



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Detección precoz de glaucoma a través de
Angio OCT

Presentado por: Elena Arévalo Migueláñez

Tutelado por: Carolina Ossa Calderón

Tipo de TFG: Revisión Investigación

En Valladolid a 26 de Mayo de 2025

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1.	GLAUCOMA	7
1.1.1.	PREVALENCIA GLAUCOMA PRECOZ.....	7
1.2.	CLASIFICACIÓN.....	8
1.3.	DIAGNÓSTICO.....	8
1.4.	TRATAMIENTO	10
1.5.	VASCULARIZACIÓN CARACTERÍSTICA GLAUCOMATOSA	10
1.6.	ANGIO-OCT.....	11
2.	JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	13
3.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	14
4.	MATERIAL Y MÉTODO	15
4.1.	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	15
4.2.	CRITERIOS DE SELECCIÓN	15
4.3.	EXTRACCIÓN DE DATOS	15
5.	RESULTADOS	17
6.	DISCUSIÓN.....	20
7.	CONCLUSIONES	22
8.	BIBLIOGRAFÍA	23

ABREVIATURAS

AF: Angiografía Fluoresceínica

Angio-OCT u OCT-A: Angiografía con Tomografía de Coherencia Óptica

AV: Agudeza Visual

CA: Cámara Anterior

CAPA: Cierre Angular Primario Agudo

CFNR: Capa de Fibras Nerviosas de la Retina

CGR: Células ganglionares de la retina

CNN: Red Neuronal Convolutiva

CP: Cámara Posterior

CpRNFL: Capa de Fibras Nerviosas de la Retina circumpapilares de la CNO

CV: Campo Visual

DO/CNO: Disco Óptico/Cabeza del Nervio óptico

DV: Densidad Vasular

DVcp: Densidad Vasular circumpapilar

DVD: Densidad Vasular disco óptico

DVm: Densidad Vasular macular

DVPP: Densidad Vasular profunda peripapilar

DVRPC: Capacidad de Densidad Vasular Capilares Peripapilares Radiales

GBC: Clasificador de Refuerzo de Gradiente

GCM: Células Ganglionares de la Mácula

GPAA: Glaucoma Primario de Ángulo Abierto

GPAC: Glaucoma Primario de Ángulo Cerrado

GTN: Glaucoma Normotensivo

HA: Humor Acuoso

HD: Hemorragia discal

LH: Lámpara de Hendidura

NO: Nervio Óptico

NVC: Neovascular

OCT: Tomografía de Coherencia Óptica

PIO: Presión Intraocular

PPO: Presión de Perfusión Ocular

SC: Sensibilidad al Contraste

SCAP: Sospecha Cierre Angular Primario

SG: Sospecha de Glaucoma

RESUMEN

Introducción: el glaucoma es una neuropatía óptica crónica y progresiva considerada una de las principales causas de ceguera irreversible a nivel mundial. Se pueden encontrar distintos tipos de glaucoma, así como formas de diagnóstico y tratamiento. Su detección precoz es fundamental para frenar la progresión, pero no basta con las técnicas diagnósticas tradicionales, por lo que para ello se ha comenzado a utilizar la angiografía por tomografía de coherencia óptica (OCT-A), para detectarlo incluso antes de hallazgos evidentes.

Objetivo: Realizar una revisión bibliográfica sobre las utilidades de la OCT-A en la detección precoz del glaucoma.

Material y métodos: se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre artículos publicados entre 2020 y 2025 en las bases de datos PubMed, Cochrane y Scopus. Se excluyeron todos los artículos que no tenían acceso completo, que no eran en inglés, que tuvieran otro diagnóstico principal o que fueron realizados en animales o pacientes menores de 18 años. Se incluyeron un total de 16 estudios.

Resultados: los estudios examinados evidencian una reducción de la densidad vascular peripapilar y macular en la OCT-A en pacientes con diagnosticados con glaucoma, antes de que aparezcan alteraciones estructurales o funcionales. Resulta más sensible el estudio de la región perifoveal que el de la parafoveal. La incorporación de las CNN ha demostrado una mejora diagnóstica combinando OCT+OCT-A+DO+M+CNN. Aunque no se ha llegado a un consenso sobre si los cambios vasculares son antes o después a la pérdida de CFNR.

Conclusiones: la OCT-A resulta muy útil para la detección precoz de glaucoma. Se requieren más investigaciones y mayor número de participantes para llegar a una idea consolidada de su aplicación clínica.

Palabras clave: Glaucoma, detección precoz, angio-oct, biomarcadores, tomografía de coherencia óptica.

ABSTRACT

Introduction: glaucoma is a chronic and progressive optic neuropathy considered one of the leading causes of irreversible blindness worldwide. There are different types of glaucoma, as well as various diagnostic and treatment approaches. Early detection is essential to slow its progression, but traditional diagnostic techniques are not sufficient. Therefore, optical coherence tomography angiography (OCT-A) has been introduced to detect the disease even before evident clinical signs appear.

Objective: to conduct a literature review on the usefulness of OCT-A in the early detection of glaucoma.

Materials and methods: a literature review was conducted on articles published between 2020 and 2025 in the PubMed, Cochrane and Scopus databases. All articles that did not have full access, were not in English, had a different primary diagnosis, or were conducted in animals or patients under 18 years of age were excluded. A total of 16 studies were included.

Results: the studies examined show a reduction in peripapillary and macular vascular density on OCT-A in patients diagnosed with glaucoma, even before structural or functional changes become apparent. The analysis of the perifoveal region proved to be more sensitive than that of the parafoveal region. The incorporation of convolutional neural networks (CNNs) has demonstrated improved diagnostic performance when combining OCT+OCT-A+ DO+M+CNN. However, there is still no consensus on whether vascular changes precede or follow retinal nerve fiber layer (RNFL) loss.

Conclusions: OCT-A is highly useful for the early detection of glaucoma. Further research with larger sample sizes is needed to establish a more solid understanding of its clinical application.

Keywords: glaucoma, early detection, OCT-A, biomarkers, optical coherence tomography.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GLAUCOMA

El glaucoma se considera la segunda causa más común de ceguera a nivel mundial, después de la catarata, pero es la primera que ocasiona una pérdida irreversible de la visión ⁽¹⁾. Se trata de una neuropatía del nervio óptico (NO) que resulta en una pérdida del campo visual (CV), perdiéndose primero la visión periférica, lo cual permite distinguir la enfermedad de otras, y después se deteriora de manera progresiva la visión central, hasta llegar a la pérdida total de visión. Se caracteriza por la pérdida adquirida de los axones de las células ganglionares de la retina y como consecuencia se genera un aumento de la relación excavación-papila del NO ⁽²⁾.

Está íntimamente relacionado con la presión intraocular (PIO), la cual es regulada por un balance entre la secreción y drenaje del humor acuoso (HA), que se genera en el cuerpo ciliar y desde ahí se dirige a la cámara posterior (CP) por medio de la pupila hasta la cámara anterior (CA), luego se drena a través de la malla trabecular y el canal de Schlemm hasta alcanzar la circulación venosa ⁽³⁾. Sin embargo, se conoce que no es el único factor de riesgo, pues existen glaucomas normotensivos (≤ 21 mmHg). Por esa razón, actualmente se está evaluando la vascularización retiniana, así como el análisis en los cambios estructurales en el NO y alteraciones en el CV.

