



## Aspectos morfofisiológicos del órgano de la visión

### Morphophysiological aspects of the visual organ

Beatriz María Gutiérrez Alarcón<sup>1</sup> , Dielvis Alarcón Zamora<sup>1</sup> , Rafael Gutiérrez Núñez<sup>1</sup> .

<sup>1</sup>Universidad de Ciencias Médicas de Granma. Facultad de Ciencias Médicas de Manzanillo.

#### RESUMEN

**Introducción:** los ojos son los órganos fotosensibles alojados en las órbitas óseas del cráneo. Tienen como función la transformación del haz luminoso en señales bioeléctricas. **Objetivo:** describir los aspectos morfofisiológicos del órgano de la visión. **Método:** se realizó una revisión de la literatura en artículos publicados desde mayo de 2002 hasta agosto de 2020. Se consultaron las bases de datos Scopus, SciELO, Dialnet, EBSCO, PubMed/Medline, usando los términos "Oftalmología", "ojo", "fenómenos fisiológicos celulares", "nervios craneales", para español e inglés. Se seleccionaron 20 referencias. **Desarrollo:** el esbozo del órgano de la visión aparece a los 22 días de la vida embrionaria. El ojo humano en condiciones normales tiene un peso medio de 7,5 gramos. El epitelio corneal es un epitelio pavimentoso estratificado. La región interna de la coroides, la lámina coroidocapilar, está constituida por una vasta red de capilares y alimenta a la retina. El descenso de la concentración de GMPc en el citosol da lugar al cierre de los canales de Na<sup>+</sup> en la membrana plasmática del bastón. LA transformación de la rodopsina produce opsina activada, que facilita la unión del trifosfato de guanosa a la subunidad alfa de la transducina. Los canales de Na<sup>+</sup> de la membrana plasmática se mantienen abiertos cuando los bastones no están activados por la luz. **Conclusiones:** el gen maestro en el desarrollo del órgano de la visión es el PAX 6. La esclerótica presenta en su composición abundantes fibras colágenas tipo I. La coroides se localiza en la pared posterior del globo ocular, está sujeta de manera laxa a la túnica fibrosa y se encuentra muy vascularizada.

#### ABSTRACT

**Introduction:** the eyes are photosensitive organs placed in the bony orbits of the skull. Their function is to transform the light ray into bioelectrical signals. **Aim:** to describe the morphophysiological aspects of the vision organ. **Method:** a literature review was performed on articles published from May 2002 to August 2020. The databases Scopus, SciELO, Dialnet, EBSCO, PubMed/Medline were consulted, using the terms "Ophthalmology", "eye", "cellular physiological phenomena", "cranial nerves", for Spanish and English. A total of 20 references were selected. **Development:** the outline of the vision organ appears at 22 days of embryonic life. The human eye in normal conditions has an average weight of 7.5 grams. The corneal epithelium is a stratified pavement epithelium. The inner region of the choroid, the choroid capillary lamina, consists of a vast network of capillaries and feeds the retina. The decrease in cGMP concentration in the cytosol results in the closure of Na<sup>+</sup> channels in the plasma membrane of the rod. THE rhodopsin transformation produces activated opsin, which facilitates the binding of guanosine triphosphate to the alpha-subunit of transducin. Plasma membrane Na<sup>+</sup> channels remain open when rods are not activated by light. **Conclusions:** the master gene in the development of the vision organ is PAX 6. The sclera has abundant type I collagen fibres in its composition. The choroid is located on the posterior wall of the eyeball, is loosely attached to the fibrous tunic and is highly vascularized.

#### Citación:


Gutiérrez Alarcón BM,  
Alarcón Zamora D,  
Gutiérrez Núñez R.  
Aspectos  
morfofisiológicos del  
órgano de la visión.  
Revodosdic [Internet].  
2021 [citado: fecha  
de acceso];4(2): e207  
[aprox. 10 p.].



#### Correspondencia a:

Beatriz María  
Gutiérrez Alarcón,  
decanatofcmm@info-  
med.sld.cu


#### Revisado por:

José Francisco   
Cancino Mesa  
Universidad de Ciencias  
Médicas de Granma.

Jimmy Javier 

Calás Torres  
Universidad de Ciencias  
Médicas de Granma.

#### Editora correctora:

Ismara Zamora León   
Universidad de Ciencias  
Médicas de Granma.

#### Palabras clave:

Embriología;  
Fenómenos Fisiológicos  
Celulares;  
Nervios Craneales;  
Oftalmología;  
Ojo;  
Rodopsina.

#### Keywords:

Cell  
Physiological  
Phenomena;  
Cranial Nerves;  
Embryology;  
Eye;  
Ophthalmology;  
Rhodopsine.

