

I.INTRODUCCIÓN

1. Estado del arte

El glaucoma es una neuropatía óptica progresiva causada principalmente por el aumento de la presión intraocular del ojo, y caracterizada por cambios estructurales en el nervio óptico. Desafortunadamente, todavía no existe cura para el glaucoma y además en la mayoría de los casos, el glaucoma es detectado después de la pérdida de la visión [1].

Actualmente existen varios métodos de detección de este trastorno, entre ellos citamos la tomografía de coherencia óptica (OCT) [2] y la Tomografía Retinar de Heidelberg (HRT) [3], pero resultan ser lentos, muy costosos además requieren habilidades y equipos especiales. Por lo tanto, es de gran interés desarrollar nuevos métodos para un diagnóstico precoz, rápido y preciso y más económico [4].

Una alternativa para automatizar el proceso del diagnóstico del glaucoma podría ser el uso de las imágenes digitales con las cámaras de fondo de ojo. Tras un procesamiento de imágenes se puede extraer varios parámetros, tales como la identificación y la localización de varias estructuras oculares como el disco óptico y los vasos sanguíneos. Estas características nos pueden proporcionar información útil para el diagnóstico de glaucoma [5].

El Objetivo de este trabajo es el desarrollo de tres tipos de algoritmos que permitirán la aplicación de unas operaciones morfológicas y de umbralización para la detección automática del disco óptico, vasos sanguíneos y el cálculo de varias características. Este sistema es capaz de clasificar el glaucoma automáticamente con una alta sensibilidad y especificidad basándonos en [5].

La Figura 1 muestra el esquema seguido en el desarrollo de este trabajo.

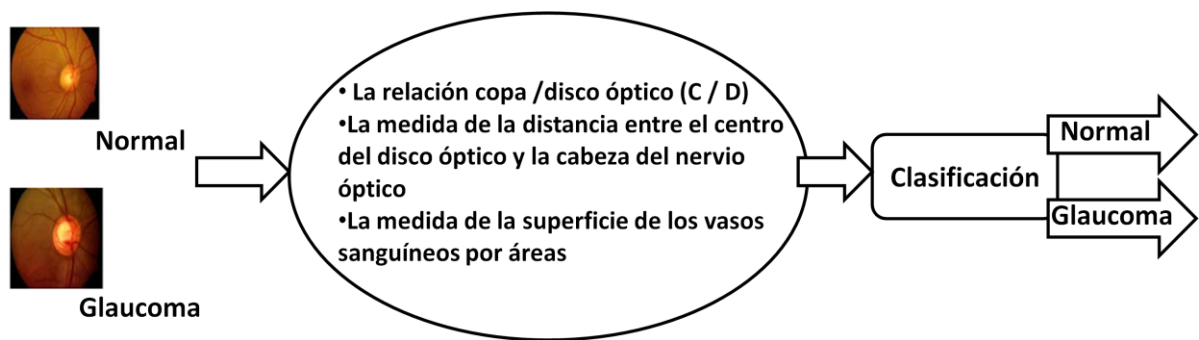


Figura 1. Parámetros analizados para el diagnóstico del glaucoma.

El primer algoritmo se basa en la medida de la relación entre el área del disco óptico y la copa óptica, que en caso del glaucoma se identifica con un incremento en el área de la copa óptica (Figura 2).

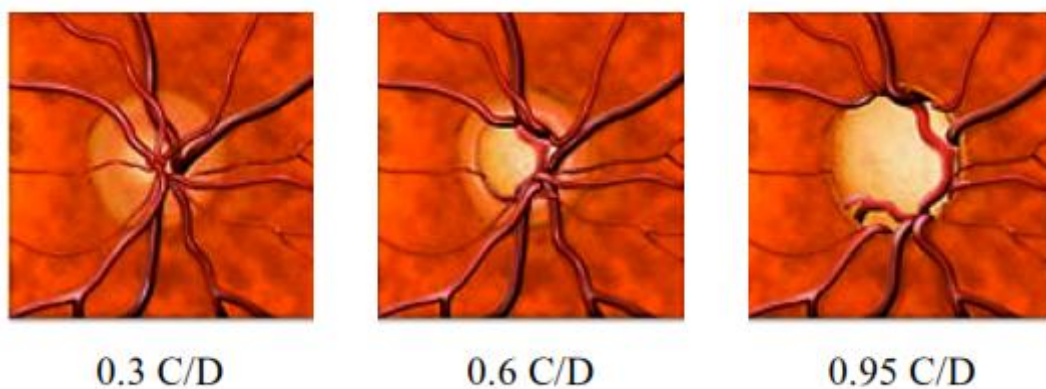


Figura 2. Evolución de la relación Copa-Disco (C/D) con la progresión del glaucoma [6].-

El segundo algoritmo consiste en la relación entre dos parámetros, la distancia del centro del disco óptico y la cabeza del nervio óptico con el diámetro del disco óptico. En caso del glaucoma, se produce un desplazamiento mayor de la cabeza del nervio óptico con respecto al centro del disco óptico debido a una alta presión intraocular (Figura 3).

