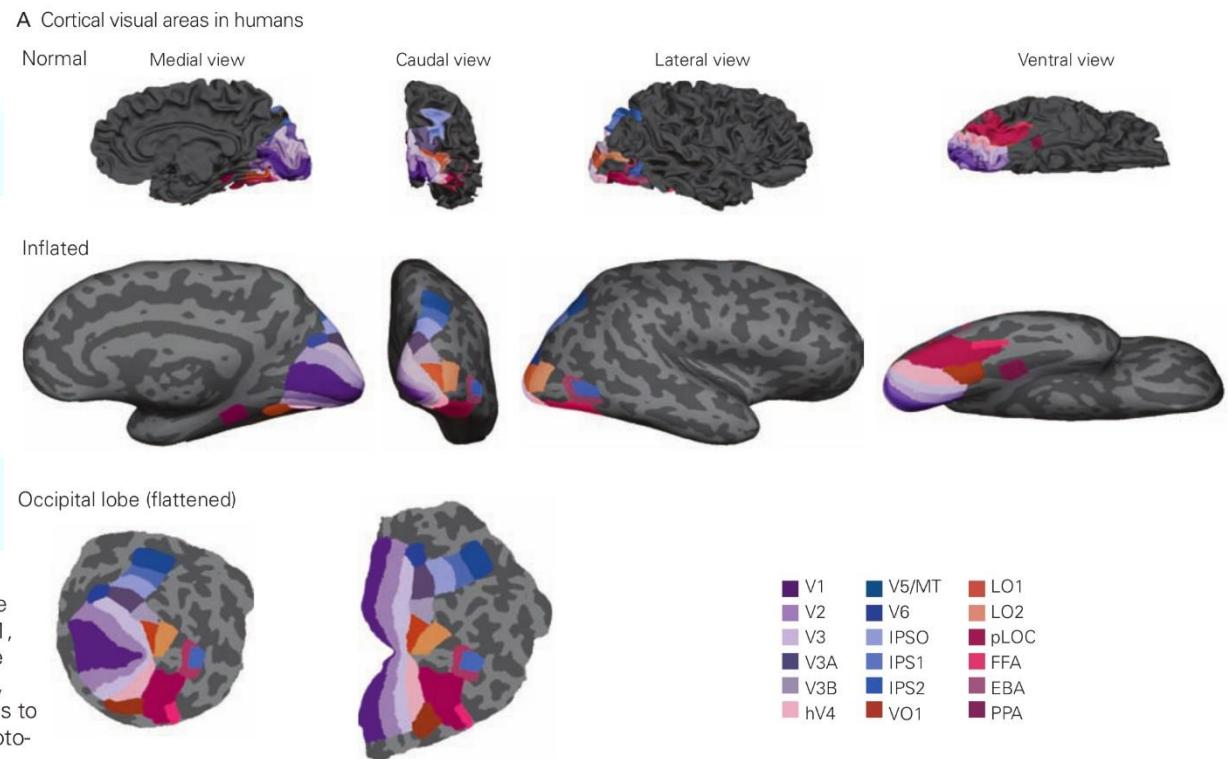


**C. Eye movement.** Information from the retina is sent to the superior colliculus (SC) directly along the optic nerve and indirectly through the geniculostriate pathway to cortical areas (primary visual cortex, posterior parietal cortex, and frontal eye fields) that project back to the superior colliculus. The colliculus projects to the pons (PPRF), which then sends control signals to oculomotor nuclei, including the abducens nucleus, which controls lateral movement of the eyes. (FEF, frontal eye field; LGN, lateral geniculate nucleus; PPRF, paramedian pontine reticular formation.)

- Procesamiento en la corteza

- La corteza cerebral presenta especificidad

- Según criterios anatómicos (forma, tamaño, densidad, etc), la corteza cerebral presenta distintas zonas: **áreas de Brodmann**.
- Hoy se habla de regiones funcionales

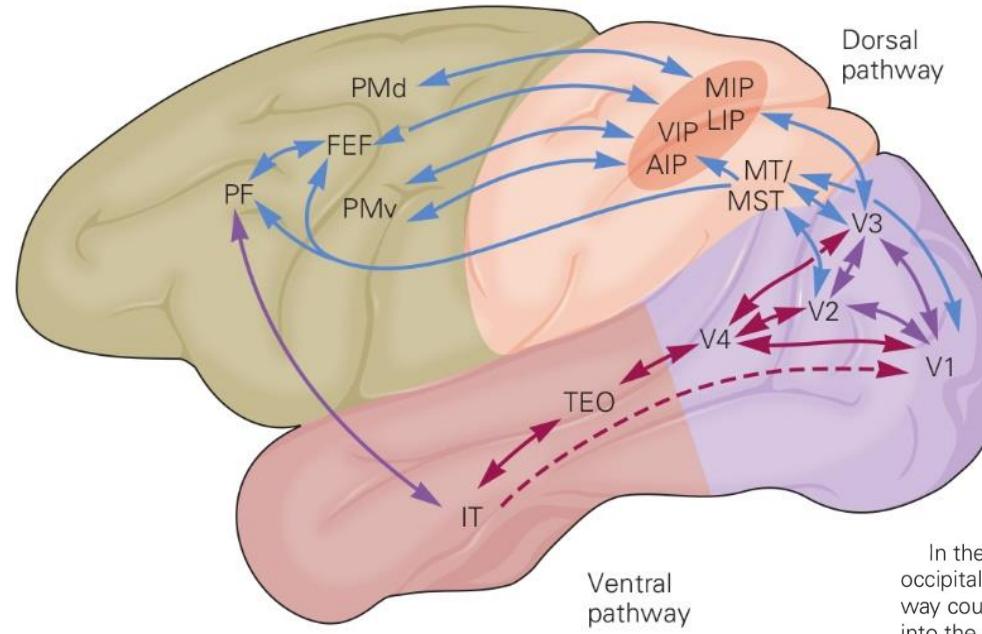


- Procesamiento en la corteza

- La corteza cerebral presenta especificidad

- Estas regiones se organizan en dos vías funcionales (functional streams)