Otros **factores de riesgo** que pueden influir en la evolución del glaucoma son: edad avanzada, miopía elevada, historia familiar de la enfermedad, hipo o hipertensión arterial y etnicidad del paciente, ya que es muy prevalente en la raza negra ⁽⁴⁾.

Por lo tanto, sabiendo que el glaucoma comienza mucho antes de que se manifieste clínicamente, es imprescindible realizar un diagnóstico temprano y establecer un tratamiento adecuado para evitar la ceguera irreversible.

1.1.1. PREVALENCIA GLAUCOMA PRECOZ

El glaucoma es una enfermedad cuya frecuencia crece con la edad. De acuerdo con la investigación de Yih-Chyng Tham publicada en 2014 se estimó que el total de individuos de entre 40 y 80 años con glaucoma a nivel global era de 64,3 millones en 2013, aumentando a 76,0 millones en 2020 y que alcanzará los 111,8 millones en 2040 ⁽⁵⁾. En otro contexto, la prevalencia demográfica estudiada por el RS Burr 2007 refiere un incremento del glaucoma de ángulo abierto con la edad siendo de 0,3% a los 40 años y aumentando a 3,3 % a los 70 años. Además, se mostró un incremento del riesgo en individuos de raza negra respecto a personas de raza blanca.

En España, aunque pocos, existen diversos estudios epidemiológicos sobre esta patología, que indican que aproximadamente un 2% de la población mayor de 45 años la sufre y que hay un incremento del 1% anual a partir de los 65 años ⁽⁶⁾.

1.2. CLASIFICACIÓN

Existen varios tipos de glaucoma, y diferentes formas de clasificarlos, la más utilizada es teniendo en cuenta la disposición del ángulo iridocorneal, estructura fundamental de la CA para el drenaje del HA, de la que se pueden destacar dos tipos principales. El primero de ellos y el más común es el **glaucoma primario de ángulo abierto** (GPAA), lo que significa que, como su nombre indica el ángulo permanece abierto permitiendo que el HA acceda a la malla trabecular pero después no se drena al exterior. En cambio, cuando el ángulo es cerrado, se complica la salida del HA por una disfunción del sistema de drenaje de la malla trabecular, lo que provoca el **glaucoma primario de ángulo cerrado** (GPAC) (Figura 1) ⁽⁷⁾.

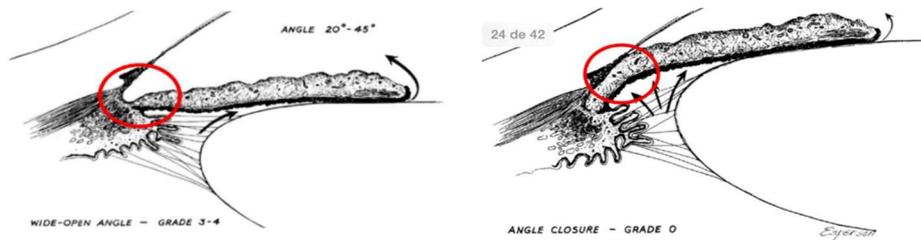


Figura 1: Ángulo Iridocorneal abierto y cerrado ⁽⁷⁾

El GPAA es la forma más frecuente de glaucoma. Normalmente se presenta entre los 50 y 60 años de manera asintomática hasta las fases tardías produciéndose daño en las fibras nerviosas y causando pérdida de CV periférico, mientras que la visión central se mantiene hasta etapas muy avanzadas que culminan en ceguera. Además, la afectación es bilateral, aunque suele ser asimétrica. Este tipo es típico en miopías elevadas, hiper/hipotensión arterial.

Por otro lado, el GPAC es menos común que el anterior, suele aparecer de forma unilateral y aguda, generando un aumento repentino de la PIO (>40 mmHg) debido a una acumulación de HA. Este inicia súbitamente con dolor intenso y disminución de la agudeza visual (AV), y presenta diversos síntomas como lagrimeo, náuseas, etc, y es más típico en hipermetropes ⁽⁸⁾.

1.3. DIAGNÓSTICO

Es muy importante hacer un **diagnóstico precoz** de la enfermedad, pues el GPAA suele ser asintomático en sus estadios iniciales, y puede derivar en ceguera irreversible.

Ninguna prueba diagnóstica es suficientemente precisa, por lo que para obtener un diagnóstico fiable hay que realizar pruebas que evalúen los cambios del NO (cambios estructurales) y los defectos del CV (cambios funcionales), además de la exclusión de otras posibles causas. Las estructurales actualmente se centran más en el análisis de la capa de fibras nerviosas retinianas (CFNR).

Es muy importante tener en cuenta una **anamnesis** de la historia familiar respecto al glaucoma, antecedentes médicos generales, la presencia de alguna patología o tratamiento, entre otras, para facilitar la selección de pruebas a realizar y que tratamientos prescribir.

Pruebas diagnósticas funcionales

Las pruebas que se deben realizar al paciente incluyen la medición de la **AV**, la **sensibilidad al contraste (SC)**, la medida de la **PIO** mediante un **tonómetro**, generalmente de aplanación tipo Goldmann, el cual se encuentra fijo a la lámpara de hendidura (LH) y mide la fuerza que se necesita para aplanar un área fija de la córnea (es de los tipos más fiables). Además, se debe realizar la **paquimetría**, para valorar el espesor corneal y relacionarlo con el valor de PIO. La PIO normal varía entre 10 y 20 mmHg.

Para la evaluación de los defectos del **CV**, se emplea el **perímetro Humphrey Field Analyzer (HFA)**, se trata de un perímetro automatizado blanco/blanco como prueba "gold standard". Se utiliza la estrategia 24-2 (Sita Estándar), que permite estudiar los 24° desde el centro hacia la periferia, salvo la parte nasal, donde extiende a 30°. Se sugiere llevar a cabo como mínimo una serie de 3 campos visuales al año, por lo menos durante los dos primeros años.

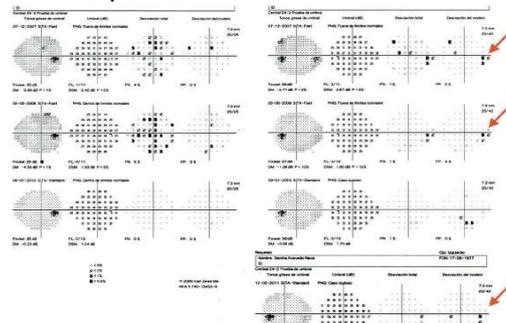


Figura 2: Ejemplo resultados campimetría HFA. Caso Clínico mujer 33 años hipertensa ocular con estructuras oculares aparentemente normales y escalón nasal persistente⁽¹⁾

Algunos de los defectos campimétricos típicos de glaucoma son los defectos paracentrales, aumento en la mancha ciega, escalón nasal, escotoma arqueado en el área de Bjerrum. Hay que tener en cuenta que los defectos en el CV no se detectan hasta que hay una pérdida ganglionar retiniana de aproximadamente del 40%⁽⁹⁾.

Pruebas diagnósticas estructurales

Para la evaluación del ángulo iridocorneal, se emplea la técnica conocida como **gonioscopia**, que permite una observación directa del ángulo y de esta manera diferencia entre un GPAA o GPAC.