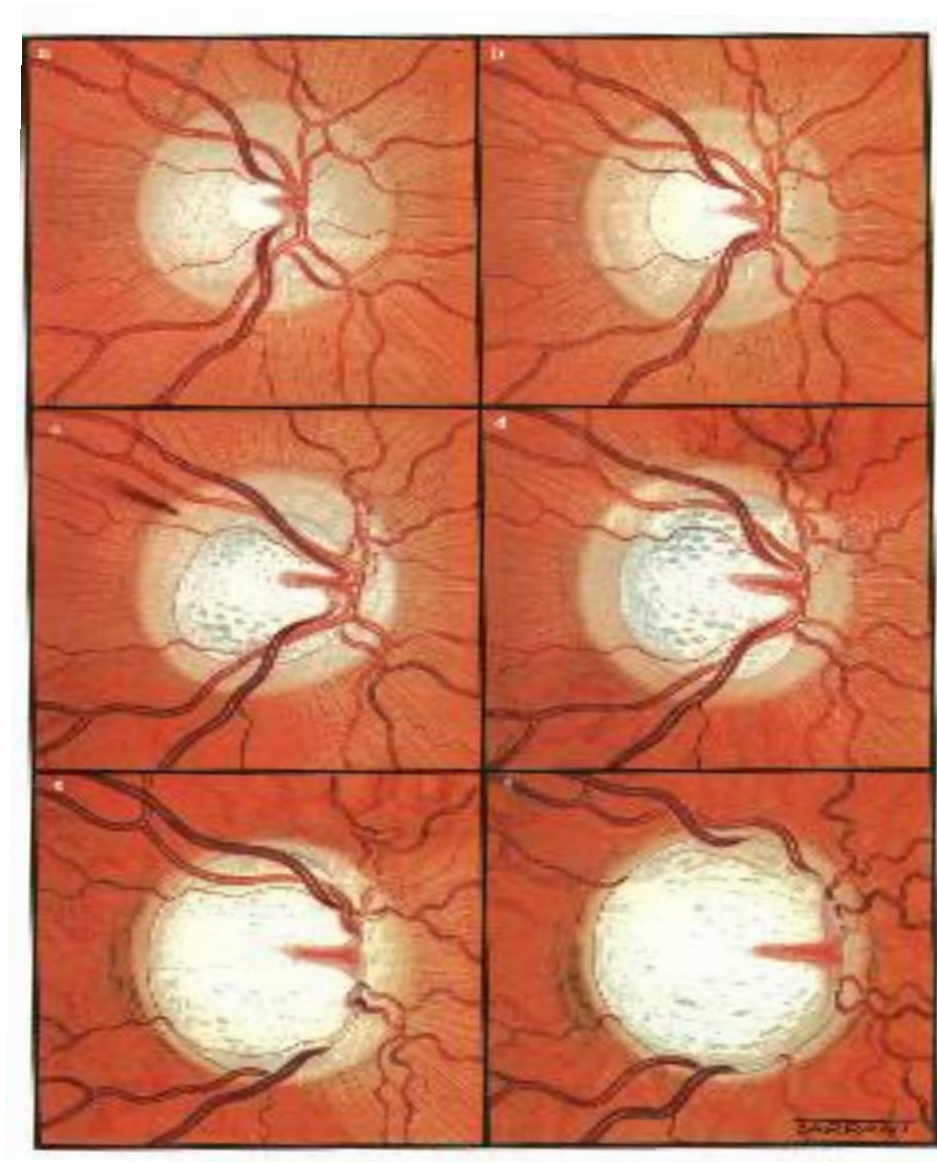


Figura 3. Progresión del desplazamiento del nervio óptico en el caso del glaucoma [7].

Y por último, la característica más destacada es la relación del área total de los vasos sanguíneos en el lado inferior-superior del disco óptico al área nasal-temporal. En el caso del glaucoma, hay un incremento en el área de los vasos sanguíneos en la zona nasal (Figura 4).



Figura 4. Glaucoma en estado avanzado con un desplazamiento nasal de los vasos sanguíneos [7].

2. EL OJO HUMANO

El ojo humano es un órgano compuesto por un complejo sistema anatomofisiológico que tiene como principal función, la visión. La luz atraviesa una serie de medios hasta llegar al órgano encargado de transformar esta energía luminosa en energía química (la retina). Una vez hecha esta transformación, la información recogida se transmitirá por un sistema de conducción (la vía óptica) hasta el procesador de los datos (áreas visuales cerebrales). En este último, se elaborará la percepción final y se establecerá además una correlación entre la percepción visual de un ojo y del otro para configurar una sola sensación luminosa en relieve [8] [9].

