

1-1-2016

## **Cámara retinal : herramienta de telediagnóstico para detección de retinopatía diabética, retinopatía hipertensiva y glaucoma**

Diana Catalina Cortés Rodríguez  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_ciencias\\_vision](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_ciencias_vision)

---

### **Citación recomendada**

Cortés Rodríguez, D. C. (2016). Cámara retinal : herramienta de telediagnóstico para detección de retinopatía diabética, retinopatía hipertensiva y glaucoma. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_ciencias\\_vision/66](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_ciencias_vision/66)

This Tesis de maestría is brought to you for free and open access by the Facultad de Ciencias de la Salud at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Maestría en Ciencias de la Visión by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**CÁMARA RETINAL: HERRAMIENTA DE TELEDIAGNÓSTICO PARA  
DETECCIÓN DE RETINOPATÍA DIABÉTICA, RETINOPATÍA HIPERTENSIVA Y  
GLAUCOMA**

**DIANA CATALINA CORTÉS RODRÍGUEZ  
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA CIENCIAS DE LA VISIÓN**

**JOHANNA GARZON PARRA  
DIRECTORA**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VISIÓN  
PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA VISIÓN  
BOGOTÁ, MAYO 23**

**2016**

## Tabla de Contenido

Resumen .....	1
Summary .....	2
1. Introducción .....	3
2. Telemedicina .....	5
3. Cámara retinal y fotografía del fondo de ojo .....	7
4. Retinopatía diabética.....	9
5. Sistemas de análisis de imágenes.....	177
5.1. Sistemas tradicionales de análisis de imágenes para RD .....	177
5.2. Sistemas automáticos de análisis de imágenes RD .....	188
6. Retinopatía Hipertensiva .....	20
7. Métodos Diagnósticos para Retinopatía Hipertensiva.....	244
8. Análisis automático de imágenes.....	244
8.1. Localización de la fóvea.....	244
8.2. Segmentación vascular .....	244
9. Glaucoma .....	255
9.1. Localización del nervio óptico .....	277
9.2. Fotografía digital del nervio óptico .....	277
9.3. Oftalmoscopia confocal laser .....	29
10. Transmisión de imágenes.....	322
11. Conclusiones .....	344
12. Bibliografía.....	366

## Tabla de Tablas

Tabla 1. ....	6
Tabla 2. ....	11
Tabla 3. ....	133
Tabla 4. ....	155
Tabla 5. ....	211
Tabla 6. ....	222
Tabla 7. ....	29
Tabla 8. ....	300

## Tabla de Gráficos

Figura 1.....	3
Figura 2.....	8
Figura 3.....	255
Figura 4.....	288
Figura 5.....	288
Figura 6.....	333

## Resumen

La fotografía del fondo de ojo se ha convertido en uno de los métodos diagnósticos más importantes para identificar, diagnosticar y controlar las enfermedades que afectan la retina y comprometen la visión. Se ha implementado como un servicio de salud que agiliza y optimiza el tiempo de consulta y permite el acceso al servicio a personas con factores de riesgo. Las alteraciones más frecuentes en la población son consecuencia del mal control de enfermedades sistémicas como la diabetes mellitus y la hipertensión arterial, y otras netamente oculares que no presentan síntomas como el glaucoma; consideradas las principales causas de ceguera a nivel mundial en países desarrollados. **Objetivo:** Describir el procedimiento e interpretación de las imágenes oculares obtenidas por la cámara retinal para la detección y telediagnóstico de retinopatía diabética y glaucoma. **Materiales y métodos:** se realizó una revisión sistemática de la literatura de los últimos treinta años en bases de datos con palabras que incluyeron teleophthalmology, retinopathy, telemedicine, images in telemedicine, retinal camera, non mydriatic camera, en límites de años desde 1985 hasta 2015. **Conclusiones:** con este trabajo se pretende aclarar el manejo y las características de la cámara retinal y el uso como apoyo diagnóstico en enfermedades crónicas que comprometen la salud visual y ocular de la población.