La técnica más usada para examinar la papila óptica o cabeza del NO y la capa de fibras nerviosas se trata de la visualización estereoscópica a través de la LH y una lente. Además, es habitual el uso de un **oftalmoscopio** ya sea directo o indirecto, o un **retinógrafo**, el primero es manual, permite observar directamente el fondo de ojo (FO), al contrario que el retinógrafo que es automático, almacena imágenes digitalmente y permite un análisis más exacto.

Para la exploración de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR), se emplea un sistema cuya óptica se fundamenta en la interferometría de baja coherencia, conocido como **tomografía de coherencia óptica (OCT)**. Se trata de una técnica no invasiva.

Los avances en OCT han permitido el desarrollo de métodos para analizar el flujo sanguíneo, la polarización de los tejidos y algunas propiedades mecánicas como la elasticidad ⁽⁹⁾.

Actualmente, se está desarrollando y mejorando un sistema que combina las funciones de OCT con las de la angio-OCT, que permite una valoración de la vascularización retiniana, la cual también se ve afectada.

1.4. TRATAMIENTO

El tratamiento principal del glaucoma tiene como objetivo reducir la PIO. Se pueden distinguir tres tipos diferentes de terapia: la médica, la láser y la quirúrgica.

Por un lado, la terapia médica se centra en el uso de medicamentos, generalmente por vía tópica, aunque en algunos casos por vía oral, que reducen la producción del HA y favorecen el drenaje del HA. Los más frecuentes son los análogos de las prostaglandinas o betabloqueadores.

Por otro lado, está la terapia láser que se emplea en caso de que la terapia médica no sea efectiva. Se trata de un láser que se aplica sobre el ángulo iridocorneal, este emite una luz con una longitud de onda que destruye los tejidos que ocluyen la malla trabecular.

Por último, otra opción es la terapia quirúrgica donde se pueden distinguir: trabeculectomía, Esclerectomía profunda no penetrante, implantes de drenaje y cirugía mínimamente invasiva. ⁽¹⁰⁾

En todos los casos, el mejor tratamiento depende de cada paciente.

1.5. VASCULARIZACIÓN CARACTERÍSTICA GLAUCOMATOSA

El factor de riesgo más importante del glaucoma es el incremento de la PIO. Entre los mecanismos fisiopatológicos que explican esta patología se encuentra: la **teoría vascular**, que argumenta que la enfermedad se origina por una alteración en el flujo sanguíneo en la región de la cabeza del disco óptico, en concreto a la presión de perfusión reducida, la autorregulación vascular defectuosa y la pérdida del acoplamiento neovascular.

La presión de perfusión ocular (PPO) es la presión requerida para que la sangre fluya a través de la vasculatura intraocular y suministre oxígeno al NO. Esta no se mide directamente, si no que se calcula como diferencia entre presión arterial y PIO. Su disminución produce un aumento de riesgo de GPAA, según evidenciaron estudios como el Barbados Eye Study, que encontró un riesgo 2,6 veces mayor con PPO baja ⁽¹¹⁾.

La autorregulación vascular mantiene un flujo sanguíneo estable en el NO, pero puede alterarse en ciertas patologías como diabetes o hipercolesterolemia. Según estudios en pacientes con glaucoma normotensivo y GPAA, la respuesta vascular es insuficiente ante cambios posturales, lo que favorece la hipoperfusión y la neurodegeneración glaucomatosa ⁽¹²⁾.

El acoplamiento neovascular (NVC) regula el flujo sanguíneo en respuesta a la actividad neuronal. En el NO, esta respuesta se altera en el glaucoma, reduciendo la vasodilatación inducida por luz parpadeante y la vasoconstricción por

hiperoxia. Esto puede causar neurotoxicidad en las células ganglionares de la retina (CGR), por afectación de los astrocitos y las mitocondrias.

Por último, es importante destacar que existen una serie de biomarcadores asociados con el flujo sanguíneo ocular para predecir la progresión en el glaucoma como el ET-1 y el óxido nítrico, así como asociados con el flujo de salida del HA o la función de la malla trabecular, como por ejemplo el VEGF que contribuye a la permeabilidad vascular ⁽¹³⁾.

1.6. ANGIO-OCT

La **angiografía con tomografía de coherencia óptica** (Angio-OCT u OCT-A) surge como una modalidad de obtención de imagen revolucionaria y como sustitución a la angiografía fluoresceínica (AF), se trata de un colorante conocido como fluoresceína sódica que se difunde rápidamente por los fluidos corporales y permite la visualización de la vasculatura retiniana. Así, se obtienen una serie de fotografías tomadas entre 10 segundos y 20 minutos desde la inyección del contraste, permitiendo identificar hiperfluorescencia o hipofluorescencia. A pesar de su utilidad, es un método invasivo con posibles efectos secundarios y por tanto con muchas limitaciones.

La principal ventaja de la OCT-A es que es un método no invasivo, no usa medio de contraste y por eso no presenta efectos secundarios, y captura imágenes en tan solo 3 segundos. De esta forma ofrece una visualización detallada de la microvasculatura de la retina y la cabeza del NO, lo que facilita la comprensión de la fisiopatología del glaucoma, mejorando su diagnóstico y monitoreando la progresión de la enfermedad.

La OCT-A genera imágenes al detectar el movimiento de la sangre en los vasos retinianos mediante la superposición de múltiples A-scan para formar B-scan secuenciales, creando una imagen tridimensional. Su espectro se divide en bandas estrechas y mediante diferentes algoritmos calcula la amplitud de reflectancia, permitiendo visualizar en 3D la vasculatura retiniana, incluso los pequeños vasos. Un ejemplo de algoritmo es el Split-Spectrum Amplitude-Decorrelation Angiography (SSADA) que ayuda a disminuir el ruido en la detección del flujo y mejorar la visualización de la vascularización ^(14, 15).

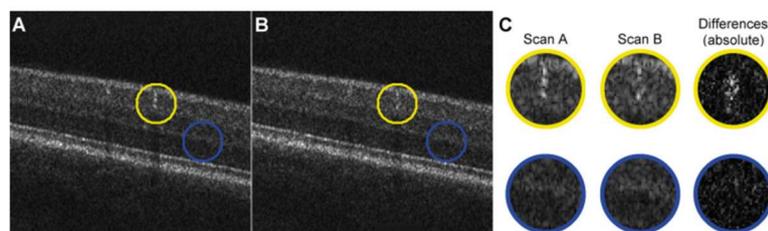


Figura 3: ejemplo de cómo cambia la intensidad de la señal OCT a lo largo del tiempo, después de la corrección del movimiento global ⁽¹⁵⁾.

En las imágenes A y B entre una y otra hay 8 milisegundos de diferencia. El círculo amarillo indica la ubicación de un vaso sanguíneo grande y en el azul el tejido estático. En la imagen C, se ve una ampliación de esas áreas, y al calcular las diferencias, se observan mayores cambios en la señal OCT dentro del vaso sanguíneo en comparación con el tejido estático.

Con la OCT-A se puede visualizar 4 capas vasculares que son la red vascular superficial, la red vascular profunda, la retina externa y la coriocalpilar (Figura 4).

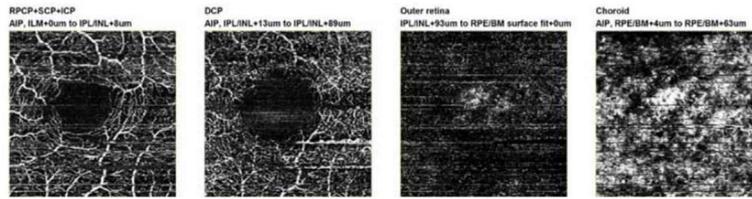


Figura 4: Capas retinianas visibles obtenidas mediante angio-OCT, equipo NIDEK Advance RS-3000. Capa superficial, capa profunda, retina externa y coroides ⁽¹⁴⁾.