Pero para que la luz llegue a la retina, es necesario un sistema visual complejo que tiene que cumplir dos principios fundamentales: la transparencia a la luz y el enfoque perfecto de ésta sobre la retina. Esto se consigue mediante la diferenciación de una serie de estructuras que se citan a continuación (Figura 5).

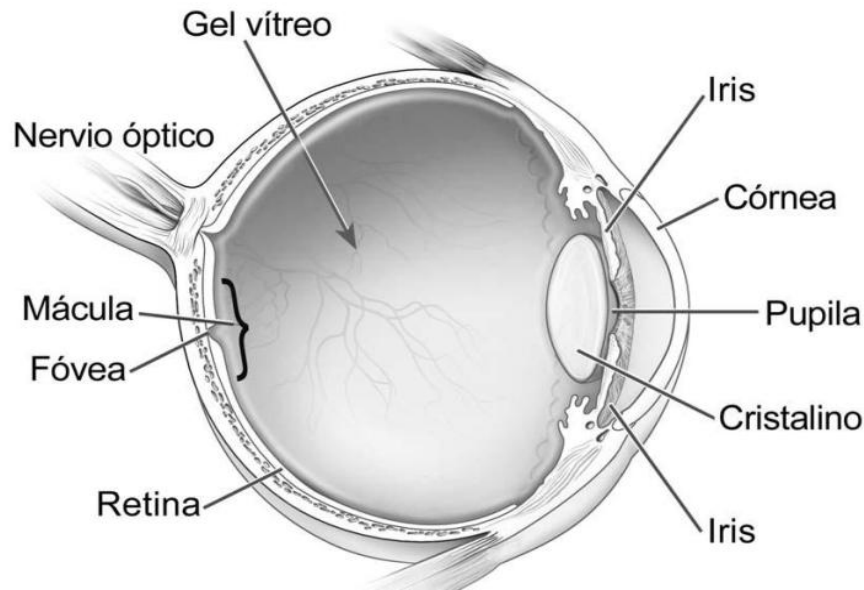


Figura 5. Diagrama del ojo humano [10].

2.1. Esclerótica:

La esclerótica es una túnica opaca y fibrosa de color blanquecino que tiene como función principal la protección del ojo, siendo un soporte rígido y estructural del globo ocular además de la inserción de los músculos extrínsecos del ojo [8] [9] [11].

2.2. La córnea

Es un casquete esférico transparente, situado por delante de la esclerótica y unido a ella a través del limbo. La córnea sirve de protección activa a los agentes externos, pero además tiene una función óptica que consiste en enfocar los rayos de luz que entran. Por ello, ha de ser transparente conteniendo muy pocas células y avascular nutriéndose a partir de la lágrima y el humor acuoso. Esta estructura tiene sólo un 65% de agua, porcentaje mantenido gracias a su sistema de bombeo activo de agua [8] [9] [11].

2.3. El cristalino

Es una lente biconvexa transparente, avascular y carente de nervios situada detrás del iris. Su función principal es el enfoque preciso mediante unos pequeños músculos que cambian el grado de convergencia [8] [9] [11].

2.4. El Iris

El iris es un diafragma delgado que se encuentra entre la córnea y el cristalino. Su función principal es óptica regulando la cantidad de luz que entra a través de la pupila mediante la contracción y dilatación ante cambios de luminosidad [8] [9] [11].

2.5. La retina

Es una capa formada por un tejido neuroepitelal que se encuentra en la parte más profunda del ojo conectada al cerebro por el nervio óptico lo que le permite ejercer su misión principal que es transformar la luz en un estímulo nervioso [8] [9] [11].

2.6. El gel vítreo

El gel vítreo representa la masa principal del globo ocular llenando la parte entre la retina y el cristalino. Tiene varias funciones, por una parte la protección y la amortiguación, además de mantener la forma y la presión interna del ojo. Y por otra parte, una función óptica debido a su transparencia [8] [9] [11].

2.7. El humor acuoso

Es un líquido transparente con un alto contenido en agua (99%), que ocupa el espacio entre el cristalino y la córnea. Su función fundamental es el mantenimiento, nutriendo y oxigenando la córnea y el cristalino ya que estas dos estructuras no tienen aporte sanguíneo [8] [9] [11].

2.8. El disco óptico

El disco óptico es el punto en el cual se une el nervio óptico con la retina. Esta estructura forma el punto ciego del ojo ya que carece de células sensibles a la luz [12] (Figura 6).