## Summary

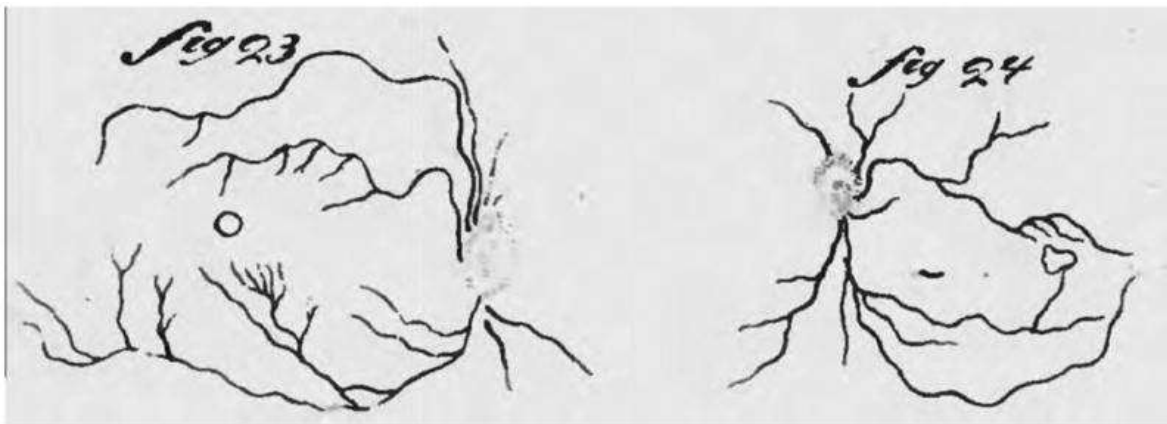
The fundus photography has become one of the most important to identify, diagnose and control diseases that affect the retina and vision compromise diagnostic methods. It has been implemented as a health service that streamlines and optimizes query time and enables access to the service to people with risk factors. The most frequent alterations in the population are the result of uncontrolled systemic diseases such as diabetes mellitus and hypertension, and other purely ocular without symptoms such as glaucoma; considered the main casusas of blindness worldwide in developed countries. **Objective:** To describe the procedure and interpretation of eye images obtained by the retinal camera for detection and remote diagnosis of diabetic retinopathy and glaucoma. **Materials and methods:** A systematic review of the literature of the last thirty years in databases with words that included teleophthalmology, retinopathy, telemedicine, images in telemedicine, retinal camera, non midriatic camera, on the border of years from 1985 to 2015 was conducted. **Conclusions:** this paper aims to clarify the handling and characteristics of the retinal camera and use as diagnostic support in chronic diseases that compromise visual and ocular health of the population.

## 1. Introducción

La observación y evaluación del interior del ojo humano data desde 1852 con la introducción del oftalmoscopio directo por el físico alemán Hedrmann von Helmholtz a través de un sistema de espejos como herramienta principal de observación del interior del ojo humano vivo; posteriormente fue combinando con la fotografía que se introdujo al mundo en el año 1839.<sup>1</sup>

El registro objetivo que se realiza ha mejorado desde esa época, donde se elaboraban dibujos manuales de la retina con el contenido de las observaciones (fig 1) hasta el día de hoy en el que se fotografía la retina y se analiza automáticamente en busca de alteraciones que permiten realizar un mejor manejo preservando la salud ocular y visual.<sup>2</sup>

**Figura 1.** Dibujo manual de los vasos retinianos y la fovea de un ojo derecho y un ojo izquierdo realizado y publicado por Purkinge en 1823.<sup>3</sup>



La capacidad de obtener imágenes no invasivas de la retina se ha logrado gracias al desarrollo de técnicas de captura y análisis automático.<sup>4</sup> La retina es un tejido (segmentado en capas) que recubre el interior del ojo y que permite la transducción de luz en una señal neuronal para su procesamiento e interpretación en el cerebro; por lo tanto la retina es considerada una extensión del cerebro. Su función principal es “ver” el mundo exterior y para lograrlo requiere que las demás estructuras oculares que la acompañan sean ópticamente transparentes, así mismo es posible



observarla desde el exterior, quedando expuesto tejido cerebral, accesible de forma no invasiva.<sup>3</sup>