B Visual pathways in the macaque monkey

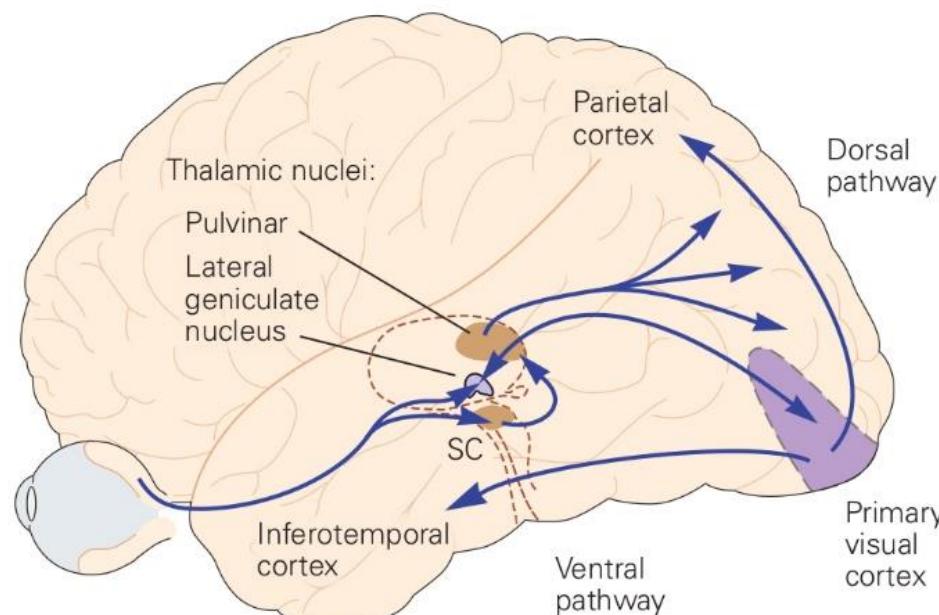


In the macaque monkey V1 is located on the surface of the occipital lobe and sends axons in two pathways. A dorsal pathway courses through a number of areas in the parietal lobe and into the frontal lobe, and a ventral pathway projects through V4 into areas of the inferior temporal cortex. In addition to feedforward pathways extending from primary visual cortex into the temporal, parietal, and frontal lobes, there are reciprocal or feedback pathways running in the opposite direction.

- Procesamiento en la corteza

- La corteza cerebral presenta especificidad

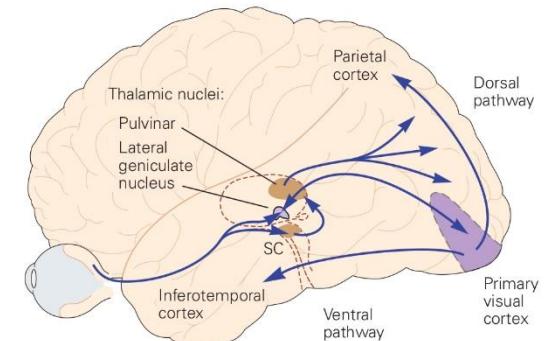
- Estas regiones se organizan en dos vías funcionales (functional streams), jerárquicas:
  - Vía ventral: Clasificación y reconocimiento de objetos
  - Vía dorsal: Ubicación espacial y planeamiento motor



## • Procesamiento en la corteza

### ➤ La corteza cerebral presenta especificidad

- Las vías dorsal y ventral están interconectadas.
  - La información es compartida: por ejemplo, la información del movimiento en la vía dorsal puede contribuir al reconocimiento de objetos a través de claves cinemáticas.
- Hay reciprocidad en la conectividad. Conexiones feedforward (bottom-up) y feedback (top-down). El pulvinar en el tálamo funciona como estación de relevo entre las distintas áreas.
- Ambas vías presentan una jerarquía del procesamiento
  - Dentro de una vía, las distintas etapas forman un mapa del espacio visual.
  - Temprano en el procesamiento, los campos receptivos son más pequeños y estos mapas visuotópicos son más precisos.
  - A medida que se avanza en la jerarquía, la organización visuotópica se va desdibujando.

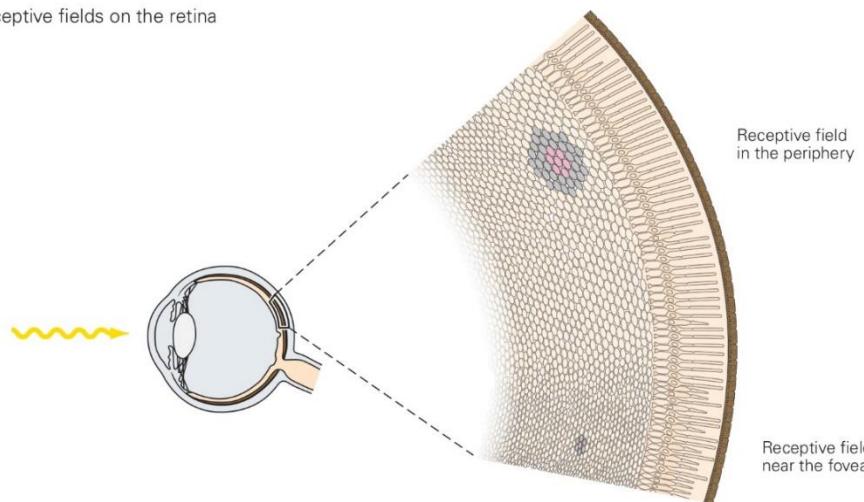


- Procesamiento en la corteza

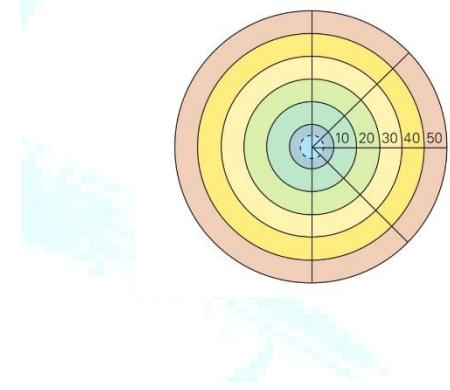
➤ Los campos receptivos a lo largo de la jerarquía visual

- Retina: El tamaño del campo receptivo varía con la excentricidad

A Receptive fields on the retina



Map of retinal eccentricity

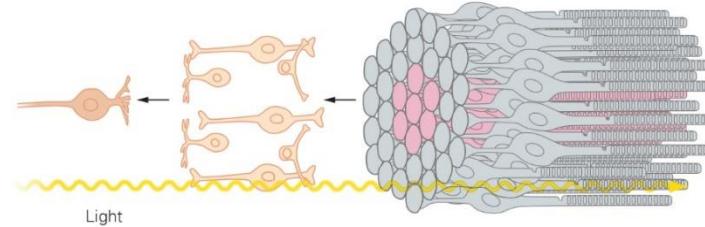


Receptive field size varies systematically with eccentricity

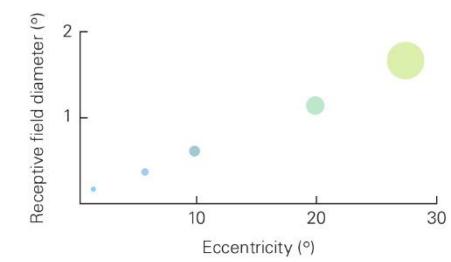
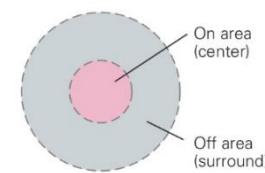
B Receptive field of a retinal ganglion cell