**Recepción:** 22/04/2021

**Aceptación:** 16/05/2021

**Publicación:** 21/06/2021



## INTRODUCCIÓN

Las informaciones recibidas del medio externo al organismo son constantemente enviadas al sistema nervioso central por medio de los órganos de los sentidos. En la porción inicial de esos órganos existen estructuras especiales, los receptores, cuya función es convertir diferentes formas de energía en alteraciones del potencial de sus membranas. <sup>(1)</sup>

Los ojos son los órganos fotosensibles del cuerpo y están alojados en las órbitas óseas del cráneo. El globo ocular (bulbo del ojo) y sus estructuras asociadas sirven para recibir los rayos luminosos a través de la córnea y otros medios de refracción y enfocarlos sobre su pared posterior, donde está situada la retina con sus bastones y conos fotosensibles. Al estimularse con la luz, se transmite una señal hacia el cerebro para su procesamiento en una compleja imagen visual que percibe el individuo. <sup>(2)</sup>

El ojo se forma a partir de tres orígenes. La retina y el nervio óptico son excrecencias del prosencéfalo y se las puede observar a las cuatro semanas de desarrollo. El cristalino y parte de las estructuras auxiliares existentes en la porción anterior del ojo proceden del ectodermo superficial de la cabeza. Las estructuras vinculadas con el globo ocular y sus túnicas (cubiertas) surgen a partir de los tejidos mesenquimatosos adyacentes. Estas tres capas son la túnica fibrosa externa, la túnica vascular intermedia y la túnica nerviosa interna. <sup>(1,2)</sup>

El objetivo de este trabajo es describir los avances en el conocimiento de los aspectos morfofisiológicos del órgano de la visión.

## MÉTODO

Se realizó una revisión de la literatura en artículos publicados desde mayo de 2002 hasta agosto de 2020. Se consultaron las bases de datos Scopus, SciELO, Dialnet, EBSCO, PubMed/Medline, usando los términos "Oftalmología", "ojo", "fenómenos fisiológicos celulares", "nervios craneales", para español e inglés. Se seleccionaron 20 referencias.

## DESARROLLO

Los ojos son órganos fotosensibles complejos que alcanzaron alto grado de evolución, posibilitando un

análisis minucioso en cuanto a la forma de los objetos, su color y la intensidad de la luz recibida. <sup>(1)</sup>

El esbozo del órgano de la visión aparece a los 22 días de la vida embrionaria, observables como dos surcos con imágenes poco profundas a ambos lados del prosencéfalo. Una vez cerrados los neuroporos, estos surcos se transforman en evaginaciones en el cerebro anterior, denominándose estas nuevas estructuras como vesículas ópticas.

Posteriormente estas estructuras recién formadas al interactuar con el ectodermo superficial y a través del mecanismo morfogénico de la inducción provocan cambios que terminan con la formación de una estructura imprescindible: el cristalino. A posteriori la vesícula óptica logra invaginarse formando una estructura de doble pared denominada cúpula óptica, entre las capas externa e interna de esta estructura recién formada es visible una luz, que separa las mismas y se denomina espacio intraretiniano, de corta evolución ya que estas capas se yuxtaponen posteriormente.

La invaginación que se formó en la cúpula óptica en toda su extensión da lugar a la formación de la fisura coroidea, donde en días ulteriores aparecerá la arteria hialoidea, extendiéndose hasta la cámara interna del ojo.

Los labios de esta fisura coroidea a inicios de la séptima semana se fusionan debido a los mecanismos morfogénicos de crecimiento y de diferenciación celular, en la boca de esta cúpula aparece un orificio redondeado por acción de la apoptosis celular que se transformará en la futura pupila.

Al mismo tiempo que están ocurriendo estos sucesos embriológicos, la celularidad a nivel del ectodermo superficial, que en estadios iniciales interactuaron con la vesícula óptica a través de un crecimiento celular diferenciado, comienzan a alargarse y originan la placoda del cristalino; ella se invagina y se convierte en días siguientes en la vesícula del cristalino, dejando de estar en contacto con el ectodermo superficial y situándose en la boca de la cúpula óptica.

El PAX 6 es un gen maestro para el desarrollo del ojo. Se trata de un miembro de la familia del Factor de Transcripción PAX (boxe apareado) y contiene dos



motivos de unión al DNA que incluye un dominio pareado y un homeodominio de tipo pareado. Al comienzo, antes de que se inicie la neurulación, este gen produce un factor de transcripción que se expresa en una banda ubicada en el reborde neural anterior de la placa neural. En este período hay un solo campo ocular que más tarde se separa en dos primordios ópticos. La señal para la separación de este campo es sonic hedgehog (SHH) expresado en la lámina precordial. La expresión de SHH regula en más a PAX2 en el centro del campo ocular y regula en menos a PAX6. Posteriormente este patrón se mantiene de tal manera que PAX2 se expresa en los pedículos ópticos y PAX610 hace en la cúpula óptica y en el ectodermo superficial suprayacente que forma el cristalino. Una vez que ocurre la inducción del cristalino, la proteína morfogenética del hueso 7 (BMP7), miembro de la familia del gen del factor de crecimiento TGF-beta, es necesaria para mantener el desarrollo del ojo. <sup>(3, 4, 5)</sup>

El ojo humano es un órgano en forma de esfera, que en condiciones normales tiene un peso medio de 7.5 g y un diámetro antero-posterior de 24 mm; el mismo está envuelto por tres capas: capa externa, capa media o úvea y capa interna o retina. <sup>(6, 2)</sup>

1. La capa externa está constituida por:

Córnea: situada anteriormente, se caracteriza por ser transparente y presentar una curvatura regular, lo que la convierte en una lente convergente. Actúa también como capa protectora del polo anterior del ojo ante traumatismos. <sup>(6, 7)</sup>

La misma está integrada por cinco capas:

El epitelio corneal, un epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado, es la continuación de la conjuntiva. Sus capas superficiales presentan zonas de oclusión, mientras que las células de la capa más profunda se interdigitan y están unidas entre sí mediante desmosomas. Las fibras del dolor atraviesan la cara basal del epitelio corneal y se arborizan cerca de su superficie. Las células epiteliales de la periferia de la córnea poseen actividad mitótica, y las recién formadas tardan una semana en descamarse. El agua y los iones del estroma subyacente penetran en la córnea y llegan al saco conjuntival.