Debido a la función que realiza la retina hace que sea un tejido metabólicamente muy activo con un suministro de sangre doble, de esta forma la retina también permite la observación directa de la circulación de una forma no invasiva.<sup>5</sup> Las enfermedades que afectan directamente los ojos y la circulación cerebral pueden manifestarse y observarse directamente en la retina.

La captura, transferencia y análisis de imágenes es posible gracias a la telemedicina, una estrategia que integra la información electrónica y la tecnología médica por la cual las personas pueden acceder a los servicios de salud especializados. Es un campo que aún sigue desarrollándose gracias a las herramientas como los teléfonos inteligentes, internet y otras redes diseñadas con el propósito de transmitir consultas, exámenes o procedimientos médicos a distancia.<sup>6</sup>

Gracias a la innovación en este campo se han podido desarrollar programas a nivel mundial que permitan alertar, supervisar y controlar la expansión de enfermedades transmisibles y no transmisibles mejorando la vigilancia epidemiológica, contribuyendo con la integración al sistema de salud y la universalidad de los servicios con calidad, eficiencia y equidad para el beneficio principal y especialmente de las poblaciones excluidas y dispersas. Permite agilizar la atención y definir en tiempo real las conductas a seguir<sup>7-8-9</sup>; las principales modalidades de atención son:

- Telediagnos
- Teleconsulta
- Teleconferencia
- Almacenamiento digital de datos, fichas electrónicas e historias clínicas

A nivel ocular las principales enfermedades que afectan la población son la degeneración macular relacionada a la edad y el glaucoma; primera y tercera causa más importante de ceguera en países desarrollados que afectan directamente la

retina.<sup>10</sup> También existen presentaciones a nivel ocular de enfermedades sistémicas que afectan la retina, como la retinopatía diabética, segunda causa de ceguera irreversible en países desarrollados y complicación de la diabetes mellitus; y la retinopatía hipertensiva como complicación de la enfermedad cardiovascular e hipertensión.<sup>11</sup>

Como se mencionó anteriormente la retina es un tejido vulnerable ante enfermedades específicas del globo ocular y a enfermedades sistémicas. Esta condición reafirma el valor y la importancia que tienen las imágenes retinianas para detectar y tratar precozmente las alteraciones que puedan comprometer la salud visual de las personas, y así mismo crear un historial para el seguimiento con este apoyo diagnóstico.

El objetivo de este trabajo es describir el manejo de la cámara retinal, interpretación de las imágenes y clasificación de las patologías oculares como método diagnóstico. Se realizó una revisión sistemática de la literatura de los últimos 30 años en bases de datos con palabras que incluyeron teleophthalmology, retinopathy, telemedicine, images in telemedicine, retinal camera, non midriatic camera, en límites de años desde 1985 hasta 2015. Se pretende con este trabajo aclarar el manejo y las características de la cámara retinal y el uso como apoyo diagnóstico en enfermedades crónicas que comprometen la salud visual y ocular.

## **2. Telemedicina**

Su nombre deriva de un prefijo griego “Telos” que significa distancia; por eso esta técnica se utiliza para conectar lugares distantes o poblaciones desfavorecidas con difícil acceso o, en los que sus centros médicos no cuenten con servicios especializados o personal capacitado.<sup>12</sup> La telemedicina ha sido definida como el uso de la información médica que se intercambia o se transmite de un sitio a otro a través de las redes de comunicación electrónicas para mejorar el estado de salud de una persona o una población.<sup>13</sup> Actualmente la telemedicina posee gran número de aplicaciones y servicios que incluyen video, correo electrónico, teléfonos inteligentes, herramientas inalámbricas y otras formas de tecnologías.