Retinal ganglion cell      Horizontal, bipolar and amacrine cells

Photoreceptors contributing to ganglion cell receptive field



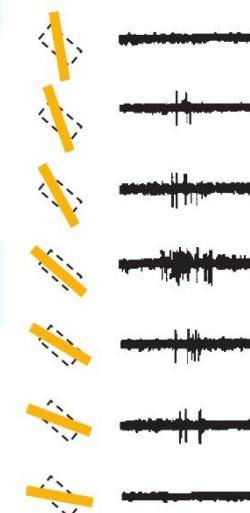
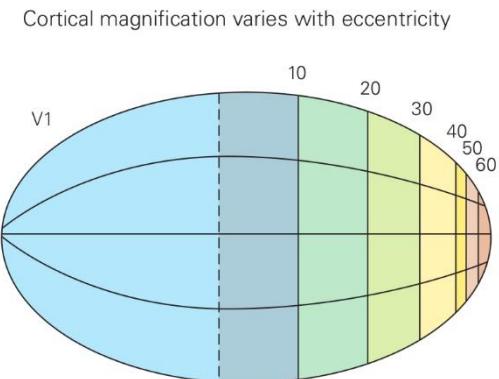
Center-surround structure of ganglion cell receptive field



- Procesamiento en la corteza

- **Los campos receptivos a lo largo de la jerarquía visual**

- La cantidad de corteza dedicada a un grado de espacio visual cambia de acuerdo a la excentricidad.
- Las propiedades de campo receptivo varían a lo largo de la jerarquía visual, lo cual indica de qué manera la información visual va siendo progresivamente analizada por el cerebro.
- La propiedad más importante es la selectividad a la orientación (Hubel & Wiesel). Esta NO es una propiedad heredada, sino que es una propiedad emergente del cómputo en la corteza visual primaria.

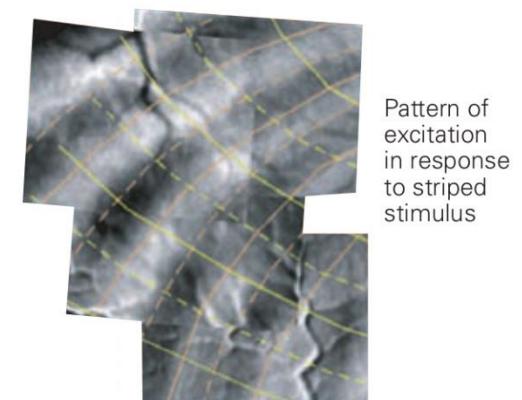
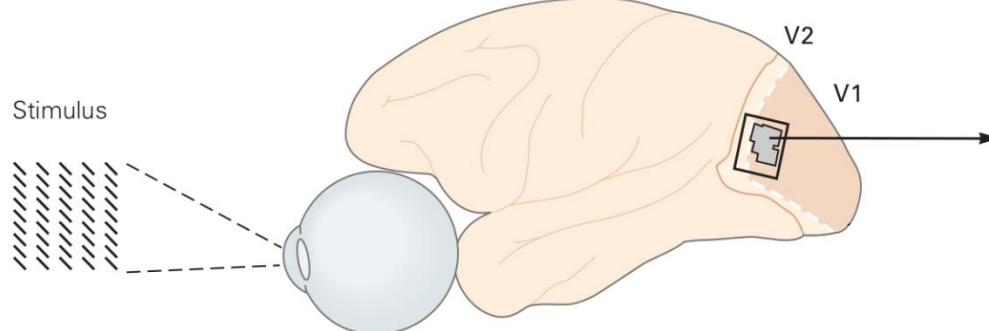


- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

- Organización visuotópica: El campo visual es representado **sistemáticamente** a lo largo de la superficie de la corteza

Visuotopic map



The surface of the primary visual cortex is functionally organized in a map of the visual field. The elevations and azimuths of visual space are organized in a regular grid that is distorted because of variation in the magnification factor

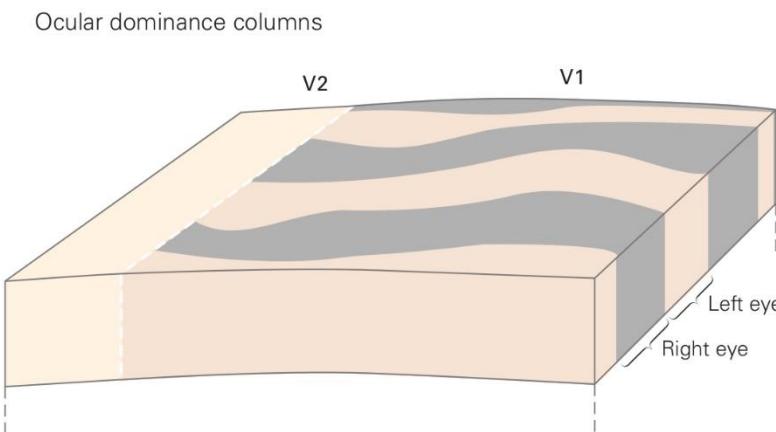
The grid is visible here in the dark stripes (visualized with intrinsic-signal optical imaging), which reflect the pattern of neurons that responded to a series of vertical candy stripes.

- En la corteza visual primaria, células con propiedades similares se ubican cerca unas de otras, en forma de columnas, lo cual refleja un rol funcional de esa área en la visión.

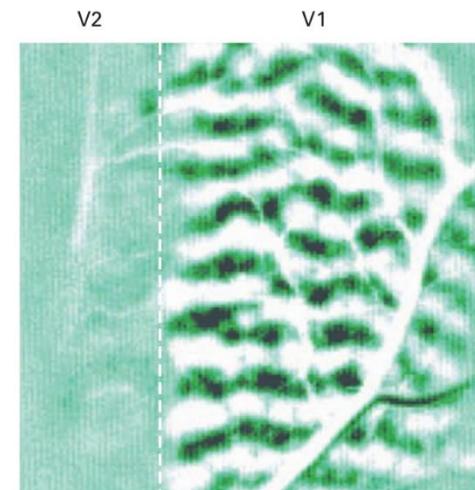
- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

- Columnas de dominancia ocular



The dark and light stripes represent the surface view of the left and right ocular dominance columns.

