

Chapter 1

El ojo

Al ojo, se le considera como el órgano de la visión en los seres humanos y en los animales. Los ojos de las diferentes especies varían desde las estructuras simples, capaces de diferenciar sólo entre la luz y la oscuridad, hasta los órganos complejos que presentan los seres humanos y otros mamíferos, que pueden distinguir variaciones muy pequeñas de forma, color, luminosidad y distancia. En realidad, el órgano que efectúa el proceso de la visión es el cerebro; la función del ojo es traducir las vibraciones electromagnéticas de la luz en un determinado tipo de impulsos nerviosos que se transmiten al cerebro a través del nervio óptico.

1.1 Anatomía comparada

En los animales, los ojos más simples se encuentran en los celentéreos y ctenóforos, que comprenden los pólipos, las medusas y algunos animales primitivos similares. Sus ojos se llaman ocelos y consisten en grupos de células pigmentadas asociadas con células sensoriales. Estos grupos celulares suelen cubrirse con una capa de cutícula densa, que forma una especie de lente. Ojos parecidos, aunque con una estructura algo más compleja, se encuentran en los gusanos, insectos y moluscos.

En el reino Animal existen dos tipos de ojos según la imagen que forman: ojos simples y compuestos. Los ojos simples son similares al ojo humano, aunque los detalles estructurales varían en los diferentes grupos. Las es-

pecies menos evolucionadas que han desarrollado este tipo de ojo son algunos peces cartilaginosos de gran tamaño. Los ojos compuestos, limitados a los artrópodos, constan de una lente con varias facetas o divisiones, cada una de las cuales forma una imagen individual en una célula de la retina; el resultado es la creación de un campo visual como un mosaico. En algunos artrópodos, la estructura del ojo es más sofisticada y origina una imagen combinada.

Los ojos de otros vertebrados son muy parecidos a los de los seres humanos, aunque pueden existir importantes modificaciones. Los de los animales nocturnos (como gatos, búhos o murciélagos) están provistos sólo de células con forma de bastones que son más sensibles y numerosas que en la especie humana. Los ojos de los delfines tienen siete mil veces más bastones que los humanos, por lo que pueden ver en la profundidad del mar. Los de la mayoría de los peces tienen una córnea plana y una lente globular y, por tanto, están adaptados para ver objetos cercanos. Sin embargo, los ojos de las aves se han alargado de adelante hacia atrás, permitiendo que se formen en su retina imágenes más grandes de los objetos distantes.

1.2 El ojo humano

El ojo en su conjunto, llamado globo ocular, es una estructura esférica de aproximadamente 2,5 cm de diámetro con un marcado abombamiento sobre su superficie delantera. fig:ojo1 El globo ocular se compone de tres capas y tres cámaras.

La parte exterior, o la cubierta, se compone de tres capas de tejido que son: La Esclerótica (También llamada esclerocórnea), la úvea y la retina.

Esclerocórnea es la capa mas exterior, y se compone de la esclera y la córnea. La esclera es la parte fibrosa que forma la parte blanca del ojo, y tiene una función de protección. En su zona exterior está recubierta por una mucosa transparente llamada conjuntiva, cuya irritación da lugar a las conocidas y frecuentes conjuntivitis. La córnea, es la parte transparente de la capa externa, es la "ventana óptica" del ojo, y su función es, lógicamente óptica (permite el paso de la luz).

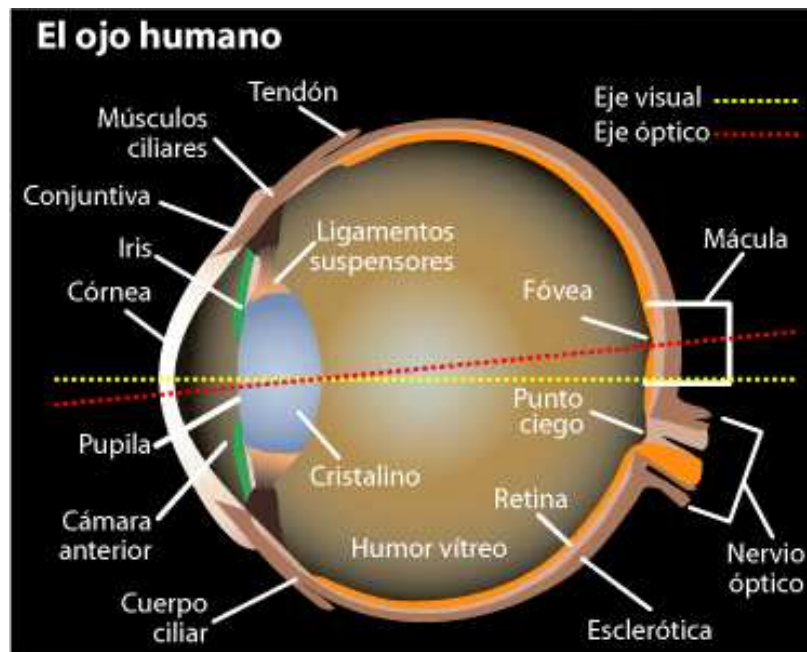


Figure 1.1: Partes fundamentales del ojo humano. En esta figura se muestran la mayoría de los músculos, y componentes del ojo humano.

Úvea la capa media o úvea tiene a su vez tres partes diferenciadas: coroides que está en la parte posterior, cuerpo ciliar en la zona media y retina. La úvea es la capa media, tiene una función: el cuerpo ciliar, formado por los procesos ciliares.

La Úvea es la capa media, y tiene tres partes: *la coroides* que está en la parte posterior, y tiene una función tanto nutritiva como de pantalla pigmentaria (para evitar que entre luz en el ojo por donde "no debe"). *El cuerpo ciliar* en la zona media, formado por los procesos ciliares (encargados de la secreción del líquido que rellena la cámara anterior y que se llama humor acuoso) y el músculo ciliar, encargado de variar la curvatura del cristalino para poder enfocar a distintas distancias. La tercera parte es *el iris*, que está en la zona anterior (es la parte coloreada del ojo) y cuya función es regular la cantidad de luz que entra en el interior del ojo, para lo cual varía su tamaño según la intensidad de luz.