El propósito de esta herramienta se ha aplicado en varias áreas como medicina, educación, administración entre otras (disciplinarias e interdisciplinarias). En los servicios clínicos hay interacción entre médicos de diferentes especialidades y puede incluirse o no la participación del paciente; puede atenderse mediante llamada, videoconferencia o transferencia de imágenes vía internet y correo electrónico, generalmente se utiliza para definir una conducta médica, un tratamiento y aclarar diagnósticos.<sup>14</sup>

Su aplicación puede realizarse a través de dos métodos principales: en tiempo real y almacenamiento y retransmisión.<sup>15</sup>

**Tabla 1.** Aplicación de la telemedicina.<sup>15</sup>

<b>Propósito</b>	<b>Almacenamiento y retransmisión</b>	<b>Tiempo real</b>
<b>Clínico</b>	Imágenes digitales que pueden ser enviadas vía correo electrónico al médico especialista para definir el diagnóstico y manejo. Se aplica para teleoftalmología, teledermatología, etc.	Se realiza mediante videoconferencia en la que se involucra la participación del paciente, el médico tratante y el médico en la estación satélite
<b>Educativo</b>	Plataformas interactivas con información almacenada como tareas, tutoriales, audios o videos	Transmisión directa de conferencias, clases, talleres, seminarios en múltiples sitios simultáneamente

Desde el año 1999 la fundación benéfica Swinfen (Swinfen Charitable Trust SCT) ha implementado el servicio de almacenamiento y retransmisión para brindar apoyo a los profesionales de la salud de más de 20 países en vía de desarrollo en los que se incluyen Bolivia, Etiopía, Iraq, Nepal entre otros; cuyo único requisito en esa

época consistía en tener una cámara digital estándar y un computador con acceso a internet. Actualmente pueden conectarse y obtener información digital a través de un celular inteligente o directamente en el sitio web creado especialmente para este fin.<sup>16-17</sup>

### **3. Cámara retinal y fotografía del fondo de ojo**

La fotografía del fondo de ojo se introdujo en la década de 1920 y se ha utilizado ampliamente desde 1960; cuando por primera vez se utilizó una técnica estándar de fotografía basada en la captura de imágenes en películas de 35mm para capturar un tejido vivo. Desde entonces ha evolucionado constantemente hasta convertirse en técnica digital.<sup>18</sup>

La formación de imágenes del fondo de ojo es el resultado de un proceso mediante el cual se obtiene una representación en 2D o 3D de los tejidos retinianos semi-transparentes utilizando la luz reflejada.<sup>3</sup>

Se obtienen gracias a que hay un lente objetivo que forma una imagen real del fondo de ojo iluminado en frente de un espejo con un agujero estenopeico del mismo tamaño de un alfiler, el mismo principio del oftalmoscopio indirecto. Detrás del agujero estenopeico se forma una segunda imagen proyectada por el lente objetivo principal. Tiene también un lente desplazable que permite el enfoque. La máxima resolución de las cámaras de fondo de ojo es de  $6\mu\text{m}$  y se puede obtener únicamente en campos visuales reducidos con la pupila dilatada. Para obtener imágenes nítidas y sin reflejos con un amplio campo visual es necesario dilatar la pupila, disminuyendo la resolución (hasta  $10\mu\text{m}$ ) para obtener un campo visual de máximo  $50^\circ$ .<sup>3</sup>

Algunas cámaras utilizan diferentes frecuencias láser capaces de reunir información de múltiples capas de la retina. Por ejemplo el sistema de láser verde (532nm) captura información de la retina neurosensorial en el epitelio pigmentado de la retina (EPR), mientras que el láser rojo (633nm) es capaz de recolectar información desde el EPR hasta la coroides. Por esta sensibilidad es posible detectar alteraciones

sutiles en la retina; se pueden capturar imágenes combinando los dos tipos de frecuencia o se pueden separar en las imágenes libre de rojo o libre de verde para hacer diagnósticos diferenciales. Las hemorragias retinianas sutiles son visibles en las imágenes obtenidas con la frecuencia verde y las lesiones coroidales como nevus o inflamación con la frecuencia de luz roja. Las imágenes en 3D proporcionan un campo visual de 30° a 45° muy útiles en la exploración de pacientes con alteraciones en el nervio óptico ya que permite evaluar la depresión del disco, la elevación de la mácula y engrosamiento o adelgazamiento del tejido neural típico en los casos de agujeros lamelares.<sup>19</sup>