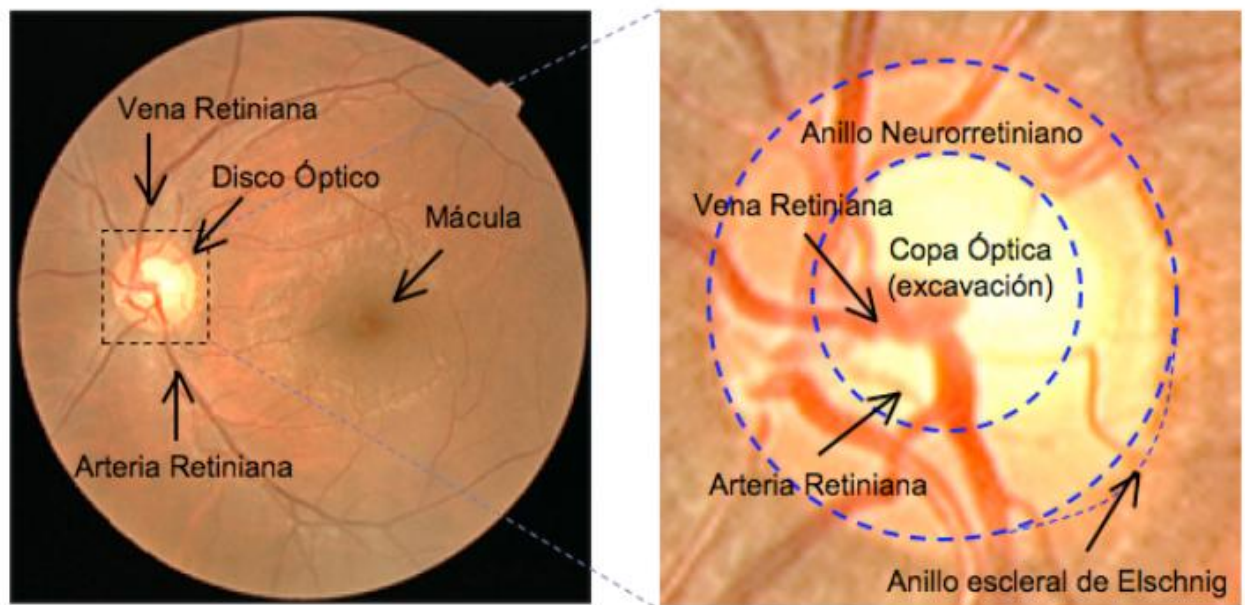


Figura 6. Imagen de la retina (Izquierda), y la región de interés que representa el disco óptico (Derecha) [6].

2.9. El nervio óptico

El nervio óptico transmite información visual desde la retina hasta el cerebro. Los nervios ópticos de ambos ojos se vuelven a conectar detrás de los ojos de manera que todo lo que se ve en el campo visual derecho se envía al hemisferio cerebral izquierdo y viceversa [8] [9] [11].

3. EL GLAUCOMA

El glaucoma es una enfermedad que afecta a los ojos y que se considera la principal causa de ceguera irreversible en el mundo. El aumento de la presión del fluido que se encuentra en el área entre la córnea y el iris denominado humor acuoso, produce un daño en el nervio óptico con un cambio característico en el aspecto del disco óptico y el campo visual. La lesión del nervio óptico se traduce en una pérdida del campo visual, mientras que la ceguera aparece cuando este último queda atrofiado [8] (Figura 7).

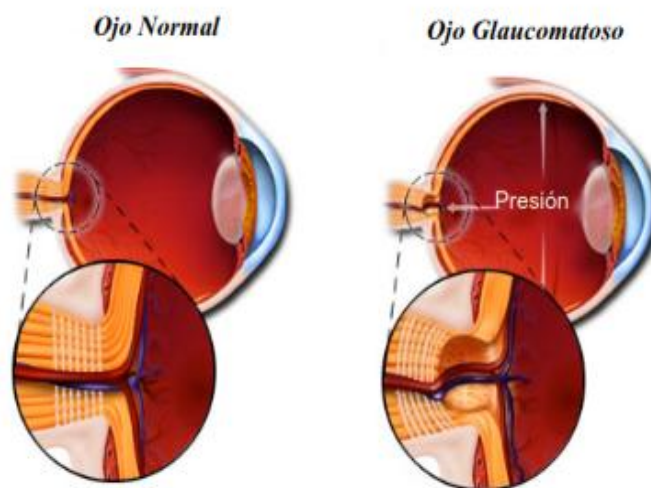


Figura 7. Esquema de ojo normal y ojo con glaucoma [6].

Esta enfermedad puede afectar a todas las edades, puede ser hereditaria ó causada por algunas cosas específicas, como por ejemplo el uso de los esteroides en las gotas para los ojos, la diabetes ó por una lesión ocular o cirugía. Se piensa también que una mala dieta, el uso de lentes de contacto y la lectura en condiciones de poca luz pueden contribuir a la aparición del glaucoma [9].

