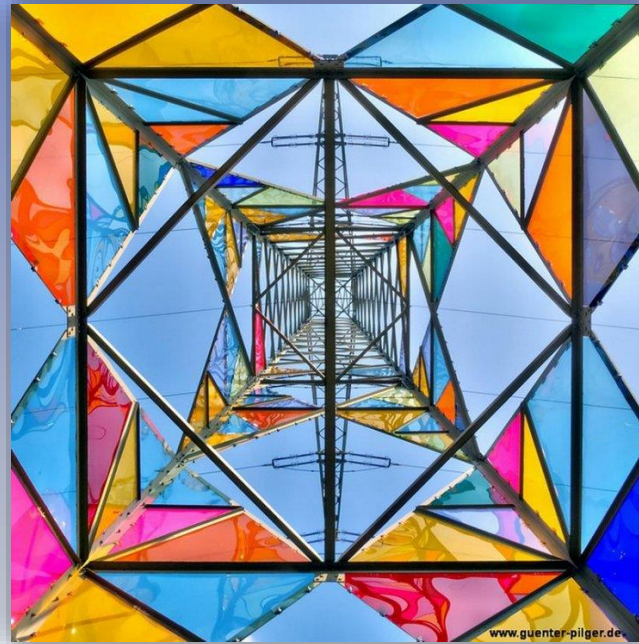




“Fisiología de la visión”



Lucía Ocaña Molinero
MIR 2 Oftalmología



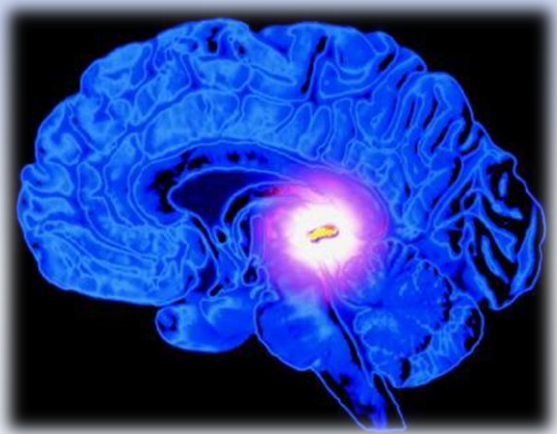
- 1. Fisiología de la visión**
- 2. Función neural de la retina**
- 3. Visión a color**
- 4. Barreras hematóculares**

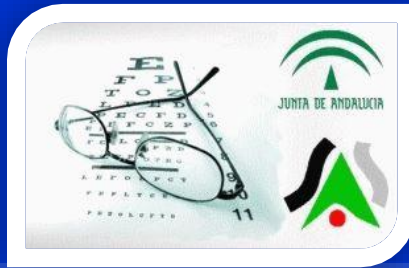




*La función de la retina va **más allá de la captura y conversión** de las señales luminosas a un patrón de actividad neural*

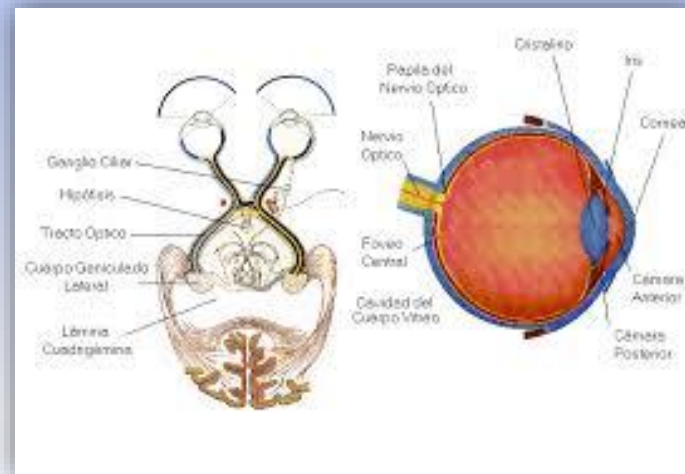
*La presencia de **interneuronas** aseguran que las señales generadas por la luz sean procesadas mediante **interacciones neuronales** antes de que la información sea llevada al cerebro*

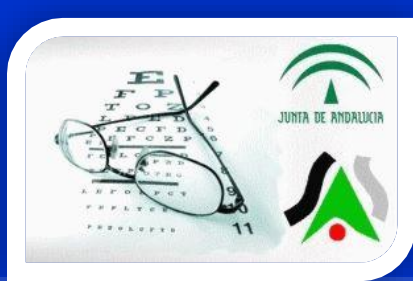




La retina ofrece al cerebro una serie de superposiciones visuales compuestas por imágenes con refuerzo de contraste, forma, movimiento y color

Estos estratos funcionales son transmitidos hasta el cerebro por impulsos provenientes de ***subgrupos de células ganglionares***

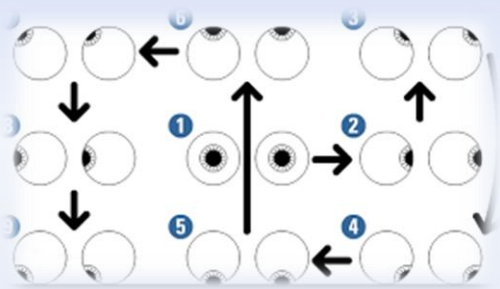




Experiencia consciente en el ser humano: *percepción del color, contraste, profundidad, forma.*

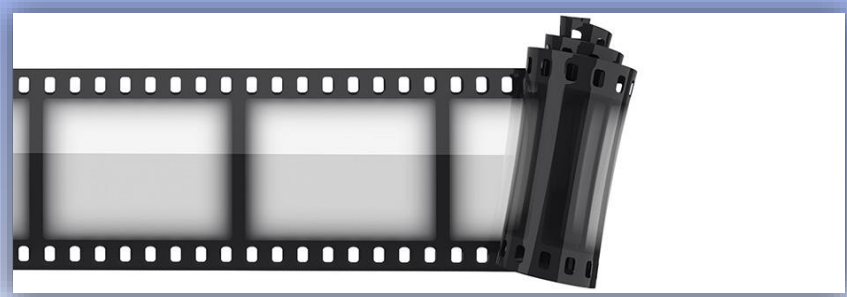


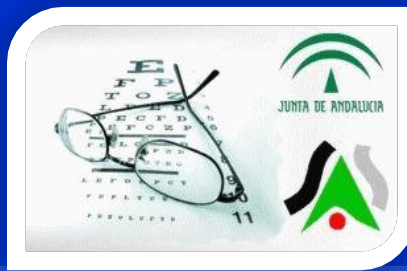
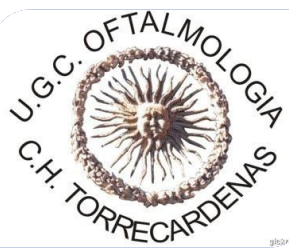
No forman parte de nuestra experiencia consciente : como los movimientos oculares, constricción pupilar, funciones hipotalámicas como los ciclos circadianos





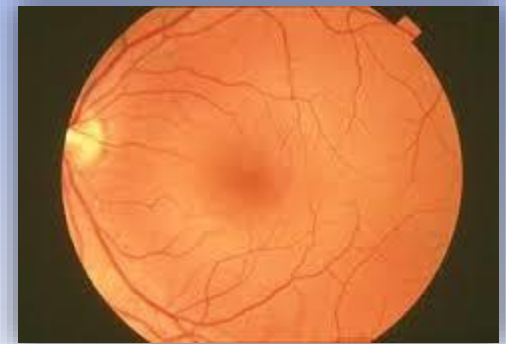
Los primeros conceptos acerca de la función de la retina hacían una analogía a una cámara fotográfica: la retina codificaba un mensaje(NEGATIVO FOTOGRÁFICO) y el cerebro lo decodificaba(FOTOGRAFÍA)

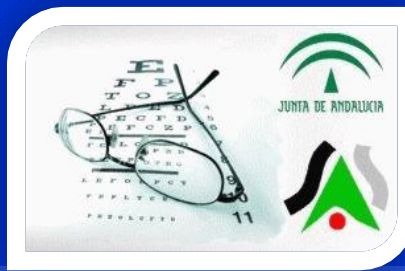




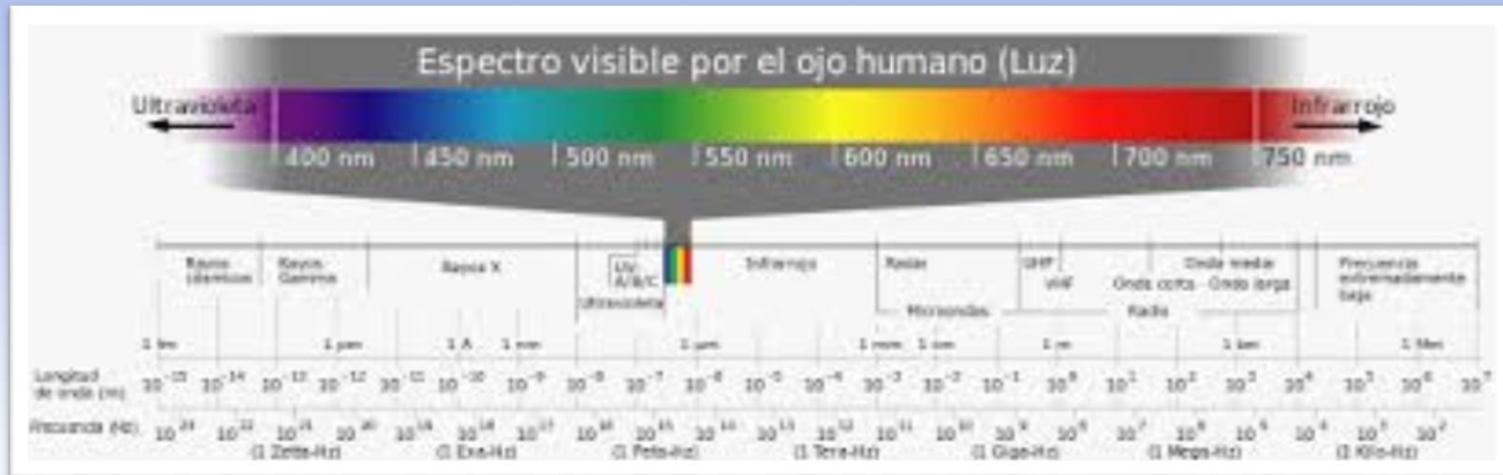
FUNCIONES DE LA RETINA:

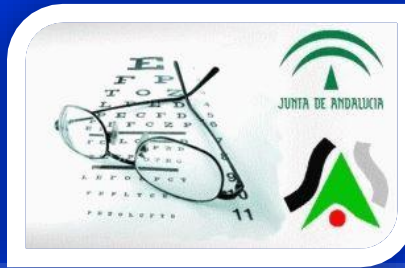
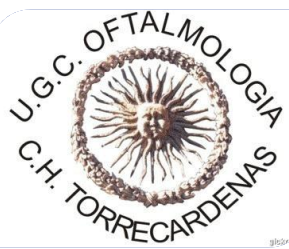
1. Fototransducción de los fotones capturados por los fotorreceptores en un proceso eléctrico detectable.
2. Separación de las señales luminosas en canales ON Y OFF
3. Percepción de color
4. Refuerzo de contraste
5. Detección de rasgos
6. Adaptación de la luz y la oscuridad
7. Regulación de los ciclos circadianos
8. Sincronización de los movimientos oculares
9. Control de la pupila
10. Estabilización espacial de la imagen, es decir, la posibilidad de discriminar la posición.