La membrana de Bowman, una capa fibrosa, está

compuesta por colágeno de tipo I que separa el epitelio del estroma subyacente.

El estroma, también transparente, es la capa más gruesa de la córnea. Contiene de 200 a 250 laminillas con haces de colágeno de tipo I según una disposición regular, donde las fibras de colágeno en cada una son paralelas entre sí pero no con respecto a las de la laminilla más superficial o más profunda. Estas fibras de colágeno, junto a las fibras elásticas y los fibroblastos asociados, se encuentran sumergidos en una sustancia fundamental, gelatinosa, constituida por un complejo metacromático que contiene glicoproteínas, cargada de sulfato de condroitina y sulfato de queratano. Se observa también, con frecuencia, leucocitos, principalmente linfocitos, migrando en el estroma corneal, que es avascular. <sup>(1, 2)</sup>

La membrana de Descemet, una membrana basal gruesa y muy desarrollada que divide el estroma del endotelio corneal, gana espesor y se vuelve más fibrosa con la edad. Presenta una estructura con 5 a 10  $\mu\text{m}$  de espesor, constituida por fibrillas colágenas organizadas como una red tridimensional. <sup>(8)</sup>

El endotelio corneal, un epitelio pavimentoso simple que reviste la cara profunda de la córnea, elabora la membrana de Descemet. Así mismo, este endotelio lleva a cabo el transporte activo de iones de sodio (a los que siguen de manera pasiva los iones de cloruro y el agua) desde el estroma hacia la cámara anterior. <sup>(1, 2)</sup>

El epitelio corneal anterior es estratificado pavimentado no queratinizado, constituido por cinco a seis capas celulares. Este epitelio contiene numerosas terminaciones nerviosas libres, lo que explica la gran sensibilidad de la córnea. Habitualmente son observadas imágenes de mitosis en la capa basal del epitelio, que es dotada de una elevada capacidad de regeneración. En 7 días todas las células del epitelio anterior de la córnea son renovadas. Las células más superficiales de ese epitelio presentan microvellosidades sumergidas en un fluido protector que contienen lípidos y glicoproteínas. <sup>(1, 2)</sup>

b. Esclerótica: siguiendo el recorrido detrás de la córnea se puede observar con un engrosamiento denominado limbo corneal; posterior a él es visible la esclera, en esta estructura se pueden identificar tres subcapas:

Episclera: esta es ricamente vascularizada y es

identificada como la más superficial.

**Estroma escleral:** esta capa está formada por fibras puramente elásticas, de ahí su función protectora fundamentalmente.

**Lámina fusca:** ubicada posteriormente, caracterizada por ser una capa fibrosa donde se observan múltiples perforaciones apoptóticas (muerte celular genéticamente programada) lo que posibilita el paso de los vasos retinianos además de las terminaciones nerviosas ópticas.

La esclerótica, reconocida anatómicamente como una estructura blanquecina opaca a nivel del globo ocular está formada por abundantes fibras colágenas tipo I que se entremezclan con abundantes fibras elásticas; esta estructura constituye una robusta capa fibrosa que permite cierta resistencia a la presión ejercida sobre ella por el humor acuoso y vítreo.

Los músculos extrínsecos del ojo se insertan en sus superficies superior, inferior, lateral y medial. La superficie externa de la esclera está envuelta por una capa de tejido conectivo denso denominada cápsula de Tenon, esta se encuentra fijada por un sistema denso de fibras colágenas finas que transcurren a lo largo de un espacio conocido por espacio de Tenon. En la esclerótica en su cara profunda es visible una población de melanocitos donde, por apoptosis celular, ocurren perforaciones y es notorio el nervio óptico. <sup>(1)</sup>

**Capa media o úvea:** proporciona vasos nutricios al ojo, esta túnica media (vascular) es constituida por tres regiones que, vistas de la parte anterior para la posterior, son: iris, el cuerpo ciliar y la coroide. <sup>(2)</sup>

a. **Iris:** situado anteriormente, actúa como diafragma que regula la cantidad de luz, que penetra a través de la pupila. Es una prolongación de la coroide que cubre parte del cristalino. El iris tiene un orificio circular central, la pupila. Su superficie anterior es irregular, presentando hendiduras y elevaciones, al contrario de la superficie posterior, que es lisa.

En él se distingue:

**Zona anterior:** separada de la córnea por la cámara anterior y a cuya pigmentación se debe el color de los ojos.

**Zona media:** formada por el estroma donde se encuentran fibras musculares que dilatan (sistema nervioso simpático) y contraen (sistema nervioso parasimpático) la pupila, así como fibroblastos, melanocitos y vasos sanguíneos. <sup>(9)</sup>

**Zona posterior:** es una zona epitelial, negra, se sitúa anterior al cristalino. <sup>(1)</sup>

La zona o cara anterior del iris está revestida por epitelio pavimentado simple, continuación del endotelio de la córnea. Se continúa con un tejido conjuntivo poco vascularizado, con pocas fibras y gran cantidad de fibroblastos y células pigmentarias, seguido, a su vez, de una capa rica en vasos sanguíneos, inmersos en un tejido conjuntivo denso. El iris está cubierto, en su superficie posterior, por la misma capa epitelial doble que recubre el cuerpo ciliar y sus procesos. En esa región, la capa con melanina es más rica en este pigmento. La abundancia de células con melanina en varias porciones del ojo tiene como función principal impedir la entrada de rayos luminosos, excepto los que van formar la imagen en la retina (el globo ocular es una cámara oscura).