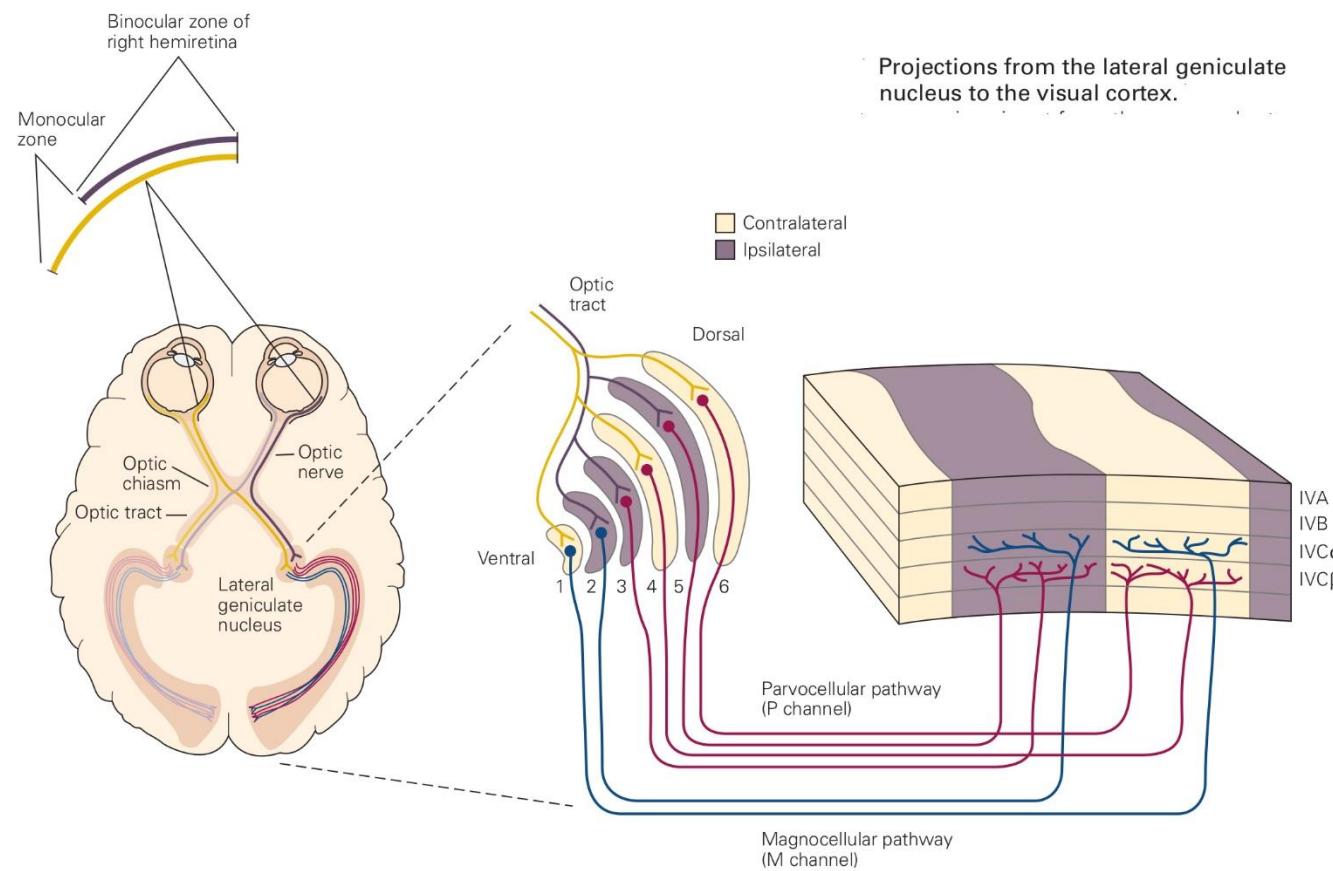


- Estas columnas reflejan la segregación de las entradas talamocorticales, que provienen de diferentes capas del LGN. Las distintas capas en este núcleo reciben información de células ganglionares de la retina ipsilateral o contralateral. Esta estructura se conserva en la proyección a V1, produciendo la alternancia de las bandas de dominancia de ojo izquierdo / ojo derecho.

- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

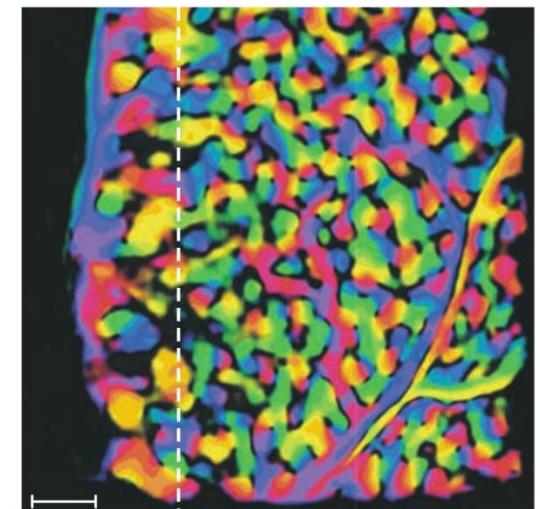
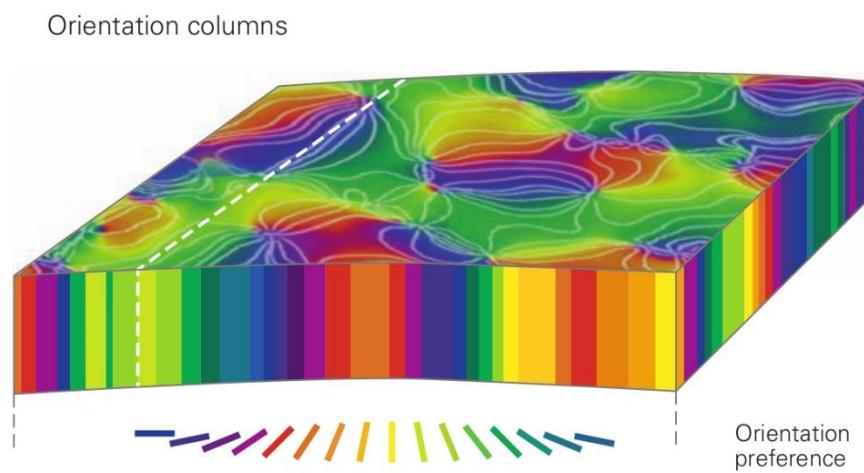
- Columnas de dominancia ocular



- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

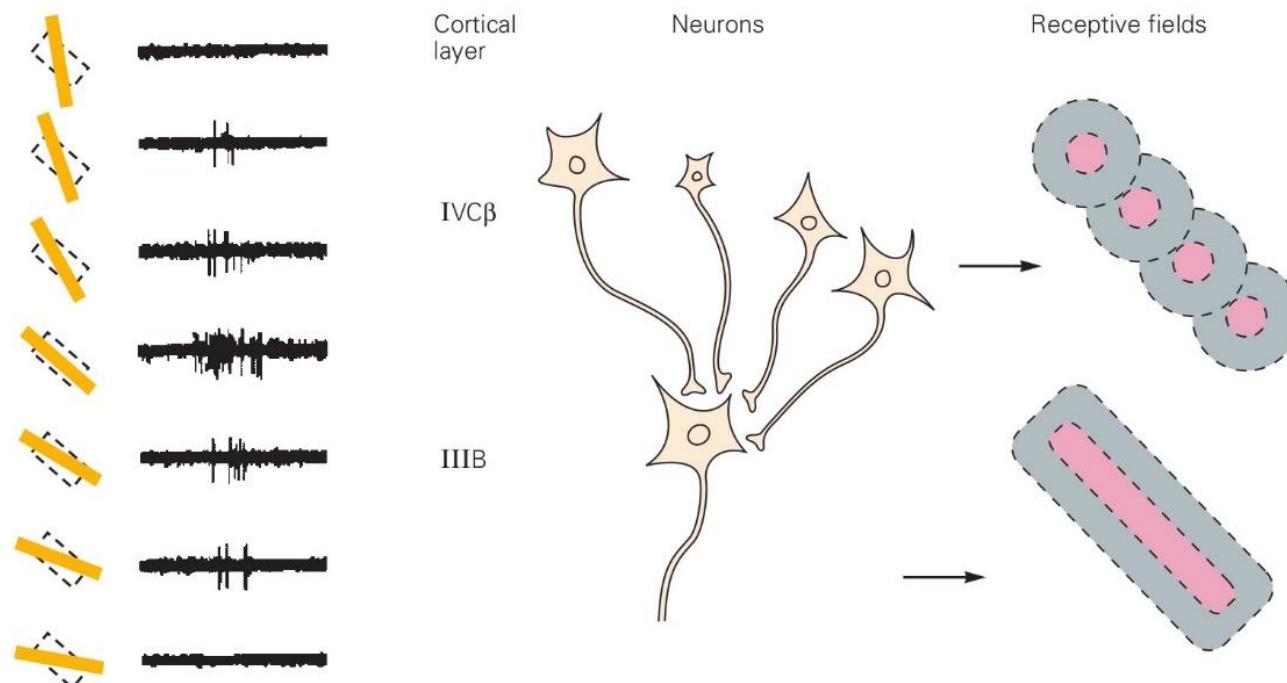
- Columnas de orientación
  - El ciclo completo de 180º de la preferencia a la orientación de las columnas se repite cada 750μm.
  - Un ciclo completo de columnas de orientación se conoce como hipercolumna.
  - Pinwheels: singularidades



- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

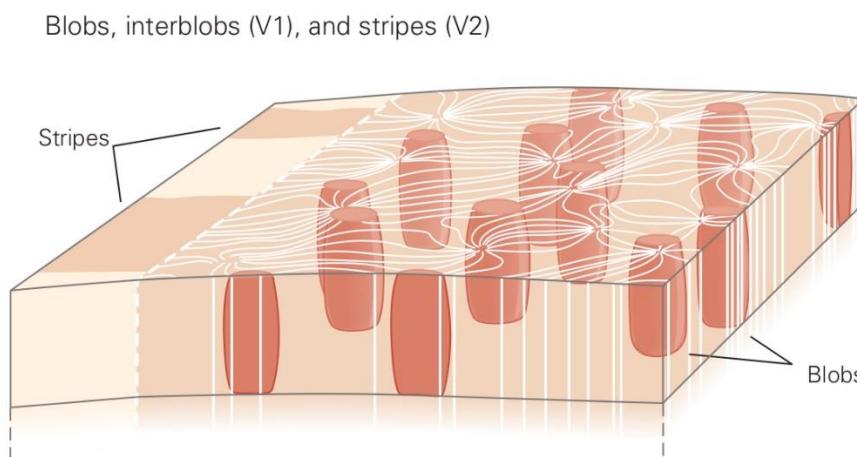
- Columnas de orientación
  - Mecanismos de la respuesta a la orientación



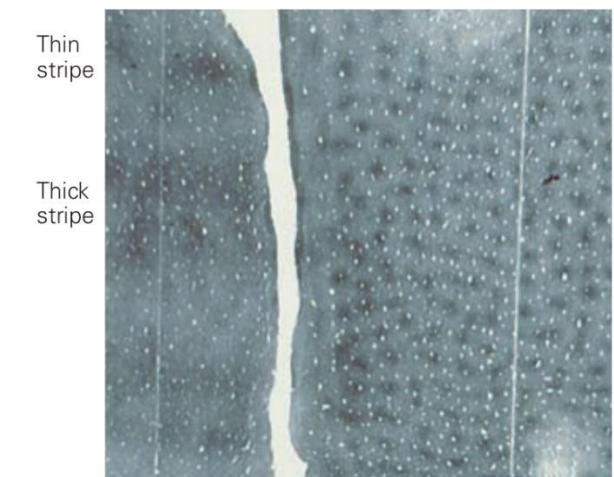
- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

- Columnas de preferencias al color (blobs)
- Tienen poca selectividad a la orientación.
- Están embebidos entre las columnas de dominancia y orientación.
- En lugar de detectar lados (edges), como las neuronas sensibles a la orientación, estas células están más bien especializadas en proveer información sobre las superficies.



Blobs, interblobs (V1), and stripes (V2)

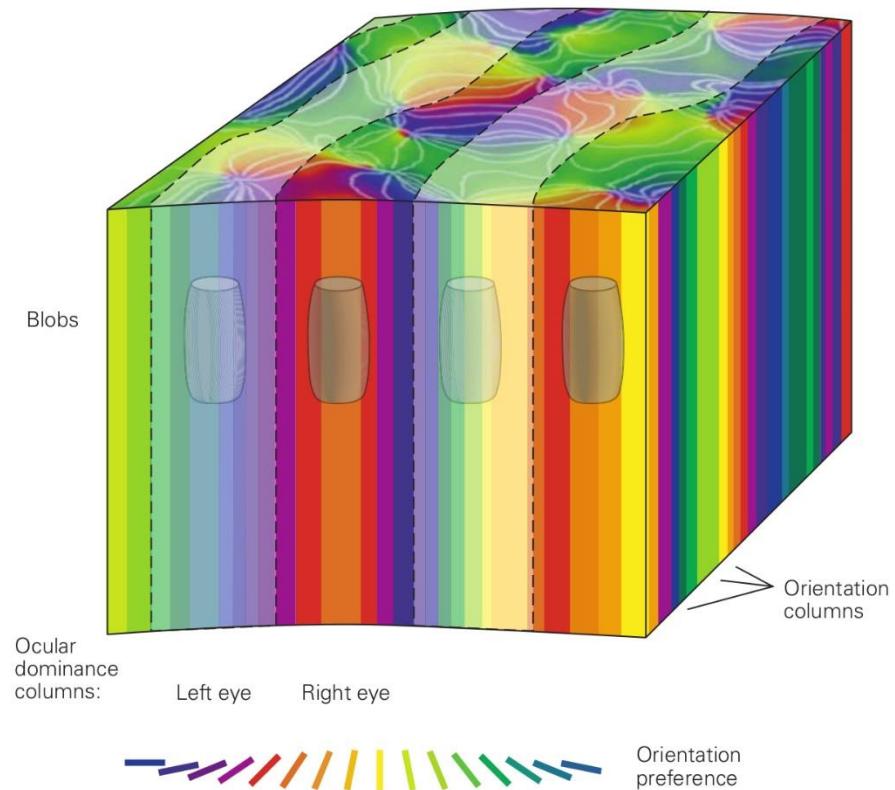


- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

- La columna como un módulo computacional

**A cortical computational module.**  
A chunk of cortical tissue roughly 1 mm in diameter contains an orientation hypercolumn (a full cycle of orientation columns), one cycle of left- and right-eye ocular-dominance columns, and blobs and interblobs. This module would presumably contain all of the functional and anatomical cell types of primary visual cortex, and would be repeated hundreds of times to cover the visual field. (Adapted, with permission, from Hubel 1988.)