Coroides: La coroides es una capa muy vascularizada, reviste las tres quintas partes posteriores del globo ocular. Es una membrana delgada, aterciopelada, con células de pigmento negro que se encuentra en contacto con la esclerótica. Su función tanto nutritiva como de pantalla pigmentaria (para evitar que entre luz en el ojo por donde "no debe"), es evitar la degradación por la luz extraviada o reflejos internos de la imagen formada.

Cuerpo ciliar: El cuerpo ciliar, está formado por los procesos ciliares, (encargados de la secreción del líquido que rellena la cámara anterior y que se llama humor acuoso) y el músculo ciliar, encargado de variar la curvatura del cristalino para poder enfocar a distintas distancias.

Iris: La tercera parte es el iris, que está en la zona anterior (es la parte coloreada del ojo) y cuya función es regular la cantidad de luz que entra en el interior del ojo, para lo cual varía su tamaño según la intensidad de luz. Inmediatamente tras el iris, y unido a los músculos ciliares está el cristalino, la lente del ojo por excelencia. Tiene forma de lente biconvexa y es capaz de variar su curvatura, y por tanto su potencia dióptrica por la acción de los músculos ciliares. Esto será lo que permita enfocar a distintas distancias.

Retina La capa más interna es la retina y es la zona sensible a la luz del aparato visual. Es donde se deberían formar las imágenes para poder verlas con nitidez. Se encuentra en contacto con la coroides y podría decirse que la cubre hasta el iris. En ella se proyectan invertidas las imágenes y de ahí se transmiten al sistema nervioso central. La retina contiene los neuroreceptores sensibles a la luz: *los conos* y *los bastones*. De ella parte el nervio óptico por lo que se dice que es una extensión del mismo. Su parte anterior es ciega, y su sensibilidad va en aumento conforme se va alejando de la zona anterior. El punto de máxima sensibilidad es una pequeña hendidura llamada fovea, que es donde se encuentra una mayor concentración de las células responsables de la sensibilidad de la retina: conos y bastones. En la zona posterior hay una parte ciega, que es donde conecta el nervio óptico y se llama papila.

Conos: Los conos son elementos fotosensibles los cuales son los responsables de las sensaciones cromáticas (colores) y de la agudeza visual y sensibles a estímulos luminosos de niveles altos. Existen 7 millones de conos distribuidos en toda la retina. Sin embargo, la mayoría de los conos se concentra en la parte central de la retina denominada fovea.

Bastones: Al igual que los conos, los bastones son elementos fotosensibles pero solamente a la presencia o ausencia de luz, es decir sensaciones acromáticas (Blanco, negro y gris); y a estímulos luminosos. Hay aproximadamente 130 millones de bastones en la retina. La mayoría de los bastones se encuentran distribuidos en la periferia de la retina.

Las cámaras que forman parte del globo ocular son tres: la anterior, la posterior y la vítrea.

Cámara anterior: La cámara anterior es la zona comprendida entre la córnea y el iris. Está rellena de humor acuoso, líquido transparente producido por los procesos ciliares y que es desagüado por el ángulo que forman iris y córnea. Problemas en este desagüe producen, lógicamente, aumento de la presión intraocular y dan lugar al temible glaucoma.

Cámara posterior: La cámara posterior, también rellena de humor acuoso, es la zona comprendida entre el iris y el cristalino, y es donde están los procesos ciliares.

Cámara vítrea La cámara vítrea es la zona entre el cristalino y la retina, y está rellena de un gel transparente y avascular llamado humor vítreo.

Las vías ópticas constituyen la transmisión de los impulsos nerviosos desde la retina hasta la corteza cerebral a través del nervio óptico. Las células receptoras son los ya mencionados conos y bastones que transforman las imágenes recibidas en impulsos nerviosos que son trasladadas al cerebro a través del

citado nervio óptico.

Los anexos del aparato visual, son el sistema óculo motor compuesto por seis músculos externos que provocan la movilidad del globo ocular. El sistema de protección compuesto por órbita, párpados, conjuntiva, lágrima vías lagrimales y glándulas lagrimales.

Las partes del ojo que intervienen en el proceso de visión, esto es formación de imágenes y apreciación del color son: La cornea, el Iris, la retina, la mácula y el nervio óptico. El funcionamiento de este conjunto se explica en una sección más adelante. Aquí solo se mencionarán sus características principales.



Figure 1.2: El color de los ojos es el color del Iris

Córnea La córnea es una membrana resistente, compuesta por cinco capas, a través de la cual la luz penetra en el interior del ojo. Por detrás, hay una cámara llena de un fluido claro y húmedo (el humor acuoso) que separa la córnea de la lente del cristalino. En sí misma, la lente es una esfera aplanada constituida por un gran número de fibras transparentes dispuestas en capas. Está conectada con el músculo ciliar, que tiene forma de anillo y la rodea mediante unos ligamentos. El músculo ciliar y los tejidos circundantes forman el cuerpo ciliar y esta estructura

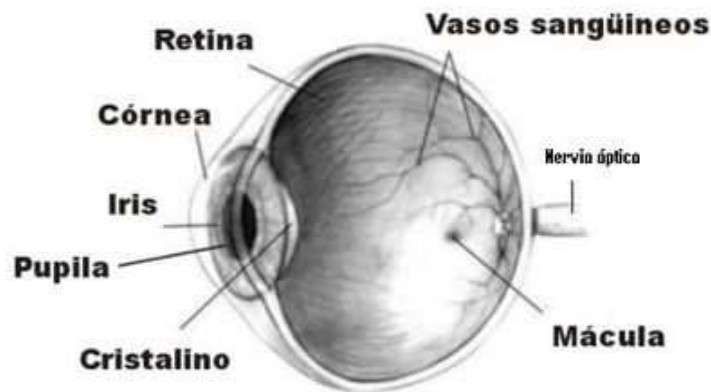


Figure 1.3: Partes del ojo humano, corte transversal

aplana o redondea la lente, cambiando su longitud focal.

Iris El iris es una estructura pigmentada fig:irisdelojo suspendida entre la córnea y el cristalino y tiene una abertura circular en el centro, la pupila. El tamaño de la pupila depende de un músculo que rodea sus bordes, aumentando o disminuyendo cuando se contrae o se relaja, controlando la cantidad de luz que entra en el ojo.