Los melanocitos del iris influyen en el color de los ojos, en la realidad en el color del iris. Cuando la persona tiene pocas células pigmentarias en el iris, la luz reflejada nos parece como azul, debido a la absorción de su componente rojo durante el trayecto iridiano. A medida que mayores cantidades de melanina se acumulan en el trayecto, el color del iris va pasando a gris, a verde y a castaño. En albinos no hay melanina, y el color rosado es debido al reflejo de la luz por los vasos sanguíneos del iris, que presenta, en su espesura, ejes de fibras musculares lisas que se originan del músculo ciliar y prosiguen en dirección radial para los bordes de la pupila. Un poco antes de alcanzar la pupila, esos ejes se bifurcan, formando una Y de asta alargada. Los ramos de esa bifurcación se entrelazan, y forman un anillo muscular con fibras circulares, al cual se dio el nombre de esfínter de la pupila. Las astas alargadas de la Y forman el músculo dilatador de la pupila, que tiene una acción opuesta a la del esfínter. <sup>(1,2)</sup>

b. **Cuerpo ciliar:** esta estructura se continua en forma de una protrusión que anatómicamente se continua con el iris por delante y con la coroide y la retina por detrás, limitada externamente con la esclerótica y con

el vítreo internamente.

El cuerpo ciliar en su zona externa aparece el músculo ciliar, el cual durante su contracción provoca relajación del ligamento suspensorio del cristalino, provocando además abombamiento del mismo, a esto se le conoce fisiológicamente como el proceso de acomodación del ojo. <sup>(4)</sup> Se denomina epitelio ciliar a esta capa externa desprovista de pigmentos, donde al microscopio electrónico es visible nivel de la porción basal de la membrana celular una invaginación intensa. La disposición de esta estructura es propia de los epitelios que transportan iones además de agua. <sup>(1)</sup>

El músculo ciliar (tres fascículos de músculo liso) está situado en el cuerpo ciliar. Debido a las contracciones de uno de los fascículos contribuyen a abrir el canal de Schlemm. Al contraerse los dos fascículos restantes, liberan la tensión de los ligamentos suspensorios del cristalino, haciendo que aumente la convexidad y el grosor del cristalino, lo que le permite enfocar los elementos que estén cerca, proceso denominado acomodación. La relajación de los músculos ciliares tensa el cristalino, lo que se traduce en su aplanamiento; en estas condiciones, el enfoque más agudo cae sobre los objetos alejados. <sup>(1, 2, 10 - 12)</sup>

El humor acuoso es producido en los procesos ciliares con la participación del epitelio ciliar. Ese humor fluye para la cámara posterior del ojo en dirección al cristalino, pasa entre el cristalino y el iris y llega a la cámara anterior, donde la dirección de su flujo cambia 180°, dirigiéndose al ángulo formado por el iris con la zona de transición esclerocorneal o limbo. <sup>(1)</sup>

c. Coroides: se extiende hacia el polo posterior entre la esclerótica y la retina, en su interior se encuentran numerosos vasos sanguíneos que nutren la retina. <sup>(6, 9)</sup>

La coroides, es la capa pigmentada y muy vascularizada de la pared posterior del globo ocular, está sujeta de manera laxa a la túnica fibrosa. Se compone de tejido conjuntivo laxo que alberga abundantes fibroblastos, múltiples vasos sanguíneos y numerosos melanocitos que le otorgan su típico color negro. La región interna de la coroides, la lámina coroidocapilar, tiene una cantidad especial de capilares y alimenta a la retina, de la que se encuentra separada por la membrana de Bruch, cuyo núcleo de fibras elásticas está recubierto

de fibras de colágeno por ambos lados. <sup>(1, 13)</sup>

La porción coroidea de la túnica vascular continúa hacia delante con el iris, que queda entre las cámaras anterior y posterior del ojo y cubre todo el cristalino excepto a nivel de la pupila. <sup>(1, 2, 13-15)</sup>

Capa interna o retina: la retina es una estructura derivada del neuroectodermo <sup>(3, 6)</sup> especializada en recoger, elaborar y transmitir los estímulos visuales. Situada entre la coroides y el vítreo, es posible visualizarla en el fondo de ojo como una zona de aspecto transparente y rojizo. En ella se distinguen funcionalmente diez capas (las mismas serán descritas más adelante), la más externa está formada por células pigmentarias y contacta con la coroides; las capas más internas están formadas por elementos neuronales, fotorreceptores, células ganglionares y bipolares, además de células de la glia. <sup>(2, 16, 17)</sup>

A nivel de la retina se observan dos áreas especiales muy diferenciadas: la papila y la mácula. Esta última es una estructura anatómica de forma ovalada que se localiza a nivel del polo posterior y que se proyecta en dirección temporal que se sitúa por debajo de la papila. Es la mácula la estructura ocular que le proporciona a este órgano la zona de mayor agudeza visual, conocida además como fóvea.

