



---

**Universidad de Valladolid**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO  
GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**ELABORACIÓN DE UN ATLAS DE  
IMÁGENES HISTOLÓGICAS DEL OJO  
HUMANO**

Facultad de Ciencias



Presentado por Dunia Pérez López

Tutelado por: Patricia Gallego Muñoz

Tipo de TFG: Revisión X Investigación

**Resumen**

El globo ocular es el órgano a través del cual percibimos la información visual del ambiente que nos rodea. Este órgano es el responsable de la captación de la energía luminosa y su transformación en impulsos nerviosos que llegan al cerebro para posteriormente ser procesados.

En este trabajo se realiza un atlas histológico con imágenes de las partes que constituyen el globo ocular obtenidas de microscopios virtuales con la finalidad de asociar las diferentes partes del globo ocular a los tejidos que constituyen cada una de estas partes. La elaboración del trabajo servirá como apoyo para ayudar en la parte de Histología a los alumnos que cursen la asignatura "Biología, Genética e Histología del Sistema Visual" en grados como Óptica y Optometría.

**Palabras clave:** microscopio virtual, atlas, histología, globo ocular, tejidos.

**Abstract**

The eyeball is the organ through which we perceive visual information from the environment around us. This organ is responsible for capturing light energy and transforming it into nerve impulses that reach the brain for further processing. In this work, is shown histological atlas is made with images of the parts that make up the eyeball obtained from virtual microscopes in order to associate the different parts of the eyeball with the tissues that make up each of these parts. The elaboration of the work will serve as a support to help in the Histological part of the subject "Biology, Genetics and Histology of the Visual System" in degrees such as Optics and Optometry.

**Key words:** virtual microscope, atlas, histology, eyeball, tissue.

# ÍNDICE

1-Introducción	4
1.1. Historia de los microscopios	5,6
1.2. Tipos de microscopios.	6,7
2- Justificación	7
3- Objetivos	7,8
4-Material y métodos	8
5- Desarrollo del tema	8,9,10
5.1. Capa externa o fibrosa	
5.1.1) Esclera	10,11,12
5.1.2) Córnea	13,14
5.1.3) Limbo esclerocorneal	15,16
5.2. Túnica media vascular o úvea	
5.2.1) Coroides	17,18
5.2.2) Cuerpo ciliar	19,20,21
5.2.3) Iris	22,23
5.3. Túnica interna nerviosa o retina	24,25,26
5.4 Medios refringentes y anexos	
5.4.1) Cristalino	26,27
5.4.2) Humor acuoso y Humor vítreo	28
5.4.3) Párpado	28,29,30
- Conjuntiva	
- Glándula lagrimal	
5- Conclusiones	30
6- Bibliografía	30, 31

## 1-Introducción

La histología es la ciencia que estudia los tejidos del organismo, su estructura microscópica, desarrollo y funciones. El concepto de “tejido” proporciona la base para comprender y reconocer los diferentes tipos celulares dentro del cuerpo y la forma en la que se interrelacionan. La histología como disciplina se encuentra entre la anatomía microscópica y la fisiología, y funciona como elemento integrador entre ambas, siendo fundamental para la comprensión de la función de los tejidos y órganos, así como para poder reconocer e interpretar sus cambios durante procesos patológicos. (1,2)

El estudio de la histología se lleva a cabo mediante la microscopia, siendo el instrumento principal de esta el microscopio.

La palabra microscopio proviene del griego μικρός *micrós*, ‘pequeño’, y σκοπέω *scopéo*, ‘mirar’ y se define como un instrumento óptico que permite observar objetos demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista. (3)

Una propiedad muy importante del microscopio es el límite de resolución (LR), este se define como la distancia mínima a la que dos puntos pueden ser diferenciados o, dicho de otra manera, los objetos de menor tamaño que el LR de un instrumento no son visibles con él. El ojo humano tiene LR aproximado de 0,1- 0,2 mm. Con el microscopio óptico se logran LR del orden de 0,2  $\mu\text{m}$ , pudiéndose observar células completas y algunos de sus componentes, como el núcleo, el nucléolo... (3)

Con el tiempo, se han ido desarrollando microscopios más y más potentes hasta llegar a los potentes microscopios electrónicos que conocemos en la actualidad cuyo LR es aproximadamente de 2 nm permitiendo ver la ultra estructura de las células, así se descubrieron los ribosomas y los microtúbulos.

### 1.1 Historia de los microscopios

Los primeros microscopios datan de hace más de 300 años. Se considera que en Holanda en 1590 es donde **Hans Janssen y su hijo Zacharias** realizan el desarrollo del primer microscopio compuesto de la historia, por ello, se les atribuye el descubrimiento de este microscopio, pero no fue hasta que en 1665 cuando **Robert Hooke** realizó la primera descripción de la célula, en su obra “Micrographia”. El microscopio compuesto y diseñado por este físico se basó en el principio funcional del telescopio astronómico, inventado a principios de este siglo por el físico- matemático, italiano, Galileo Galilei, estos microscopios eran ópticos, funcionaban con luz y su límite de resolución era limitado. (3)

Entre los años 1672 y 1723, el holandés **Antonie Van Leeuwenhoek**, tomando como referencia el invento de Hooke desarrolló un microscopio al cual dotó de poderosas lentes de aumentos y técnicas más efectivas con las que se consiguió mejorar todo lo anteriormente descrito por Hooke. (3)

Posteriormente, en la década de 1930, científicos como Ernst Ruska empezaron a desarrollar los primeros microscopios electrónicos con los que el límite de resolución se incrementó significativamente respecto al obtenido con los microscopios ópticos debido a la sustitución de fotones de luz por electrones que tienen longitudes de onda unas 100.000 veces más cortas que la de la luz. En

teoría se pueden utilizar para observar átomos, aunque aquí aparece el problema de la calidad de las lentes electromagnéticas utilizadas con los primeros microscopios electrónicos desarrollados. Este problema ha sido poco a poco solventado por la introducción de “correctores de aberración” durante las décadas de 1990 y 2000. Para seguir ampliando los límites de resolución, científicos dirigidos por David A. Muller de la Universidad de Cornell (4) implementaron estos microscopios mediante picografía. Con esta técnica se disparan electrones sobre un objeto y son dispersados por el mismo. A medida que se produce su dispersión, los átomos del objeto desvían los electrones y se puede obtener un álbum completo de patrones. Estos patrones, gracias a los ordenadores actuales, se pueden unir para reconstruir una imagen microscópica del objeto original. Así en 2018, el grupo de científicos logró la mayor resolución de la historia donde obtuvieron una imagen en la pudieron medir hasta 0.039 nm.

Actualmente la combinación de las tecnologías digitales e internet con la microscopia convencional han creado nuevas funcionalidades que permiten la visualización, y navegación en tiempo real, de preparados virtuales digitalizados en alta resolución se le atribuye a Appleton, Bradley y Wildermoth con el concepto de microscopio virtual en el año 2005. (3,5)

Los microscopios virtuales permiten la visualización de imágenes digitales que han sido obtenidas a través de microscopios robotizados, escaneo de preparados o cámaras digitales, y han sido sometidas a un proceso de reconstrucción que les permite su posterior recorrido. Este último proceso se realiza debido a que los preparados son muy grandes como para ser adquiridos en una sola imagen por lo que se capturan diversas imágenes con máxima calidad, y luego se combinan en una única imagen. A diferencia de las imágenes estáticas a baja resolución, los usuarios pueden explorar de forma más interactiva en tiempo real estas imágenes. De esta manera se pueden analizar estructuras de mayor y menor tamaño en la misma muestra. Esta aproximación permite una experiencia de aprendizaje, logrando conseguir nociones de escala, proporción y contexto que no sería posible con un atlas o libro de texto convencional. (5)

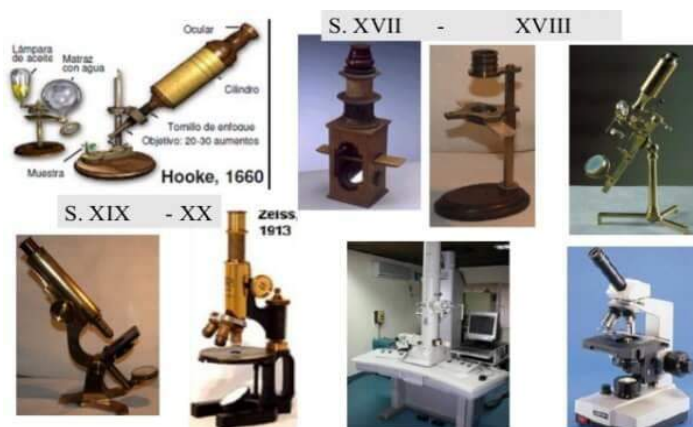


Figura 1: Evolución de los microscopios a lo largo del tiempo

## 1.2 Tipos de microscopios

Se distinguen dos grandes grupos: el microscopio óptico y el microscopio electrónico.

La principal característica del microscopio óptico es que el tipo de fuente luminosa que utilizan es un haz de luz, a diferencia de los electrónicos que utilizan un haz de electrones. (5)

Los microscopios ópticos resultan útiles para la mayoría de las tareas de microscopía, pues permiten una correcta visualización de tejidos y células. Sin embargo, su límite de resolución viene marcado por la difracción de la luz, un fenómeno por el cual el haz de luz inevitablemente se desvía en el espacio. Es por ello por lo que lo máximo que se puede obtener con un microscopio óptico son 1.500 aumentos. Por su parte, los microscopios electrónicos producen un aumento mucho mayor que los ópticos, pudiendo llegar a aumentar el tamaño de un objeto hasta un millón de veces con una resolución de 0,1 nm. Esto último se logra gracias a la alta frecuencia de un haz de electrones que incide sobre la muestra, y permiten aumentos de varios millones de veces. (5)

En la actualidad **el microscopio virtual**, se basa en la utilización de muestras obtenidas para su observación tanto bajo el microscopio óptico como bajo el electrónico y que podemos visualizar utilizando un ordenador. Este microscopio va a ser el centro de nuestro trabajo ya que todas imágenes incluidas en él han sido obtenidas a partir de microscopios virtuales. (5)

La microscopía virtual presenta muchas ventajas en relación con la microscopía convencional, entre ellas:

- 1) Solo se requiere un microscopio para escanear la muestra. Una vez digitalizada, la imagen puede ser enviada a todo el mundo a través de internet o por medios electrónicos de almacenamiento y observadas en cualquier ordenador.
- 2) Los estudiantes pueden observar la imagen de manera simultánea y en el horario que prefieran.
- 3) La muestra no necesita ser trasladada desde su lugar de procesamiento para su observación evitando, de esa manera, su extravío o ruptura.
- 4) La imagen digital permite señalar diferentes estructuras y guardarlas en el mismo archivo.
- 5) Permite realizar estudios morfométricos sin la necesidad de contar con una regla micrométrica, ya que al escanearse se almacena su calibración espacial junto con la imagen.
- 6) Las imágenes digitales se mantienen estables a lo largo del tiempo, en tanto los cortes montados en portaobjetos pueden decolorarse.
- 7) La imagen digital solo ocupa un pequeño espacio dentro de un soporte informático, mientras que los cortes montados en portaobjetos ocupan un espacio físico considerable. (6)

En los últimos tiempos la enseñanza de la histología ha ido adoptando cada vez más la microscopía virtual, ya sea como complemento o sustituyendo completamente las clases presenciales. Existen múltiples razones como los altos costes de la compra y mantenimiento de microscopios, generación y conservación de las colecciones de muestras histológicas o el incremento de las clases a distancia a todos los niveles educativos como consecuencia de las crisis sanitarias como la ocasionada por el virus SARS-CoV2. Durante dicha pandemia, se produjo el cierre de los centros educativos y, posteriormente, durante la vuelta a la normalidad, la adopción de medidas sanitarias de prevención como el distanciamiento, hicieron imposible la vuelta a una normalidad real. En grados con un elevado número de estudiantes, el distanciamiento y las medidas higiénicas de desinfección de microscopios físicos imposibilitaron la realización de clases prácticas presenciales. Por esto, diferentes universidades e institutos alrededor del mundo, y diversas empresas particulares, adquirieron colecciones de imágenes digitalizadas de acceso público o privado y de forma gratuita o con algún coste asociado.