La forma más común de este trastorno es el glaucoma primario de ángulo abierto, es una enfermedad lenta que puede no dar síntomas hasta fases

muy avanzadas y tiende a ser más frecuente con la edad. De ahí la importancia de los exámenes rutinarios a partir de la quinta decena, en particular si existen antecedentes familiares u otro factor de riesgo [1].

El examen del glaucoma se hace mediante la medición de la presión intraocular (PIO), además de un examen del disco óptico y el estudio del campo visual. Si se aprecian signos sospechosos de glaucoma, el seguimiento deberá ir encaminado a detectar la aparición de lesiones, si se detectan lesiones hay que vigilar su progresión.

El tratamiento inicial es médico pero si no se logra la reducción de la PIO, la cirugía debe realizarse en el momento adecuado para lograr detener la enfermedad. El diagnóstico precoz y la clasificación correcta son fundamentales para determinar la indicación quirúrgica adecuada, En algunos tipos de glaucoma como las infantiles, la cirugía es en general inevitable. La intervención puede ser realmente curativa al impedir el mecanismo de la enfermedad, no obstante, el fin usual de la cirugía es reducir la PIO, sin actuar sobre la etiología del glaucoma. Por desgracia no todas las operaciones alcanzan o mantienen a la larga este objetivo y algunos pacientes requieren reintervenciones.

La PIO tiene como valores normales aceptados generalmente, de 10 a 21 mm Hg, sensiblemente mayores que la habitual en los demás tejidos del organismo.

Esta PIO es la responsable de mantener la forma del globo y por tanto de sus características ópticas. El humor acuoso se produce a nivel de los procesos ciliares, fluye de la cámara posterior a la anterior a través de la pupila, y sale del ojo a través del trabéculo. Mediante el canal de Schlemm drena a los conductos colectores y a las venas acuosas hasta el plexo venoso episcleral.

La PIO es consecuencia de la relación entre estos factores, según resume la ecuación de Goldmann:

$$PIO = \left(\frac{F}{C} \right) + P_v$$

Donde,

F es la tasa de formación de humor acuoso.

C la facilidad de salida.

P_v es la presión venosa episcleral.

En consecuencia, un aumento de la PIO puede deberse a incrementos tanto en la formación del humor acuoso como en la resistencia a su salida, o bien la en la P_v. Pero, sea cual sea la causa de la elevación de la PIO, casi todos los tipos de glaucoma crónicos parecen dañar la visión de modo parecido [1] (Figura 7).



Figura 7. Glaucoma en estado final [7].

3.1 Tipos de glaucomas

Existen varios tipos de glaucoma que dependen de la causa que los origina, pero, son numerosas las posibles formas de clasificarlos. Primero, se pueden clasificar basándose en los posibles aumentos en los factores de la ecuación de Goldmann. Una segunda forma y es la más empleada en clínica, es según se trate de ángulo abierto ó bien por cierre angular [11].

Esta última forma de clasificación debe combinarse con otras en función de la edad (infantil, juvenil ó del adulto), o al ser asociada con otra enfermedad o trastorno ocular y, por fin, de etiología. A este respecto, se debe considerar una primera división entre glaucomas primarios y secundarios. Existen además casos en los que se combinan dos ó más mecanismos o formas de glaucoma (p. ej., cierre angular secundario) [1].

Los más frecuentes son el glaucoma de ángulo abierto y el glaucoma agudo de ángulo cerrado.

3.1.1 Glaucoma de ángulo cerrado

En el glaucoma de ángulo cerrado, el flujo del humor acuoso se bloquea en el sistema de drenaje que provoca un aumento repentino de la presión intraocular lo que provoca una visión borrosa, dolor y enrojecimiento. Generalmente, se trata mediante la eliminación de una pequeña parte del borde externo del iris a través de la cirugía lo que ayuda a desbloquear los canales de drenaje para permitir que el exceso de líquido se drene [7] (Figura 8).