Varios autores denominan a la papila como disco óptico o mancha ciega. Ella es de color blanco amarillento y de forma circular, en su interior es visible la arteria y la vena central de la retina. El nombre de mancha ciega es debido a la ausencia de fotorreceptores, de ella salen abundantes fibras ópticas, singular importancia para el conocimiento de su forma, situación y su estrecha relación con la aparición de enfermedades oculares y sistémicas de existir alteraciones en esta estructura. <sup>(6)</sup>

Cristalino.

El cristalino es una lente biconvexa de  $\pm 20$  dioptrías, <sup>(6)</sup> que presenta gran elasticidad, <sup>(2)</sup> que se sitúa por delante del humor vítreo y por detrás del iris, hallándose unida a los procesos ciliares por la zónula de Zinn. Como se comentó anteriormente tiene un papel fundamental en la acomodación del ojo, al modificar su convexidad, mediante la acción del músculo ciliar. Esta lente no dispone de riego sanguíneo propio, siendo el humor acuoso el encargado de proporcionarle los elementos

necesarios para su metabolismo y la capacidad de eliminar sus productos de desechos. <sup>(6)</sup>

El cristalino es mantenido en posición por un sistema de fibras orientadas radialmente, llamada zónula ciliar. Las fibras de la zónula se insertan de un lado en la cápsula del cristalino y del otro en el cuerpo ciliar. Este sistema de fibras es importante en el proceso de acomodación, que posibilita focalizar objetos próximos y distantes, y que ocurre por cambios en la curvatura del cristalino, gracias a la acción de los músculos ciliares transmitida por la zónula ciliar al cristalino.

Así, cuando el ojo está en reposo o focalizando objetos distantes, el cristalino es mantenido traccionado por la zónula ciliar. Sin embargo, si se focaliza un objeto próximo, el músculo ciliar se contrae, promoviendo un desprendimiento de la coroide y del cuerpo ciliar en la dirección de la región anterior del ojo. La tensión ejercida por la zónula es relajada, y el cristalino se vuelve más espeso, colocando el objeto enfocado. <sup>(2)</sup>

En esta estructura se observan tres partes:

La cápsula del cristalino representa una lámina basal transparente que, <sup>(1)</sup> que se presenta como un revestimiento acelular homogéneo, hialino y con más espesor en la cara anterior del cristalino. <sup>(2)</sup> La cápsula envuelve a todo el cristalino y es más gruesa por su parte anterior. <sup>(1)</sup> Es una formación muy elástica, <sup>(2)</sup> constituida principalmente por colágeno tipo IV <sup>(1, 2)</sup> y glicoproteínas. <sup>(2)</sup>

El epitelio subcapsular se halla en la inmediata profundidad de la cápsula y solo en sus porciones anterior y lateral, <sup>(1)</sup> y está compuesto de una única capa de células epiteliales cúbicas conectadas por uniones gap <sup>(1)</sup> y localizadas solo en la porción anterior del cristalino. <sup>(2)</sup> Los vértices de las células van dirigidos hacia las fibras del cristalino y se interdigitan con ellas. <sup>(1, 2)</sup>

Las fibras del cristalino, unas 200 células que se presentan bajo la forma de elementos prismáticos finos y largos, se originan en el epitelio subcapsular y adquieren una gran especialización al perder sus núcleos y orgánulos y convertirse en células hexagonales largas (de 7 a 10  $\mu\text{m}$ ), proceso que continúa toda la vida. Estas células se llenan de unas proteínas

del cristalino llamadas cristalinas, que aumentan su índice de refracción. <sup>(1, 2)</sup>

Cuerpo vítreo.

La estructura semigelatinosa y transparente que llena la concavidad posterior tras el cristalino recibe el nombre de cuerpo vítreo. Tiene aspecto de gel claro, transparente, con raras fibrillas de colágeno. <sup>(2)</sup> Está constituido en un 99 % por agua <sup>(1, 2)</sup> que lleva una pequeña cantidad de electrolitos, unas cuantas fibras de colágeno y ácido hialurónico, <sup>(1)</sup> además de glicosaminoglicanos altamente hidrófilos. <sup>(2)</sup> El cuerpo vítreo se adhiere a la retina sobre todo en la ora serrata (el borde anterior de la retina fotosensible). Unas células pequeñas, denominadas hialocitos, que se piensa que sintetizan colágeno y ácido hialurónico, están localizadas en la periferia del cuerpo vítreo. Un pequeño conducto, el conducto hialoideo, situado en la línea media del cuerpo vítreo, se extiende desde la cara posterior del cristalino hasta el disco óptico; alberga la arteria hialoidea en el feto, pero en el adulto se encuentra ocupado por líquido. <sup>(1, 2, 6, 17)</sup>

Retina (túnica nerviosa)

La túnica más interna del ojo, la retina es la porción nerviosa que contiene los conos y bastones, las células fotorreceptoras especializadas. Esta se origina de una evaginación del diencéfalo que, a medida que evoluciona, se profundiza en el centro, formando una estructura de paredes dobles, el cáliz óptico. <sup>(2, 3)</sup> La pared más externa da origen a una delgada capa constituida por epitelio cúbico simple, con células cargadas de pigmento, el epitelio pigmentario de la retina. <sup>(2)</sup>

El tallo óptico se transforma en el nervio óptico (NC II). La capa pigmentada de la retina cubre la superficie interna del globo, contando el cuerpo ciliar y la pared posterior del iris; sin embargo, la retina propiamente dicha acaba en la ora serrata.