Humor vítreo Por detrás de la lente, el cuerpo principal del ojo está lleno de una sustancia transparente y gelatinosa (el humor vítreo) encerrado en un saco delgado que recibe el nombre de membrana hialoidea. La presión del humor vítreo mantiene distendido el globo ocular.

Retina La retina es una capa compleja fig:ojohumano compuesta sobre todo por células nerviosas. Las células receptoras sensibles a la luz se encuentran en su superficie exterior detrás de una capa de tejido pigmentado. Estas células tienen la forma de conos y bastones y están ordenadas como los fósforos de una caja.

La retina traduce la señal luminosa en señales nerviosas. Está formada por tres capas de células nerviosas. Sorprendentemente, las células fotosensibles conocidas como conos (cones) y bastones (rods), forman la

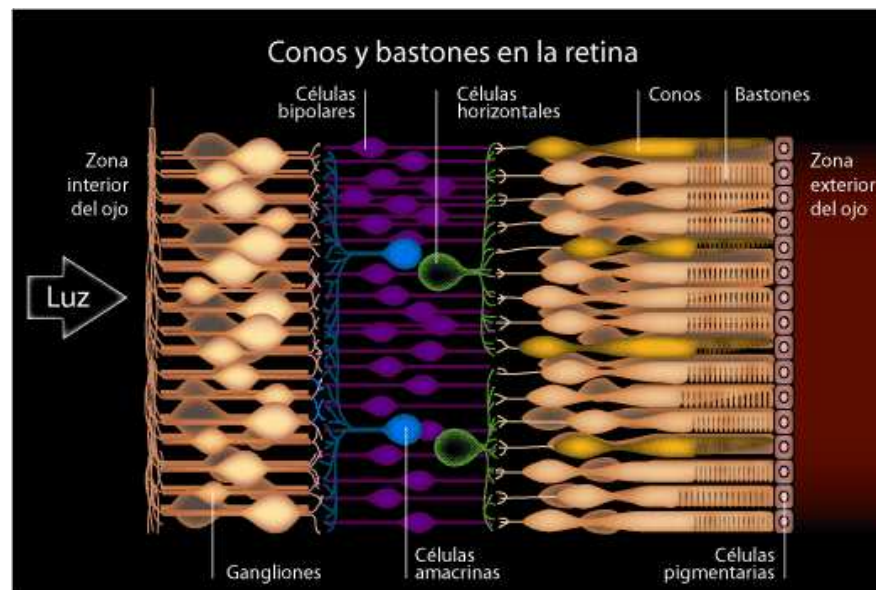


Figure 1.4: Corte de la retina, se muestran los conos y los bastones.

pate trasera de la retina (es decir: la más alejada de la apertura del ojo). Por eso, la luz debe atravesar antes fig:cortebasto las otras dos capas de células para estimular los conos y los bastones.

Las causas e historia evolutiva de este diseño invertido de la retina no se conocen bien, pero es posible que esa posición de las células fotosensibles en la zona más posterior de la retina permita que cualquier señal luminosa dispersa sea absorbida por las células pigmentarias situadas inmediatamente detrás de la retina, ya que contienen un pigmento oscuro conocido como melanina.

Puede también que estas células con melanina ayuden a restaurar químicamente el equilibrio del pigmento fotosensible de los conos y bastones cuando éste pierde su capacidad debido al desgaste causado por la acción de la luz.

La capa media de la retina contiene tres tipos de células nerviosas:

Bipolares, horizontales y amacrinas. La conexión de los conos y bastones con estos tres conjuntos de células es complejo, pero las señales terminan por llegar a la zona frontal de la retina, para abandonar el ojo a través del nervio óptico. Este diseño inverso de la retina hace que el nervio óptico tenga que atravesarla, lo que da como resultado el llamado punto ciego (blind spot) o disco óptico.

Los bastones y conos contienen pigmentos visuales, que son como los demás pigmentos en el sentido de que absorben la luz dependiendo de la longitud de onda de ésta. Sin embargo, estos pigmentos visuales tienen la particularidad de que cuando un pigmento absorbe un fotón de energía luminosa, la forma molecular cambia y se libera energía.

El pigmento que ha cambiado su estructura absorbe peor la energía y por eso se dice que se ha blanqueado o despigmentado (bleached). La liberación de energía por parte del pigmento y el cambio en la forma molecular hacen que la célula libere una señal eléctrica mediante un mecanismo que aun no se conoce por completo.

Mácula Situada detrás de la pupila, la retina tiene una pequeña mancha de color amarillo, llamada mácula lútea; en su centro se encuentra la fovea central, la zona del ojo con mayor agudeza visual.

Fóvea La capa sensorial de la fovea se compone sólo de células con forma de conos, mientras que en torno a ella también se encuentran células con forma de bastones. Según nos alejamos del área sensible, las células con forma de cono se vuelven más escasas y en los bordes exteriores de la retina sólo existen las células con forma de bastones.

Nervio Óptico El nervio óptico entra en el globo ocular por debajo y algo inclinado hacia el lado interno de la fovea central, originando en la retina una pequeña mancha redondeada llamada disco óptico. Esta estructura forma el punto ciego del ojo, ya que carece de células sensibles a la luz.

1.3 Estructuras protectoras

Diversas estructuras, que no forman parte del globo ocular, contribuyen en su protección. Las más importantes son los párpados superior e inferior. Estos son pliegues de piel y tejido glandular que pueden cerrarse gracias a unos músculos y forman sobre el ojo una cubierta protectora contra un exceso de luz o una lesión mecánica. Las pestañas, pelos cortos que crecen en los bordes de los párpados, actúan como una pantalla para mantener las partículas y los insectos fuera de los ojos cuando están abiertos. Detrás de los párpados y adosada al globo ocular se encuentra la conjuntiva, una membrana protectora fina que se pliega para cubrir la zona de la esclerótica visible. Cada ojo cuenta también con una glándula o carúncula lagrimal, situada en su esquina exterior. Estas glándulas segregan un líquido salino que lubrica la parte delantera del ojo cuando los párpados están cerrados y limpia su superficie de las pequeñas partículas de polvo o cualquier otro cuerpo extraño. En general, el parpadeo en el ojo humano es un acto reflejo que se produce más o menos cada seis segundos; pero si el polvo alcanza su superficie y no se elimina por lavado, los párpados se cierran con más frecuencia y se produce mayor cantidad de lágrimas. En los bordes de los párpados se encuentran las glándulas de Meibomio que tienen un tamaño pequeño y producen una secreción sebácea que lubrica los párpados y las pestañas. Las cejas, localizadas sobre los ojos, también tienen una función protectora, absorben o desvían el sudor o la lluvia y evitan que la humedad se introduzca en ellos. Las cuencas hundidas en el cráneo en las que se asientan los ojos se llaman órbitas oculares; sus bordes óseos, junto al hueso frontal y a los pómulos, protegen al globo ocular contra las lesiones traumáticas producidas por golpes o choques.