La OCT ha ido evolucionando con mucha rapidez, pasando desde los primeros modelos de dominio temporal (TD-OCT), a las de alta resolución actuales, Spectral Domain (SD-OCT), y Swept Source OCT (SS-OCT), hasta que se desarrollaron los primeros angiogramas para OCT. Dando lugar numerosos equipos OCT-A:

	Nidek Angio Scan	AngioVue	Angio eXpert	Triton OCT	Spectralis OCT	AngioPlex
Exploracion por segundo	53,000	70,000	70,000	100,000	85,000	68,000
Eye Tracking	Si	No		No	Si	Si
Algoritmo de analisis	OMAG modificado	SSADA	No datos sobre algoritmo	OCTARA	Amplitud decorrelacion	OMAG
Fuente de luz	880 nm	840 nm	855 nm	1050 nm	870 nm	840 nm
Segmentacion	Permite evaluar plexo Superficial, profund, retina externa y coriocalpilar	Permite evaluar plexo Superficial, profund, retina externa y coriocalpilar	Permite evaluar plexo Superficial, profundo (no coroides)	Permite evaluar plexo Superficial, profund, retina externa y coriocalpilar	Permite evaluar plexo Superficial, profund, retina externa y coriocalpilar	Permite evaluar plexo Superficial, profund, retina externa y coriocalpilar
Area de imagen	3x3 mm, 6x6 mm, 9x9 mm scans plus 12x9 mm	3x3 mm, 4.5x4.5 mm, 6x6 mm and 8x8 mm OCT angiograma	3x3 to 8x8 mm OCT	3.0x3.0 mm, 4.5x4.5 mm, 6.0x6.0 mm, Mosaico de 12 x 9 mm	30°x30°, 20°x20°, 15°x15°	3x3 mm, 6x6 mm OCT (angiograma 8x8 mm and 12x12 mm)
Tiempo adquisicion de imagen	40 segundos	3 segundos	3 segundos		Modo rápido: 19 milisegundos Modo alta resolución: 38 milisegundos	3.8 segundos

Tabla 1: OCT-A disponibles en el mercado ⁽¹⁴⁾.

A pesar de las múltiples ventajas de esta técnica, actualmente su uso se ve limitado por el elevado coste del equipo, la presencia de una variedad de artefactos y la difícil interpretación de las imágenes, además, cuando la iluminación es excesiva se producen "imágenes fantasma" y es muy sensible a los movimientos.

Aunque, su reciente introducción ha abierto nuevas fronteras para el estudio angiográfico de la retina, permitiendo una evaluación detallada de enfermedades oftalmológicas frecuentes: retinopatía diabética (RD), degeneración macular asociada a la edad (DMAE), oclusiones vasculares retinianas (OVR) y glaucoma ⁽¹⁶⁾.

2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El glaucoma es una de las principales causas de ceguera irreversible en el mundo, con una gran prevalencia. Como ya se ha explicado, se trata de una neuropatía óptica progresiva caracterizada por la degeneración del NO y la pérdida de CV. No obstante, en las primeras fases de la enfermedad esta permanece de forma silenciosa y asintomática, favoreciendo su progresión a estadios más avanzados y graves, y retrasando su diagnóstico.

Por todo ello, la **detección precoz** del glaucoma es esencial, por lo que además de los métodos convencionales de diagnóstico que pueden ser insuficientes para esa detección temprana, es imprescindible reducir esas limitaciones mediante el desarrollo de nuevas técnicas de imagen como es la **OCT-A**, que permite detectar de forma más precisa los cambios tanto estructurales como vasculares en el NO y la retina, antes de que aparezcan los síntomas evidentes.

De forma que este estudio contribuirá a evaluar la utilidad de la OCT-A en la práctica clínica y su potencial para mejorar la detección temprana del glaucoma.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

El diagnóstico precoz del glaucoma mediante la OCT-A es muy útil para conseguir frenar el avance de la enfermedad, haciendo una evaluación y un seguimiento riguroso de la misma.

Objetivos

Primario:

Realizar una revisión bibliográfica sobre las aplicaciones de la OCT-A en la detección precoz del glaucoma.

Secundarios:

- Determinar la **importancia** de la OCT-A para la detección precoz del glaucoma, según los estudios publicados.
- Establecer la **prevalencia de glaucoma precoz** que se diagnostica mediante la OCT-A.
- Determinar cuáles son los **cambios vasculares característicos** que deben estar presentes en la OCT-A para dar un diagnóstico de glaucoma precoz.

4. MATERIAL Y MÉTODO

Para conseguir los objetivos propuestos, se realizó una revisión bibliográfica entre enero y mayo de 2025, en diferentes bases de datos a nivel nacional e internacional, para obtener el mayor nivel de evidencia posible. Se ha basado en la investigación y recopilación de libros, revistas científicas, artículos científicos y oftalmológicos y tesis publicados entre 2020 y 2025 en inglés y en español.

4.1. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La búsqueda de artículos referentes al tema se realizó en las bases de datos biomédicas Cochrane, PubMed y Scopus, en todo momento haciendo la búsqueda de las palabras clave en inglés.

Para realizar dicha búsqueda se utilizó el operador booleano "and" para poder relacionar la palabra clave "OCT angiography" junto con "glaucoma" en una primera búsqueda y después con "Primary open angle glaucoma" y "Primary closed angle glaucoma" en los buscadores.

4.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Con respecto los criterios de selección, dado que el enfoque del estudio es una revisión bibliográfica, se establecieron los siguientes criterios de inclusión y de exclusión (Tabla 2):

Criterio	Inclusión	Exclusión
Idioma	Inglés y español	Cualquier otro idioma
Publicación	(2020 – 2025) Estudios de acceso gratuito.	(anterior al 2020) Estudios sin texto completo disponible
Temática	1. Pacientes adultos (mayores de 18 años) diagnosticados de glaucoma. 2. Utilización de la OCT-A para observar la vascularización retiniana en la mácula o en DO, o en ambos.	Evaluación de otras enfermedades oculares como diagnóstico principal
Enfoque	Casos de estudios en humanos	Casos de estudios en animales

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión utilizados. Elaboración propia.

4.3. EXTRACCIÓN DE DATOS

Tras realizar diferentes búsquedas, se encontraron 2635 artículos relacionados con la metodología propuesta, de los cuales fueron seleccionados finalmente 16.