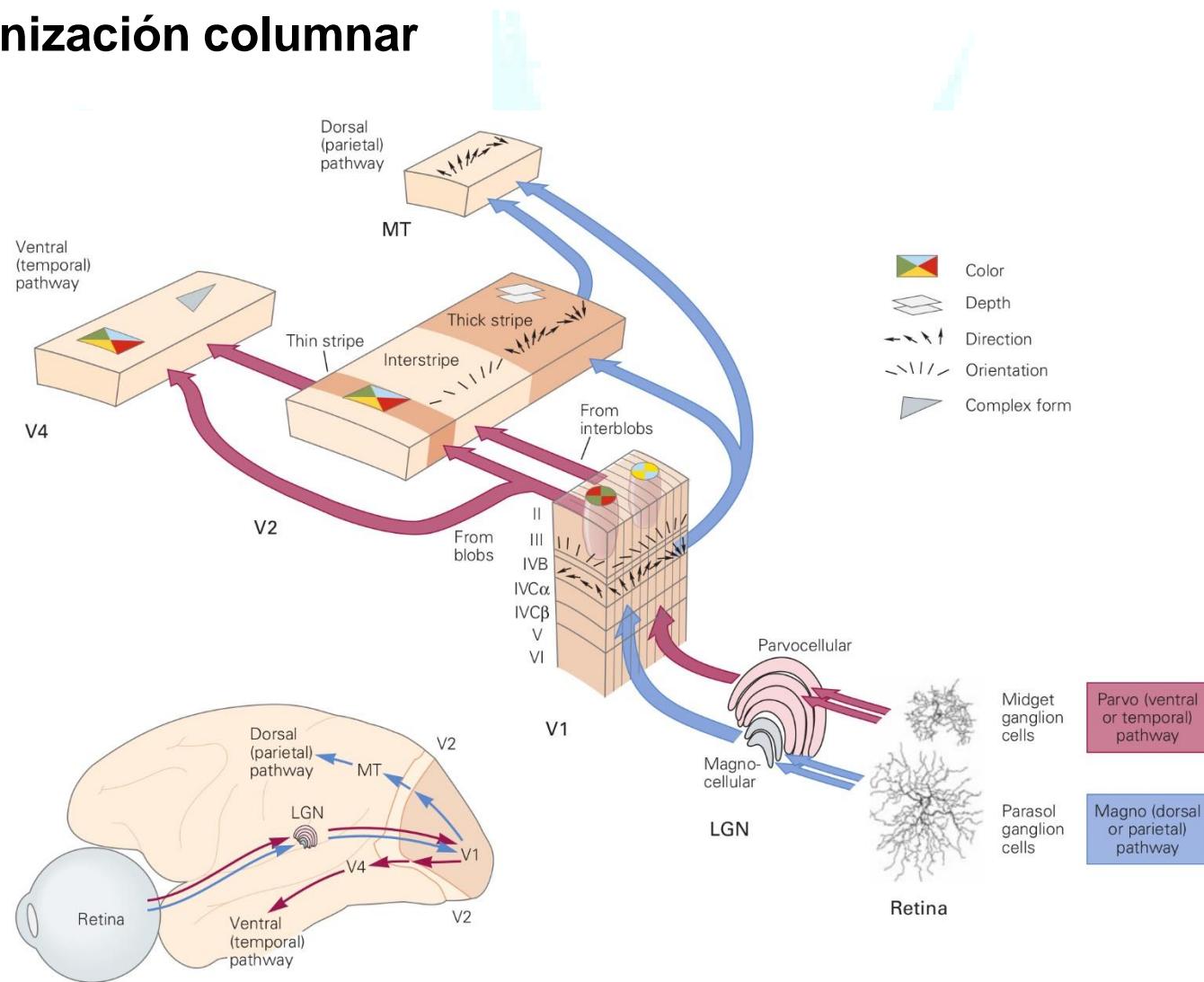
- Procesamiento en la corteza

- Organización columnar

- El agrupamiento de neuronas en grupos funcionales, tal como las columnas en la corteza, permite al cerebro minimizar el número de neuronas requeridas para analizar diferentes atributos.
- El sistema de organización columnar sirve como sustrato para dos tipos de conectividad:
  - Procesamiento serial: Conexión sucesiva entre regiones corticales, desde la parte posterior del cerebro hacia el frente.
  - Procesamiento paralelo: Subconjuntos que procesan simultáneamente diferentes modalidades tales como forma, color y movimiento.

- Procesamiento en la corteza

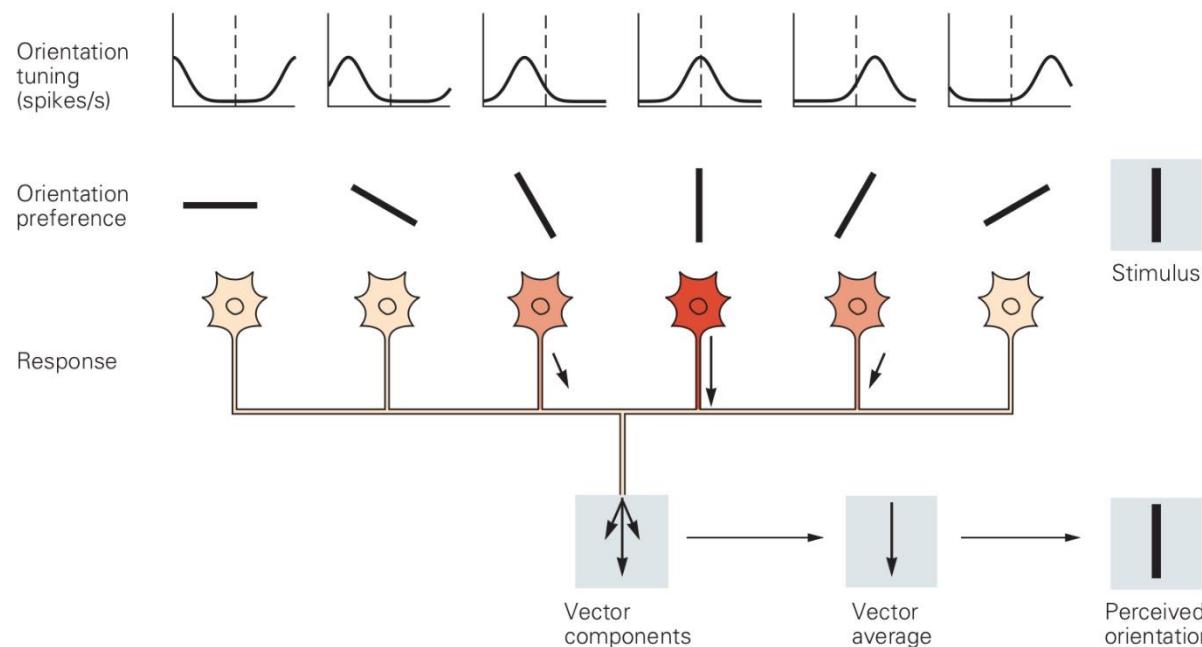
➤ Organización columnar



- Procesamiento en la corteza

- Procesamiento individual y colectivo

- Neurona individual responde con su “tuning curve”.
- Código en población. Promediado (vectorial) de respuestas.