El disco óptico de la pared posterior representa el punto de salida del nervio óptico, y como carece de bastones y de conos, se le considera la mancha ciega de la retina. <sup>(1, 2)</sup>

La fovea es una pequeña región situada en el eje óptico de la retina, donde la visión tiene mayor nitidez. La fovea

se presenta como una depresión, siendo el espesor de la retina, en su porción central, considerablemente disminuida debido a un distanciamiento de las células bipolares y ganglionares para la periferia, quedando el centro de la fóvea constituido apenas por los conos. La luz que no es absorbida por los conos y bastones es absorbida por el pigmento del epitelio y por la coroides. La fóvea solo tiene conos y bastones (en la parte central, apenas conos) y el punto ciego no tiene receptores. Además de eso, se observan otras variaciones histológicas de significado fisiológico evidente, como, por ejemplo, la densidad de las células ganglionares. <sup>(2)</sup>

Capas de la retina.

El epitelio pigmentario está compuesto por células cúbicas o cilíndricas, derivadas de la capa externa de la cúpula óptica, y se encuentra unido a la membrana de Bruch, aquí, las mitocondrias son numerosas, lo que indica un transporte activo. La cara apical de estas células está llena de gránulos de melanina, lo que favorece una mayor agudeza visual. <sup>(18)</sup>

El epitelio pigmentado sirve para: evitar los reflejos de luz al absorberla tras haber activado los bastones y los conos; fagocitar la punta agotada de los bastones y los conos; esterificar la vitamina A.

En la capa de bastones y conos de la retina hay dos tipos distintos de células fotorreceptoras. El número de bastones asciende a unos 100 a 120 millones, y el de conos a unos 6 millones. Las porciones apicales de estas células polarizadas y muy especializadas, llamadas segmentos externos, se interdigitan con las regiones apicales de las células de la capa pigmentada. Las caras basales de los bastones y los conos establecen sinapsis con las células de la capa bipolar de la retina. Los bastones están especializados en percibir objetos con poca luz, mientras que los conos lo están en percibirlos a plena luz y en diferenciar los colores. <sup>(18)</sup>

En la fotorrecepción sucede lo siguiente:

La rodopsina (opsina ligada a cis retinal) absorbe la luz en el bastón.

La absorción de la luz convierte el retinal en todo-trans

retinal, que se disocia de la opsina.

Su descoloración produce opsina activada, que facilita la unión del trifosfato de guanosa a la subunidad alfa de la transducina, una proteína G trimérica que cataliza la degradación del 3',5'-monofosfato de guanosa cíclico (GMPc).

El descenso de la concentración de GMPc en el citosol da lugar al cierre de los canales de Na<sup>+</sup> en la membrana plasmática del bastón

La hiperpolarización del bastón conduce a una inhibición de la salida de neurotransmisores en la sinapsis con las células bipolares.

En la próxima fase de oscuridad, se regenera la cantidad de GMPc, vuelven a abrirse los canales de Na<sup>+</sup> y se reanuda el paso de este ión.

El todo-trans retinal sobrante se difunde y transporta al epitelio pigmentario de la retina a través de las proteínas fijadoras de retinal. Esta molécula se recicla a su forma 11-cis retinal.

Por último, el cis retinal vuelve al bastón y se une de nuevo a la opsina, originando rodopsina.

Los canales de Na<sup>+</sup> de la membrana plasmática se mantienen abiertos cuando los bastones no están activados por la luz. Durante la fase de oscuridad, los iones de sodio se bombean desde el segmento interno hacia el externo, lo que desencadena la liberación de la sustancia neurotransmisora a las sinapsis con las células bipolares. La señal no surge más que con la hiperpolarización ocasionada por la luz, y se transmite a través de las capas celulares hasta las células ganglionares, donde dispara un potencial de acción a lo largo de los axones en su trayecto hacia el encéfalo.

Los conos, células alargadas que miden unos 60  $\mu\text{m}$  de largo x 1,5  $\mu\text{m}$  de diámetro funcionan de manera similar a los bastones excepto que rinden mucho más con la luz fuerte que en la oscuridad, y contienen el fotopigmento yodopsina, del que existen tres variedades diferentes. Cada una posee distintas regiones de la opsina, y una sensibilidad máxima frente a alguno de los tres colores del espectro: rojo, verde y azul.



La membrana limitante externa no es una membrana; en cambio, es la región de las zonas de adhesión creadas entre las células de Müller y las células fotorreceptoras. La capa nuclear externa es una región ocupada por los núcleos de los bastones y los conos.

La capa plexiforme externa consta de sinapsis entre los axones de las células fotorreceptoras y dendritas de las células bipolares y horizontales. Hay dos tipos de sinapsis: sinapsis planas y sinapsis invaginadas.

La capa nuclear interna alberga las regiones nucleares de cuatro tipos de células:

Cada neurona bipolar puede recibir señales desde docenas de bastones que ofrecen la posibilidad de sumar sus datos, lo que permite potenciar la información correspondiente a una intensidad lumínica baja.