1.4 Enfermedades del ojo

Las alteraciones oculares se pueden clasificar según la parte del órgano en la que se produzcan. La enfermedad más común de los párpados es el orzuelo o la infección de los folículos de las pestañas, que suele estar causada por estafilococos. Los orzuelos internos no se originan en sus bordes, sino en su interior, y son unas infecciones similares de las glándulas de Meibomio. A veces, los abscesos de los párpados son el resultado de heridas penetrantes. En

ocasiones, aparecen defectos congénitos de los párpados como la coloboma, o fisura del párpado, y la ptosis o caída del párpado superior. Entre los defectos adquiridos se encuentra el simbléfaron o la adherencia de la superficie interna del párpado al globo ocular, que ocurre como resultado de quemaduras. El entropión, o inversión del interior del párpado hacia la córnea, y el ectropión, o eversión del párpado hacia el exterior, pueden producirse por cicatrices o por contracciones musculares espasmódicas debidas a una irritación crónica. Los párpados también padecen diversas enfermedades cutáneas, como el ecema y el acné, y tumores benignos y malignos. Otra enfermedad común del ojo es la infección de la conjuntiva, la membrana mucosa que recubre el interior de los párpados y el exterior del globo ocular. Véase Conjuntivitis; Tracoma.

Conjuntivitis Conjuntivitis, inflamación de la conjuntiva. Esta es una membrana mucosa que recubre la superficie interna de los párpados y la superficie externa del globo ocular en su cara anterior (excepto en su polo anterior, donde se halla situada la córnea). La causa de la conjuntivitis puede ser una infección, una alergia o un traumatismo. Se caracteriza por enrojecimiento, inflamación, sensación de cuerpo extraño al parpadear y exceso de sensibilidad del ojo a la luz (fotofobia). En los casos graves se produce una exudación mucosa espesa. Si la causa es una infección, se llega a presentar secreción de pus.

Las conjuntivitis infecciosas agudas están causadas por diversas bacterias y virus, y suelen ser epidémicas. En los recién nacidos se produce por contaminación en el canal del parto, habitualmente por gonococos (conjuntivitis gonocócica) o por *Chlamydia trachomatis* (conjuntivitis de inclusión) ambas son enfermedades maternas de transmisión sexual. Otra cepa de *C. trachomatis* transmitida por moscas y mosquitos causa el tracoma, conjuntivitis crónica típica de África y Asia. Las conjuntivitis gonocócicas y tracomatosas causan ceguera corneal. Las conjuntivitis causadas por exposición excesiva a la luz de la soldadura, a la nieve o a otra fuente de luz ultravioleta se llaman querato-conjuntivitis.

La mayoría de las conjuntivitis bacterianas se tratan con éxito con antibióticos locales. En todos los recién nacidos se debe aplicar la

profilaxis oftálmica de Credé, que consiste en instilar nitrato de plata u otro antiséptico en el ojo para prevenir la conjuntivitis gonocócica. Las conjuntivitis alérgicas se tratan mediante vasoconstrictores o corticoides locales.

Tracoma Tracoma, infección contagiosa de los ojos producida por el microorganismo *Chlamidia Tracomatis*, emparentado con el microorganismo responsable de la psitacosis. La enfermedad se propaga por la picadura de una mosca que alberga al microorganismo. Se desarrollan pústulas duras y gránulos en la cara interna de los párpados y una inflamación de la conjuntiva. Después se lesiona también la córnea. En el norte de África el tracoma es una de las principales causas de ceguera. Afecta a las poblaciones que viven en condiciones sanitarias precarias.

La enfermedad empieza, tras un periodo de incubación de cinco a seis días, con la irritación de los ojos, seguida de secreción purulenta, inflamación del borde de las pestañas, lagrimeo, e hipersensibilidad a la luz. La inflamación se cronifica en las siguientes semanas, se producen ampollas y se lesiona la córnea; ésta es la causa de la ceguera. En las etapas iniciales el tracoma se puede curar si se administran los antibióticos de amplio espectro adecuados, por vía tópica o en ocasiones por vía oral. En la década de 1950, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció un programa para erradicar la enfermedad en el mundo.

Las alteraciones de la córnea suelen ser el resultado de una herida y pueden dar lugar a la pérdida de la transparencia y a una visión deteriorada. Sin embargo, también pueden producirse como consecuencia secundaria de una enfermedad; es el caso del edema o hinchazón de la córnea que, a veces, acompaña al glaucoma.

Glaucoma Glaucoma, enfermedades del ojo caracterizadas por un exceso de presión intraocular que produce pérdida progresiva del campo visual y de la vista.

Los glaucomas más frecuentes, llamados primarios o idiopáticos, pueden ser de dos tipos: de ángulo abierto (crónico simple) y de ángulo estrecho

(agudo). Los glaucomas secundarios están causados por infecciones, tumores o traumatismos. Un tercer grupo, los glaucomas congénitos, se deben a malformaciones congénitas.

La presión intraocular mantiene la forma esférica del globo ocular, imprescindible para su comportamiento óptico. Su valor fisiológico varía entre 15 y 20 mm de mercurio. Se regula por el balance entre la producción de humor acuoso y su salida del globo ocular. En el glaucoma la salida está obstruida en el ángulo de la cámara anterior. La enfermedad se desarrolla en las personas de mediana edad o en los ancianos, aunque no son infrecuentes los glaucomas congénitos, infantiles o juveniles.