Para su selección, se centró la búsqueda de palabras clave en el título, resumen y se realizó un filtrado según los criterios anteriores. A partir de ahí, se llevó a cabo una selección más precisa analizando el texto completo, teniendo en cuenta los objetivos. (Figura 5)

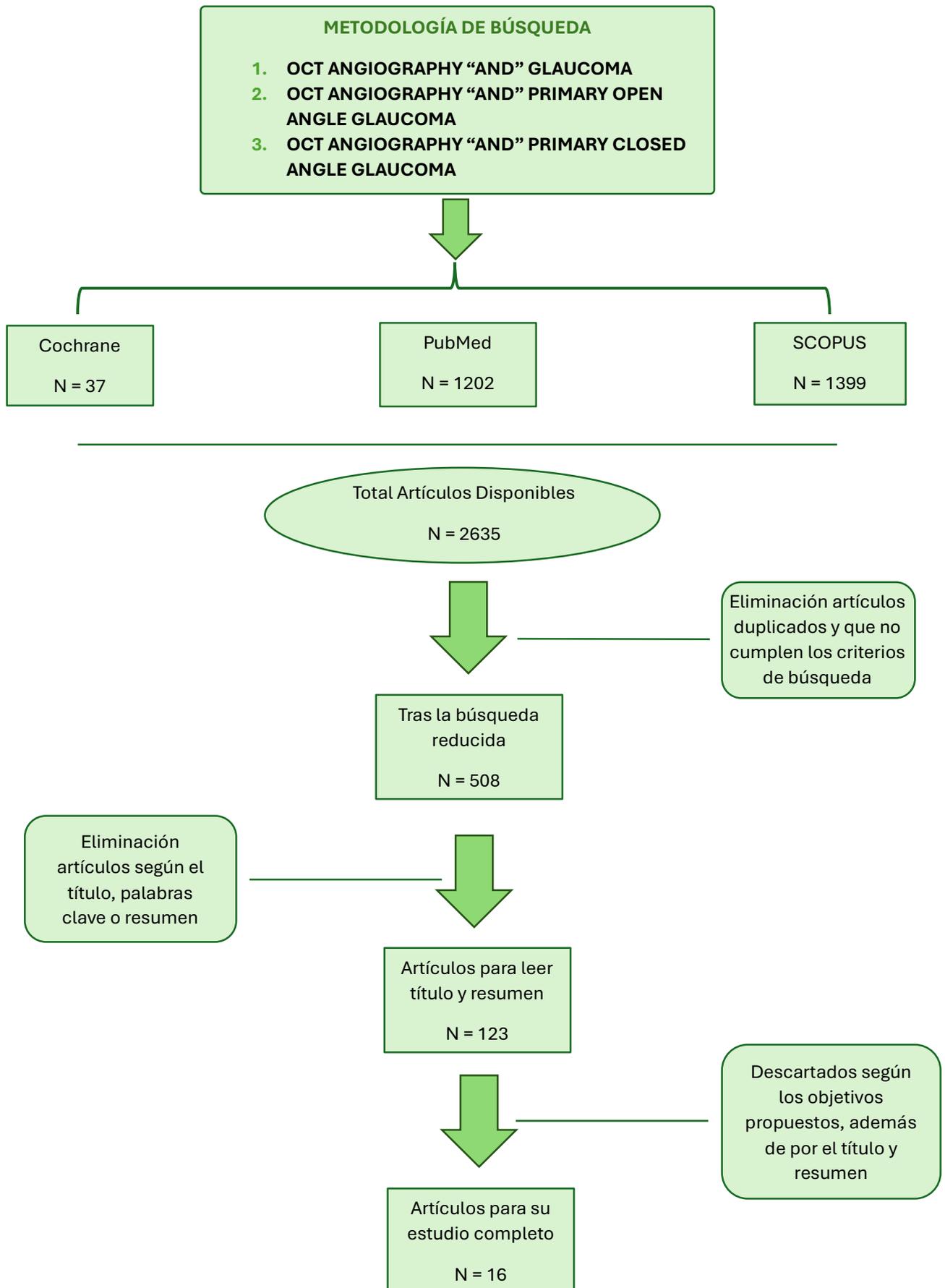


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología de búsqueda. Elaboración Propia

5. RESULTADOS

Se encontraron 16 artículos, los cuales han sido leídos y analizados detenidamente, clasificados de la siguiente manera: (Tabla 3), (Tabla 4), (Tabla 5)

ESTUDIO	OBJETIVO	PARTICIPANTES	REGIÓN ESTUDIADA	RESULTADOS
Akiyama, K., et al. ⁽¹⁷⁾ (2022)	Evaluar capacidad diagnóstica y relación estructural sectorial de la DVcp y la DVm con OCTA en ojos glaucomatosos	224 ojos con glaucoma temprano de 167 sujetos y 70 ojos normales de 70 sujetos	Ecografías 6x6mm y angiografías 4,5x4,5 mm CNO Ecografías y angiografías 6x6 mm de mácula	La DVcp mejor capacidad diagnóstica que DVm. Escanear la región perifoveal mejora la detección precoz del daño glaucomatoso
Kamalipour, A., et al. ⁽¹⁸⁾ (2022)	Comparar la DVcp con el espesor global y regional de CFNR y caracterizar su relación con la función visual en el GPAA temprano	328 ojos, de esos, 80 ojos sanos, 64 con glaucoma preperimétrico y 184 con glaucoma leve	Región circumpapilar de CNO y M	Pérdida de DV antes que CFNR en GT, siendo ambas medidas complementarias en la detección precoz del GPAA
Penteado, RC., et al. ⁽¹⁹⁾ (2020)	Evaluar precisión diagnóstica OCTA de M con clasificación en ojos sanos, con glaucoma leve y con glaucoma moderado a severo	279 ojos de 190 sujetos, 89 de ellos sanos, 127 glaucoma leve y 63 glaucoma moderado a severo	Regiones de 3x3mm y 6x6mm centradas en M	La DVm 6x6mm OCTA mayor precisión que 3x3mm para detectar glaucoma leve, y precisión similar en casos moderados/severos
Bowd, C., et al. ⁽²⁰⁾ (2022)	Comparar CNN de imágenes DV face con GBC basados en la DV con OCTA y CFNR con OCT.	130 ojos sanos y 257 ojos con GPAA	Regiones de 4,5x4,5mm centradas en el DO	Las CNN con OCTA en face mejor precisión diagnóstica y sensibilidad en GPAA que GBC
Rabiolo, A., et al. ⁽²¹⁾ (2020)	Discriminación entre GPAA, GS y sanos a partir de parámetros estructurales, vasculares e integrados	196 ojos total: 81 ojos GPAA, 48 ojos GS y 67 ojos sanos	Regiones de 6x6mm centrados en el DO y en la mácula	Los parámetros estructurales superan a los vasculares en la detección de GPAA. Su combinación no mejora.
Pourjavan, S., et al. ⁽²²⁾ (2024)	Comparar la mejor combinación de imágenes OCTA/OCT para diferenciar glaucoma con CNN	157 sujetos sanos y con glaucoma	Regiones de 6,4x6,4mm centradas en la mácula	La combinación OCTA DO+M el mejor rendimiento, seguida de la combinación OCT+OCTA DO+M

Tabla 3. Artículos que relacionan la importancia diagnóstica del angio-OCT con la detección precoz del glaucoma. OCTA: Angiografía con Tomografía de Coherencia Óptica; CNN: Red Neuronal Convolutiva; DV: Densidad Vascul; DVcp: Densidad Vascul Circumpapilar; DVm: Densidad Vascul Macular; GBC: Clasificador de Refuerzo de Gradiente; CFNR: Capa de Fibras Nerviosas de la Retina; GPAA: Glaucoma Primario de Ángulo Abierto; DO: Disco Óptico; M: Mácula; GT: Glaucoma Temprano; CON: Cabeza del Nervio Óptico. Elaboración Propia