Hoy en día es cada vez más común pensar que este tipo de microscopios constituyen una fuente alternativa de información sobre la construcción del conocimiento científico.

## **2- JUSTIFICACIÓN**

El microscopio es el instrumento básico para observar y conocer en profundidad la estructura de los diferentes órganos en condiciones fisiológicas y patológicas. En grados como Óptica y Optometría es fundamental que los estudiantes conozcan la estructura histológica del globo ocular para así poder comprender la función de cada una de las partes que lo constituyen y a su vez, conocer los cambios que se producen a nivel estructural cuando las condiciones normales se ven alteradas por diferentes tipos de patologías.

Este trabajo se centra en realizar un atlas histológico del globo ocular, a partir de imágenes obtenidas a través de microscopios virtuales, que los estudiantes del grado en Óptica y Optometría puedan utilizar como material de apoyo en asignaturas como “Biología, Genética e Histología aplicada al Sistema Visual”.

La comprensión de la estructura histológica del globo ocular y del proceso de percepción visual implican un temario amplio y complejo que con este trabajo se espera facilitar al máximo. Utilizando este atlas como herramienta de aprendizaje.

## **3- OBJETIVOS**

El objetivo principal de este trabajo consiste en elaborar un atlas histológico del globo ocular que pueda ser utilizado como material de apoyo docente a los estudiantes del grado en Óptica y Optometría.

Para lograr el objetivo principal, es fundamental que se cumplan también ciertos objetivos específicos. El trabajo, el cual está dirigido a la docencia, debe ser claro y sencillo para la mejor comprensión sobre la estructura histológica del globo ocular por los estudiantes.

Además, este trabajo busca destacar el importante papel que tienen los microscopios virtuales ya que permiten a los estudiantes poder usarlos de una

manera no presencial y, por lo tanto, sin estar restringido su uso al horario destinado a las prácticas presenciales. Esta idea toma aún más importancia si tenemos en cuenta situaciones sanitarias como la ocasionada por el virus SARS-CoV2.

También, se pretende acercar al estudiante al conocimiento de diferentes fuentes de información y así poder llevar a cabo una búsqueda de forma autónoma, ofertando diferentes maneras de obtener imágenes y sitios web donde recoger información y poder complementar con los materiales ofrecidos por los docentes durante las clases magistrales.

#### **4-METODOLOGÍA**

Como se ha dicho previamente el objetivo principal de este trabajo es elaborar un atlas de imágenes histológicas del globo ocular, con el fin de recoger y organizar información que va a ser destinada en el ámbito docente.

En el apartado anterior se ha realizado una breve introducción con información sobre los distintos microscopios, entre ellos el microscopio virtual, el cual va a ser el centro de este trabajo. Para ello se han utilizado dos microscopios virtuales: el microscopio virtual Histology guide (<https://www.histologyguide.com/>) y el microscopio virtual de la Universidad de Michigan (<https://histology.medicine.umich.edu/full-slide-list>), de donde se obtuvieron las distintas imágenes y códigos QR que facilitan el acceso a las mismas por los estudiantes. Para complementar las imágenes se han utilizado diferentes fuentes de información como atlas histológicos u otros libros proporcionados por la tutora del trabajo que han sido consultados en las bibliotecas universitarias, entre los que destacan cuatro fundamentalmente:

1. Histología texto y Atlas. Ross 6a edición. Año 2012. Editorial panamericana
2. Histología Básica texto y atlas. Junqueira y Carneiro 12a edición. Año 2015. Editorial panamericana.
3. Histología esencial. Netter 3a edición. Año 2021. Editorial el sevier.
4. Histología humana. Stevens y Lowe. 5a ed. Año 2020. Editorial elsevier.

Otra información ha sido obtenida de diferentes páginas webs las cuales se reflejan en la bibliografía de este trabajo.

#### **5-DESARROLLO DEL TEMA**

Los ojos son órganos sensoriales pares ubicados en la cavidad orbitaria sostenidos por los seis músculos extrínsecos que controlan sus movimientos y protegidos en su parte posterior por un “colchón” de tejido adiposo. En su parte anterior están protegidos por los párpados, revestidos por piel en su parte exterior y por la conjuntiva palpebral en su parte interior. La conjuntiva palpebral se continua con la conjuntiva bulbar, que cubre el globo ocular hasta la córnea (Fig. 2).

Cada ojo actúa como receptor para que el proceso de percepción visual se pueda llevar a cabo. En el adulto tienen un diámetro de unos 25 mm presentando una forma casi esférica donde se distinguen un polo posterior y un polo anterior. El ojo adulto pesa aproximadamente entre 7 a 7.5 gramos.



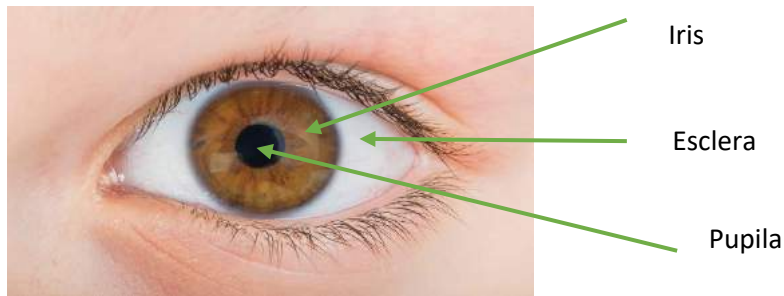
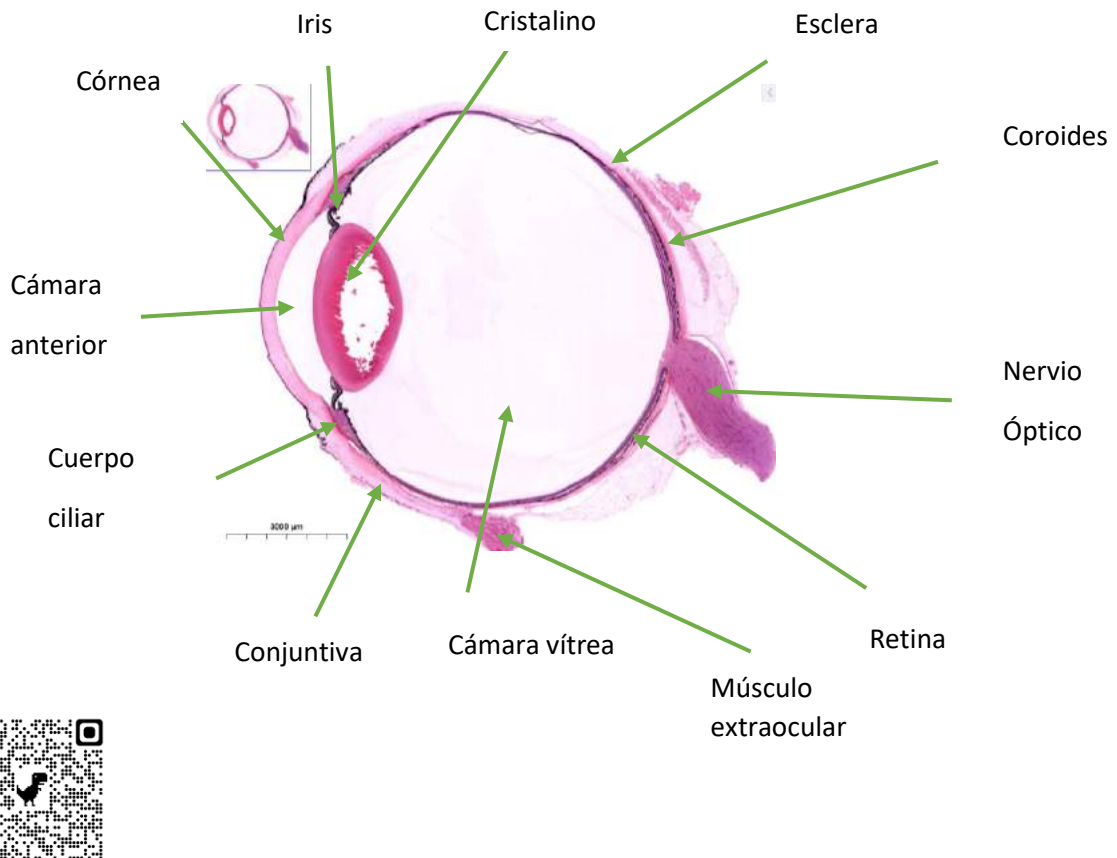


Figura 2: Vista frontal de un ojo humano y las partes visibles del mismo

El globo ocular está compuesto por 3 capas o túnicas principales:

- Capa o túnica fibrosa, conformada por la esclera, la córnea y el limbo esclerocorneal. La esclera o esclerótica es una capa opaca que recubre los cinco sextos posteriores del ojo. La córnea es la parte transparente y más anterior de la capa fibrosa que representa la continuación anterior de la esclera, ocupando el sexto anterior restante del ojo. El limbo es la zona de transición entre las partes anteriormente citadas.
- Capa o túnica vascular, denominada también úvea o tracto uveal, está formada por tres partes continuas entre sí. Desde posterior a anterior, estas son: la coroides, el cuerpo ciliar y el iris.
- Capa o túnica interna, la retina: esta capa se subdivide en dos, una externa constituida por epitelio pigmentario, y una interna o nerviosa que es la retina neural propiamente dicha. (7)

Estas tres capas comprenden el contorno circular del globo ocular. El ojo contiene 4 estructuras refractivas, tres de las cuales se encuentran en su interior. Estas son el cristalino, el humor acuoso y el humor vítreo, a las cuales se les suma la córnea. Estas estructuras son fundamentalmente medios transparentes con capacidad de modificar la dirección en la cual inciden los rayos de luz (refracción) en el ojo, asegurándose de que se focalicen directamente en la retina (Fig.3). (7)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-302-eye/20-slide-1.html>

Figura 3: Corte histológico transversal del ojo humano teñido con H&E.

## 5.1-CAPA O TÚNICA FIBROSA

Como se ha citado previamente, la capa o túnica fibrosa es la capa más externa del globo ocular y está formada por tres estructuras: La esclera, la córnea y el limbo esclerocorneal.