Los pacientes con glaucoma crónico simple (de ángulo abierto) suelen tener antecedentes familiares; la lesión ocular progresa sin causar grandes daños aparentes, con pérdida del campo visual, aunque la elevación de la tensión intraocular sea moderada y no haya síntomas agudos. El glaucoma de ángulo estrecho, por el contrario, produce dolor, infección (rojez) conjuntival, dilatación de la pupila y grave pérdida de visión. La córnea se vuelve opaca y la presión intraocular es alta. El campo visual se reduce de forma progresiva al avanzar la enfermedad; este fenómeno se demuestra con un instrumento oftálmico llamado campímetro. Como la presión intraocular aumenta con la ingesta de líquidos, el glaucoma de ángulo abierto se puede diagnosticar haciendo beber al paciente una determinada cantidad de agua y midiendo la presión, antes y después, con el tonómetro. En el glaucoma de ángulo estrecho el diagnóstico es directo con una única medida tonométrica.

El glaucoma crónico simple responde bien a la medicación local para aumentar el flujo de salida del humor acuoso. Hay también medicaciones sistémicas que disminuyen su producción. Si la enfermedad no responde al tratamiento médico es necesario aplicar la cirugía creando (con rayo láser o con cirugía convencional) una nueva salida para el líquido intraocular. El glaucoma agudo es una urgencia médica: si la presión se mantiene elevada durante más de 24 horas se produce un daño irreversible en la visión. Para tratarlo son necesarios el tratamiento médico y a veces el quirúrgico.

Antes se prohibía a los enfermos de glaucoma los estimulantes y las especias. No existe ningún trabajo que soporte esta afirmación. Sí deben evitar la ingestión de grandes cantidades de líquido en poco tiempo

La coroides o capa media del globo ocular contiene la mayoría de los vasos sanguíneos del ojo, por ello es el lugar donde se suelen producir las infecciones bacterianas y las secundarias debidas a intoxicaciones. Entre las primeras destacan las producidas por las bacterias de la tuberculosis y de la sífilis. El cáncer se puede desarrollar en los tejidos coroides o puede ser transportado hasta el ojo desde tumores situados en cualquier otra parte del cuerpo; la retina, que se extiende inmediatamente detrás de la coroides, está también sujeta al mismo tipo de infecciones. La fibroplasia retrolental es una enfermedad de los niños prematuros que origina el desprendimiento de la retina y una ceguera parcial; aunque se desconocen sus causas, esta enfermedad está asociada con anomalías en los vasos sanguíneos. También puede desprenderse la retina después de una intervención quirúrgica de cataratas; a veces, se utilizan los rayos láser para unir de nuevo la retina desprendida en el interior del ojo. Otra enfermedad, llamada degeneración macular, afecta a la mácula lútea y es una causa frecuente de la pérdida de la visión en las personas mayores.

El nervio óptico contiene las fibras nerviosas de la retina que llevan los impulsos nerviosos hasta el cerebro. La arteria y la vena centrales irrigan la retina y el nervio óptico, cuya vaina se comunica con los espacios linfáticos cerebrales. La inflamación de la parte del nervio situada en el interior del ojo se llama neuritis óptica o papilitis, y la que ocurre en la parte que está detrás del ojo, neuritis retrobulbar. Cuando la presión en el cráneo es elevada o se produce un incremento de la presión arterial, como ocurre en los tumores cerebrales, se produce el edema o hinchazón del lugar por donde el nervio óptico entra en el ojo o disco óptico. Esta alteración se denomina papiloedema.

1.5 Defectos del ojo humano

Las diferencias de tamaño relativo de las estructuras del ojo originan los defectos de la hipermetropía o presbicia y la miopía o cortedad de vista. Debido a la estructura nerviosa de la retina, los ojos ven con una claridad mayor sólo en la región de la fovea. Las células con forma de conos están conectadas de forma individual con otras fibras nerviosas, de modo que los estímulos que llegan a cada una de ellas se reproducen y permiten distinguir los pequeños detalles. Por otro lado, las células con forma de bastones se conectan en grupo y responden a los estímulos que alcanzan un área general (es decir, los estímulos luminosos), pero no tienen capacidad para separar los pequeños detalles de la imagen visual. La diferente localización y estructura de estas células conducen a la división del campo visual del ojo en una pequeña región central de gran agudeza y en las zonas que la rodean, de menor agudeza y con una gran sensibilidad a la luz. Así, durante la noche, los objetos confusos se pueden ver por la parte periférica de la retina cuando son invisibles para la fovea central.

El mecanismo de la visión nocturna implica la sensibilización de las células en forma de bastones gracias a un pigmento, la púrpura visual o rodopsina, sintetizado en su interior. Para la producción de este pigmento es necesaria la vitamina A y su deficiencia conduce a la ceguera nocturna. La rodopsina se blanquea por la acción de la luz y los bastones deben reconstituirla en la oscuridad, de ahí que una persona que entra en una habitación oscura procedente del exterior con luz del sol, no puede ver hasta que el pigmento no empieza a formarse; cuando los ojos son sensibles a unos niveles bajos de iluminación, quiere decir que se han adaptado a la oscuridad.

En la capa externa de la retina está presente un pigmento marrón o pardusco que sirve para proteger las células con forma de conos de la sobreexposición a la luz. Cuando la luz intensa alcanza la retina, los gránulos de este pigmento emigran a los espacios que circundan a estas células, revistiéndolas y ocultándolas. De este modo, los ojos se adaptan a la luz.

Nadie es consciente de las diferentes zonas en las que se divide su campo visual. Esto es debido a que los ojos están en constante movimiento y la retina se excita en una u otra parte, según la atención se desvía de un objeto a otro. Los movimientos del globo ocular hacia la derecha, izquierda, arriba,

abajo y a los lados se llevan a cabo por los seis músculos oculares y son muy precisos. Se ha estimado que los ojos pueden moverse para enfocar en, al menos, cien mil puntos distintos del campo visual. Los músculos de los dos ojos funcionan de forma simultánea, por lo que también desempeñan la importante función de converger su enfoque en un punto para que las imágenes de ambos coincidan; cuando esta convergencia no existe o es defectuosa se produce la doble visión. El movimiento ocular y la fusión de las imágenes también contribuyen en la estimación visual del tamaño y la distancia.