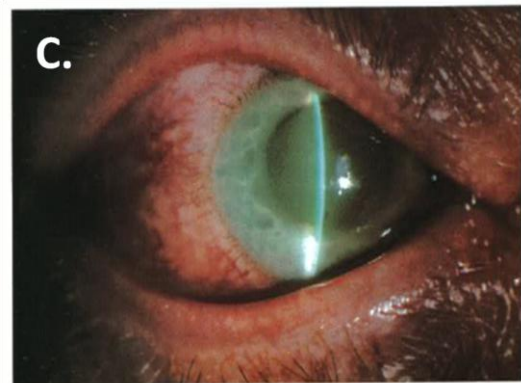
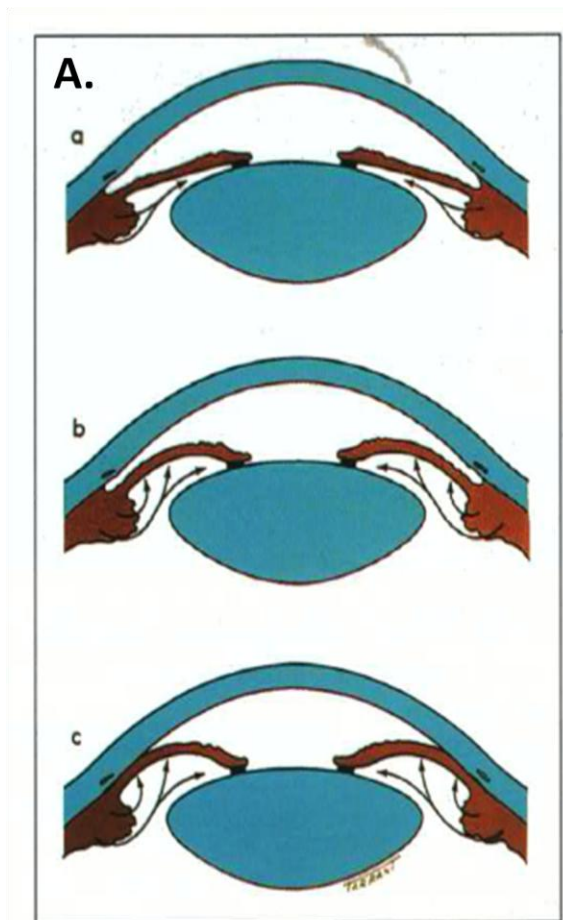


Figura 8. Los mecanismos del glaucoma de ángulo cerrado. A. Se observa un bloqueo pupilar (a) con un iris bombé (b) y un contacto iridotrabecular (c). B. Ojo con glaucoma de ángulo cerrado agudo que muestra una inyección ciliar, edema corneal y pupila dilatada. C. Ojo con glaucoma de ángulo cerrado poscongestivo que muestra atrofia del iris y una pupila fija [7].

3.1.2 Glaucoma de ángulo abierto

Es el más común y representa la mayoría de los casos de glaucoma. La presión alta daña de forma permanente las fibras nerviosas de la retina y del nervio óptico. El daño al nervio óptico para el glaucoma de ángulo abierto es muy lento y sin dolor, causando una pérdida de una gran parte de la visión antes de que se pueda estar consciente del problema. El glaucoma de ángulo abierto responde bien a la medicación, especialmente si hay un diagnóstico precoz y tratamiento [13].

3.2 Los síntomas del glaucoma

En el caso del glaucoma de ángulo abierto, los pacientes puede que no se den cuenta hasta que se produce una pérdida súbita de la visión ó una pérdida de la visión lateral antes de la visión central [13] (Figura 9 y 10).

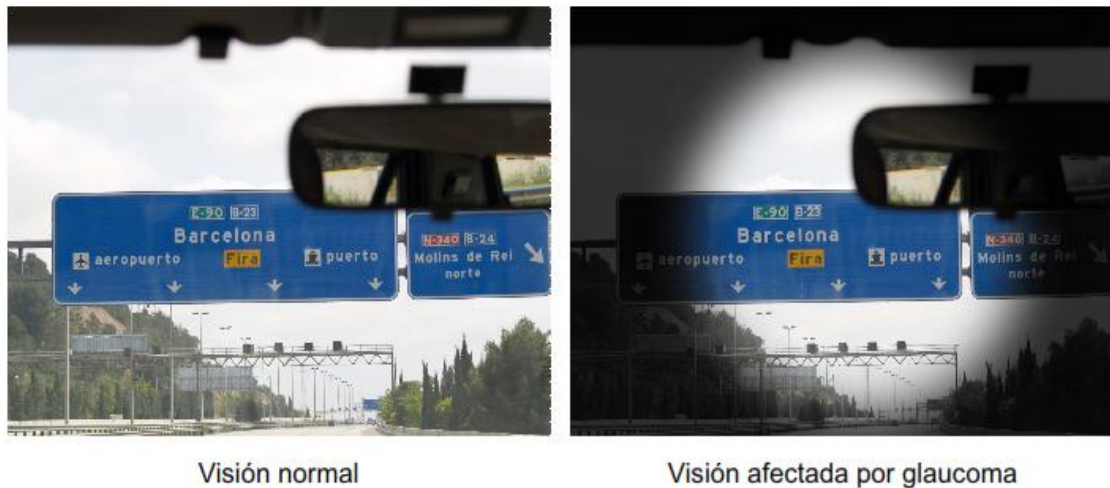


Figura 9. Simulación de la pérdida de la visión lateral en caso del glaucomas [6].

En cambio, en el glaucoma de ángulo cerrado se produce una visión borrosa que dura un corto tiempo, además de un dolor en o alrededor del ojo. El paciente también puede ver halos coloreados alrededor de las luces, tener los ojos rojos, o se siente mal del estómago e incluso con vómitos [1].