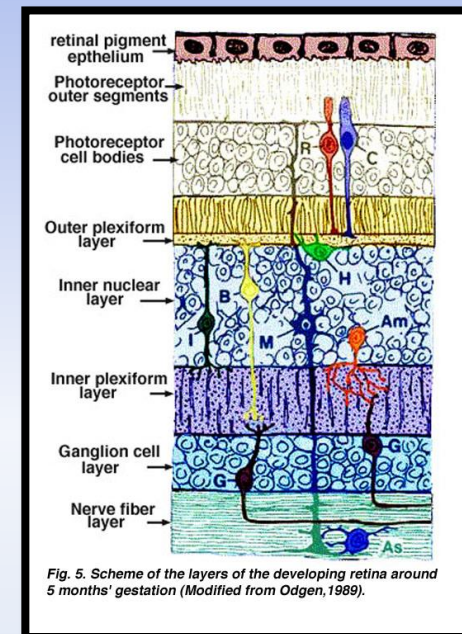
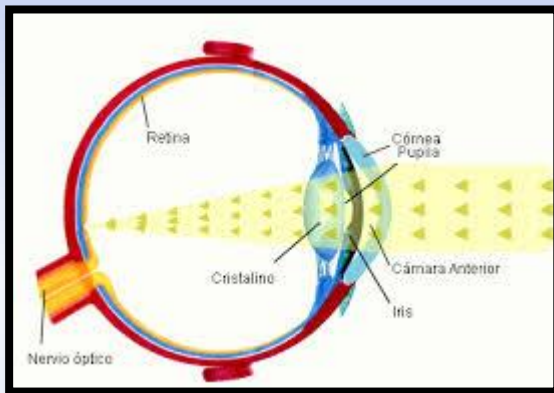


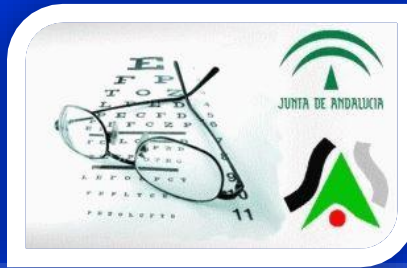
- ✓ Gracias al sistema visual el ser humano es capaz de detectar e interpretar estímulos dentro del **espectro visible**
- ✓ Longitudes de onda desde **400 a 700 nm** (380-780)





- I. Energía luminosa atraviesa los medios transparentes y refringentes del ojo
- II. Llega a la retina: los fotones estimulan los pigmentos visuales de los segmentos externos de los fotorreceptores
- III. Los pigmentos excitados disparan la cascada de fototransducción: cambio del potencial de membrana gradual a la intensidad de la luz
- IV. Este procesamiento se transmite por la células ganglionares en pot. de acción de la retina al cerebro
- V. En la corteza: percepción del objeto

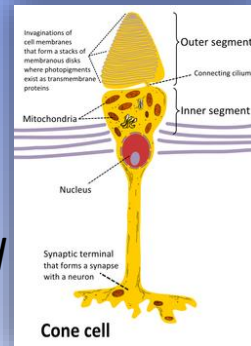




FOTORRECEPTORES:

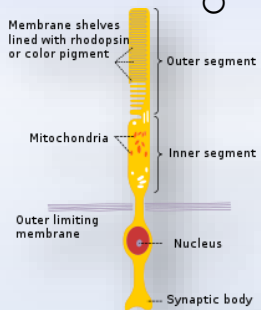
- **CONOS:**

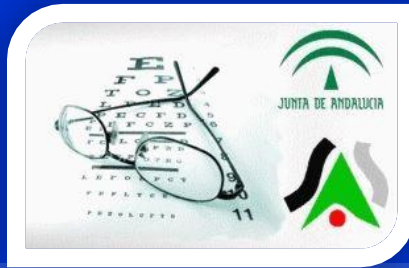
- Deben su nombre a su **forma cónica**
- Pigmento : **CONOPSINA**
- *Responsables de la visión diurna con capacidad de respuesta rápida, habilidad para la adaptación a la luz y rápida adaptación a la oscuridad*
- *Responsables de la mejor agudeza visual y de la percepción del color*



- **BASTONES:**

- Llamados así por su **forma cilíndrica**
- Pigmento : **RODOPSINA**
- Responsables de la visión escotópica, respuesta lenta en la adaptación a la oscuridad y habilidad limitada para la adaptación a la luz

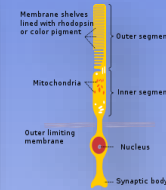
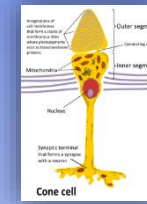




FOTORRECEPTORES:

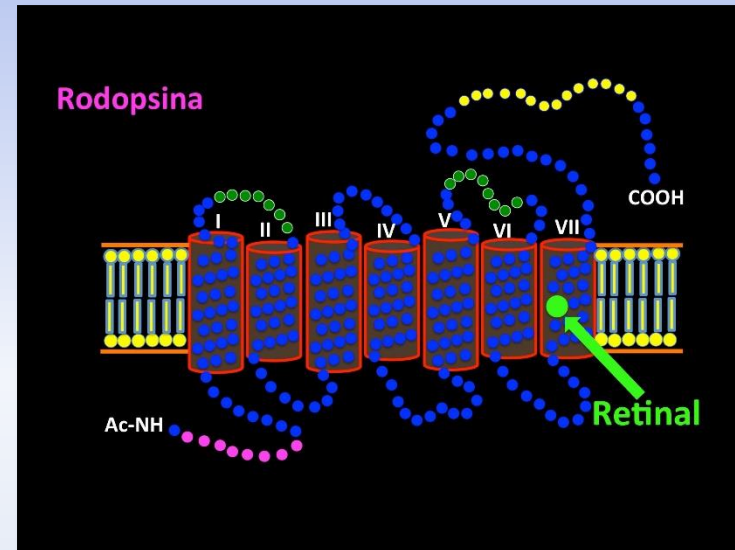
Los bastones: 20 veces más abundantes que los conos

- Todos los bastones contienen el **mismo** pigmento visual
- En los conos existen **3 tipos diferentes** de pigmento visual más sensible a un espectro de longitud de onda particular



Fotopigmento tiene 2 componentes:

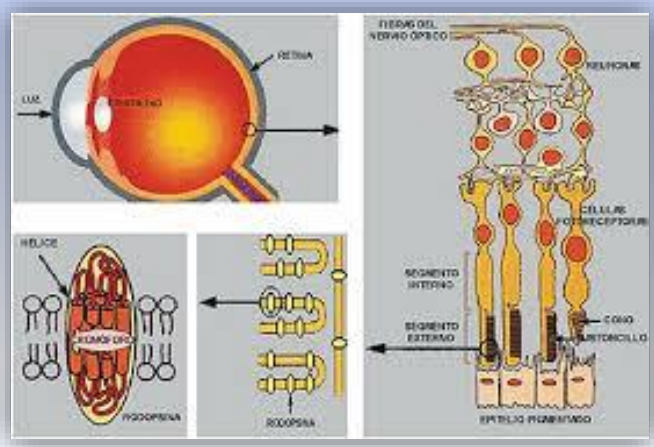
- a. Conos: conopsina
 - i. Proteico: fopsina
 - ii. Carotenoide: 11-cis-retinal
- b. Bastones: rodopsina
 - i. Proteico: escotopsina
 - ii. Carotenoide: 11-cis-retinal





GRACIAS A ESTOS PIGMENTOS SE TRANSFORMA LA **ENERGÍA LUMÍNICA EN ELÉCTRICA** CAPAZ DE INTERPRETARSE

ESTE PROCESO OCURRE **4 VECES MÁS RÁPIDO EN CONOS QUE EN BASTONES**





FOTOTRANSDUCCIÓN:

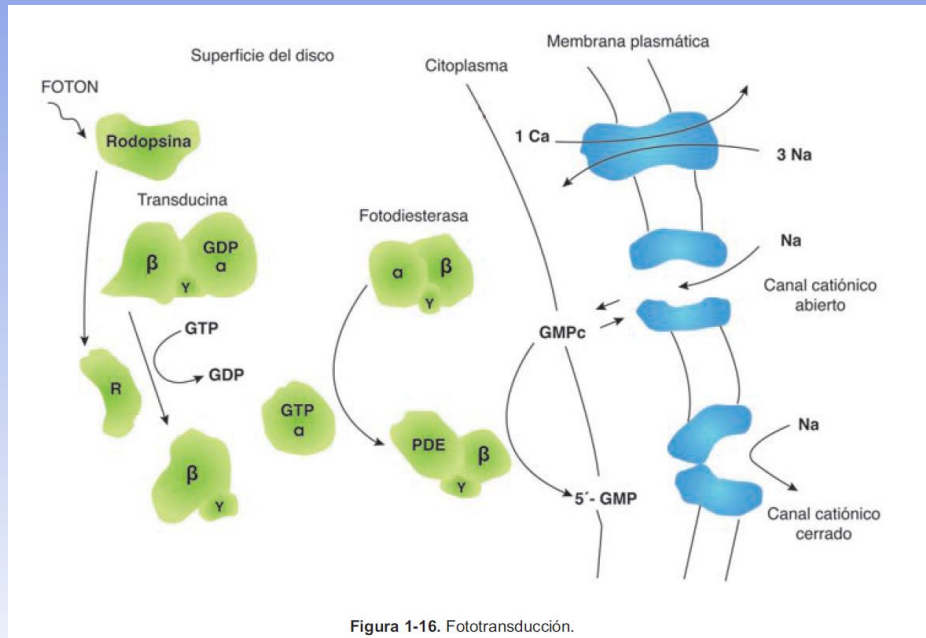
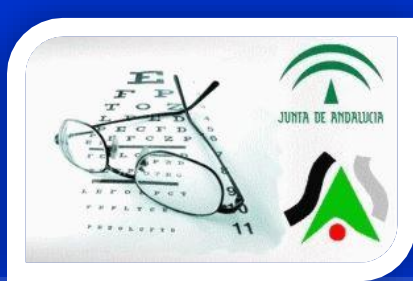


Figura 1-16. Fototransducción.