### 5.1.1 Esclera o esclerótica

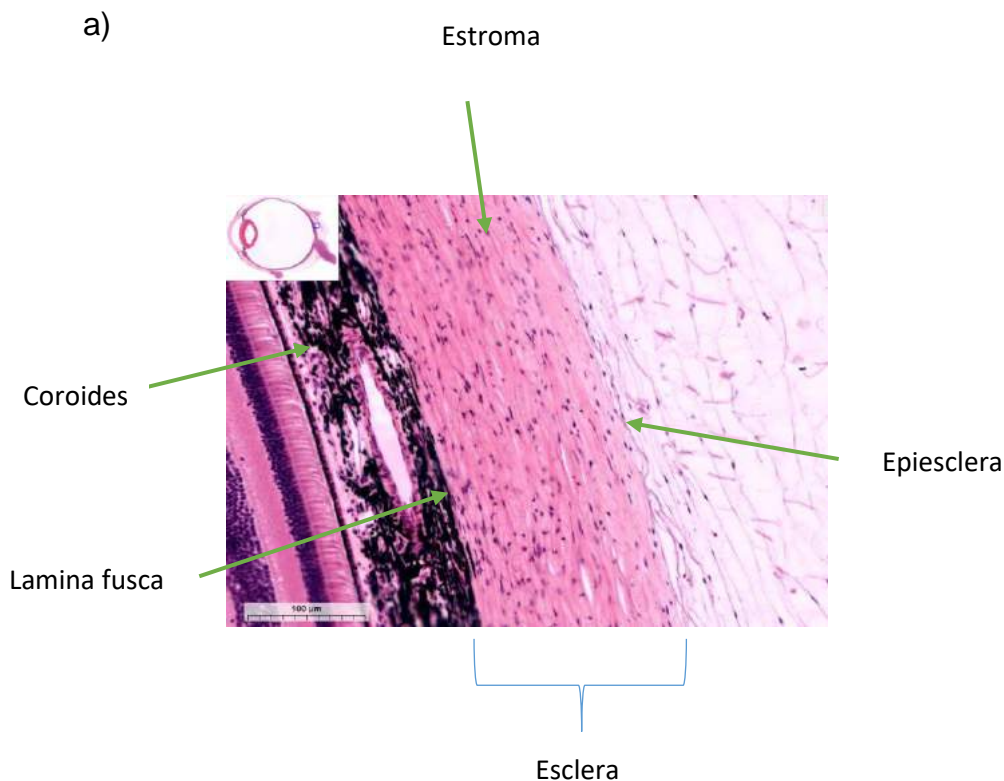
La esclera es una capa fibrosa gruesa, la cual, estructuralmente está compuesta casi en su totalidad por tejido conjuntivo denso modelado formado fundamentalmente por, colágeno, fibras elásticas, fibroblastos, proteoglucanos y melanocitos. Su contenido hídrico es de aproximadamente un 68%. Las fibras constituyen el 75% de su peso en seco. A diferencia de la córnea, los haces y fibrillas de colágeno esclerales tienen un diámetro variable y se entrelazan irregularmente y no en laminillas regulares haciendo opaca a esta estructura. El colágeno escleral es fundamentalmente de tipo I, en menor proporción los tipos III, V y VI. Entre los componentes de la sustancia fundamental destaca el

dermatán sulfato. El espesor escleral en un adulto aproximadamente se encuentra entre 25 y 230  $\mu\text{m}$  dependiendo de su localización. (8,9)

Las funciones principales de la esclera son proteger el ojo y a las estructuras internas de eventuales daños, dar forma al globo ocular y adaptarse a los cambios de la presión intraocular.

La esclera se puede dividir en tres capas: la epiesclera, el estroma escleral o sustancia propia y la lámina fusca (Fig. 4a). La epiesclera es la porción más superficial. Es una capa de tejido conjuntivo más laxo con haces de colágeno de pequeño diámetro y con sustancia fundamental más abundante que el estroma escleral. El estroma escleral o sustancia propia es relativamente avascular y está compuesto por una red densa de fibras de colágeno. Por último, la lámina fusca es la parte más interna, se denomina así por su ligera coloración oscura debida a la presencia de melanocitos, también contiene fibras de colágeno más delgadas y fibras elásticas (Fig. 4a). (8)

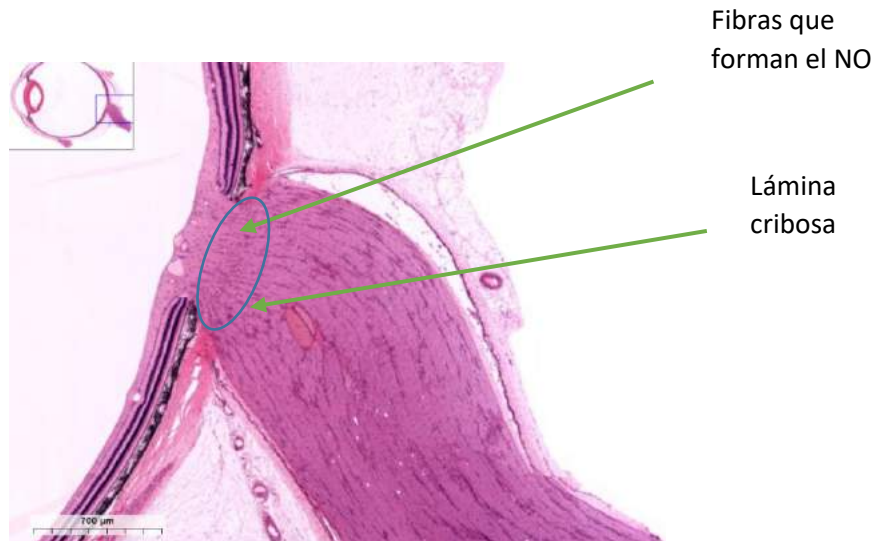
En la parte más posterior del globo ocular, la esclera es atravesada por las fibras que forman el nervio óptico (NO), ésta zona de la esclera se denomina lámina cribosa, la lámina cribosa esclerótica; los diminutos orificios de esta lámina sirven para la salida de la transmisión de las fibras nerviosas formando el NO (Fig. 4b).



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-302-eye/20-slide-1.html>



b)



[https://histologyguide.com/slideview/MHS-302-eye/20-slide-](https://histologyguide.com/slideview/MHS-302-eye/20-slide-1.html?x=34166&y=21125&z=10.0&page=4)

[1.html?x=34166&y=21125&z=10.0&page=4](https://histologyguide.com/slideview/MHS-302-eye/20-slide-1.html?x=34166&y=21125&z=10.0&page=4)

Figura 4: a) Corte histológico de la esclera humana teñido con H&E b) Corte histológico de la lámina cribrosa del NO teñido con H&E.

**-Apunte clínico:** Las afecciones más importantes de esta capa son las inflamatorias. Las inflamaciones de la esclera pueden dividirse en dos categorías de acuerdo a su importancia clínica: **Epiescleritis y escleritis** son inflamaciones de esta capa, siendo la primera una enfermedad benigna que generalmente no está asociada a enfermedades sistémicas, mientras que la segunda es una patología destructiva y que con frecuencia se asocia a trastornos sistémicos graves diferenciándose de la anterior por la presencia de fotofobia, dolor y su localización más profunda.

### 5.1.2 Córnea

La córnea es la parte más anterior y transparente del globo ocular. El diámetro corneal es de aproximadamente en el adulto 12.5 mm, el espesor central es aproximadamente de 0.52 mm y el periférico de 0.65 mm. La parte central de esta capa se denomina zona óptica, el cual es casi esférica con un radio de curvatura anterior promedio de 7.8 mm y posterior de 6.5mm. La córnea contribuye a la mayor parte del poder refractivo del ojo siendo este de aproximadamente 43 dioptrías. (8)

Cubre el 1/6 anterior del ojo y está formada por cinco capas a nivel histológico (Fig. 5).

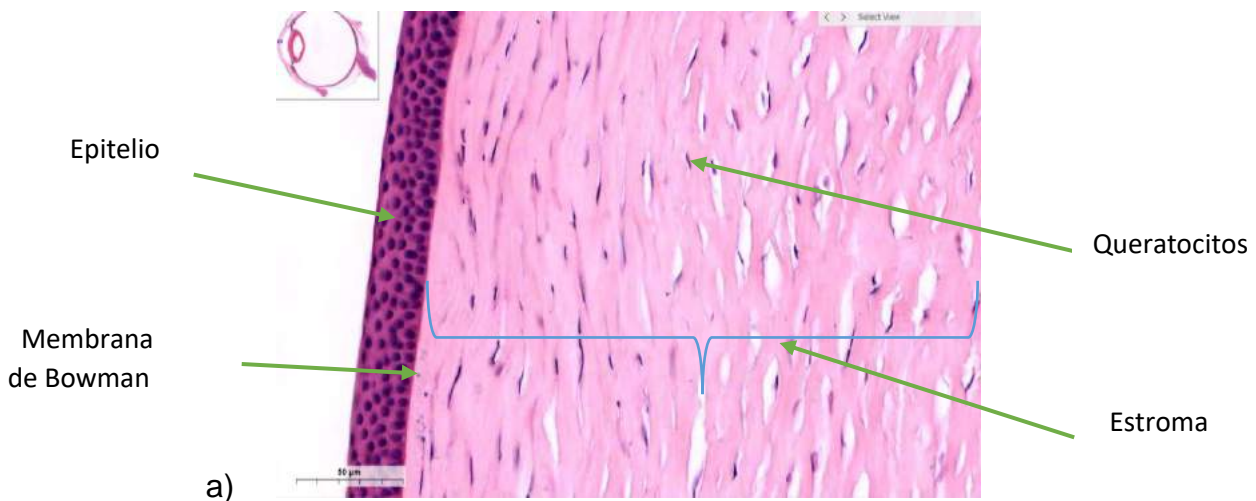
- Epitelio anterior
- Membrana de Bowman

- Estroma
- Membrana de Descemet
- Endotelio o epitelio posterior

En primer lugar, el epitelio corneal es un epitelio escamoso estratificado, formado por aproximadamente 5 capas celulares en el ser humano no queratinizado que cubre su superficie anterior la cual está expuesta al medio ambiente. La membrana de Bowman, situada entre el epitelio y el estroma de la córnea, es una lámina homogénea acelular constituida por fibras de colágeno de un tamaño entre 7 y 12  $\mu\text{m}$ , esta capa no se regenera y desaparece bruscamente a nivel del limbo. A continuación, está la capa más gruesa de la córnea, (90% del espesor corneal) el estroma. Está compuesto por laminillas delgadas, las cuales consisten en haces paralelos de fibrillas de colágeno entre las que se localizan los queratocitos (tipo celular predominante encargado del mantenimiento de la matriz extracelular), también contiene proteoglicanos, linfocitos y macrófagos siendo fundamental, la organización de sus componentes para el mantenimiento de la transparencia corneal (Fig. 5a).