- (Algo de) El mundo perceptual

- La percepción como un proceso constructivo

- Una cámara sensa la intensidad luminosa punto a punto, en el plano del campo visual.
- El cerebro no trabaja así. Por el contrario, se enfoca en dividir la escena en distintos componentes, separando el fondo de lo que está adelante, para decidir si un estímulo visual pertenece a un objeto u otro.
- Al hacer esto, utiliza **reglas** previamente aprendidas sobre la **estructura** del mundo visual. El cerebro construye su representación en base a la historia pasada.
- La visión moderna es que la percepción es un proceso activo y creativo, que tiene en cuenta más cosas que la información visual que se le presenta a la retina.
- Esta visión tiene su epicentro en la escuela de psicología Gestaltdiana (del alemán, Gestalt: configuración o forma).
- La idea central de los psicólogos gestaltdianos es que lo que vemos acerca de un estímulo (esto es, la interpretación perceptual que hacemos de un objeto visual) depende no solo de las propiedades del estímulo sino de su contexto, y/o de otros elementos en el campo visual.

- (Algo de) El mundo perceptual

- **La percepción como un proceso constructivo**

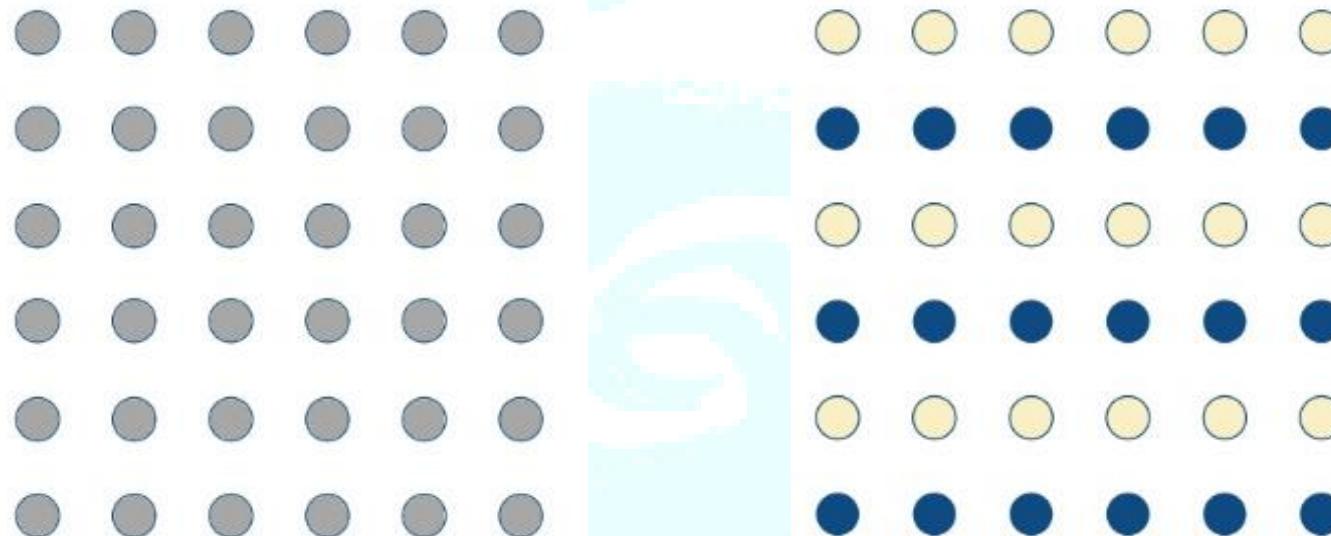
- El sistema visual procesa la información sensorial acerca de la forma, el color, la distancia, y el movimiento de los objetos de acuerdo con reglas computacionales inherentes al sistema.
- Estas reglas computacionales implementan lo que el cerebro busca ver en el mundo, puesto que tenemos un conjunto de cosas esperables (expectation), que derivan en parte de la experiencia pasada y en parte del cableado “fijo”.
- Los psicólogos Gestalidianos trataron de formular las “leyes” de la percepción, las que determinan cómo es que vemos.

- (Algo de) El mundo perceptual

- La percepción como un proceso constructivo

- Regla de similaridad

A Similarity



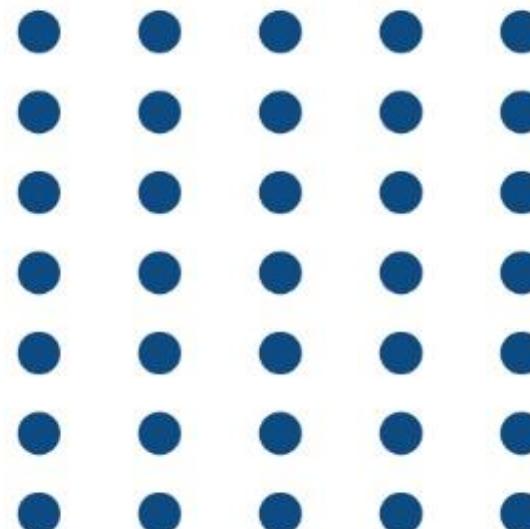
- Se genera un perceptor unificando los objetos similares. Vemos un patrón de “filas”, pero en términos reales no hay nada de eso desde el estímulo incidente.

- (Algo de) El mundo perceptual

- La percepción como un proceso constructivo

- Regla de proximidad

B Proximity



- Los puntos en las columnas están más cercanos entre sí que entre filas. Perceptualmente identificamos un patrón de “columnas”.

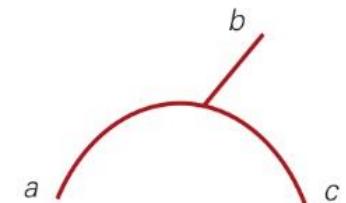
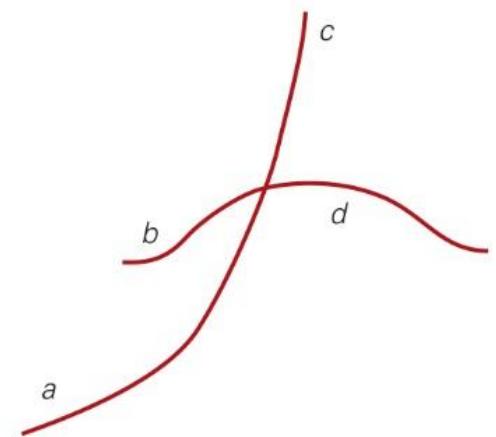
- (Algo de) El mundo perceptual

- La percepción como un proceso constructivo

- Regla de buena continuación

- Los segmentos de líneas se asocian perceptualmente cuando son colineales.
- En la figura de arriba, “a” se asocia con “c” como parte de una misma cosa, y “b” se asocia con “d”.
- En la figura de abajo, “a” se asocia con “c” porque comparten la curvatura (buena continuación), y no con “b” (son discontinuos).
- Es la base de la identificación de formas.