ESTUDIO	OBJETIVO	PARTICIPANTES	REGIÓN ESTUDIADA	RESULTADOS
Suh, M. H., et al. ⁽²³⁾ (2024)	Relación DVD y adelgazamiento CFNR en GPAA	105 ojos con GPAA	Regiones de 6x6mm centradas en la CNO	Los cambios en la microvasculatura del DO puede ser un marcador útil en la progresión del glaucoma temprano
Dastiridou, A., et al. ⁽²⁴⁾ (2024)	Comparar DV de la retina y la coroides en GPAA, GTN y controles	65 ojos con GPAA, 33 ojos con GTN y 40 ojos control	Regiones de 6x6mm centradas en la mácula	La DV macular medida por OCTA es menor en GPAA o GTN, sin diferenciar entre subtipos, mientras que la CC no muestra cambios significativos frente a controles
Arish, M., et al. ⁽²⁵⁾ (2024)	Comparar DV peripapilar con OCTA en GPAA, GTN y controles. Correlacionar DV con morfología CNO y grosor CFNR	30 ojos con GPAA, 27 ojos con GTN y 29 ojos control	Regiones de 4,5x4,5mm centradas en el DO	La DV peripapilar se reduce en GPAA y GTN, siendo aún más reducida en etapas más avanzadas.
Ashour, D. M., et al. ⁽²⁶⁾ (2024)	Evaluar DVRPC para diferir excavación fisiológica de glaucomatosa mediante OCTA	30 ojos GPAA, 28 ojos normales con excavación fisiológica (relación exc./DO= $\geq 0,6$) y 40 ojos normales (relación exc./DO= $\leq 0,5$)	Regiones de 4,5x4,5mm centradas en el DO	La disminución de DVRPC en GPAA, no se asocia a una excavación fisiológica, lo que sugiere el uso de OCTA para distinguir los tipos de excavación
Liu, K., et al. ⁽²⁷⁾ (2020)	Diferencias vasculares M con OCTA comparando DV y ZAF entre GPAC (APAC, PACS) y ojos sanos	33 ojos con GPAC, algunos de ellos con APAC y otros con PACS, y 33 ojos normales	Regiones de 6x6mm centradas en la mácula	OCTA diagnóstico precisa para GPAC. FAZ biomarcador de daño vascular temprano en GPAC
Hwang, H. S., et al. ⁽²⁸⁾ (2023)	Relacionar defectos de CV con pérdida de CGM y de DV en glaucoma	100 ojos en total, de ellos 52 con GPAA temprano y 48 con GPAA avanzado	Región macular	Correlación vascularidad-función más fuerte que estructura-función en mácula, independientemente del estadio

Tabla 4. Artículos que relacionan los cambios vasculares en el glaucoma temprano con la detección mediante angio-OCT. DVD: Densidad Vascular Disco Óptico; CFNR: Capa de Fibras Nerviosas de la Retina; GPAA: Glaucoma Primario de Ángulo Abierto; CNO: Cabeza del Nervio Óptico; DO: Disco Óptico; DV: Densidad Vascular; GTN: Glaucoma de Tensión Normal; CC: Capa Coriocalpilar; OCTA: Angiografía por Tomografía de Coherencia Óptica; DVRPC: Capacidad de Densidad Vascular de los Capilares Peripapilares Radiales; ZAF: Zona Avascular Foveal; GPAC: Glaucoma Primario de Ángulo Cerrado; CAPA: Cierre Angular Primario Agudo; SCAP: Sospecha de Cierre Angular Primario; CV: Campo Visual; CGM: Células Ganglionares Maculares. Elaboración propia

ESTUDIO	OBJETIVO	PARTICIPANTES	REGIÓN ESTUDIADA	RESULTADOS
Pradhan, Z. S., et al. ⁽²⁹⁾ (2025)	Relacionar parámetros OCTA con pérdida CFNR en GPAA	59 ojos con GPAA leve-moderado	Regiones de 4,5x4,5mm centradas en el DO y de 3x3mm centradas en mácula	Los parámetros basales no se asocian con la pérdida de CFNR en GPAA
Nishida, T., et al. ⁽³⁰⁾ (2022)	Estudio adelgazamiento cpRNFL y pérdida DV en glaucoma con o sin HD	34 ojos con HD y 134 ojos sin HD, en pacientes con GS y GPAA	Regiones de 4,5x4,5mm centradas en el DO	La HD predice mayor pérdida vascular, sobre todo en infratemporal, en GPAA y GS.
Wu, J.-H., et al. ⁽³¹⁾ (2023)	Evaluar asociación DVm y espesor CGR con progresión de CVF en glaucoma	238 ojos (141 pacientes) con glaucoma	Regiones de 6x6mm centradas en la mácula	A menor DV macular y menor CGR, mayor progresión de CVF (11% de 238 ojos con CVF)
Suh, M. H., et al. ⁽³²⁾ (2025)	Relacionar DVD y progresión del CV en GPAA	187 ojos con GPAA	Regiones de 6x6mm centradas en el DO	La rápida progresión del GPAA se asocia con la reducción de la DVPP, un marcador de progresión independiente de CFNR y HD

Tabla 5. Artículos que relacionan la prevalencia del glaucoma precoz con la detección mediante el angio-OCT. OCT-A: Angiografía por Tomografía de Coherencia Óptica; CFNR: Capa de Fibras Nerviosas de la Retina; GPAA: Glaucoma Primario de Ángulo Abierto; DO: Disco Óptico; cpRNFL: Capa de Fibras Nerviosas de la Retina cicumpapilares de la CNO; DV: Densidad Vascular; HD: Hemorragia Discal; SG: Sospecha de Glaucoma; CGR: Células Ganglionares de la Retina; CVF: Campo Visual central; DVD: Densidad Vascular del Disco Óptico; DVPP: Densidad Vascular Profunda Peripapilar. Elaboración propia.

6. DISCUSIÓN

Los artículos analizados exploraron la utilidad de la imagen microvascular mediante OCT-A como herramienta no invasiva para detectar cambios asociados al glaucoma en etapas más tempranas de la enfermedad, incluso antes de la aparición de defectos estructurales o funcionales en la etapa preperimétrica, con especial interés en la DVM y peripapilar como posibles biomarcadores tempranos.

La importancia de la OCT-A en la detección precoz del glaucoma se confirma en varios estudios, los cuales han evaluado su utilidad en regiones específicas de la retina y del NO. **Akiyama et al.** ⁽¹⁷⁾ encontraron que la DVcp ofrece mayor capacidad diagnóstica que la DVM, y la región perifoveal resultó ser más útil que la parafoveal, siendo ambas sensibles al CV. De manera complementaria, **Kamalipour et al.** ⁽¹⁸⁾ demostraron que la pérdida de DVcp ocurre antes que el adelgazamiento de la CFNR, lo que sugiere que ambas medidas sean complementarias para la detección de los daños iniciales. Además, **Arish et al.** ⁽²⁵⁾ al igual que los anteriores, concluyeron que hay una reducción significativa en la DV peripapilar tanto en GPAA como en GTN. Por su parte, **Ashour et al.** ⁽²⁶⁾ evaluaron la diferencia entre excavación fisiológica y glaucomatosa, mediante la disminución de DVRPC.