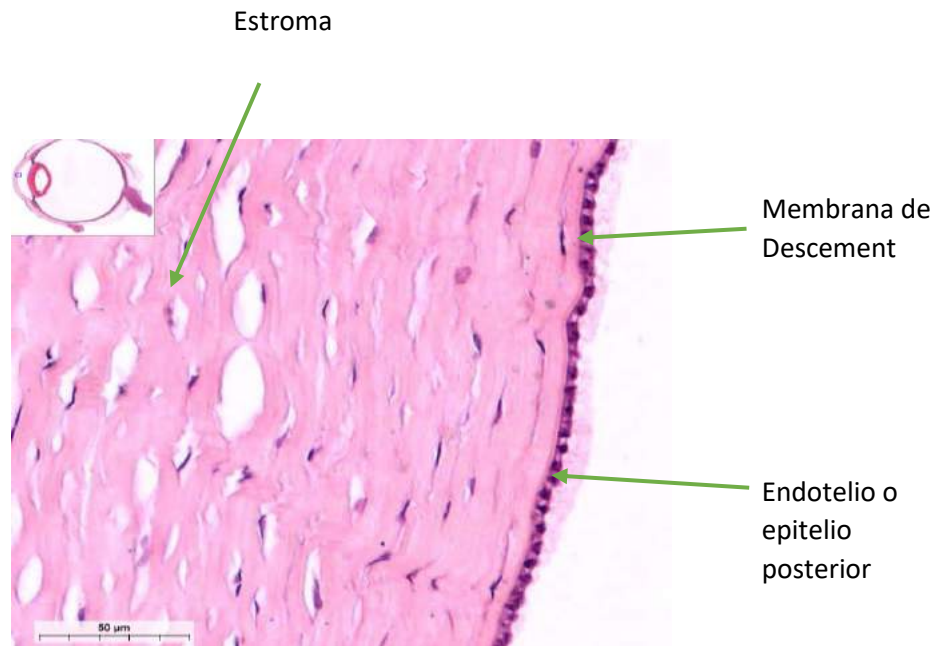
La membrana de Descemet es la lámina basal del endotelio o epitelio posterior de la córnea, situada entre este y el estroma corneal, es una membrana basal gruesa de 10-15  $\mu\text{m}$  de grosor, es avascular y consiste en una red entrelazada de fibras de colágeno, proteoglicanos, laminina y fibronectina. Está a diferencia de la membrana de Bowman, se regenera con rapidez después de una lesión.

El endotelio corneal tiene un grosor aproximado de 5  $\mu\text{m}$ , es un epitelio simple plano que no se regenera en el ser humano cuyas células tapizan la superficie corneal que limita con la cámara anterior el ojo (Fig. 5b). (8, 13)





b)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-302-eye/20-slide-1.html?x=1055&y=14773&z=100.0&page=2>

Figura 5: a) Corte histológico de la córnea humana para diferenciar las tres primeras capas teñido con H&E. b) Corte histológico de la córnea humana para diferenciar las dos capas más internas teñido con H&E.

**Apunte clínico:** Existen diversos tipos de patologías corneales, entre las que destacan: el queratocono, es un debilitamiento y adelgazamiento de la córnea central. La córnea desarrolla una deformidad en forma de cono, originando un astigmatismo corneal oblicuo irregular, así como una miopización que se traduce en una distorsión de las imágenes (Fig.6). La distrofia endotelial de Fuchs es una anomalía hereditaria del endotelio en la que cuando está enferma los fluidos no pueden ser drenados fuera de la córnea y está se edematiza produciendo opacidad y disminuyendo la visión. Finalmente, la queratopatía bullosa es una enfermedad que es producida por la entrada de fluido en la córnea por la alteración del endotelio, produciendo un edema que hace que la córnea pierda su transparencia y en consecuencia se produce pérdida de la visión. (10)



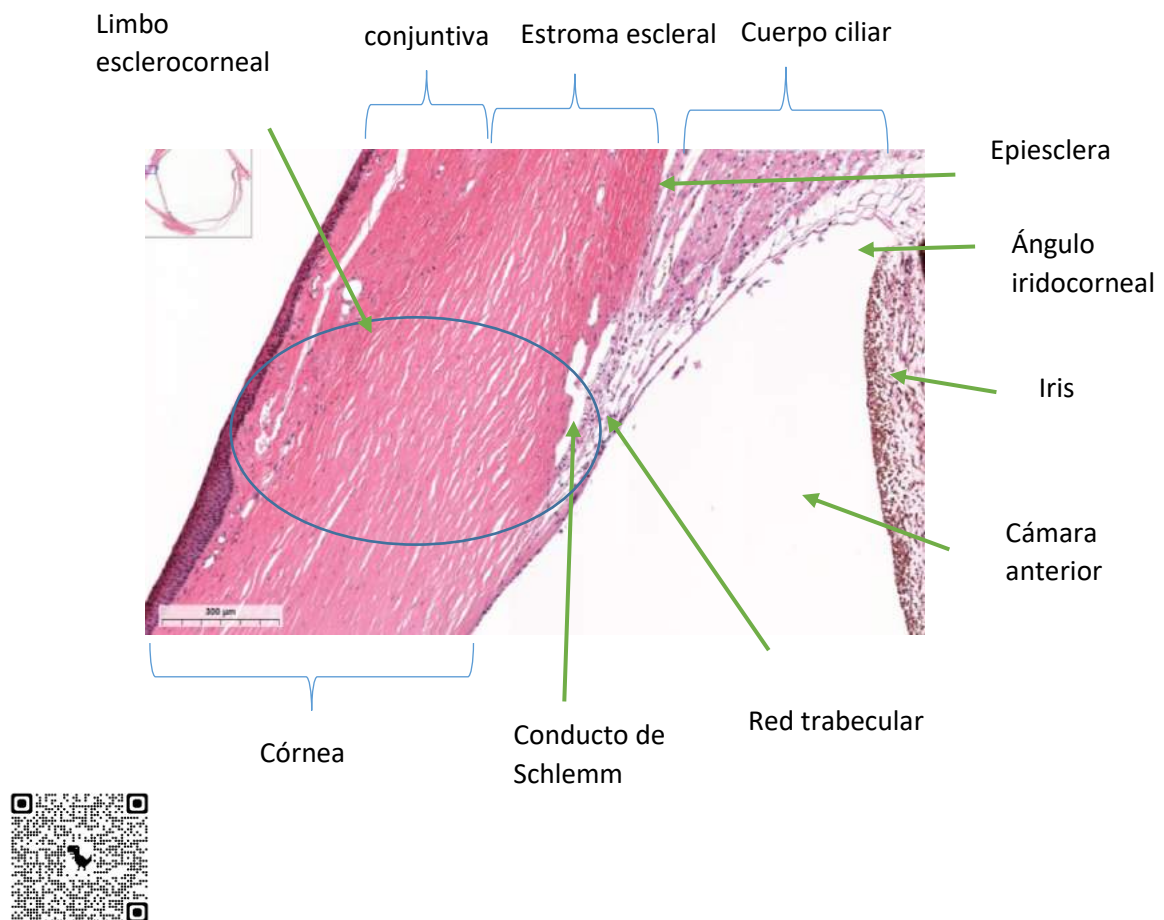
Figura 6: Ejemplo de queratocono

### 5.1.3 Limbo

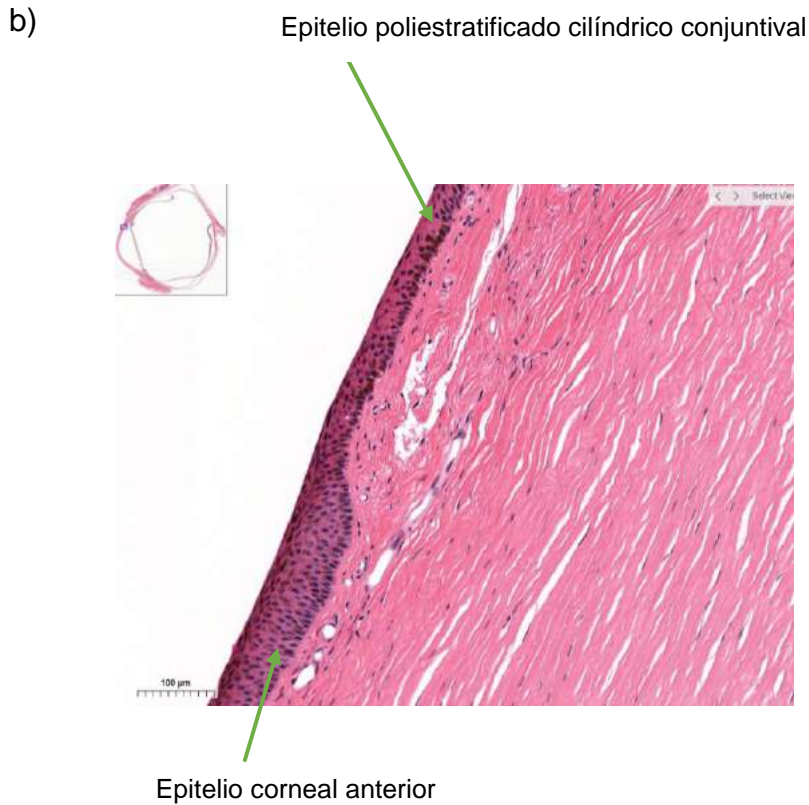
Limbo esclerocorneal es la zona de transición entre la córnea y la esclerótica donde la membrana de Bowman termina de manera súbita, y en su lugar, aparece tejido conectivo laxo subepitelial de la conjuntiva y se produce un cambio en el grosor y organización de las fibras de colágeno del estroma corneal hacia la esclera, en él, se localiza el nicho de células madre (empalizadas de Vogh) (Fig. 7a). El epitelio corneal anterior transiciona a epitelio poliestratificado cilíndrico conjuntival con abundantes células calciformes (Fig. 7b). (8,13)

En él se localiza el sistema de drenaje del humor acuoso, este está formado por la red o malla trabecular y el seno venoso de la esclerótica o canal de Schlemm, que lo componen son responsables de la salida del 90% del humor acuoso, que rellena las cámaras anterior y posterior del ojo a través de la vía trabecular. Tiene especial importancia porque es el lugar por donde drena el humor acuoso, fundamental para el mantenimiento de la presión ocular (Fig. 7a). (8)

a)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227b-eye/20-slid1.html?x=5975&y=28803&z=14.1>



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227b-eye/20-slide-1.html?x=5090&y=29107&z=32.8>

Figura 7: a) Corte histológico del limbo humano teñido con H&E. b) Corte histológico aumentado del limbo humano para observar el cambio de epitelio corneal anterior a epitelio poliestratificado cilíndrico conjuntival teñido con H&E.

**Apunte clínico:** La obstrucción del sistema de drenaje del humor acuoso provoca que el humor acuoso se acumule, como consecuencia de esto la presión intraocular aumenta llegando a provocar daños en el nervio óptico, a esta patología se le conoce como glaucoma.

## 5.2-TUNICA MEDIA VASCULAR O ÚVEA

Capa vascular rica en pigmentos que conforma la túnica intermedia de las tres que constituyen el ojo. Está compuesta por: la coroides, el iris y el cuerpo ciliar.