El EPR es capaz de almacenar vit.A, de la cual se obtiene el **11-cis-retinal**, que pasa al **segmento externo** del FR. A su vez el FR forma la parte proteica, se unen y forman el fotorreceptor.



FOTOTRANSDUCCIÓN:

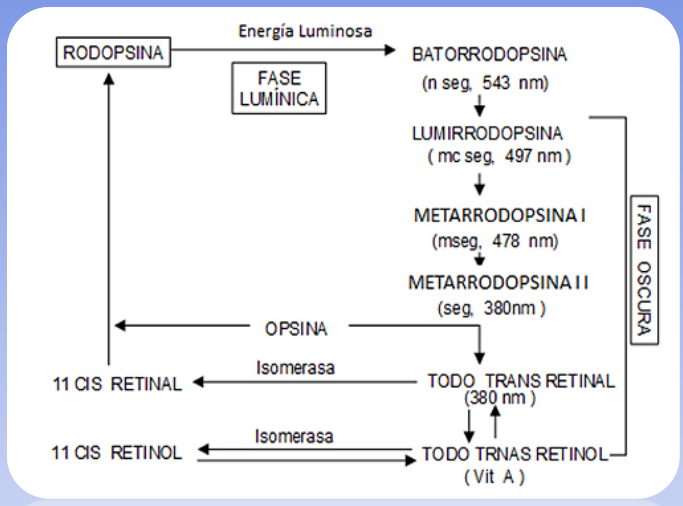
Luz



11-cis retinal se transforma en trans



Se separan la parte proteica y carotenoide: **todo-trans-retinal y metarodopsina II o rodopsina activada** (provoca los cambios eléctricos)=

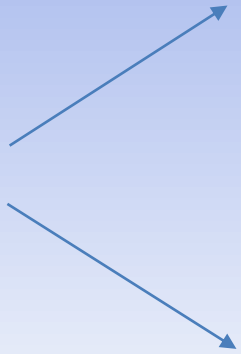




FOTOTRANSDUCCIÓN:

Regeneración del pigmento:

Todo-trans-retinal



Por acción de **isomerasas** se transforma en 11-cis-retinal

Se almacena como **vitamina A**

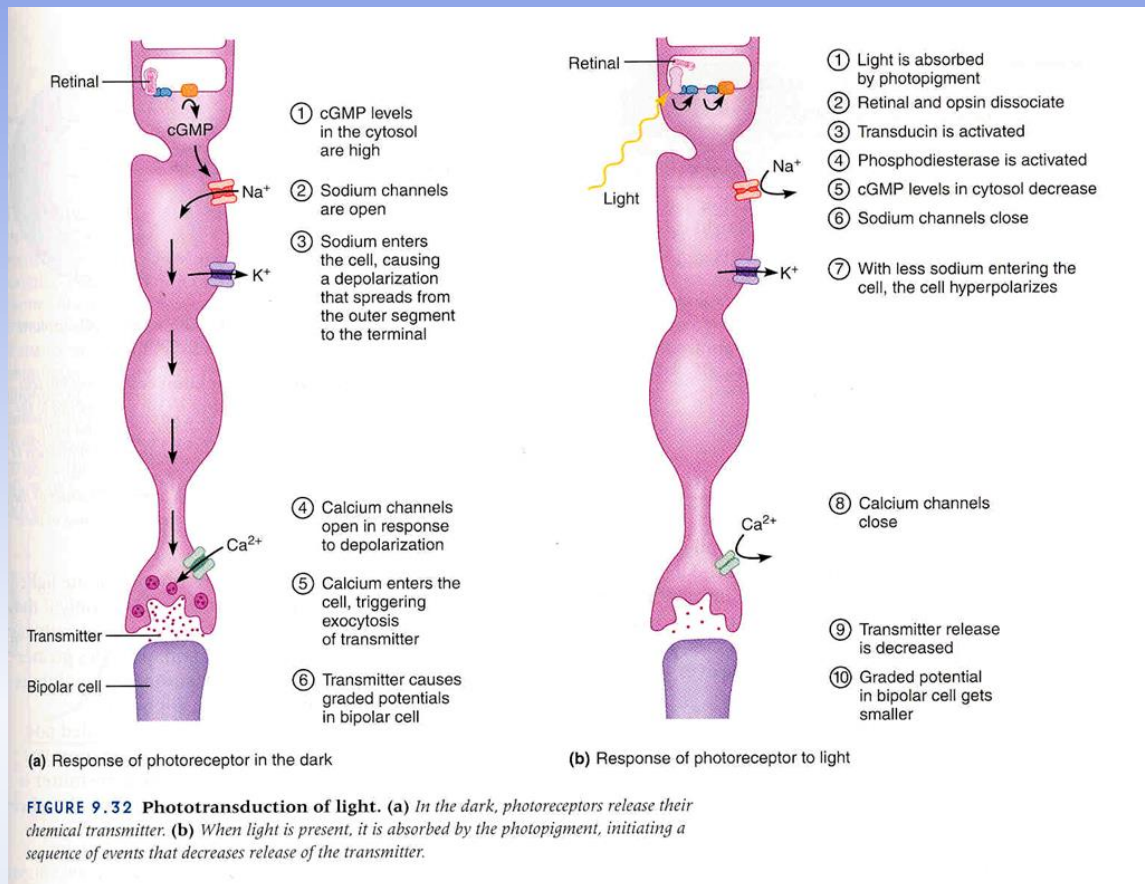


FOTOTRANSDUCCIÓN:

- Bastón en reposo
 - i. En **segmento interno: bomba Na⁺/K⁺ ATPasa** que impulsa iones Na⁺ hacia fuera, y este entra en Segmento externo por **canales de Na⁺** que crean la ***corriente de oscuridad***
 - ii. Potencial de Mb: -40mV
 - iii. Con este potencial la célula descarga determinadas concentraciones de neurotransmisor de modo tónico
- Cuando incide la luz
 - i. Permeabilidad del Na⁺ en segmento externo desaparece. No entra Na⁺
 - ii. La célula se hiperpolariza
 - iii. Potencial -80mV
 - iv. Menor descarga de neurotransmisor



FOTOTRANSDUCCIÓN:





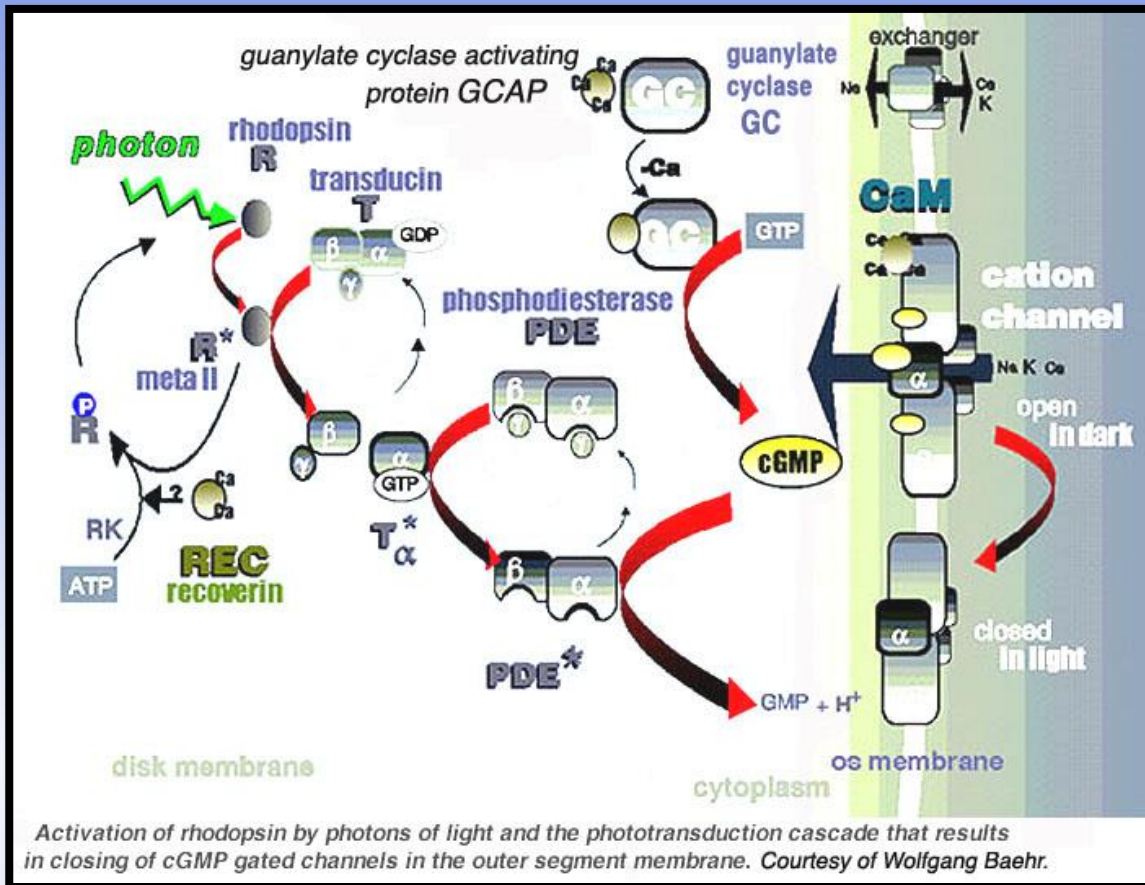
FOTOTRANSDUCCIÓN:

- **Quando la luz incide sobre el pigmento fotosensible:**
 - i. Se genera la **metarodopsina II o rodopsina activada**
 - ii. Esta es capaz de activar cientos de moléculas **transducinas**
 - iii. Estas a su vez activan a varias moléculas **guanilciclasa**, las cuales activan a moléculas **fosfodiesterasas** de membrana que hidrolizan el **cGMP a 5"GMP**
 - iv. El cGMP: responsable de mantener canales de Na⁺ abiertos

CASCADA QUÍMICA AMPLIFICADORA



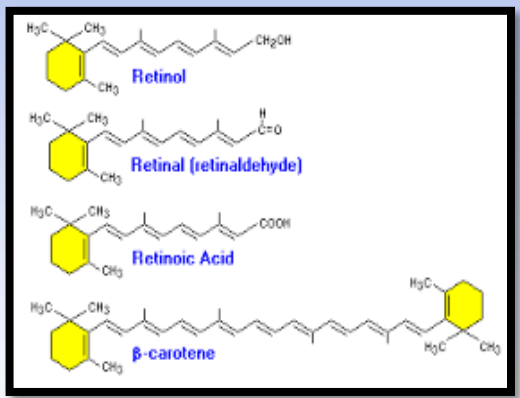
FOTOTRANSDUCCIÓN:





ADAPTACIÓN A LA LUZ:

- ✓ Gracias a que la retina adecua los pigmentos fotosensibles a la luz
- ✓ Al incidir la luz, los pigmentos se reducen en sus partes **opsina** y **retinal**
- ✓ A su vez el retinal se transforma en **retinol** y se almacena en forma de **vitamina A** para que no haya tanto pigmento





ADAPTACIÓN A LA OSCURIDAD:

- ✓ **Se incrementa el pigmento fotosensible**
- ✓ A partir de la vitamina A se produce retinal que con la parte proteica forma el pigmento
- ✓ Aunque no haya tanta luz: al haber más pigmento es utilizado mejor:



Primer min: el individuo no ve bien

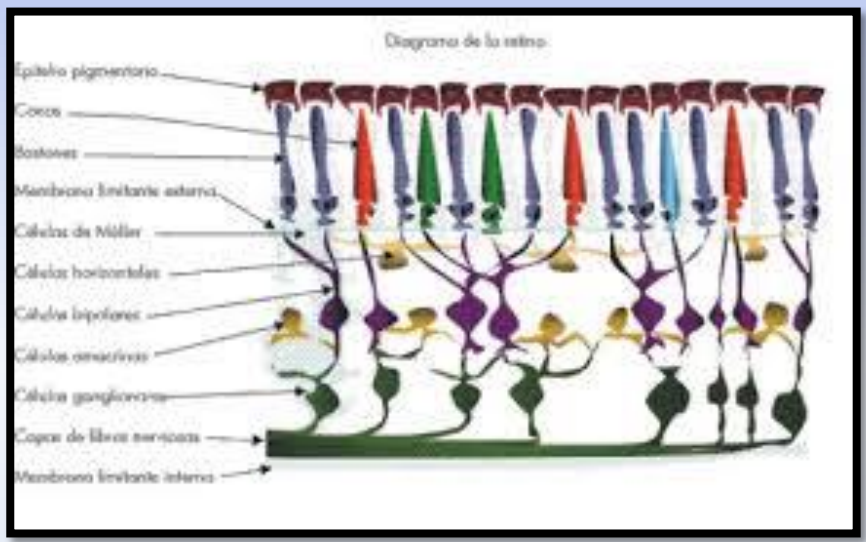
En los primeros 10 min: la SN de la retina se multiplica por 70

Tras 20 min: aumenta 6000 veces



FUNCIÓN NEURAL DE LA RETINA:

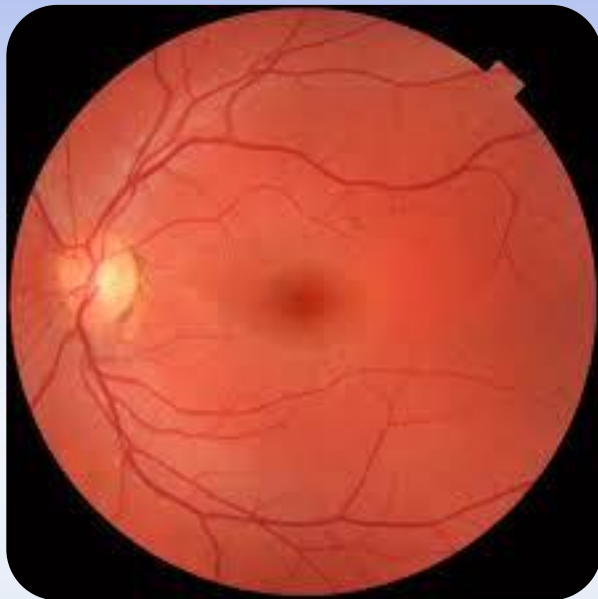
- La conducción de FR a células bipolares se produce mediante **cambios eléctricos**
- Conducción electrotónica **graduada**
- La conducción de la información visual no es lo mismo en la retina periférica que en la fovea.





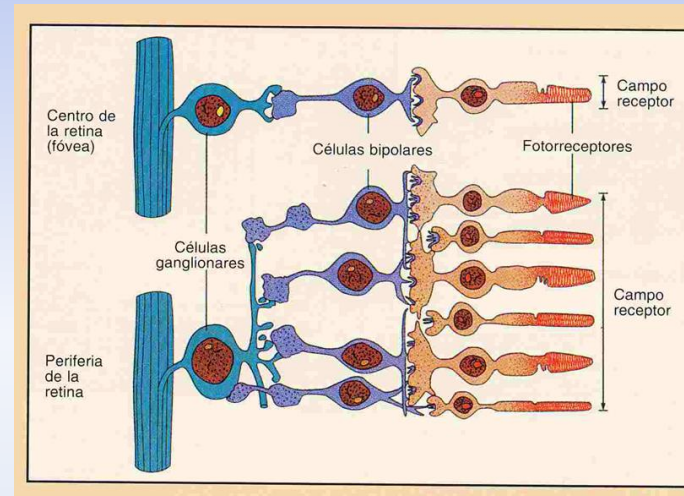
FÓVEA:

- ❖ **NO CONVERGENCIA**
- ❖ Conducción de un cono o dos a una célula ganglionar
- ❖ *Visión más discriminativa, de mayor agudeza y más rápida*



RETINA PERIFÉRICA:

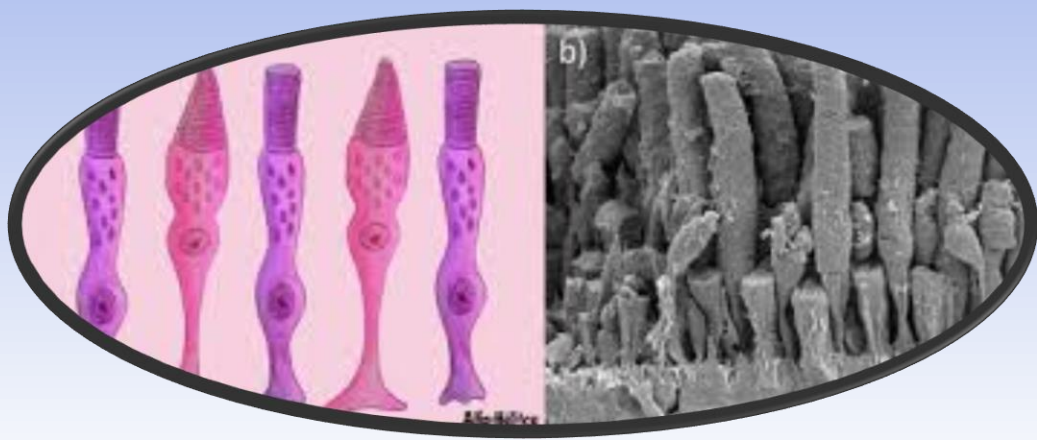
- ❖ **GRAN CONVERGENCIA**
- ❖ De muchos FR a una célula ganglionar
- ❖ Muchos más bastones que conos
- ❖ Efecto sumatorio sobre la célula ganglionar grande
- ❖ *Enorme sensibilidad*

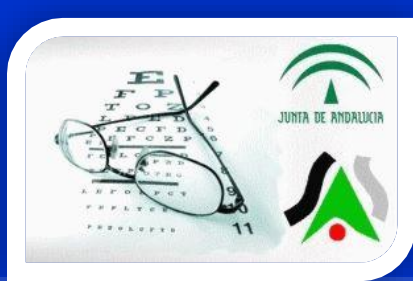




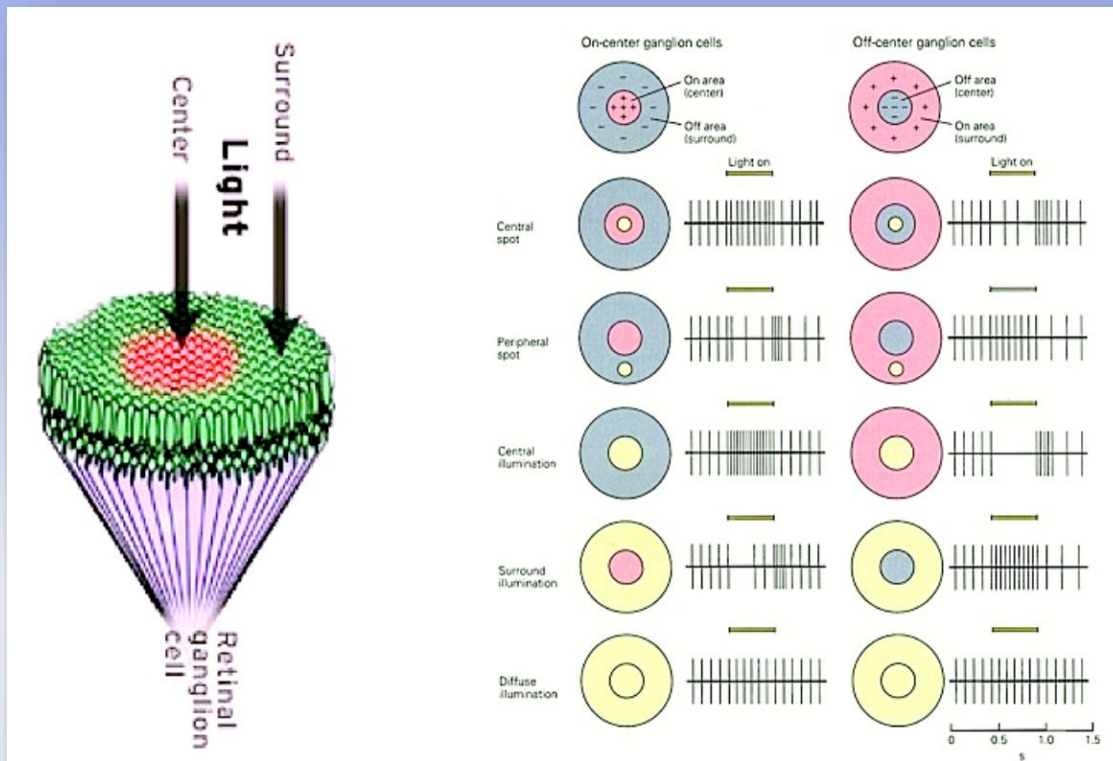
GRAN SENSIBILIDAD DE LOS BASTONES A LA LUZ SE DEBE A:

- 1) CASCADA QUÍMICA
- 2) ADAPTACIÓN
- 3) CONVERGENCIA





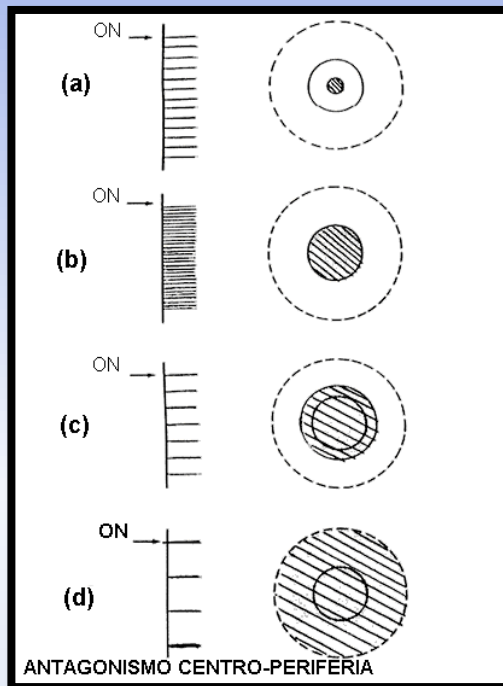
*Haldan Keffer Hartline co-ganador con George Wald y Ragnar Graniten, 1967, del Premio Nobel de Medicina por su trabajo de análisis de los mecanismos neurofisiológicos de la visión, distinguió: **CÉLULAS GANGLIONARES DE LA RETINA COMO ON, OFF Y ON-OFF.***

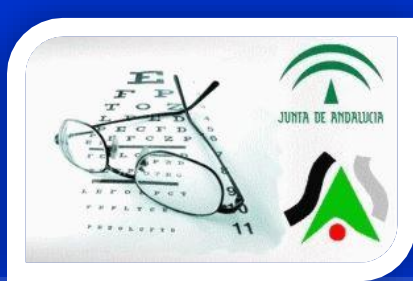




CAMPO RECEPTOR:

- ❖ Área de la retina sobre la cual, al incidir la luz, modifica el grado de actividad de la célula.
- ❖ Son áreas circulares que suelen dividirse en una *porción central y otra porción periférica*





CÉLULAS GANGLIONARES ON:

- a. Si la luz no incide sobre su campo receptor: ritmo basal
- b. Si la luz incide sobre la **porción central** de su campo receptor: potencial de acción a **mayor frecuencia**
- c. Si la luz incide sobre la **porción periférica** del CR: **ralentización** en la descarga del potencial de acción

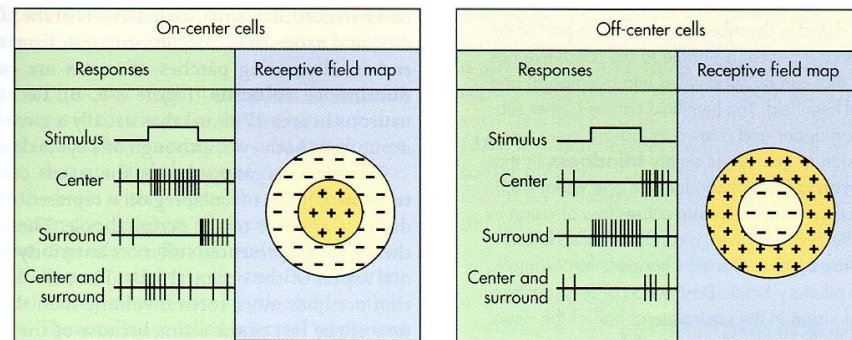
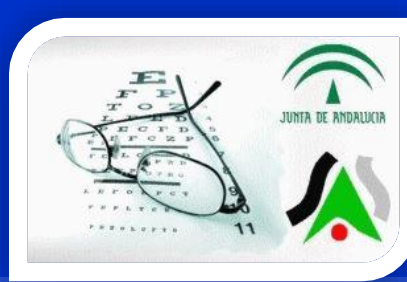
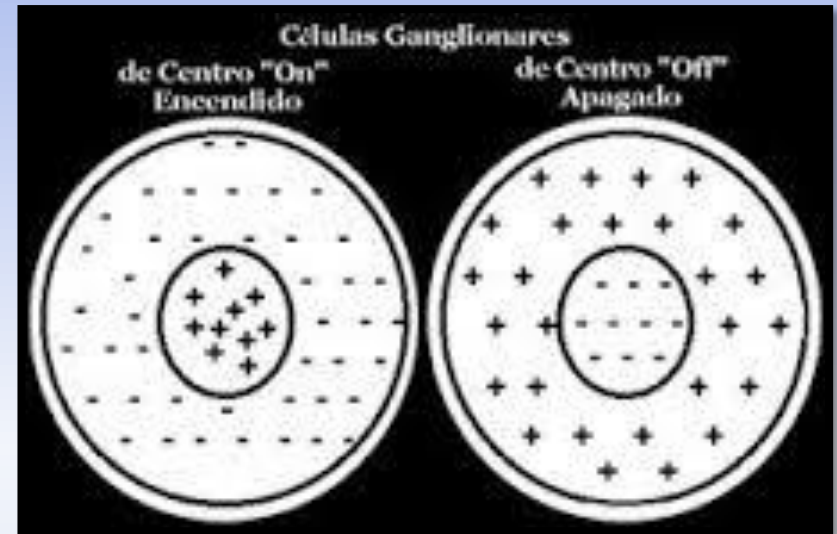


Figure 8-6 Center-surround receptive field organization of retinal ganglion cells. *Left*, Responses to light stimuli on the center or in a surrounding annulus for on- and off-center ganglion cells. The effect of stimulating the entire field is also shown. *Right*, Receptive fields. Plus signs indicate excitation, and minus signs, inhibition.



CÉLULAS GANGLIONARES OFF:

- a. Si la luz no incide sobre su campo receptor: ritmo basal
- b. Si la luz incide sobre la **porción central** de su campo receptor: potencial de acción a **MENOR frecuencia** que la basal
- c. Si la luz incide sobre la **porción periférica** del CR: **mayor frecuencia** en la descarga del potencial de acción





CÉLULAS GANGLIONARES:

Células X:

- 55%
- Mayor velocidad de conducción axonal
- **Responsables de la visión al color**

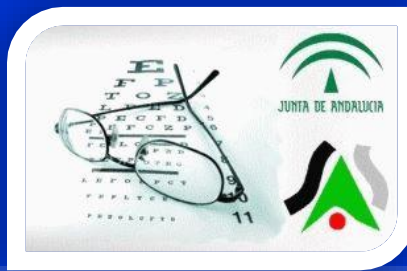
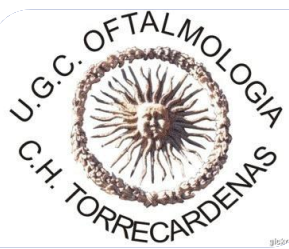
Células Y:

- 5%
- Velocidad de conducción muy rápida
- **Visión de blanco y negro**

Células W:

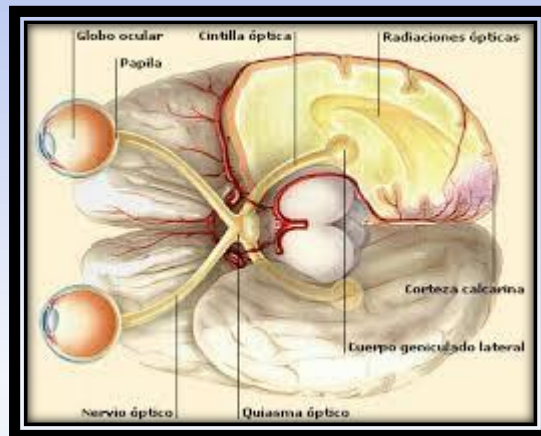
- 40%
- Velocidad de conducción más lenta
- **Se corresponden a los bastones**





CÉLULAS GANGLIONARES:

1. Una parte de las células ganglionares transmiten la información visual al hipotálamo: **núcleo supraquiasmático**
2. Otra parte al cerebro medio: **colículo superior**: centros motores para el movimiento de los ojos y el tamaño de la pupila
3. La mayoría transmiten hacia el **tálamo**: **núcleo geniculado lateral**