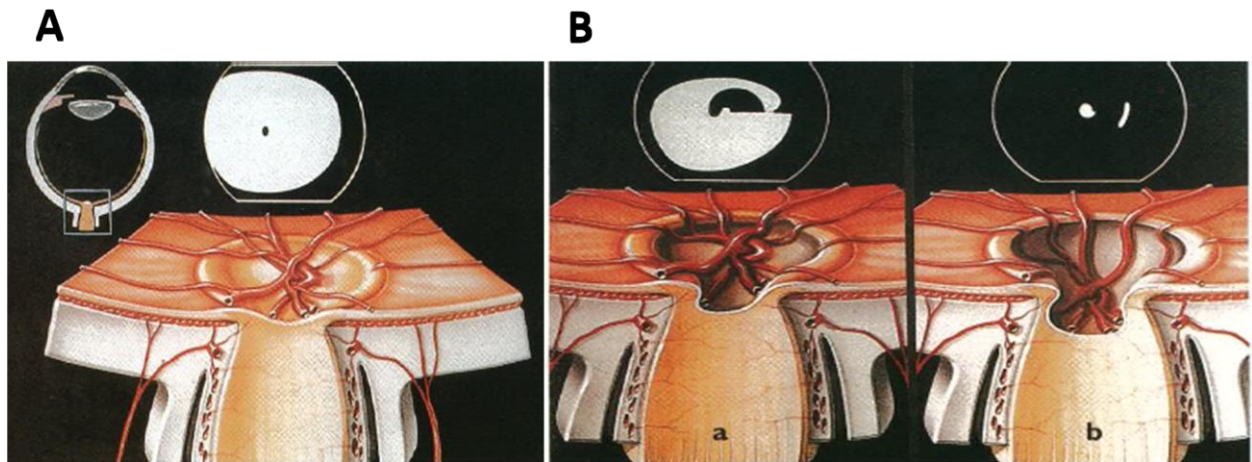


Figura 10. Campo visual. A. Campo visual normal. B. a. Glaucoma avanzada donde se ve un déficit del campo visual periférico. b. Glaucoma muy avanzado donde se ve un gran déficit del campo visual y sólo queda una pequeña isla central y un islote semilunar en la parte lateral [7].

Uno de los síntomas más habituales en el glaucoma, es la pérdida de las fibras nerviosas que constituyen una de las capas más internas en la retina, visible en la zona de la retina temporal, pero se hace más difícil de apreciar en otras zonas retinarias [6]. (Figura 11).



Figura 11. En la imagen de la izquierda, se ve la capa de fibras nerviosas retinarias normales. A la derecha, se ven las fibras nerviosas atrofiadas en el glaucoma avanzado con los vasos sanguíneos oscuros y claramente definidos [6].

3.3 Detección del glaucoma

La detección temprana del glaucoma es la mejor manera de prevenir la pérdida de visión, pero las pruebas suelen ser muy lentas y requieren equipos especiales. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de desarrollar nuevas técnicas más rápidas para diagnosticar el glaucoma en sus primeras fases. Existen tres métodos para la detección del glaucoma:

3.3.1 Oftalmoscopio

El oftalmoscopio es un instrumento provisto de una fuente de luz y un juego de lentes con distintas dioptrías que permite ver a través de la pupila el fondo del ojo. Permite detectar la lesión del nervio óptico, especialmente el ahuecamiento causada por el aumento de las presiones intraoculares, además del color pálido del nervio que puede sugerir que hay un daño en el nervio [14].

3.3.2 Tonometría

La tonometría es el procedimiento que se utiliza para determinar la presión intraocular. La colocación del sensor del tonómetro contra la parte frontal de la superficie del ojo previamente anestesiado, permite la lectura de la presión dada por la firmeza de la superficie del ojo [7] (Figura 12).