### 5.2.1 Coroides

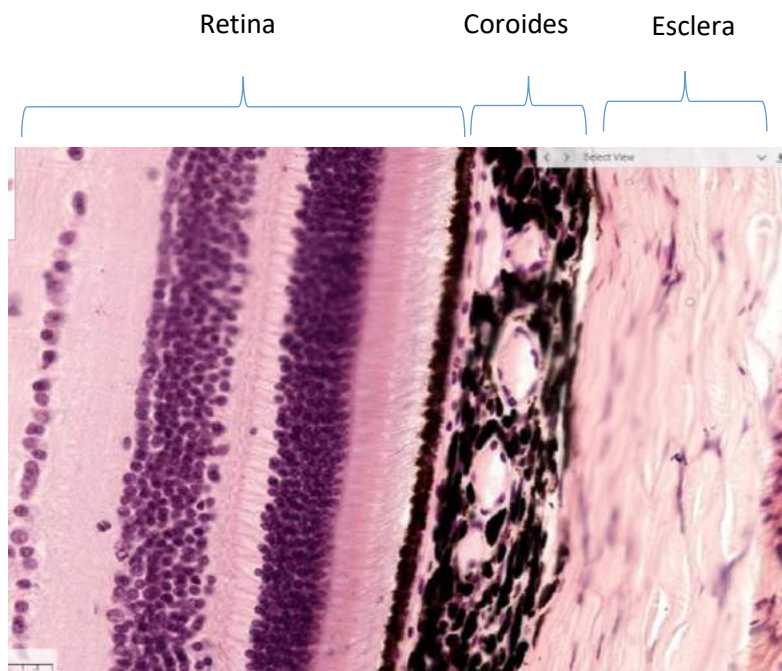
La coroides está situada entre la esclera (en su parte externa y unida a ella de forma laxa) y la retina (en su parte interna y unida a ella de forma firme) (Fig. 8 a). La parte anterior se continua con el cuerpo ciliar en la ora serrata y la parte posterior termina en el nervio óptico. Está formada por tejido conjuntivo laxo, densamente vascularizado y pigmentado (con abundantes melanocitos), por lo que una de las funciones más importantes de esta capa es la de absorber



la luz a fin de impedir la reflexión de la misma y la visión borrosa. Por otra parte, contiene multitud de vasos sanguíneos, esta vascularización permite proporcionar oxígeno y otros nutrientes al ojo, principalmente a las capas más externas de la retina como son el epitelio pigmentario de la retina (EPR) y los segmentos externos de los fotorreceptores (FR). Aproximadamente el 70% de sangre de todo el ojo se localiza aquí. (8, 9)

Sus capas desde la más externa a la más interna son: Supracoroides (sin límite definido con la lámina fusca de la esclera), por otra parte, el estroma corioideo o sustancia propia de la coroides, la coriocapilar, que garantiza la nutrición de las capas más externas de la retina y la membrana de Bruch, la cual es la membrana basal del epitelio pigmentario de la retina (Fig.8 b). (8)

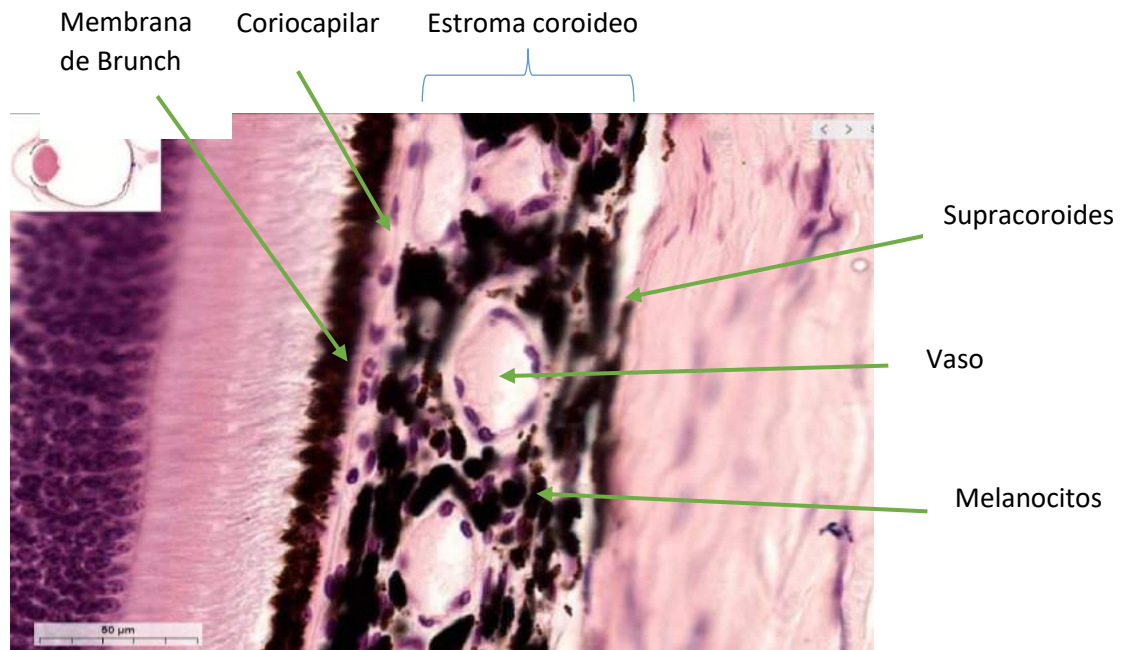
a)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-229-eye/20-slide-1.html?x=51497&y=27068&z=59.2&page=3>



b)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-229-eye/20-slide-1.html?x=51981&y=26731&z=99.9&page=3>

Figura 8: a) Corte histológico para situar la coroides humana teñido con H&E. b) Corte histológico aumentado de la coroides humana teñido con H&E

**-Apunte clínico:** Las tres patologías más características de la coroides son: la uveítis posterior, el melanoma y el hemangioma de coroides. La uveítis posterior o también conocida como coriorretinitis es la que afecta a la coroides con una mayor frecuencia por una inflamación en una úvea que puede estar asociada a otras enfermedades como la toxoplasmosis, la sífilis, tuberculosis o el virus herpes (Fig. 9a). El melanoma de coroides es un tumor ocular maligno que crece desde la coroides hacia el exterior o interior de los ojos y que puede tener un componente hereditario (Fig. 9c). Por último, el hemangioma de coroides es una tumoración benigna intraocular que se produce cuando hay crecimiento en los espacios vasculares en la capa posterior del ojo, como consecuencia de una acumulación de líquido por debajo de la retina (Fig. 9c). (14)

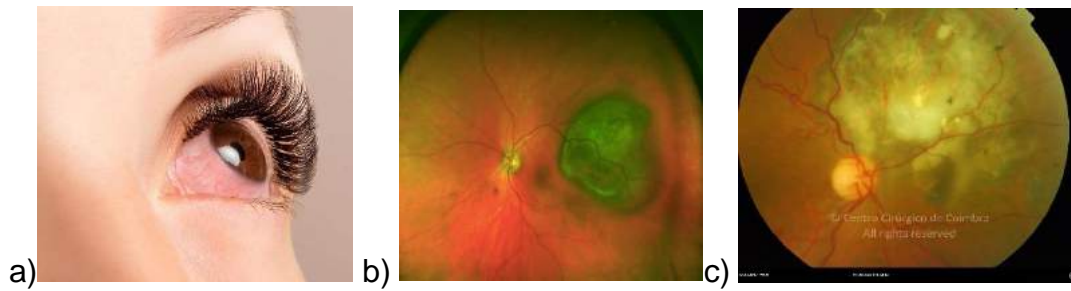


Figura 9: a) Ojo con una uveítis posterior b) Fondo de ojo de un melanoma c) Fondo de ojo de un hemangioma de coroides

### 5.2.2 Cuerpo ciliar

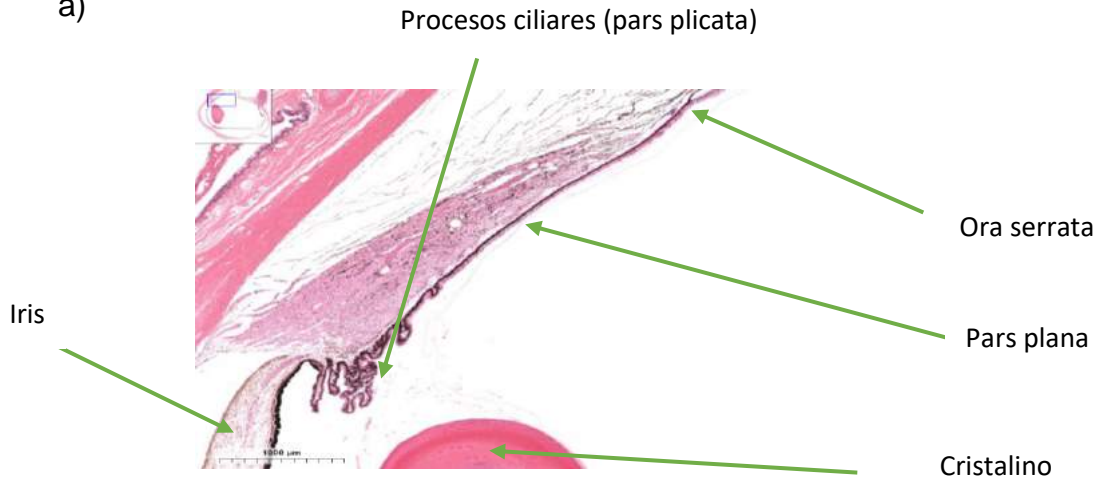
El cuerpo ciliar es la porción anterior engrosada de la túnica vascular y está situado entre el iris y la coroides, se extiende posterolateralmente por unos 6 mm desde la raíz del iris hasta la ora serrata y es un engrosamiento de la úvea, donde se localiza el músculo ciliar. En el cuerpo ciliar se distinguen dos zonas: la pars plicata que es la parte anterior y consta de unas 70 crestas, y la pars plana que es la parte posterior (Fig. 10 a).

Entre sus capas, el epitelio ciliar pigmentado es una única capa de células cúbicas que van desde la ora serrata hasta la raíz del iris donde se continúan con las células mioepiteliales. El epitelio ciliar no pigmentado es una única capa de células cubico-cilíndricas que se continúan con el epitelio pigmentado posterior del iris. El estroma es tejido conectivo laxo muy vascularizado, donde se sitúa el músculo ciliar, responsable de la acomodación del cristalino. (Fig. 10 c). (8,9)

Las funciones principales del cuerpo ciliar son: la acomodación del cristalino gracias al músculo ciliar el cual mediante su contracción reduce la tensión de las fibras zonulares las cuales están insertadas en el cristalino permitiendo aumentar el poder de convergencia y posibilitando la visión cercana.

Las células del epitelio son las encargadas de la formación del humor acuoso (Fig. 10b). (8,11)

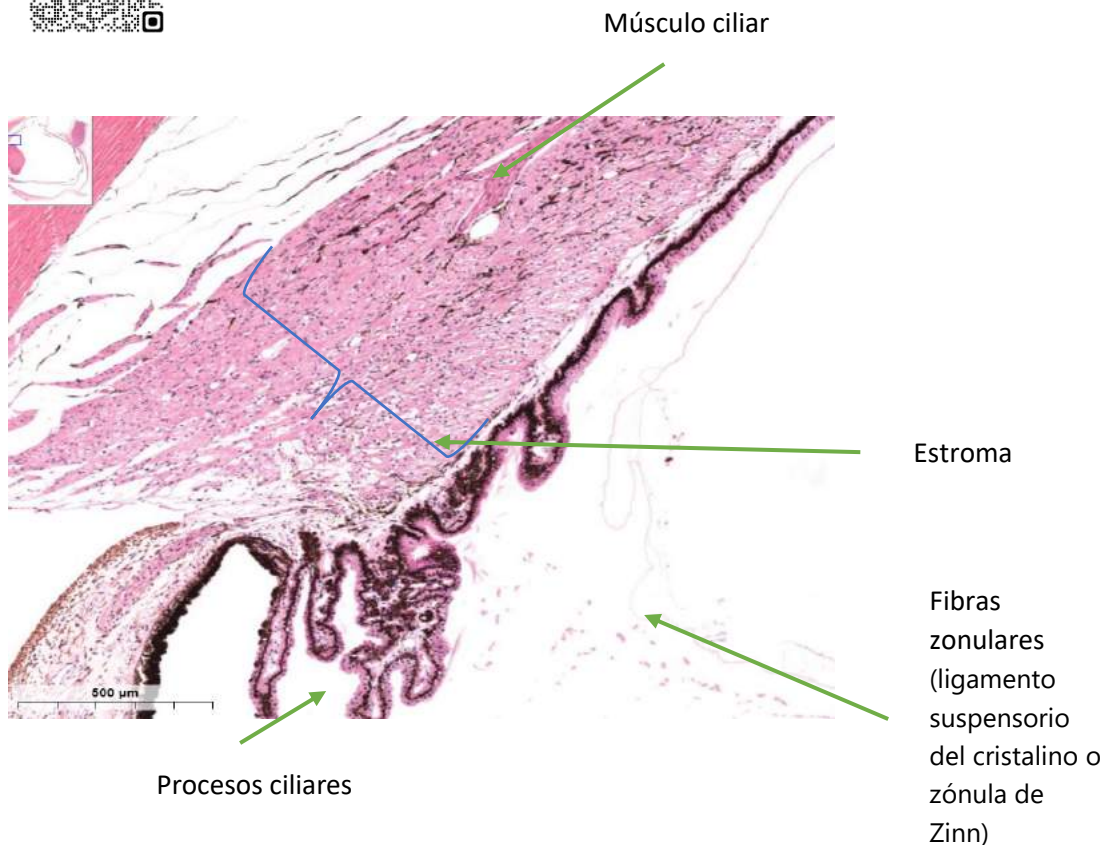
a)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227a-eye/20-slide-1.html?x=17666&y=21100&z=4.4&page=3>



b)