1.6 Funcionamiento del Ojo

En general, los ojos de los animales funcionan como unas cámaras fotográficas sencillas. La lente del cristalino forma en la retina una imagen invertida de los objetos que enfoca y la retina se corresponde con la película sensible a la luz.

El 50 % de la información que recibimos de nuestro entorno la recibimos a través de los ojos. La ingente información que recibimos en un simple vistazo a nuestro entorno se guarda durante un segundo en nuestra memoria y luego la deshechamos casi toda. ¡No nos fijamos en casi nada!

El ojo humano es un sistema óptico formado por un dioptrio esférico y una lente, que reciben, respectivamente, el nombre de córnea y cristalino, y que son capaces de formar una imagen de los objetos sobre la superficie interna del ojo, en una zona denominada retina, que es sensible a la luz.

El enfoque del ojo se lleva a cabo debido a que la lente del cristalino se aplanada o redondea; este proceso se llama acomodación. En un ojo normal no es necesaria la acomodación para ver los objetos distantes, pues se enfocan en la retina cuando la lente está aplanada gracias al ligamento suspensorio. Para ver los objetos más cercanos, el músculo ciliar se contrae y por relajación del ligamento suspensorio, la lente se redondea de forma progresiva. Un niño puede ver con claridad a una distancia tan corta como 6,3 cm. Al aumentar la edad del individuo, las lentes se van endureciendo poco a poco y la visión cercana disminuye hasta unos límites de unos 15 cm a los 30 años y 40 cm a los 50 años. En los últimos años de vida, la mayoría de los seres humanos pierden la capacidad de acomodar sus ojos a las distancias cortas.

Esta condición, llamada presbiopía, se puede corregir utilizando unas lentes convexas especiales.

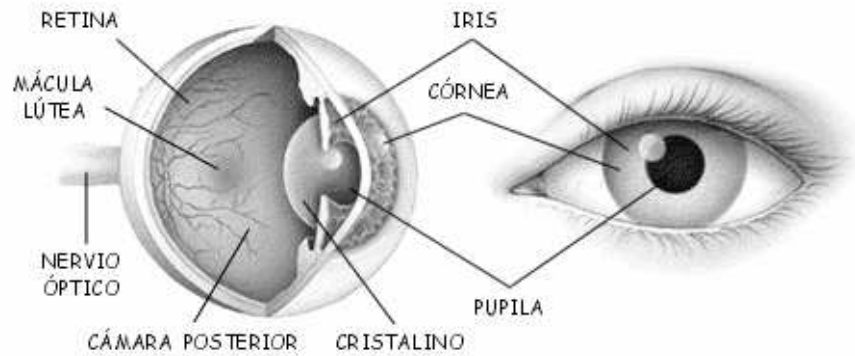


Figure 1.5: Partes del ojo humano que intervienen en el proceso de visión

En la figura anterior fig:figura ojo se ven claramente las partes que forman el ojo. Tiene forma aproximadamente esférica y está rodeado por una membrana llamada esclerótica que por la parte anterior se hace transparente para formar la córnea.

Tras la córnea hay un diafragma, el iris, que posee una abertura, la pupila, por la que pasa la luz hacia el interior del ojo. El iris es el que define el color de nuestros ojos y el que controla automáticamente el diámetro de la pupila para regular la intensidad luminosa que recibe el ojo.

El cristalino está unido por ligamentos al músculo ciliar. De esta manera el ojo queda dividido en dos partes: la posterior que contiene humor vítreo y la anterior que contiene humor acuoso. El índice de refracción del cristalino es 1,437 y los del humor acuoso y humor vítreo son similares al del agua.

El cristalino enfoca las imágenes sobre la envoltura interna del ojo, la retina. Esta envoltura contiene fibras nerviosas (prolongaciones del nervio óptico) que terminan en unas pequeñas estructuras denominadas conos y bastones muy sensibles a la luz. Existe un punto en la retina, llamado fovea, alrededor del cual hay una zona que sólo tiene conos (para ver el color). Durante el día la fovea es la parte más sensible de la retina y sobre ella se forma

la imagen del objeto que miramos.

Los millones de nervios que van al cerebro se combinan para formar un nervio óptico que sale de la retina por un punto que no contiene células receptores. Es el llamado punto ciego.

La córnea refracta los rayos luminosos y el cristalino actúa como ajuste para enfocar objetos situados a diferentes distancias. De esto se encargan los músculos ciliares que modifican la curvatura de la lente y cambian su potencia. Para enfocar un objeto que está próximo, es decir, para que la imagen se forme en la retina, los músculos ciliares se contraen, y el grosor del cristalino aumenta, acortando la distancia focal imagen. Por el contrario si el objeto está distante los músculos ciliares se relajan y la lente adelgaza. Este ajuste se denomina acomodación o adaptación.

El ojo sano y normal ve los objetos situados en el infinito sin acomodación enfocados en la retina. Esto quiere decir que el foco está en la retina y el llamado punto remoto (P_r) está en el infinito.

Se llama punto remoto la distancia máxima a la que puede estar situado un objeto para que una persona lo distinga claramente y punto próximo a la distancia mínima.

Un ojo normal será el que tiene un punto próximo a una distancia "d" de 25 cm, (para un niño puede ser de 10 cm) y un punto remoto situado en el infinito. Si no cumple estos requisitos el ojo tiene algún defecto. El sistema visual humano, se puede considerar como una cámara viviente que enfoca un objeto dentro de sus campo visual y fig:ojofun proyecta sobre la retina, posteriormente los dos nervios ópticos de cada ojo se combinan y se dividen en el "chiasma óptico", el cual se puede considerar como el tablero de cambios (switch) de las señales ópticas

El ojo percibe sensaciones luminosas por medio de cuatro clases de células que están en la retina: a la primera se le conoce como bastones, mientras que a las otras se les llaman conos. los cuales a su vez son de tres tipos largos medios cortos (las personas ciegas al color pueden no tener los tres tipos de conos).