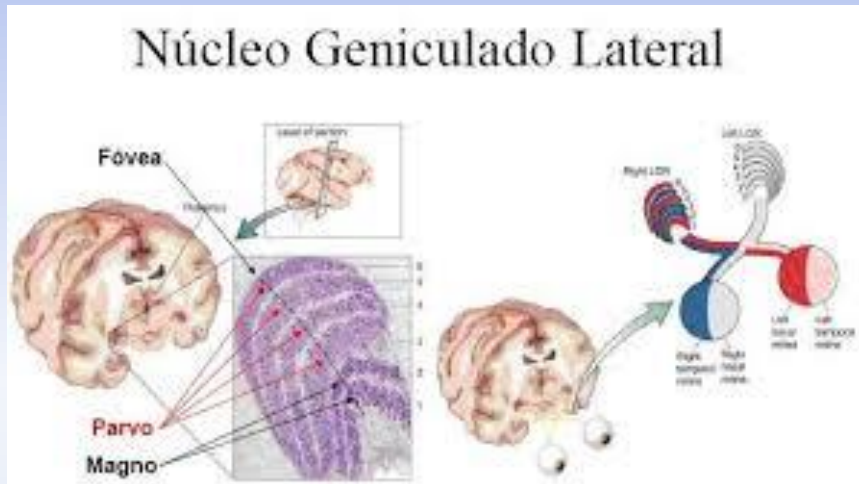


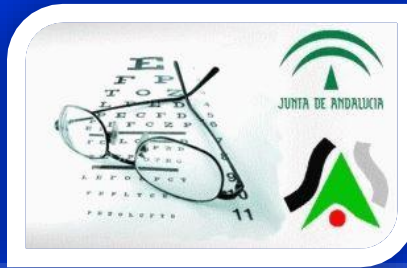
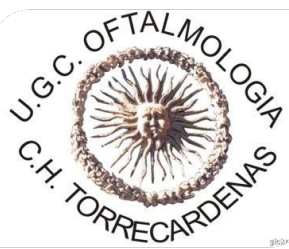
NÚCLEO GENICULADO LATERAL:

- a) Capas 1-2 (95%): capas magnocelulares
- b) Capas 3-6 (5%): capas parvocelulares
- c) Células koniocelulares o interlaminares entre las capas

MAPA SOMATOTRÓPICO:

- (cada punto de la retina llega a un punto concreto del NGL)
- i. Células Y: capas magnocelulares
 - ii. Células X: capas parvocelulares
 - iii. Células W: se proyectan solo en los colículos superiores (respuestas por cambios en los niveles de luminiscencia)

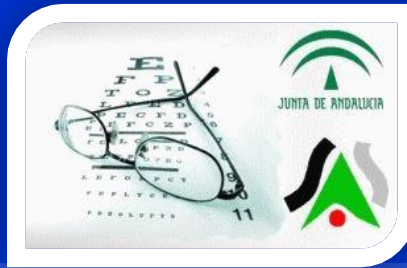
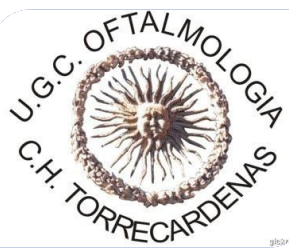




CORTEZA VISUAL PRIMARIA, ÁREA 17 O V1:

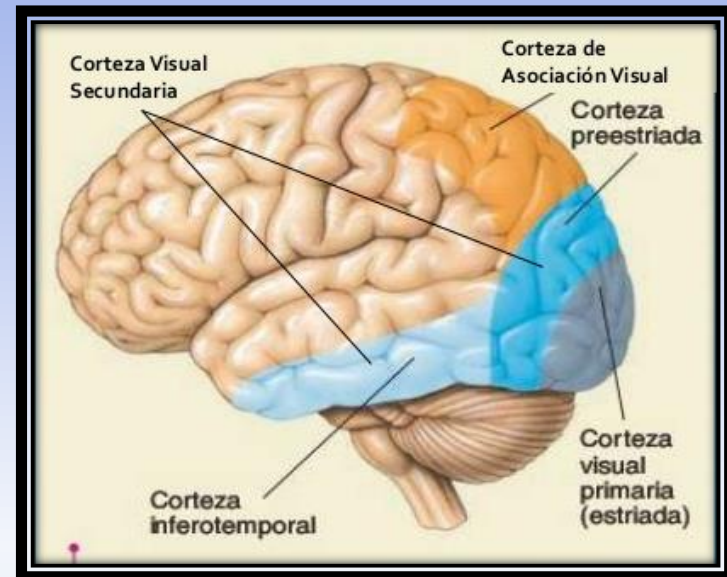
- 6 capas
- **Gran superficie:** incide la información de la fovea(FR envían la información punto por punto)
- **Superficie menor:** llega la información de la retina periférica (convergencia)
- **REPRESENTACIÓN TOPOGRÁFICA:** el ser humano mantiene más o menos el **orden espacial** con el que la retina capta la información

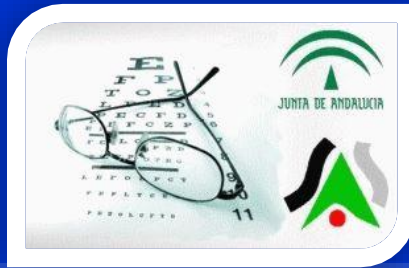




El área 17 transmite su información a las **áreas 18 o V2 CORTEZA VISUAL SECUNDARIA Y 19 o V3**

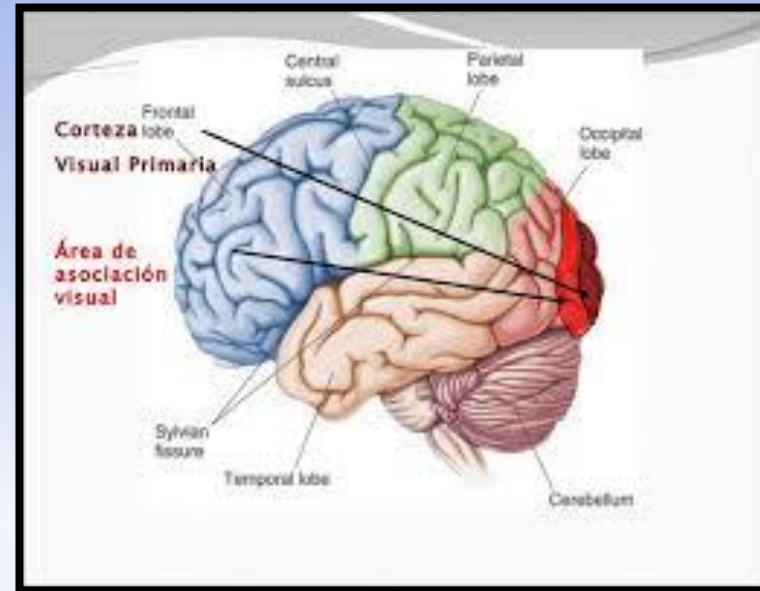
- Estas áreas **ensamblan** las características de un mismo objeto
- CORTEZA VISUAL SECUNDARIA: las células responden a **contrastes, formas**

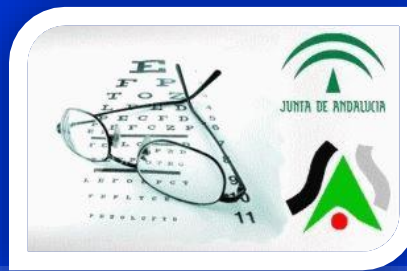
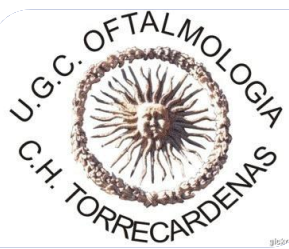




La información también se transmite a **V4 o corteza visual cuarta**: se percibe qué es cada objeto visual
Desde aquí la información se transmite a **áreas asociativas, como la 21** (se asocian los objetos visuales con experiencias pasadas)

La información visual también se deriva a **V5**, que la transmite al **área 7**, donde se percibe la **profundidad, el movimiento, la ubicación del objeto**





VISIÓN A COLOR:

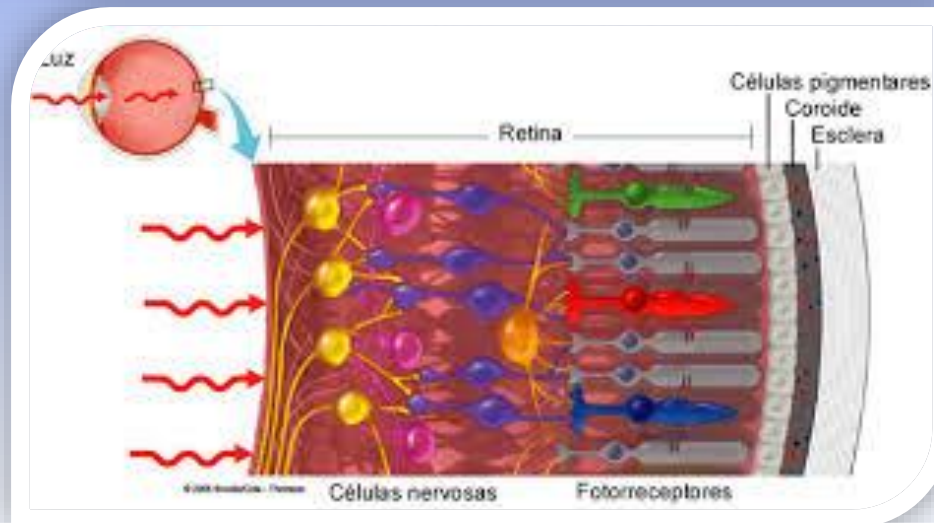
- ✓ Condicionada a toda una vía que se origina en la *retina, en los conos y en un tipo de células ganglionares.*
- ✓ Los conos captan rayos de luz intensa que se transforman en impresiones ópticas
- ✓ **Sea cual fuere la longitud de onda del fotón, el cono responderá de la misma forma: impulso eléctrico**
- ✓ Los conos (considerados individualmente) no pueden transmitir información acerca de la longitud de onda, ya que lo único que transmite son señales eléctricas

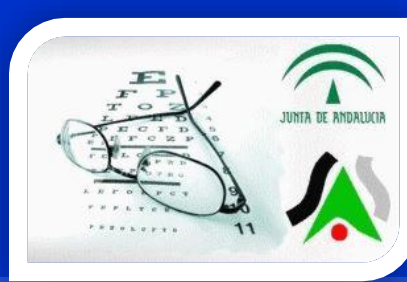




3 TIPOS DE CONOS:

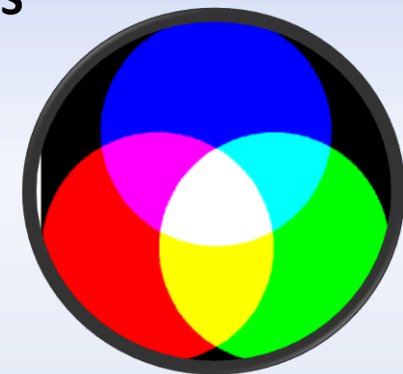
- i. SENSIBLES A LONGITUD DE ONDA LARGA (SLL): 560nm. ROJO
- ii. MEDIA(SLM) 540nm VERDE
- iii. CORTA (SLC) 445nm AZUL