C Good continuation

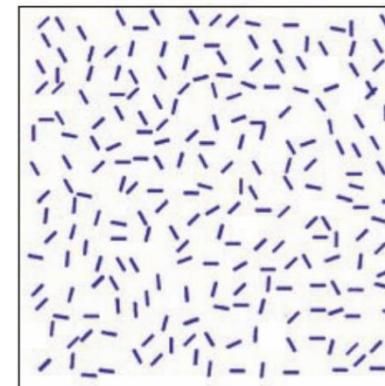
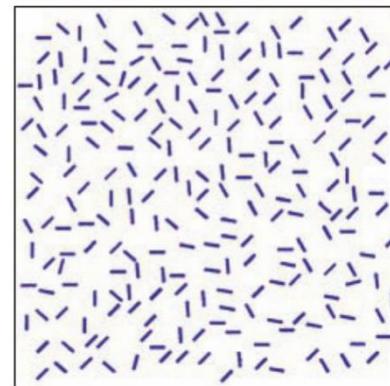


- (Algo de) El mundo perceptual

- La percepción como un proceso constructivo

- Regla de buena continuación

D Contour saliency



Se pierde en el desorden

Emerge naturalmente a la percepción  
(pops out)

- (Algo de) El mundo perceptual

- **La percepción como un proceso constructivo**

- Separación de una figura de su fondo: Base del reconocimiento de objetos.



- Cualquiera de las iguanas (color) puede ser la figura objeto. Debemos poner el resto como fondo.
- No es inherente qué es objeto y qué es fondo.

- (Algo de) El mundo perceptual

- **La percepción como un proceso constructivo**

- La segmentación se basa no solo en principios geométricos, sino también en influencias cognitivas (atención, lo que espero, etc).



Expectation via priming

- (Algo de) El mundo perceptual

- **La percepción como un proceso constructivo**

- La segmentación se basa no solo en principios geométricos, sino también en influencias cognitivas (atención, lo que espero, etc).



- (Algo de) El mundo perceptual

- **La percepción como un proceso constructivo**

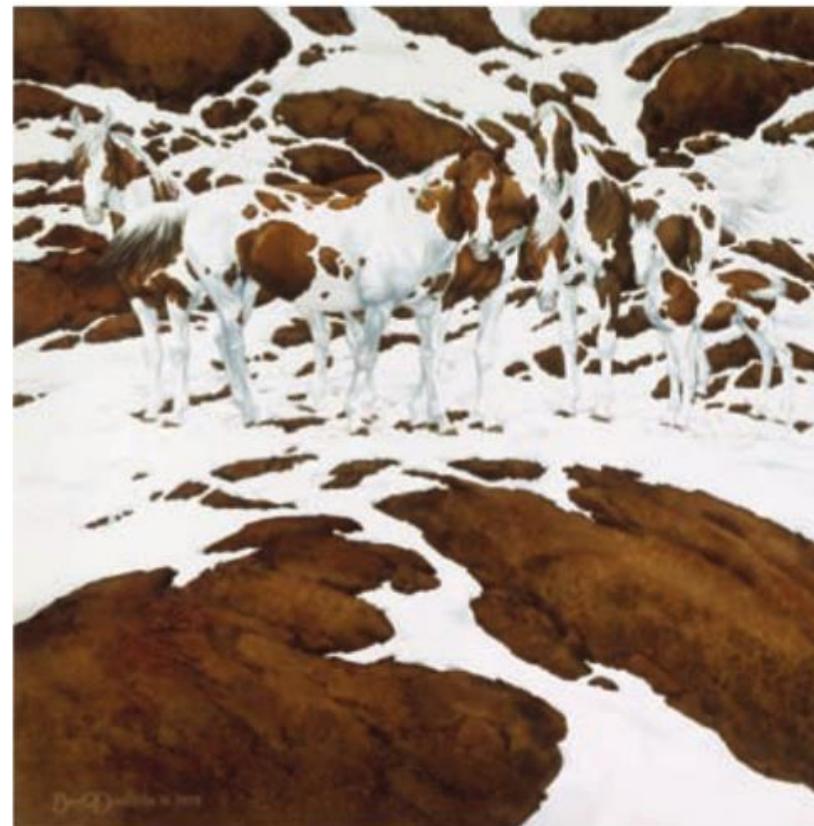
- La segmentación se basa no solo en principios geométricos, sino también en influencias cognitivas (atención, lo que espero, etc).



- (Algo de) El mundo perceptual

- **La percepción como un proceso constructivo**

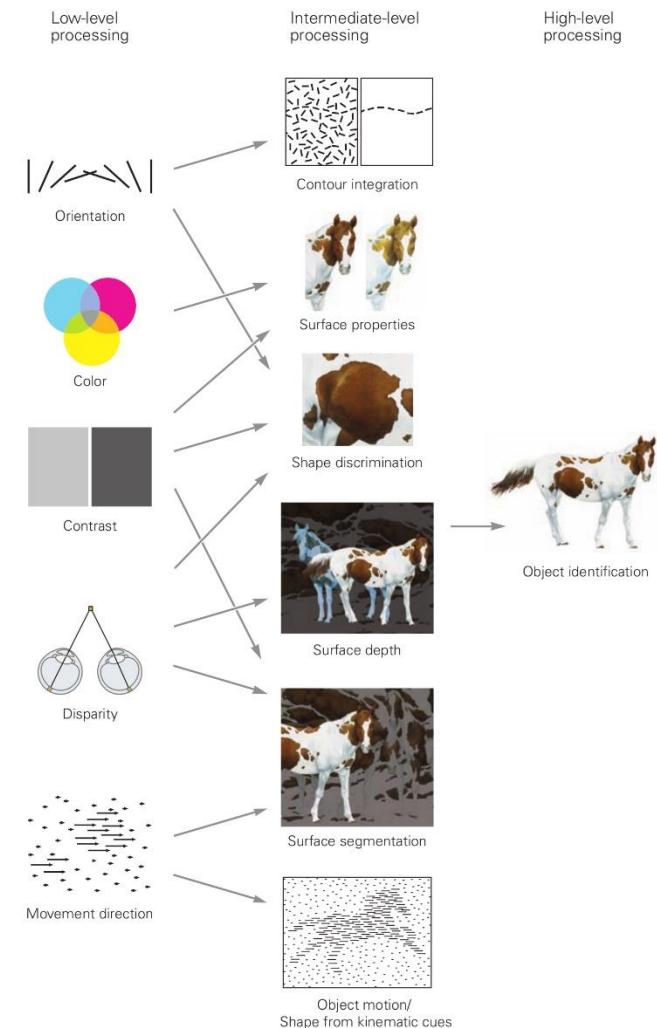
- Niveles de procesamiento



- (Algo de) El mundo perceptual

- La percepción como un proceso constructivo

- Niveles de procesamiento



- (Algo de) El mundo perceptual

➤ La percepción como un proceso constructivo