Los bastones son sensibles a intensidades mucho mas bajas que los conos y se usan esencialmente en la visión nocturna; en la visión diurna, no se usan,

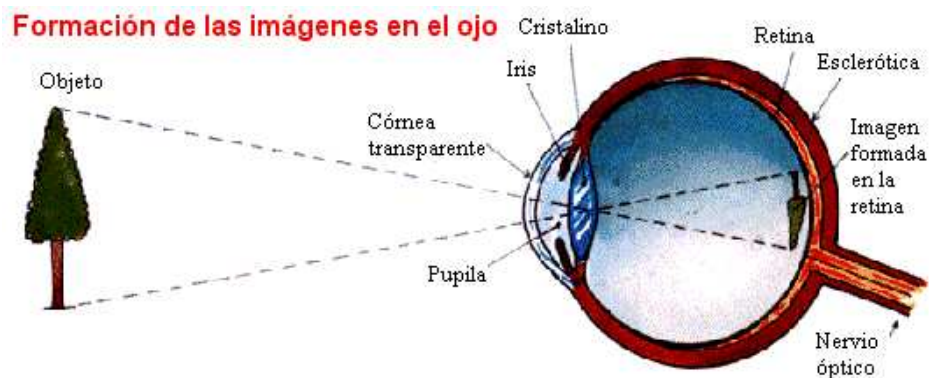


Figure 1.6: El ojo humano funciona como una camara fotográfica

y son saturados, de tal manera que no se toman en cuenta.

Los conos son capaces de distinguir color (esto es la mera definición de color) también como la intensidad de la luz; esto se debe a que son incapaces de distinguir el color en lugares con poca luz (lugares tenues).

1.7 Conos y bastones

Al igual que en la fotografía, la cantidad de luz juega un papel importante en la visión. Así, en condiciones de buena iluminación (más de 3 cd/m^2) como ocurre de día, la visión es nítida, detallada y se distinguen muy bien los colores; es la visión fotópica. Para niveles inferiores a 0.25 cd/m^2 desaparece la sensación de color y la visión es más sensible a los tonos azules y a la intensidad de la luz. Es la llamada visión escotópica. En situaciones intermedias, la capacidad para distinguir los colores disminuye a medida que baja la cantidad de luz pasando de una gran sensibilidad hacia el amarillo a una hacia el azul. Es la visión mesióptica.

De acuerdo al grado de luminosidad existente en un medio ambiente determinado se activa la participación de uno u otro fotoreceptor retinal. Este hecho a dado lugar a la clasificación de las funciones de respuesta fotópica y escotópica.

De esta manera, la función fotópica o también denominada visión fóvea, ocurre bajo condiciones de alta iluminación, cuando la función de luminosidad es mediada por los conos, es sensible al color, presenta alta agudeza visual y un campo de visión restringido (recuérdese que los conos se encuentran distribuidos principalmente en la región central de la retina).

La función escotópica o visión periférica, ocurre con bajas condiciones de iluminación, es mediada por la acción de los bastones, insensible al color, sensitiva a la luz baja, con un amplio campo de visión y con una agudeza visual pobre. Los bastones son sensibles a niveles muy bajos de iluminación y son los responsables de nuestra capacidad de ver con poca luz (visión escotópica). Contienen un pigmento cuyo máximo de sensibilidad se halla en la zona de los 510 nanómetros (o sea, la zona de los verdes). Al pigmento de los bastones, la rodopsina, se la suele llamar 'púrpura visual', ya que cuando los químicos logran extraerlo en cantidad suficiente, tienen una apariencia púrpura. La visión escotópica carece de color, ya que una función de sensibilidad con un espectro único es ajena al color, por lo que la visión escotópica es monocromática.

Un tercer tipo de función ó visión (mesópica) ocurre cuando tanto conos y bastones son activados, por ejem., bajo condiciones intermedias de iluminación, tales como en el crepúsculo o en el anochecer.

Dada la mayor distribución de los conos en la fóvea y su casi ausencia en la periferia, se produce un fenómeno curioso: cuando se mira directamente una luz débil –de modo que la luz incida en la parte central de la retina–, la luz desaparece ya que los conos llevan a cabo la función fotópica y la estimulación recibida corresponde a la función escotópica. Es por ello que los astrónomos, cuando observan una estrella deben hacerlo de "rejo", de manera que la estimulación se reciba en las áreas periféricas de la retina en donde se encuentran los bastones los cuales responden a la función escotópica.

En estas condiciones, se definen unas curvas de sensibilidad del ojo a la luz visible para un determinado observador patrón que tiene un máximo de longitud de onda de 555 nm (amarillo verdoso) para la visión fotópica y otro de 480 nm (azul verdoso) para la visión escotópica. Al desplazamiento del máximo de la curva al disminuir la cantidad de luz recibida se llama efecto Purkinje. Los conos y bastones son fotorreceptores sensibles a los diferentes tipos de luz. Los bastones se ubican en casi toda la retina

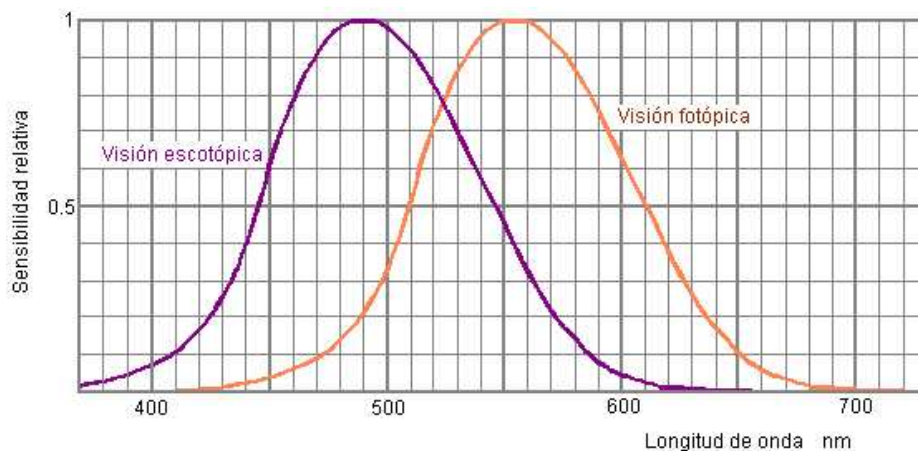


Figure 1.7: Vision escotópica y .

exceptuando la fovea; una depresión formada en la retina en la zona de la mácula densa. Los conos en cambio, están en casi toda la superficie que abarca la retina. Existen aproximadamente unos cien millones de bastones y tres millones de conos en cada ojo. La capa sensorial de la fovea se compone sólo de células con forma de conos, mientras que en torno a ella también se encuentran células con forma de bastones. Según nos alejamos del área sensible, las células con forma de cono se vuelven más escasas y en los bordes exteriores de la retina sólo existen las células con forma de bastones.