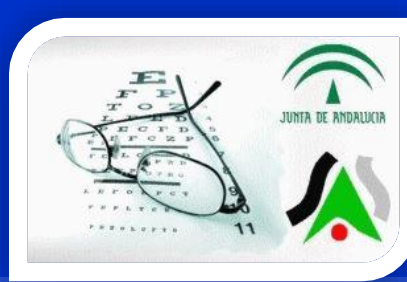




TEORÍA TRICROMÁTICA:

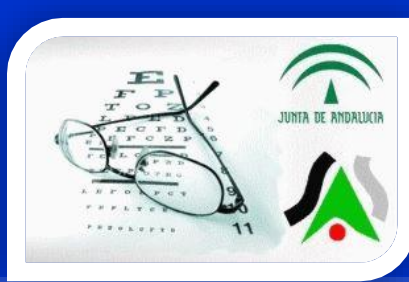
- Basada en la *actividad de los conos*
- T. Young (1802) y Helmholtz
- Se basa en que a partir de un sistema de 3 variables es posible especificar millones de tonos distintos
- La necesidad de 3 colores primarios refleja el hecho de que existen 3 tipos de conos en la fovea
- Los conos contienen 1 de las 3 opsinas que proporcionan a los FR diferentes SN a la luz
- 3 tipos de conos, cada uno sensible a un rango de longitud de onda visible
- **DISCRIMINAMOS COLORES A PARTIR DE LA PROPORCIÓN DE ACTIVIDAD DE LOS 3 TIPOS DE CONOS.LA PROPORCIÓN DE RESPUESTA ENTRE LOS 3 CONOS DETERMINA UNA PERCEPCIÓN DE COLOR**





TEORÍA DE LOS PROCESOS Oponentes:

- *Basada en las células ganglionares*
- Se debe a Hering (1882)
- **Cada célula ganglionar espectralmente oponente recibe estímulos de 2 o 3 tipos de conos**
- El color percibido se basaría en la actividad relativa de las células ganglionares, que reciben aferencias de los distintos conos
- La idea de los opuestos cromáticos da respuesta a cuestiones que no contestaba la teoría tricromática: ej el daltonismo: los ciegos al verde lo son también al rojo; los ciegos al amarillo lo son también al azul

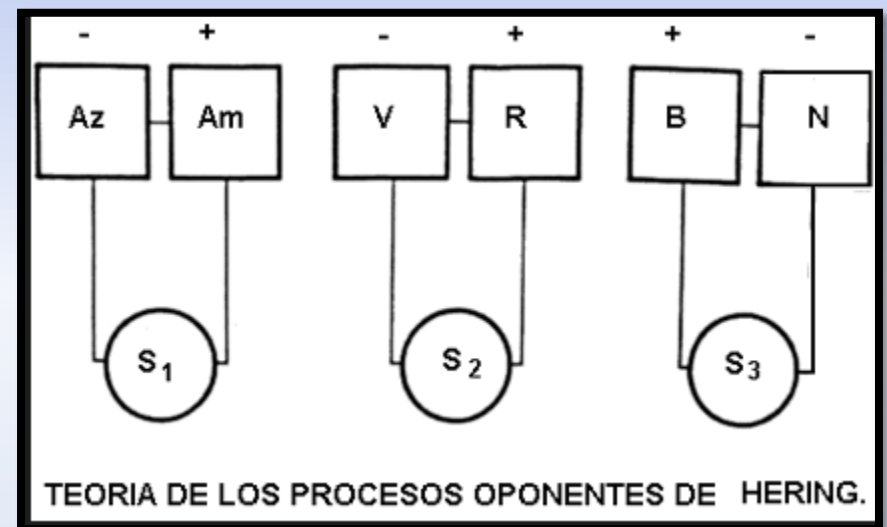


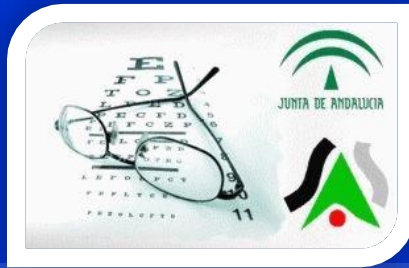
- Este autor sostenía que el blanco y el amarillo no son sensaciones compuestas de color, sino que eran tan puras o primarias como la del rojo, verde y azul.
- Propuso que la naturaleza de la visión del color se debía al emparejamiento de sensaciones de color, que operarían mediante procesos oponentes.
- Es decir, cada receptor produciría dos tipos de respuestas antagónicas entre sí. Cuando un miembro del par resulta estimulado más que su oponente, entonces se verá el matiz correspondiente al superior, pero si son estimulados por igual, se anulan por ser complementarios y aparece la sensación de gris, como ocurre en la mezcla sustractiva de colores.

-> El azul se empareja con el amarillo.

-> El rojo se empareja con el verde.

-> El blanco se empareja con el negro.





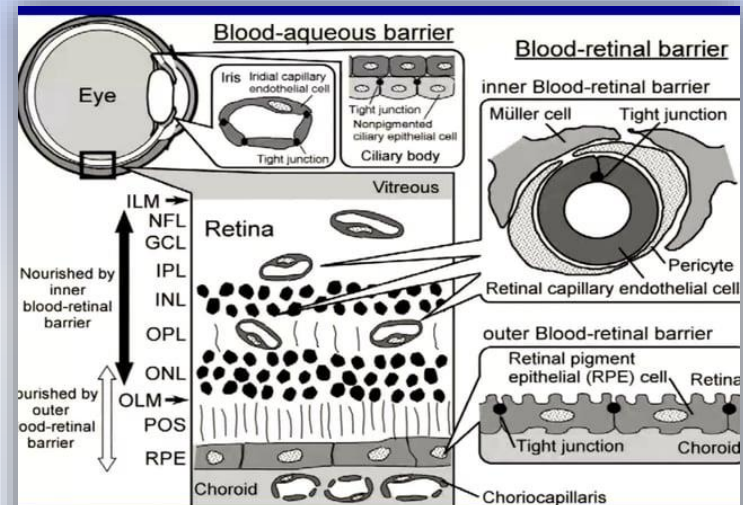
BARRERAS HEMATOCULARES:

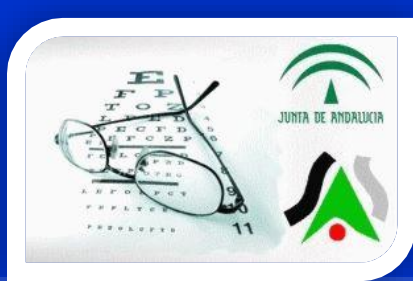
1. BARRERA HEMATOACUOSA:

- i. **Epitelio no pigmentado del cuerpo ciliar**(en este se encuentra la zonula ocludens que no permite el paso de componentes proteicos mayores de 30 Aº)
- ii. **Endotelio de las paredes vasculares iridianas y del cuerpo ciliar**

2. BARRERA HEMATORRETINIANA:

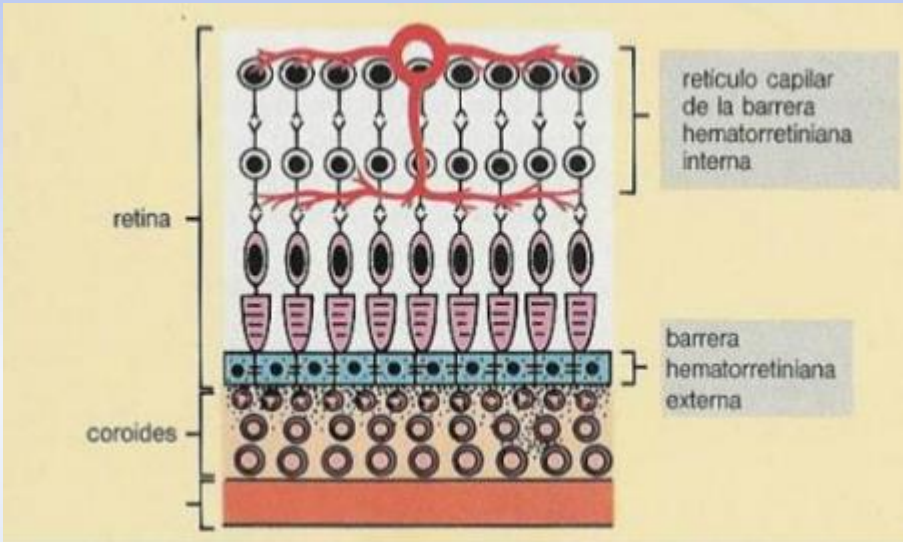
- i. **BHRi: células endoteliales vasculares** (en la capa de células ganglionares y capa plexiforme externa)
- ii. **BHRe: células epiteliales pigmentadas** (barrera entre plexo capilar coroideo y retina)

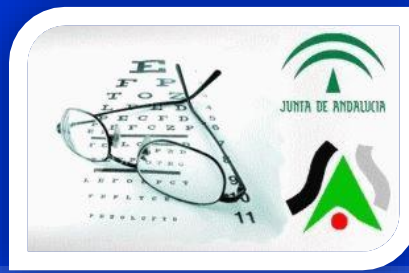
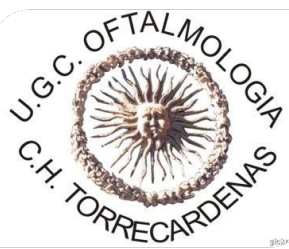




BHR:

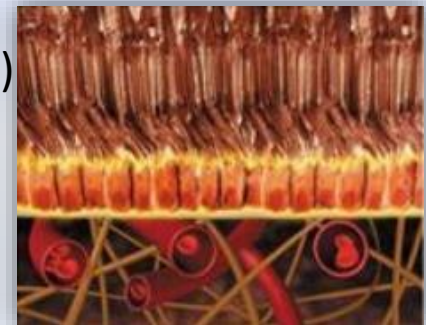
- Regula el flujo de iones, proteínas y agua en la retina estableciendo las concentraciones específicas para una adecuada función.
- Barrera que presenta **uniones ocludens** entre las células epiteliales de los capilares de la retina nerviosa: uniones celulares no permeables, que previenen el movimiento de solutos y establecen gradientes intermembranales
- **Función:** Evitar el paso de sustancias del torrente sanguíneo hacia la retina nerviosa. Establecimiento de la polaridad celular

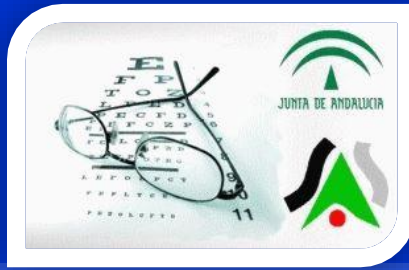
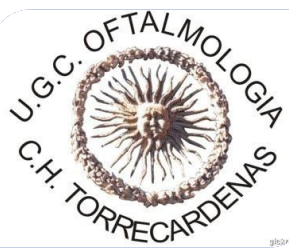




BHR:

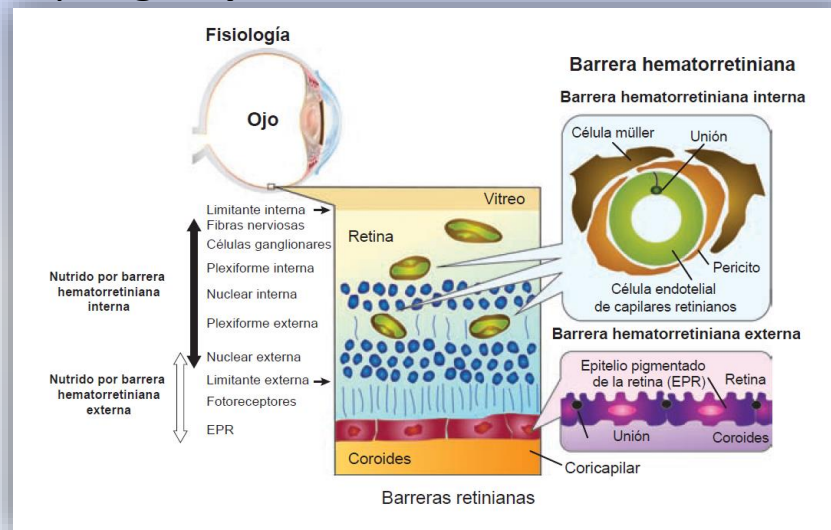
- Las células establecen **complejos de unión estrechos**: contienen al menos 40 proteínas
 - Proteínas transmembrana**
 - Ocludinas**: regulan apertura y cierre de las uniones estrechas
 - Claudinas**: regulan pequeñas cargas moleculares y permeabilidad de iones
 - CMA** (conexiones de molécula de adhesión): interviene en la unión estrecha y en la leucoestasis
 - Proteínas de adaptación**: actúan como organizadores de uniones estrechas y anclajes de citoesqueletos. Se localizan debajo de las membranas
 - 3 tipos de zonula ocludens (ZO-1, ZO-2, ZO-3)**: se crean complejos de polaridad (interactúan con Par6/Par3/PKCα)

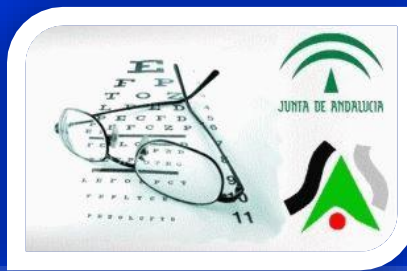
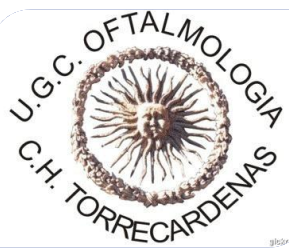




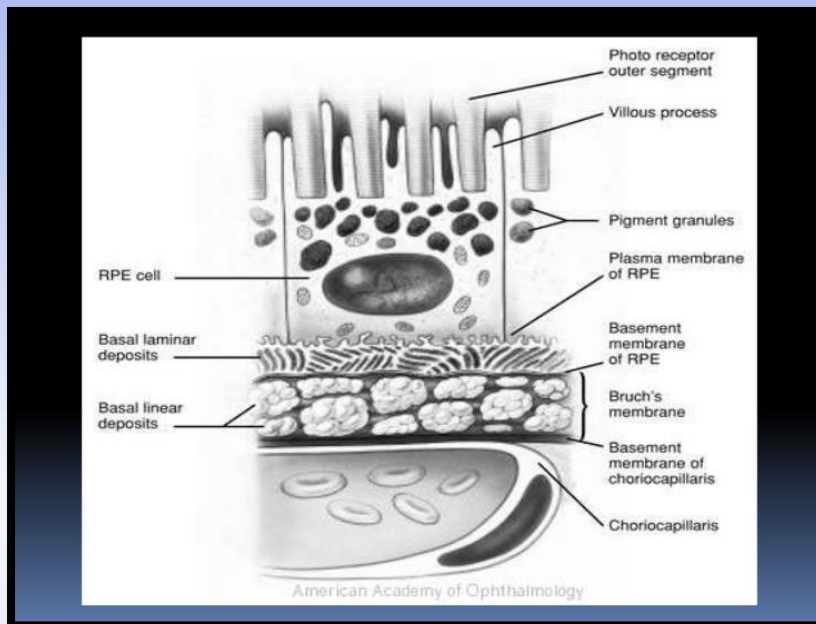
BHR:

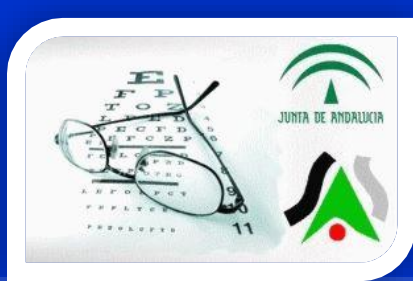
- En ambas barreras se ha demostrado la **disminución o ausencia de fenestraciones** en los capilares, por lo que el intercambio de sustancias es a través de :
 - ✓ **Endocitosis**
 - ✓ **DIFUSIÓN FACILITADA**
- El transporte de **agua** por difusión facilitada es esencial: mediante la acuaporina-1, $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{ATPasa}$
- **Moléculas lipofílicas** pueden difundir libremente a través de la membrana celular. Esta en trada es restringida por **glicoproteínas P** de manera activa



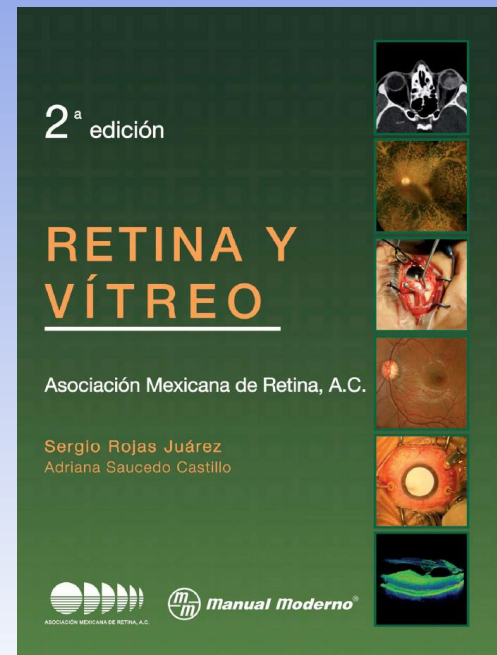
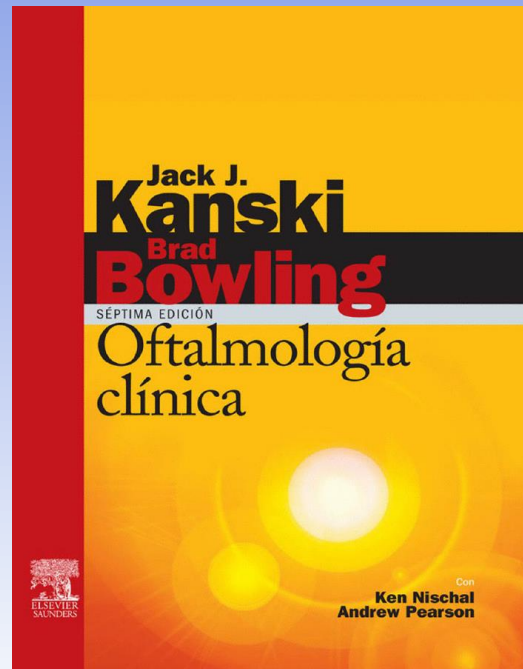
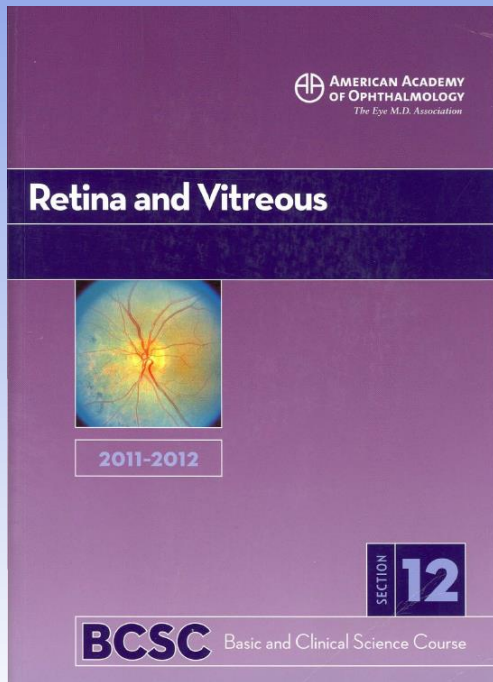


Tanto en la BHRi como en la BHRe la estrecha unión entre las células restringe el movimiento paracelular de fluidos y moléculas entre la sangre y la retina; las células endoteliales y las células del EPR regulan la actividad en movimiento hacia dentro y hacia fuera siendo las concentraciones en la retina relativamente estables.





BIBLIOGRAFÍA:





¡Muchas Gracias!