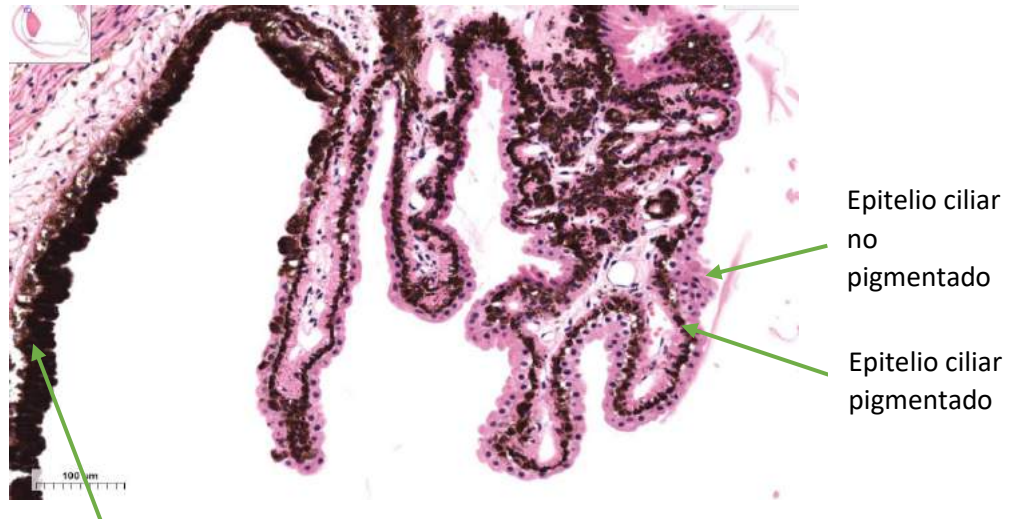


<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227a-eye/20-slide-1.html?x=16925&y=21842&z=10.6&page=3>





c)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227a-eye/20-slide-1.html?x=14611&y=24075&z=31.5&page=3>



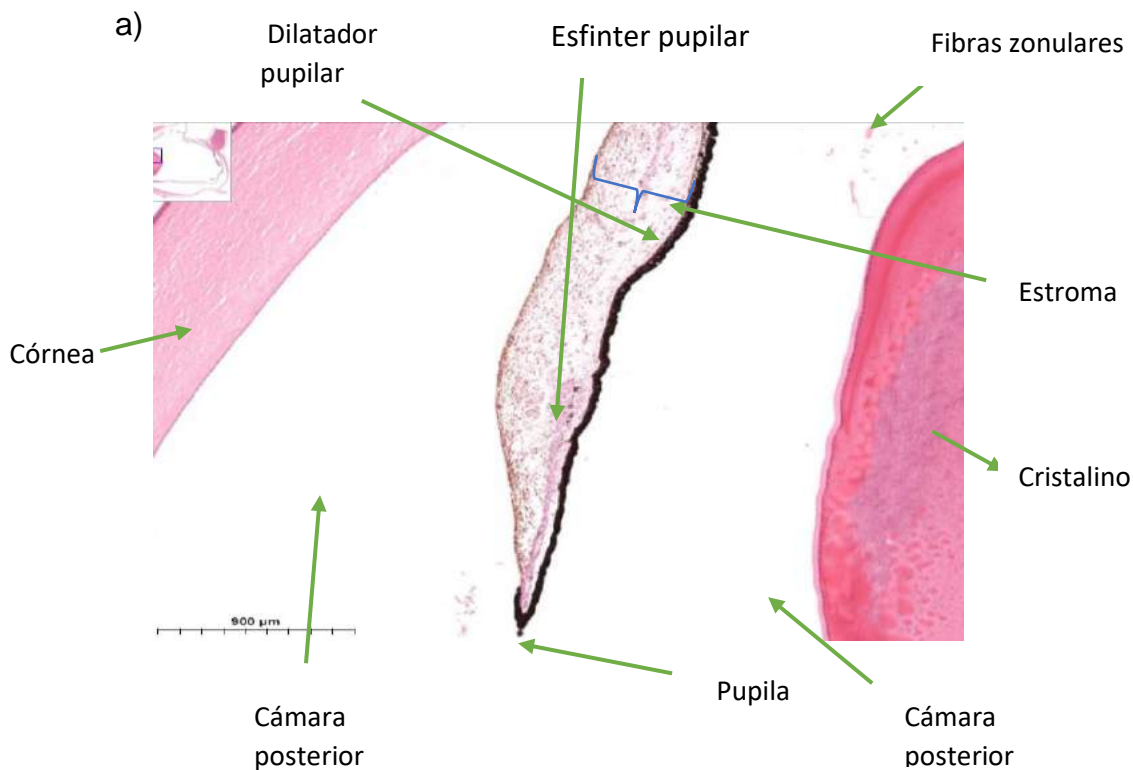
Figura 10: a) Corte histológico del ojo humano para observar la localización de la ora serrata en relación a el cuerpo ciliar teñido con H&E b) Corte histológico aumentado del cuerpo ciliar humano teñido con H&E. c) Corte histológico aumentado para observar los epitelios del cuerpo ciliar teñido con H&E

**-Apunte clínico:** La patología más destacada del cuerpo ciliar es la uveítis. La uveítis al igual que en la coroides, es una inflamación de la úvea que puede estar asociada a otras enfermedades como la toxoplasmosis, la sífilis, tuberculosis o el virus herpes en el caso de infecciosas, pero si no es infecciosa se relacionan con enfermedades generales como artritis idiopática juvenil, espondilitis anquilosante... (11)

### 5.2.3 Iris

El iris es la porción más anterior de la túnica vascular que forma un diafragma contráctil delante del cristalino, siendo la separación entre la cámara anterior y la posterior del globo ocular con un diámetro aproximado de 12 mm. Su función se basa en ser el diafragma del ojo y actúa regulando la cantidad de luz que pasa debido a la presencia de los músculos dilatador y constrictor. En cuanto a su coloración, en la cara anterior es variada mientras que su cara posterior es muy oscura (Fig. 11a). (9)

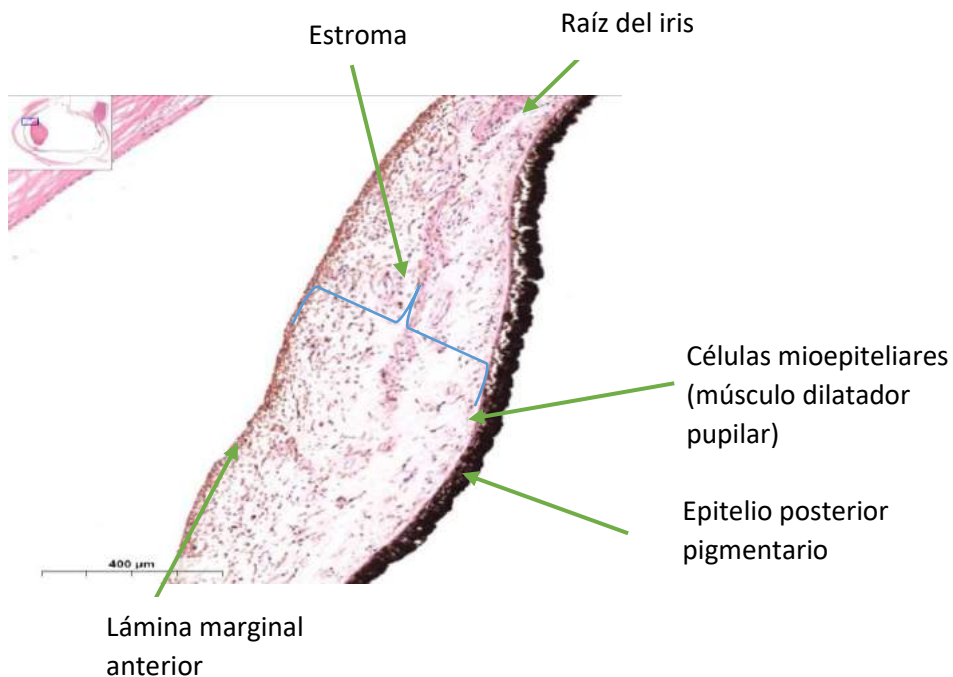
Está constituido por la lámina marginal anterior formada fundamentalmente por melanocitos y fibroblastos, el estroma formado por tejido conectivo laxo muy vascularizado, encontrándose en esta capa circularmente el músculo constrictor de la pupila (esfínter). El epitelio posterior que es un epitelio cubico simple pigmentado sobre el cual se localizan las células mioepiteliales cuyas prolongaciones apicales forman el músculo dilatador de la pupila y se continua con el epitelio ciliar pigmentado porque en la región de la raíz del iris estas células pierden las prolongaciones que le aportan capacidad contractil. En la zona de la raíz del iris, el epitelio pigmentado pierde su pigmento continuándose con el epitelio claro o no pigmentado del cuerpo ciliar (Fig. 11 b). (9)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227a-eye/20-slide-1.html?x=13657&y=32166&z=4.6&page=3>



b)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227a-eye/20-slide-1.html?x=13719&y=26313&z=12.6&page=3>



Figura 11: a) Corte histológico del iris humano teñido con H&E. b) Corte histológico aumentado del iris teñido con H&E

**-Apunte clínico:** Entre las patologías más características del iris destaca la uveítis anterior siendo en este caso la inflamación del iris. Otros defectos oculares que afectan al iris son la heterocromía se produce cuando una persona tiene dos ojos de distinto color (completa) o cuando el ojo tiene zonas de distintos colores (parcial). Por último, la aniridia es un trastorno global del desarrollo del ojo durante el embarazo que consiste en la falta parcial o total del iris.

### 5.3-TÚNICA INTERNA NERVIOSA O RETINA

La retina es la más interna de las tres tunicas del globo ocular. Es una estructura receptora del estímulo lumínico cuya función es transformar la luz en

un impulso nervioso que se transmiten al cerebro. Se divide en dos partes: el epitelio pigmentario y la retina neural. (9)

Histológicamente, esta estructura se divide en 10 capas de afuera a dentro son las siguientes: el epitelio pigmentario (EPR), los segmentos externos de los fotorreceptores (FR), la membrana limitante externa (MLE), la capa nuclear externa (NE), la capa plexiforme externa (PE), la capa nuclear interna (NI), la capa plexiforme interna (PI), la capa de células ganglionares (CCG), la capa de fibras del nervio óptico (NO) y la membrana limitante interna (MLI) (Fig. 12 a).