Las células horizontales controlan y modulan las relaciones sinápticas entre las células fotorreceptoras y las células bipolares.

Las dendritas de las células amacrinas mantienen un íntimo contacto con las sinapsis entre las células ganglionares y las células bipolares, y transmiten su información a las células interplexiformes, que influyen sobre la actividad de las células horizontales y bipolares.

Las células de Müller se extienden entre el cuerpo vítreo y el segmento interno de los bastones y los conos, donde crean zonas de adhesión con las células fotorreceptoras en la membrana limitante externa.

La capa plexiforme interna es una región compleja donde los axones y las dendritas de las células bipolares, ganglionares y amacrinas se mezclan y conectan entre sí, formando sinapsis planas e invaginadas.

La capa de fibras del nervio óptico es la región de la retina donde los axones mielínicos de las células ganglionares se combinan para originar fibras nerviosas. Cuando estos axones perforan la esclerótica, se vuelven mielínicos. La membrana limitante interna es la capa más interna de la retina y está integrada por la lámina basal de las células de Müller. Los anejos oculares son la conjuntiva, los párpados y el aparato lagrimal.

La conjuntiva es una mucosa transparente que está compuesta por un epitelio cilíndrico estratificado con células caliciformes sobre un tejido conjuntivo laxo.<sup>(1)</sup> Reviste la parte anterior de la esclerótica<sup>(2)</sup> y la superficie interna de los párpados como conjuntiva palpebral, y se refleja sobre la esclerótica de la superficie anterior del globo ocular como conjuntiva ocular.<sup>(1)</sup> El epitelio de la conjuntiva es estratificado prismático y su lámina propia es de tejido conjuntivo denso.<sup>(2)</sup>

Los párpados son repliegues cutáneos (modificados)<sup>(6)</sup> de piel fina que cierran la superficie anterior del ojo,<sup>(1)</sup> que protegen al globo ocular frente a los agentes externos.<sup>(6)</sup> Sus bordes contienen las pestañas, que están dispuestas en filas de tres o cuatro, y carecen del músculo erector del pelo. Las glándulas de Moll, glándulas sudoríparas modificadas, desembocan en los folículos de las pestañas. Las glándulas de Meibomio, glándulas sebáceas modificadas, están en el interior de las láminas tarsales. Estas últimas son unas cubiertas de tejido conjuntivo engrosado que sustentan cada párpado, y las glándulas de Meibomio producen una secreción aceitosa que se mezcla con las lágrimas y retrasa su evaporación.<sup>(1, 19)</sup>

El aparato lagrimal está integrado por las glándulas lagrimales, los conductillos lagrimales, el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal.

La glándula lagrimal es una glándula serosa tubuloalveolar compuesta,<sup>(1, 2)</sup> localizadas en el borde superoexterno de la órbita,<sup>(2)</sup> cuyos acinos de secreción están rodeados de células mioepiteliales. La glándula está localizada fuera del saco conjuntival; sin embargo, el líquido segregado (lágrimas) se vuelca en este a través de 6-12 conductos secretores,<sup>(1)</sup> que desembocan en el fondo del saco superior formado por la confluencia de la conjuntiva que reviste al ojo y luego cubre posteriormente al párpado.<sup>(2)</sup> Las lágrimas, formadas principalmente por agua con lisozima, una sustancia antibacteriana, recorren los conductos secretores hacia el saco conjuntival. Cuando baja el párpado superior, barre las lágrimas en sentido medial para introducirlas en el punto lagrimal, una pequeña abertura cerca de los bordes mediales de los párpados superior e inferior.<sup>(1, 6, 20)</sup>

La secreción lagrimal, continuamente producida por



esas glándulas, se dirige para las carúnculas lagrimales, que son elevaciones situadas en el canto interno de los ojos. En esa región, penetra en un sistema de conductos lagrimales, revestidos por epitelio pavimentado estratificado no queratinizado, que desembocan en el meato nasal inferior. (2, 20)

## CONCLUSIONES

El PAX 6 es un gen maestro en el desarrollo del órgano de la visión. La esclerótica está formada por abundantes fibras colágenas tipo I. La coroides, es la capa pigmentada y muy vascularizada de la pared posterior del globo ocular, está sujeta de manera laxa a la túnica fibrosa. El resto de las estructuras del órgano de la visión contribuyen en su conjunto a lograr una correcta transformación del haz luminoso en señales bioeléctricas.

## CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores no declaran conflictos de intereses.

## FINANCIACIÓN

No se recibió financiación para la realización de esta in-

vestigación.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

**Conceptualización:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón.

**Curación de datos:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón, Rafael Gutiérrez Núñez.

**Análisis formal:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón;

**Investigación:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón, Dielvis Alarcón Zamora, Rafael Gutiérrez Núñez.

**Metodología:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón, Dielvis Alarcón Zamora, Rafael Gutiérrez Núñez.

**Administración de proyecto:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón.

**Supervisión:** Rafael Gutiérrez Núñez.

**Validación:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón, Dielvis Alarcón Zamora, Rafael Gutiérrez Núñez.

**Visualización:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón, Dielvis Alarcón Zamora, Rafael Gutiérrez Núñez.

**Redacción - borrador original:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón, Dielvis Alarcón Zamora, Rafael Gutiérrez Núñez.