El estudio de **Bowd et al.** ⁽²⁰⁾ sobre las técnicas de análisis para el glaucoma, fue el primero en realizar una comparación entre el análisis de imágenes basado en CNN con los análisis de aprendizaje superficial de las mediciones de OCT-A. Confirmando que las CNN basadas en imágenes en "face" (*Figura 6*) de OCT-A del DO suponen una mejora significativa en la sensibilidad diagnóstica frente a los modelos clásicos basados en CFNR. Años después, **Pourjavan et al.** ⁽²²⁾ llegaron a las mismas conclusiones que el anterior, pero en este caso en combinación con los datos estructurales (OCT+OCT-A de mácula y de DO + CNN). En cambio, **Rabiolo et al.** ⁽²¹⁾ sugieren que a partir del análisis tradicional los parámetros estructurales siguen siendo superiores y que combinarlos no mejora el diagnóstico. En conjunto, reflejan como el avance en la IA puede cambiar la interpretación del valor diagnóstico de la DV en glaucoma.

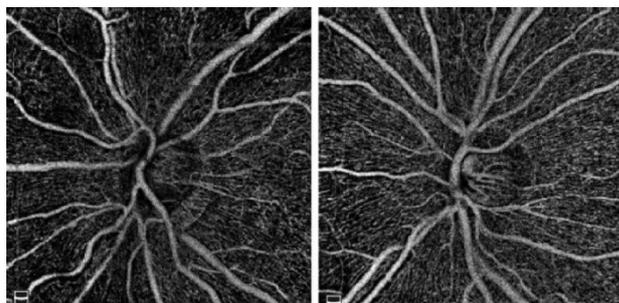


Figura 6. Ejemplos de imágenes en face de un ojo con glaucoma (izquierda) y un ojo sano (derecha) clasificados correctamente mediante análisis CNN, pero clasificados incorrectamente mediante el GBC.⁽²⁰⁾

Con el aumento de la velocidad de escaneo de OCT-A, **Penteado et al.** ⁽¹⁹⁾ observaron una mayor precisión del escaneo centrado en mácula de 6x6 mm que en los de 3x3 mm en casos de glaucoma leve, aunque en etapas avanzadas esa diferencia desaparece. En cuanto a la FAZ, el área central redonda de 400 μ m sin capilares retinianos en la fovea, **Liu et al.** ⁽²⁷⁾ evidenciaron que el índice de

circularidad FAZ podría ser un posible biomarcador del daño temprano en casos de GPAC. (Figura 7)

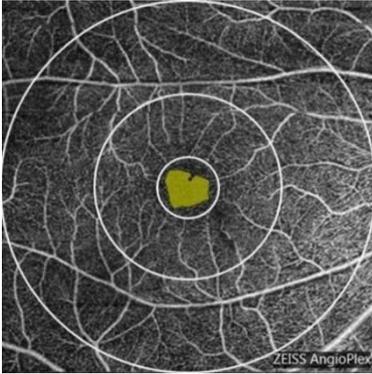


Figura 7. Mapa de medición del área macular realizado con una OCT-A ZEISS ANGIOPLEX. El área central corresponde al rango de diámetro central de 1 mm; los anillos interno y externo corresponden a los rangos de diámetro de 3 mm y 6 mm, respectivamente. La zona amarilla se corresponde a la FAZ.⁽²⁷⁾

Hwang et al.⁽²⁸⁾ hallaron que existe una correlación entre la pérdida de vascularización macular y los defectos del CV más fuerte que entre estos y la pérdida estructural de la CGR, reforzando así el valor funcional de la OCT-A en mácula. Así mismo, **Wu et al.**⁽³¹⁾ evidenciaron que tanto la reducción en la DV macular y la disminución de la CGR se asocian con una progresión del CV, parámetros clave para la evaluación del riesgo. En general, muchos de los estudios analizados llegan a un consenso sobre la creciente correlación entre los parámetros estructurales y vasculares, así como con el estado funcional del glaucoma.

A diferencia de lo encontrado por los autores anteriores, **Suh et al.**^(23,32) mostraron que los cambios vasculares son independientes de otros indicadores estructurales y clínicos, como las HD o el CV, y que puede anticipar la progresión funcional. **Nishida et al.**⁽³⁰⁾ sugieren que aspectos con las HD predicen una mayor pérdida vascular en zonas específicas como el sector infra temporal.

No obstante, se encuentran ciertas limitaciones relevantes en los estudios analizados. La mayoría son estudios transversales, lo que impide establecer una relación temporal entre la pérdida vascular y la progresión del glaucoma, de esta forma, resulta muy difícil establecer una prevalencia exacta de la capacidad de detección de glaucoma precoz mediante OCT-A, pues harían falta estudios con mayor número de participantes. Además, al ser una búsqueda restringida según los criterios de selección, se puede haber limitado el incluir evidencia relevante.

En conclusión, no se sabe si las alteraciones vasculares son causa o consecuencia de la reducción de la pérdida de RNFL. Por todo lo explicado anteriormente, todavía no se ha conseguido comprender la patogénesis de la vascularización en pacientes con glaucoma, lo que dificulta su diagnóstico precoz.

7. CONCLUSIONES

Conclusión principal

La OCT-A representa un instrumento en expansión para el diagnóstico del glaucoma temprano, cuyas aplicaciones han sido exploradas en los últimos años. Permite detectar alteraciones en la microvasculatura macular y del DO como complemento de las pruebas estructurales y funcionales tradicionales.