Debido a la estructura nerviosa de la retina, los ojos ven con una claridad mayor sólo en la región de la fovea. Las células con forma de conos están conectadas de forma individual con otras fibras nerviosas, de modo que los estímulos que llegan a cada una de ellas se reproducen y permiten distinguir los pequeños detalles. Por otro lado, las células con forma de bastones se conectan en grupo y responden a los estímulos que alcanzan un área general, pero no tienen capacidad para separar los pequeños detalles de la imagen visual. La diferente localización y estructura de estas células conducen a la división del campo visual del ojo en una pequeña región central de gran agudeza y en las zonas que la rodean, de menor agudeza y con una gran sensibilidad a la luz. Así, durante la noche, los objetos confusos se pueden ver por la parte periférica de la retina cuando son invisibles para la fovea central.

El mecanismo de la visión nocturna implica la sensibilización de las células en forma de bastones gracias a un pigmento, la púrpura visual o rodopsina, sintetizado en su interior. Para la producción de este pigmento es necesaria la vitamina A y su deficiencia conduce a la ceguera nocturna. La rodopsina se blanquea por la acción de la luz y los bastones deben reconstituirla en la oscuridad, de ahí que una persona que entra en una habitación oscura procedente del exterior con luz del sol, no puede ver hasta que el pigmento no empieza a formarse; cuando los ojos son sensibles a unos niveles bajos de iluminación, quiere decir que se han adaptado a la oscuridad.

En la capa externa de la retina está presente un pigmento marrón o pardusco

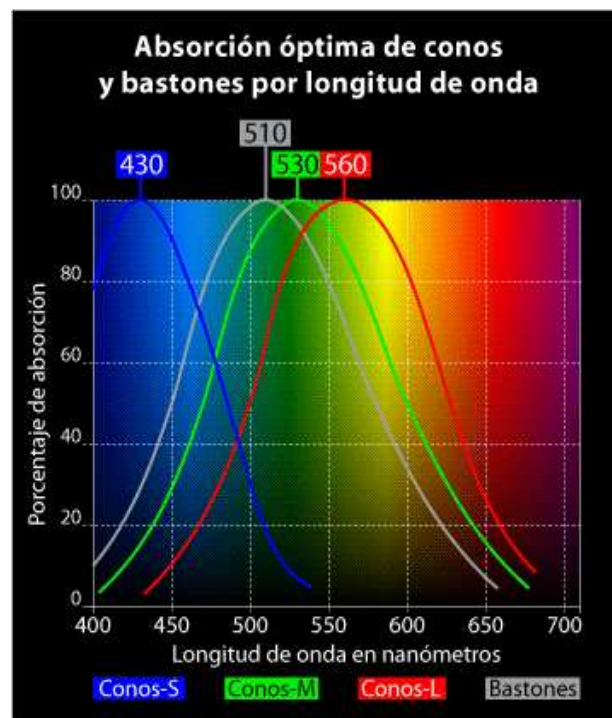


Figure 1.8: Respuesta de los conos y bastones.

que sirve para proteger las células con forma de conos de la sobre exposición a la luz. Cuando la luz intensa alcanza la retina, los gránulos de este pigmento emigran a los espacios que circundan a estas células, revistiéndolas y ocultándolas. De este modo, los ojos se adaptan a la luz.

Se les llaman largos, medios y cortos a los conos, debido a sus picos de sensibilidad están situados en las longitudes de onda larga, corta y media respectivamente están alrededor de 570 nm 543 nm y 442 nm.

Los conos no juegan un papel simétrico, los conos largo y medios participan en la sensación de brillo o luminosidad, mientras que los conos cortos participan mucho menos a este tipo de sensaciones, por ejemplo, el brillo produce una respuesta en los conos largo y medios y hace que la pupila del ojo se cierre, el brillo puede ser medido con poca objetividad debido a la rápida alternancia de dos luces de diferente brillo causan la impresión de parpadeo el cual no es causado por la figura: fotopímera sensación de color. Se puede definir y medir la respuesta del ojo humano al brillo. En términos matemáticos, las funciones de respuesta de los tres conos son positivas y lineales (definidas con la multiplicación de una constante positiva) en el espacio de dimensión infinita del espectro de un cono. La función del brillo es una combinación lineal de las funciones de respuesta de los conos largo y medios.

Los conos son los que proporcionan la visión en color. Hay tres clases de conos. Cada uno de ellos contiene un pigmento fotosensible distinto. Los tres pigmentos tienen su capacidad máxima de absorción hacia los 430, 530 y 560 nanómetros de longitud de onda, respectivamente. Por eso se los suele llamar "azules", "verdes" y "rojos". No es que los conos se llamen así por su pigmentación, sino por el supuesto 'color de la luz' al que tienen una sensibilidad óptima.

Esta terminología es bastante desafortunada, ya que las luces monocromas de 430, 530 y 560 nm. de longitud de onda no causan realmente la percepción de azul, verde y rojo, sino la de violeta, azul verdoso y amarillo verdoso. Por eso, las denominaciones conos cortos, conos medios y conos largos (por el tipo de longitud de onda al que son sensibles comparativamente) es más lógica (las abreviaciones en inglés son: S-cones (cortos), M-cones (medios) y L-cones (largos)).

La existencia de tres funciones de sensibilidad espectral proporciona la base de la visión en color, ya que cada longitud de onda causará una proporción única de respuestas en los conos sensibles a longitudes cortas, medias y largas. Son los conos quienes nos proporcionan la visión en color (visión fotópica), que permite distinguir notablemente bien pequeños cambios en la

composición de longitudes de onda de una luz.