**Redacción - revisión y edición:** Beatriz María Gutiérrez Alarcón, Dielvis Alarcón Zamora, Rafael Gutiérrez Núñez.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Junqueira Uchoa Luiz Carlos, Carneiro José. Histología básica Texto y Atlas. 12. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2013.
2. P. Gartner Leslie, L. Hiatt James. Histología Básica. 1. Ed. Elsevier: España; 2011
3. Sadler T.W. Langman. Embriología Médica.13. Ed. Wolters Kluwer: Estados Unidos; 2016.
4. Gao Y, Zhang X, Zhang X, Yuan J, Xiang J, & Li F. CRISPR/Cas9-mediated mutation reveals Pax6 is essential for development of the compound eye in Decapoda Exopalaemon carinicauda. *Developmental Biology*. [Internet]. 2020 [citado 18 Jun 2021]; 465(2):157-167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2020.07.001>
5. Bosze Bernadett, Suarez Navarro J, Soofi Abdul D, Lauderdale James R, Dressler Gregory L, Brown Nadean. Multiple roles for Pax2 in the embryonic mouse eye. *Developmental Biology* [Internet]. 2020 [citado 18 Jun 2021]; 472(Apr2021): 18-29. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2020.12.020>
6. Ingram NT, Sampath AP, Fain GL. Why are rods more sensitive than cones? *J Physiol*. [Internet] 2016 [citado 18 Jun 2021]; 594(19):5415-26. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/27218707>
7. Castillo Pérez AC, Pérez Parra Z, Noriega Martínez J, Jareño Ochoa M, Benítez Merino MC, García Martínez J. Características de la córnea donante mediante microscopía endotelial. *Rev Cubana Oftalmol* [Internet]. 2020 [citado 2021 Jun 20] ; 33(1): e831. Disponible en: <http://www.revofthalmologia.sld.cu/index.php/oftalmologia/article/view/831>



8. Carlos de Oliveira, R., & Wilson, S. E. Descemet's membrane development, structure, function and regeneration. *Experimental Eye Research* [Internet]. 2020 [citado 18 Jun 2021]; 197(Agosto2020): 108090. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.108090>
9. Solís Alfonso Lesly, Mata Ramírez Milagros. EcoDoppler orbitario y valores de referencia del flujo sanguíneo arterial en una población cubana. *Rev Cubana Oftalmol* [Internet]. 2018 [citado 2021 Jun 20] ; 31(3): e678. Disponible en: <http://www.revofthalmologia.sld.cu/index.php/oftalmologia/article/view/678>
10. Morshedean Ala, L Fain Gordon. The evolution of rod photoreceptors. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* [Internet]. 2017 [citado 18 Jun 2021]; 372(1717):1-8. Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2016.0074>
11. Williams DL. Light and the evolution of vision. *Eye* [Internet]. 2016 [citado 18 Jun 2021]; 30(2):173-8. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1038/eye.2015.220>
12. Niven JE, Laughlin SB. Energy limitation as a selective pressure on the evolution of sensory systems. *J Exp Biol* [Internet]. 2008 [citado 18 Jun 2021]; 211(11):1792-804. Disponible en: <https://journals.biologists.com/jeb/article/211/11/1792/9506/Energy-limitation-as-a-selective-pressure-on-the>
13. Ruiz Medrano J, Flores Moreno I, Gutierrez Bonet R, Chhablani J, & Ruiz Moreno JM. Actualización en técnicas de imagen coroidea: pasado, presente y futuro. *Archivos de La Sociedad Española de Oftalmología* [Internet]. 2017 [citado 2021 Jun 20]; 92(3), 128-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.oftal.2016.10.010>
14. Land Michael F. The evolution of lenses. *Ophthalmic Physiol Opt.* [Internet]. 2012 [citado 18 Jun 2021]; 32(6):449-60. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2012.00941.x>
15. Ohuchi Hideyo. Molecular aspects of eye evolution and development: From the origin of retinal cells to the future of regenerative medicine. *Acta Med Okayama.* [Internet]. 2013 [citado 18 Jun 2021]; 67(4):203-12. Disponible en: <https://doi.org/10.18926/amo/51064>
16. Gehring Walter J. The evolution of vision. *Wiley Interdiscip Rev Dev Biol.* [Internet]. 2014 [citado 18 Jun 2021]; 3(1):1- 40. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/wdev.96>
17. Rojas Juárez S. *Retina y Vítreo*. 2. Ed. Manual Moderno: España; 2014.
18. Stephen J. R, Srinivas R. Sadd. *Retina*. 5. Ed. Elsevier: Reino Unido. 2013.
19. Garza Leon M, Ramos-Betancourt N, Beltrán-Díaz de la Vega F, & Hernández-Quintela E. Meibografía. Nueva tecnología para la evaluación de las glándulas de Meibomio. *Revista Mexicana de Oftalmología* [Internet]. 2017 [citado 2021 Jun 20] ; 91(4), 165-171. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mexoft.2016.04.007>
20. Muñoz Hernández AM, Galbis Estrada C, Santos Bueso E, Cuiña Sardiña R, Díaz Valle D, Gegúndez-Fernández JA, Benítez del Castillo JM. Metabólica de la lágrima. *Archivos de La Sociedad Española de Oftalmología* [Internet]. 2016 [citado 2021 Jun 20]; 91(4), 157-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.oftal.2015.09.010>