El EPR es la capa externa de la retina, es un epitelio simple cúbico que se extiende desde la papila del nervio óptico hasta la ora serrata. Este epitelio junto con los segmentos externos de los fotorreceptores (FR) se encargan de producir la matriz interfotorreceptora. Entre sus funciones encontramos nutrir a los segmentos externos de los FR, la regeneración del pigmento visual, ingiere y degrada los discos de los segmentos externos de los FR, controla el volumen de iones de la matriz interfotorreceptora, segrega factores de crecimiento que dirigen el desarrollo y actúa como pantalla debido a la presencia de melanina (Fig. 12 b). (8)

Los FR, conos y bastones, se extienden por la capa de los segmentos externos de los FR, la NE y la PE y son los encargados de recibir los estímulos luminosos siendo los bastones con forma cilíndrica los encargados de la visión nocturna y los conos con forma cubica de la visión diurna y de colores. En la PE estable con sinapsis con las neuronas bipolares, las células bipolares las cuales son elementos postsinapticos de los FR.

Las células ganglionares por su parte tienen dendritas que sinaptan con las bipolares y amacrinas a nivel de la PI, se diferencian en dos grupos: las enanas o P que se relacionan con una bipolar y se encargan de percibir la forma, los detalles finos y el color y las difusas o M que se relacionan con varias ganglionares y se encargan de percibir los rasgos gruesos y el movimiento.

En la retina también hay neuronas de asociación que se dividen en tres grupos: las horizontales, cuyos somas se encuentran en la NI y su árbol dendrítico se extiende en la PE encargándose de modular e integrar el mensaje visual que llega de los FR. Las neuronas amacrinas tienen su soma en la NI, actúan como interneuronas a nivel de la segunda sinapsis modulando e integrando el mensaje visual que llega hacia las ganglionares. Finalmente, las interplexiformes son el tercer grupo de neuronas de asociación que tiene su soma en NI desde donde salen ramificaciones que se extienden por la PI y estas reciben aferencias sinápticas desde la PI y mandan su axón hacia la PE.

En la retina hay además de neuronas, células gliales diferenciándose también en tres grupos: las células de Müller que se localizan en todo el espesor de la retina encontrándose su núcleo en la NI y formando la limitante externa (uniones entre segmentos externos de FR) y la interna (pies terminales cubiertos por mucopolisacáridos), se encargan de regular los neurotransmisores, el flujo





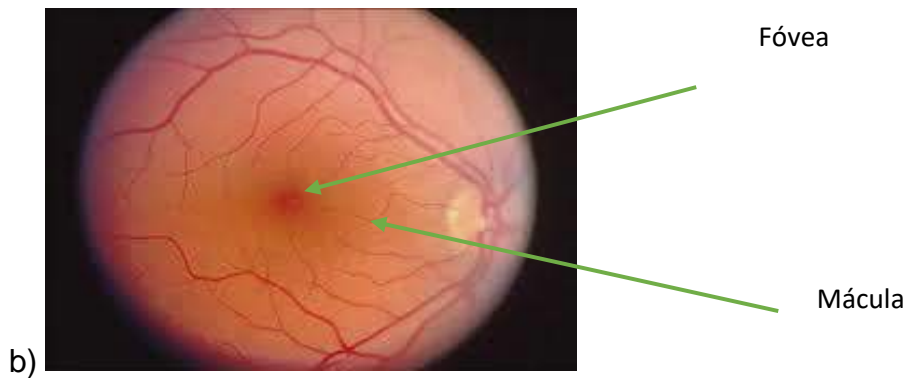


Figura 12: a) Corte histológico de la retina humana teñido con H&E. b) Imagen de un fondo de ojo donde se distinguen la mácula y la fovea.

**-Apunte clínico:** Entre las patologías más importantes que afectan a la retina nos encontramos con el desprendimiento de retina que es la deslocalización de la retina respecto a su posición natural y la degeneración macular asociada a la edad (DMAE) que es una enfermedad degenerativa que altera y destruye las células y el epitelio pigmentario de la zona central de la retina, a la que denominamos mácula, es causada por daño a los vasos sanguíneos que irrigan la misma. También podemos nombrar enfermedades tales como la retinopatía diabética y la retinosis pigmentaria.

#### 5.4-MEDIOS REFRINGENTES Y ANEXOS

Los medios refringentes son medios transparentes del ojo, los cuales son atravesados por la luz que llega desde el infinito hasta su focalización en la retina, es decir, se encargan de la refracción de la luz. Estos medios son: la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo.

Los anexos oculares son estructuras anatómicas anejas al ojo. Estos son la conjuntiva, los músculos extraoculares, el párpado y el aparato lagrimal.

##### 5.4.1 Cristalino

El cristalino es un disco biconvexo transparente y avascular (Fig. 13a). Esta compuesto por las fibras del cristalino, las cuales derivan de las células epiteliales subcapsulares que comienzan diferenciándose desde la región denominada línea germinativa o germinal. El crecimiento del cristalino se produce a lo largo de toda la vida. El cristalino cuenta con una capsula la cual es una membrana basal gruesa producida por las células cuboidales subcapsulares que se localizan formando el epitelio anterior, siendo este un epitelio simple cubico. Esta compuesta principalmente por colágeno tipo IV (Fig 13b). (8)

Una característica esencial del cristalino es que tiene la capacidad de cambiar su poder dióptrico (refractivo) al modificar su forma, lo cual le da una característica única: su poder refractivo es flexible y variable. Aunque la córnea es la estructura con mayor capacidad refractiva (43D), el cristalino contribuye hasta 15 dioptrías. El cristalino se mantiene en su lugar gracias a una serie de pequeñas bandas ligamentosas que se extienden desde los procesos ciliares hasta el ecuador del cristalino (son sintetizadas por las células del epitelio claro del cuerpo ciliar). Estas

fibras se denominan fibras zonulares (zónula de Zinn). En conjunto, las fibras zonulares forman el ligamento suspensorio del cristalino. Este ligamento juega un papel importante en el cambio de forma del cristalino para permitir el proceso de acomodación del ojo, disminuyendo o incrementando las dioptrías según el objeto que se quiera enfocar y la distancia a la que este se encuentre y así poder observar una imagen clara y bien definida (Fig. 13b). (8)

Como se describió previamente la contracción del músculo ciliar permite la relajación de las fibras zonulares y por lo tanto el abombamiento del cristalino.

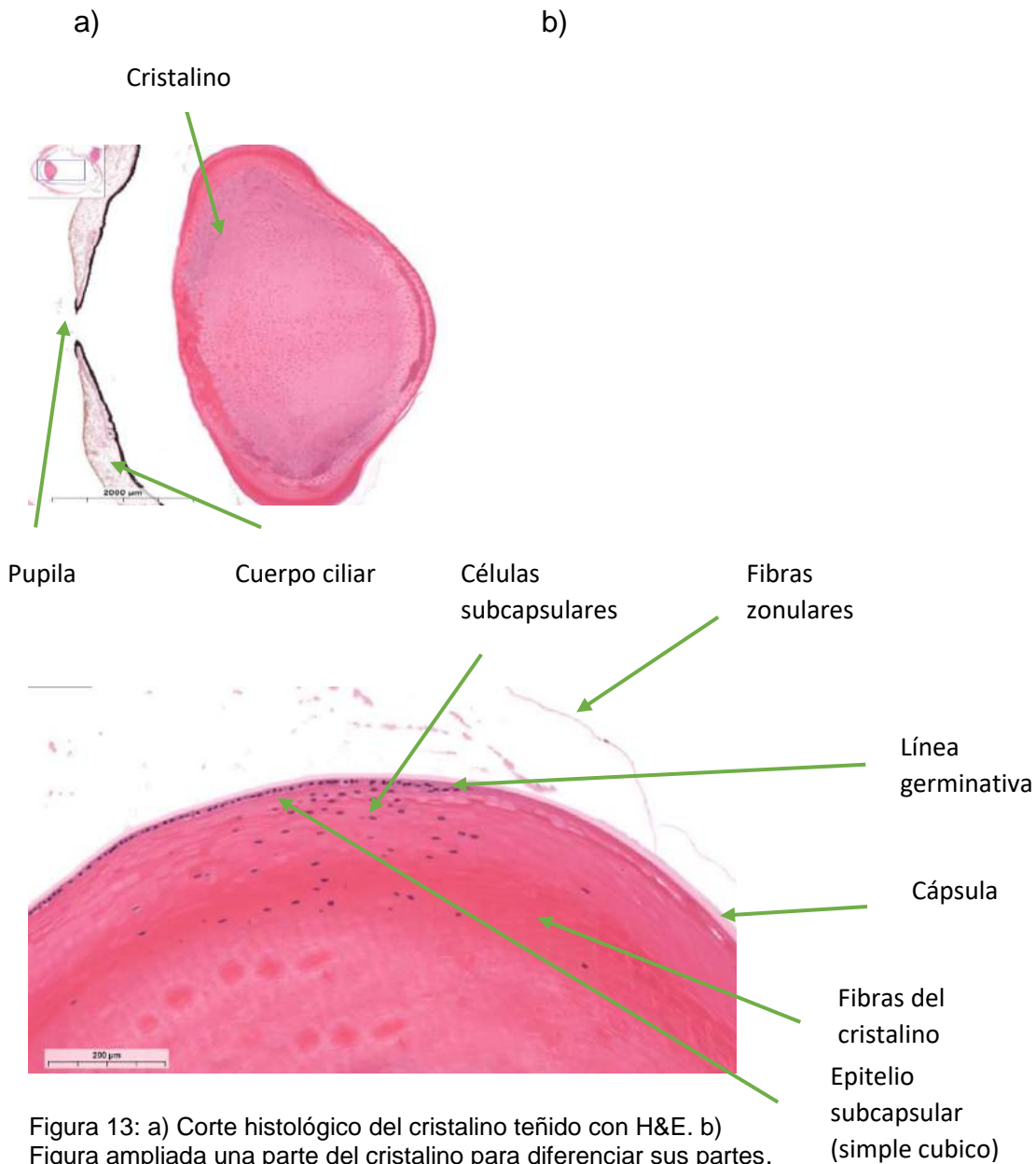


Figura 13: a) Corte histológico del cristalino teñido con H&E. b) Figura ampliada una parte del cristalino para diferenciar sus partes.

<https://histologyguide.com/slideview/MHS-227a-eye/20-slide-1.html?x=20978&y=37432&z=2.9&page=3>



**Apunte clínico:** La patología más común del cristalino es la catarata, la cual se caracteriza por la opacidad del mismo debido a que pierde transparencia, plasticidad y capacidad de enfoque. La capacidad de enfoque se pierde con la edad es a lo que denominamos vista cansada o presbicia, que es la pérdida gradual de la capacidad de los ojos para enfocar objetos cercanos por que a medida que se envejece el cristalino se endurece y se vuelve menos flexible teniendo menos capacidad de adaptarse a los cambios de curvatura.

#### 5.4.2 Humor acuoso y humor vítreo

-El humor acuoso es un líquido incoloro que se encuentra rellenando la cámara anterior y posterior del ojo (Fig. 3). El humor acuoso está compuesto en su 99% por agua correspondiendo el porcentaje restante a una gran cantidad de diferentes sustancias como proteínas, enzimas, glucosa, sodio, potasio...