Conclusiones específicas

- La OCT-A permite identificar cambios vasculares antes de que se manifiesten daños estructurales o funcionales evidentes, mejorando así la sensibilidad diagnóstica.
- A pesar de que no se ha llegado a una prevalencia exacta de glaucoma precoz diagnosticado con OCT-A, se indica que permitirá detectarlo de forma temprana. Aunque, se necesitaran estudios epidemiológicos más específicos para conocer el impacto real.
- El adelgazamiento de la CFNR y las CGR se correlacionan con la disminución de la DV en las regiones peripapilar inferior y temporal, y en la mácula.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Castañeda Díez R, Jiménez Román J, Iriarte Barbosa MJ. Concepto de sospecha de glaucoma de ángulo abierto: definición, diagnóstico y tratamiento. *Rev Mex Oftalmol*. 2014;88(4):153-60. doi:10.1016/j.mexoft.2014.02.001.
2. Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The pathophysiology and treatment of glaucoma: a review. *JAMA*. 2014;311(18):1901-11. doi:10.1001/jama.2014.3192.
3. Díaz JM. Prevención y tratamiento actual del glaucoma. *Rev Med Clin Las Condes* [Internet]. 2010 [citado 2025 Feb 26];21(5):562-72. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-prevencion-tratamiento-actual-del-glaucoma-S0716864010706611>. doi:10.1016/S0716-8640(10)70661-1.
4. McMonnies CW. Glaucoma history and risk factors. *J Optom*. 2017;10(2):71-8. doi:10.1016/j.optom.2016.02.003.
5. Tham YC, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng CY. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014;121(11):2081-90. doi:10.1016/j.ophtha.2014.05.013.
6. Agència de Qualitat i Avaluació Sanitàries de Catalunya (AQuAS). Guía de Práctica Clínica sobre el Glaucoma Primario de Ángulo Abierto. Barcelona: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad; 2017 [citado 2025 Mar 10]. Sección 4.1, Diagnóstico del glaucoma. Disponible en: https://portal.guiasalud.es/wp-content/uploads/2018/12/GPC_568_Glaucoma_AQUAS_compl.pdf
7. Simmons RB, Montenegro MH, Ritch R. Primary angle-closure glaucoma. En: Tasman W, Jaeger EA, editores. **Duane's Ophthalmology**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006. Capítulo 53.
8. Coleman AL. Glaucoma. *Lancet*. 1999;354(9192):1803-10. doi:10.1016/S0140-6736(99)04240-3.
9. González-Hernández OR, González-Landeros M. Glaucoma Primario de Ángulo Abierto. *Hipócrates: Revista Médica del Centro Médico Nacional Siglo XXI*. 2010;5 (21):6-12.
10. Vargas Ávila AJ, Sojo Padilla JR. Glaucoma: aspectos relevantes. *Rev Med Sinergia*. 2022;7(8):e880. doi:10.31434/rms.v7i8.880.
11. Leske MC, Wu SY, Hennis A, Honkanen R, Nemesure B; Grupo de estudio de BESs. Factores de riesgo de glaucoma de ángulo abierto incidente: The Barbados Eye Studies. *Oftalmología*. 2008;115:85-93. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.03.017
12. Galambos P, Vafiadis J, Vilchez SE, Wagenfeld L, Matthiessen ET, Richard G, Klemm M, Zeitz O. Control autorregulatorio comprometido de la hemodinámica ocular en pacientes con glaucoma después de un cambio postural. *Oftalmología*. 2006;113:1832-1836. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.05.030.
13. Wang X, Wang M, Liu H, Mercieca K, Prinz J, Feng Y, et al. The association between vascular abnormalities and glaucoma-what comes first? *Int J Mol Sci*. 2023 Aug 25;24(17):13211. doi:10.3390/ijms241713211. PMID: 37686017; PMCID: PMC10487550.
14. Vallejo Mesa E, Gómez Goyeneche HF, Martínez Malo LC. Angiografía por tomografía de coherencia óptica: una nueva herramienta diagnóstica. *Rev Soc Colomb Oftalmol*. 2018;51(1):63-71.
15. Rocholz R, Teussink MM. Spectralis optical coherence tomography angiography (OCTA): principles and clinical applications. Heidelberg Engineering; [citado 2025 Mar 10]. Disponible en: https://www.heidelbergengineering.com/media/elearning/Totara/Dateien/pdf-tutorials/210111-001_SPECTRALIS OCTA - Principles and Clinical Applications_EN.pdf.
16. Spaide RF, Fujimoto JG, Waheed NK. Image artifacts in optical coherence tomography angiography. *Retina (Phila Pa)*. 2015;35(11):2163-80. doi:10.1097/IAE.0000000000000765
17. Akiyama K, Saito H, Shirato S, et al. Diagnostic ability and sectoral structure-function relationship of circumpapillary and macular superficial vessel density in early glaucomatous eyes. *Sci Rep*. 2022;12:5991. doi:10.1038/s41598-022-10033-1.
18. Kamalipour A, Moghimi S, Jacoba CM, Yarmohammadi A, Yeh K, Proudfoot JA, et al. Measurements of OCT Angiography Complement OCT for Diagnosing Early Primary Open-Angle Glaucoma. *Ophthalmol Glaucoma*. 2022;5(3):262-74. doi:10.1016/j.ogla.2021.09.012.
19. Penteado RC, Bowd C, Proudfoot JA, Moghimi S, Manalastas PIC, Ghahari E, et al. Diagnostic Ability of Optical Coherence Tomography Angiography Macula Vessel Density for the Diagnosis

- of Glaucoma Using Different Scan Sizes. *J Glaucoma*. 2020;29(4):245–51. doi:10.1097/IJG.0000000000001447.
20. **Bowd C, Belghith A, Zangwill LM, Christopher M, Goldbaum MH, Fan R, et al.** Deep learning image analysis of optical coherence tomography angiography measured vessel density improves classification of healthy and glaucoma eyes. *Am J Ophthalmol*. 2022;236:298–308. doi:10.1016/j.ajo.2021.11.008.
21. **Rabiolo A, Gelormini F, Sacconi R, et al.** Comparison of methods to quantify macular and peripapillary vessel density in optical coherence tomography angiography. *Transl Vis Sci Technol*. 2020;9(2):10. Disponible en: <https://tvst.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2778171>.
22. **Pourjavan S, Gouverneur F, Macq B, Van Drooghenbroeck T, De Potter P, Boschi A, El Maftouhi A.** Análisis avanzado de imágenes OCT/OCTA para diferenciar con precisión entre glaucoma y ojos sanos mediante técnicas de aprendizaje profundo. *Clin Ophthalmol*. 2024;18:3493–3502. doi:10.2147/OPHTH.S472231.
23. Suh MH, Park KH, Kim H, et al. Reduction of optic disc microvasculature and retinal nerve fiber layer thinning in glaucoma patients. *Am J Ophthalmol*. 2023;265:224–235.
24. Dastiridou A, Samouilidou M, Anastasopoulos E, Koronis S, Riga P, Katsanos A, Ziakas N, Androudi S. Retinal and choroidal OCT angiography in the macula in normal-tension and primary open-angle glaucoma patients. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(14):1485. doi:10.3390/diagnostics14141485.
25. Arish M, Momeni-Moghaddam H, Alborzi M, Maleki A, Daneshvar R, Heidari HR. Peripapillary vascular density in healthy individuals, primary open-angle glaucoma, and normal-tension glaucoma. *Eur J Ophthalmol*. 2023;34(1):161–167. doi:10.1177/11206721231181929.
26. Ashour DM, Madkour NS, Ebeid WM, Mahmoud RA. Peripapillary vascular density distinguishes glaucomatous from physiologic optic disc cupping using optical coherence tomography angiography. *J Glaucoma*. 2025;34(5):415–420. doi:10.1097/IJG.0000000000002530.
27. Liu K, Xu H, Jiang H, et al. Macular vascular density and foveal avascular zone parameters in patients after acute primary angle-closure evaluated by OCT angiography. *Sci Rep*. 2020;10:18717. doi:10.1038/s41598-020-73223-9.
28. Hwang HS, Lee EJ, Kim H, Kim TW. Relationships of macular functional impairment with structural and vascular changes according to glaucoma severity. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2023;64(12):5. doi:10.1167/iovs.64.12.5.
29. Pradhan ZS, Srinivasan T, Sreenivasaiah S, Rao DAS, Shroff S, Devi S, Webers CAB, Rao HL. Angiografía por tomografía de coherencia óptica y pérdida progresiva de la capa de fibras nerviosas de la retina en el glaucoma de ángulo abierto leve a moderado. *PLoS One*. 2025 Mar 25;20(3):e0319903. doi:10.1371/journal.pone.0319903.
30. **Nishida T, Moghimi S, David RCC, Kamalipour A, Zangwill LM, Weinreb RN, et al.** Rates of circumpapillary retinal nerve fiber layer thinning and capillary density loss in glaucomatous eyes with disc hemorrhage. *Am J Ophthalmol*. 2022 Mar;235:24–31. doi:10.1016/j.ajo.2021.09.013.
31. **Wu J, Moghimi S, Nishida T, Mahmoudinezhad G, Zangwill LM, Weinreb RN, et al.** Association of macular vessel density and ganglion cell complex thickness with central visual field progression in glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2023;107(12):1828–1833. doi:10.1136/bjo-2022-321870.
32. **Suh MH, Weinreb RN, Walker E, Zangwill LM.** Optic disc microvasculature reduction and visual field progression in primary open-angle glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2025;273:43–55. doi:10.1016/j.ajo.2025.02.001.