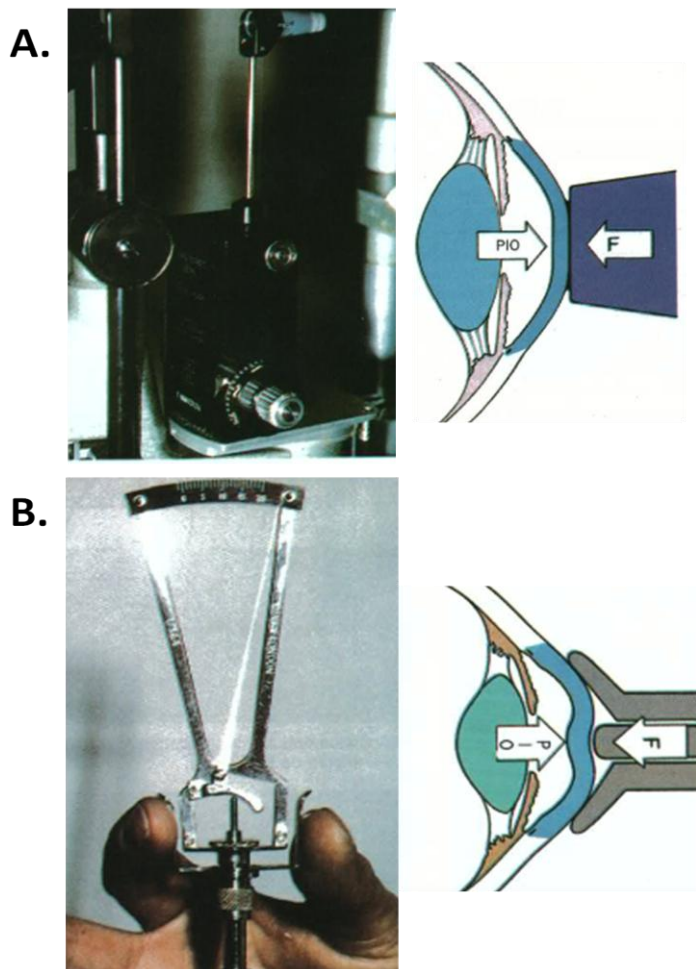


Figura 12. Ejemplos de dos tipos de tonómetros.

A. Los principios de tonometría de aplanación de Goldmann.

B. Los principios de tonometría de indentación (tonómetro de Schiötz) [7].

3.3.3 Perimetría

La perimetría es una prueba que se utiliza para valorar las alteraciones del campo visual. Este aparato mide toda el área de la vista, incluyendo el lado, a continuación se registra en una computadora el lugar de cada flash. Al final de la prueba, se puede evaluar si el paciente tiene glaucoma o no [1].

Los sistemas de imágenes, tales la tomografía de coherencia óptica (OCT) [2], el confocal de retina Heidelberg (HRT) [3] y la polarimetría de barrido láser se han utilizado ampliamente para diagnosticar el ojo en los últimos años, pero estos métodos son muy caros (Figura 13).

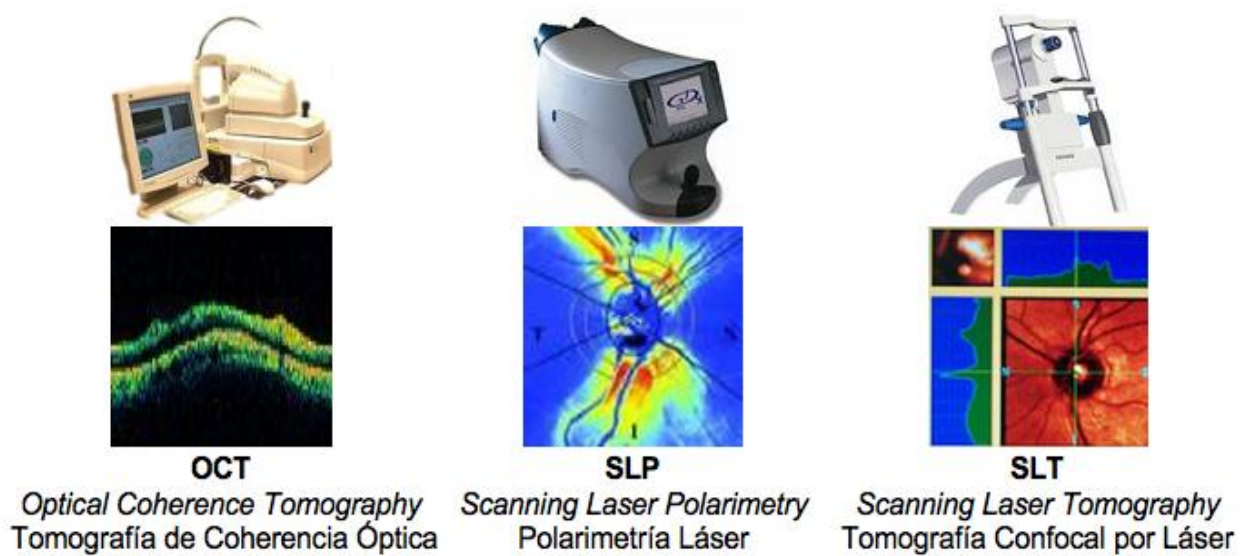


Figura 13. Varios instrumentos de toma de imágenes con ejemplos de las imágenes de retina que proporcionan [6].

3.3.4 Cámara de fondo de ojo

En este proyecto se desarrolla un método novedoso para la detección del glaucoma mediante técnicas de procesamiento de imágenes digitales usando imágenes tomadas con la cámara de fondo de ojo [5] (Figura 14).



Figura 14. Cámara de fondo de ojo [5].