Esta estructura juega un papel importante en el mantenimiento de la forma de la cámara anterior, su segregación y drenaje ayudan a determinar la presión intraocular (PIO) sus valores normales se encuentran entre 10 y 20 mmHg, se encarga también, de nutrir todas las partes del ojo que no poseen vasos sanguíneos, como la cara posterior de la córnea y la cara anterior del cristalino y contribuye en la refracción de la luz que entra en el ojo canalizando los rayos hacia la pupila y posteriormente hacia el cristalino. (12)

-El humor vítreo es una sustancia gelatinosa transparente que ocupa la cámara vítrea del segmento posterior del ojo (Fig. 3). Contiene alrededor del 99% de agua junto con colágeno, glucosaminoglucanos (sobre todo hialuronano) y una pequeña proporción de células denominadas hialocitos. Cumple funciones muy importantes en la estructura ocular, entre ellas está mantener la forma esférica del ojo y protegerlo de lesiones o traumatismos. (8)

**Apunte clínico:** Entre las patologías que implican al humor acuoso destaca el glaucoma el cual se ha citado previamente. En cuanto al humor vítreo la patología más frecuente es el desprendimiento del mismo o la presencia de moscas volantes, estas se identifican por aparecer como manchas pequeñas, puntos, círculos, líneas o telarañas en el campo visual.

#### 5.4.3 Párpado

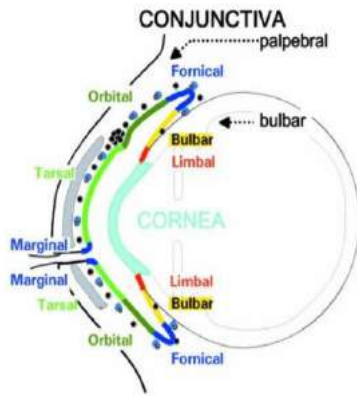
El párpado es un pliegue de piel (superior e inferior) músculo-mucoso móvil que protege externamente al globo ocular. En su margen libre se encuentran las pestañas. Entre la superficie interna de los párpados y la superficie anterior del globo ocular se localiza la conjuntiva (Fig. 14c). La conjuntiva es una membrana mucosa delgada y transparente que conecta el globo ocular con la piel del párpado y se extiende sobre la esclera hasta el limbo esclerocorneal, desapareciendo en el comienzo de la córnea. Está compuesta por un epitelio estratificado cilíndrico con células caliciformes y tejido conjuntivo laxo. Podemos diferenciar la conjuntiva palpebral, bulbar y el fondo de saco o fórnix (Fig. 14a). (8)

El párpado contiene 4 tipos principales de glándulas: de Meibomio, de Zeiss, de Moll y las lagrimales accesorias. La glándula lagrimal se encarga de la producción del componente seroso de la película lagrimal la cual humedece la superficie anterior del globo ocular. Se encuentra situada bajo la conjuntiva en el



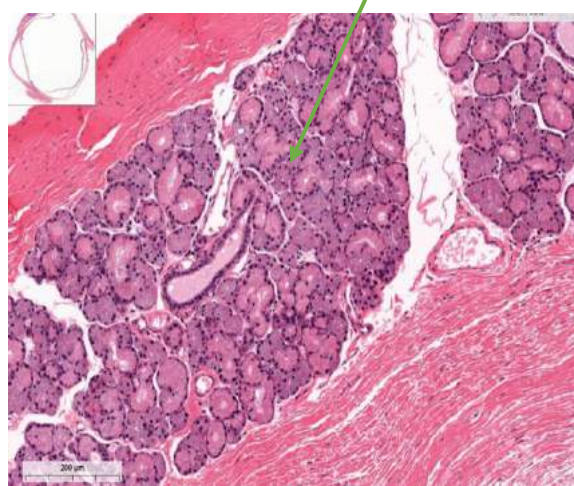
ángulo externo de la órbita y consiste en varios lóbulos individuales compuestos de adenomeros tuboalveolares de secreción (Fig. 14b y d). (8)

a)

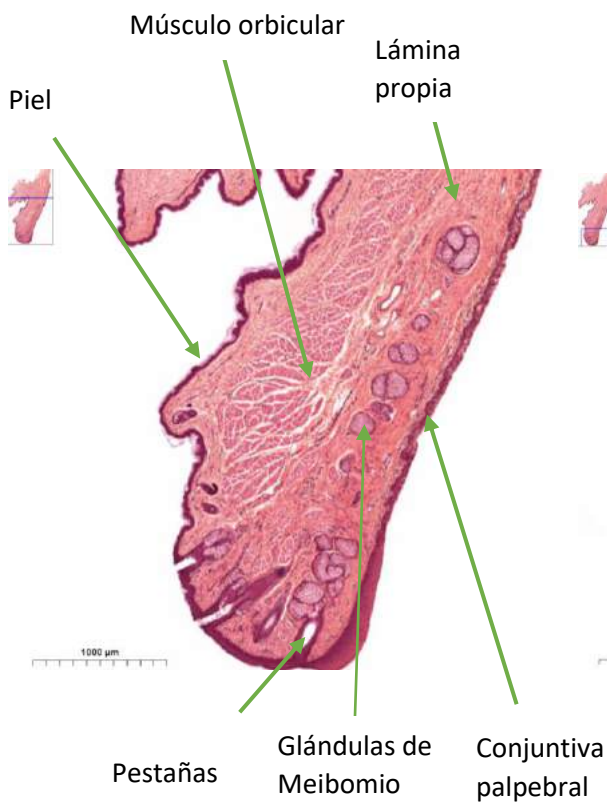


b)

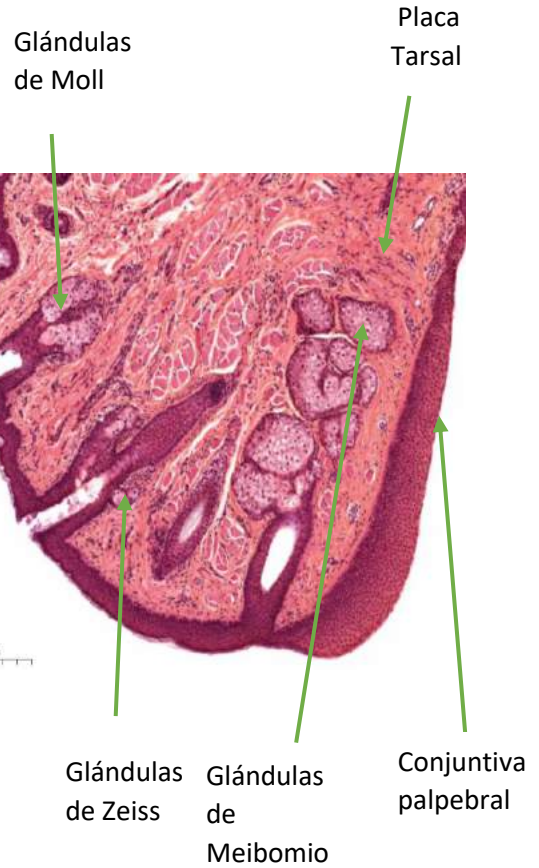
Glándula lagrimal



c)



d)



<https://histologyguide.com/slideview/MHS-231-eyelid/20-slide-1.html>



Figura 14: a) Esquema externo de las capas del párpado humano. b) Corte histológico de la glándula lagrimal humana teñido con H&E. c) Corte histológico del párpado humano teñido con H&E incluyendo la glándula lagrimal. d) Corte histológico aumentado del párpado humano teñido con H&E

**-Apunte clínico:** cabe destacar como patología más característica de la conjuntiva la conjuntivitis que se basa en una inflamación de la misma, por su parte, la dacriocistitis destaca como patología de la glándula lagrimal siendo una inflamación del saco lagrimal o obstrucción del conducto nasolagrimal. Por ultimo, en los párpados se puede manifestar una inflamación del reborde de los mismos denominada blefaritis o podemos encontrarnos con malposiciones del margen palpebral en las que éste rota hacia fuera (ectropion) o hacia dentro (entropion).

## 6-CONCLUSIONES

1. La realización del TFG ha permitido realizar un atlas histológico, a partir de imágenes obtenidas de microscopios virtuales, de las diferentes partes del ojo humano, diferenciando cada una de ellas por su estructura, composición, disposición, funciones e incluso las patologías características que se producen en las mismas.
2. La microscopía virtual es una forma de ver muestras histológicas en un dispositivo permitiendo a los alumnos la manipulación de un microscopio desde fuera de las aulas y en cualquier horario como herramienta educativa.
3. Este atlas pretende servir de recurso docente de la asignatura "Biología, Genética e Histología del Sistema Visual". Por ello, el TFG integra la microscopía virtual con los conocimientos teóricos de la estructura histológica de cada imagen adquirida.

## 6- BIBLIOGRAFÍA

- 1-T. Clark Brelje and L.Sorensson Robert. Histology Guide, chapter 20- organs of especial sense 2005-2021.
- 2- Dra. Silvia Galliano y Constanza Cesario. Histología y Embriología II. Instituto Universitario CEMIC, Escuela de Medicina, Instituto de investigaciones.
- 3-Preato Roció Lourdes y Rovhein Cristina. Resolución del proyecto final "La hora de los genios" referido al microscopio. Instituto Gral. José de San Martín en Buenos Aires, 9 de noviembre de 2018.

4- Zhen Chen, Yi Jiang, Yu-Tsun Shao, Megan E. Holtz, Michal Odrščil, Manuel Guizar-Sicairos, Isabelle Hanke, Steffen Ganschow, Darrell G. Schlom, David A. Muller. Electron ptychography achieves atomic-resolution limits set by lattice vibrations. Cornell University, 2 January 2021.

5-Martorelli Sabrina Lorena, Pesado Patricia Mabel, Dra. Sanz Cecilia Verónica. Microscopios virtuales: Estudio y comparación. Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata La Plata, Buenos Aires, Argentina marzo 2016.

6-V. Pachamé Andrea y L.Portiansky Enrique. Microscopía virtual: una nueva herramienta tecnológica para la enseñanza de la histología y la patología. Universidad Nacional de la Plata. Article in Analecta veterinaria en junio de 2017

7-Juan Vélez MD , Alfredo Torres DDS. Kenhub, Anatomía del ojo. 22 de enero de 2022.

8-Glosario terminológico de Anatomía e Histología ocular, Grado de Óptica y Optometría la Facultad de Medicina de la Universidad de Zaragoza 2012/2013.

9-Ross, HM, IG Kayle, W Pawlina El ojo. En: Ross, M. H., & Pawlina, W. Histología: texto y atlas color con biología celular y molecular; Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana. 2013. Pág. 896-919

10-Dr Darchuk. Area oftalmológica avanzada. Patologías oculares/ enfermedades corneales. Argentina.

11-Grupo quiron salud, área de oftalmología avanzada en el Hospital Universitario Dexeus. Cuerpo ciliar.

12-Grupo quiron salud, área de oftalmología avanzada en el Hospital Universitario Dexeus. Humor acuoso.

13-Ávila, R.E. Órganos de los sentidos. En: Samar, M.E.y Ávila, R.E. Histología humana clínicamente orientada: Tejidos y sistemas. Córdoba. Pág. 323-336

14- Equipo médico Bogotá laser. Coroides, que es, enfermedades asociadas y tratamiento. El 28 de octubre de 2020.