Los sistemas operativos y software de algunas cámaras incluso permiten superponer e integrar varias imágenes centrales y periféricas útiles para poder capturar y observar lesiones más allá de los 40° visibles que tiene la cámara (fig 2).<sup>20</sup>

**Figura 2.** Fotografías integradas de la retina en un paciente con Degeneración macular relacionada con la edad.<sup>20</sup>



Todas las cámaras tienen un modelo de fijación en diferentes posiciones con objetivos internos libres o en secuencias programadas para obtener grandes capturas, permitiendo ensamblarlas rápidamente y crear un montaje sin dejar vacíos en la imagen compuesta. Otra de las grandes ventajas de la cámara retinal no midriática frente al examen convencional es la capacidad de obtener fotografías del fondo de ojo en pupilas pequeñas (2 a 4mm) sin tener que inducir midriasis

farmacológica, lo que beneficia a los pacientes con glaucoma de ángulo cerrado o sospecha de este.<sup>11</sup>

Sin importar la cámara midriática que se utilice para obtener una mejor calidad en la imagen se recomienda ubicar al paciente en un cuarto oscuro durante 1 o 2 minutos para que sus pupilas se dilaten un poco (midriasis fisiológica). Los pacientes a los que se recomienda dilatar farmacológicamente la pupila son a quienes presenten opacidad de medios como cataratas o pacientes diabéticos cuya pupila es poco reactiva.<sup>21</sup>

#### **4. Retinopatía diabética**

La retinopatía diabética (RD) es una de las principales complicaciones de la diabetes que ocasiona daños en la microvasculatura de la retina y que puede conducir a la ceguera. En las primeras etapas de la RD no hay signos visibles, pero el número y la gravedad de los cambios y anomalías aumentan con el paso del tiempo.<sup>22</sup> Es fundamental y necesario realizar exámenes visuales regulares para detectar y diagnosticar RD en estadios tempranos en los cuales se puede dar un tratamiento con mejor pronóstico y disminuir la pérdida visual o retardar su progresión.<sup>23</sup> La detección de RD a través de sistemas de análisis computarizados y fotografías de la retina, en Estados Unidos se ha comparado con los que realizan los especialistas durante la consulta, obteniendo la misma sensibilidad y especificidad, arrojando resultados confiables para los examinadores.<sup>24</sup>

En Estados Unidos en el año 2010 los profesionales a cargo del cuidado ocular examinaron al menos al 60% de los aproximadamente 23 millones de personas con diabetes, lo que significa que aún hay millones de personas con esta enfermedad sin ser examinadas y en riesgo de presentar pérdida visual prevenible o en el peor de los casos llegar a la ceguera.<sup>25</sup> La esperanza de los análisis informáticos y programas de cribado es aumentar la accesibilidad al servicio reduciendo los costos.<sup>26</sup>

En Colombia la prevalencia de diabetes se encuentra en aumento, hasta el año 2012 se registraron 200.100 casos de mujeres (0.015) y 239.375 hombres (0.012) por cada 100.000 afiliados al sistema de salud en un período de 4 años (2009-2012). A mitad del año 2012 se registraron con diabetes mellitus el 4.6% de la población afiliada al Sistema General de Seguridad Social en Salud mayores de 45 años, se encontró que los departamentos con mayor prevalencia de la enfermedad son Putumayo, Quindío y Valle del Cauca.<sup>27</sup>

También se han creado, establecido y aplicado únicamente dos programas de teleoftalmología que benefician a la población de escasos recursos que habitan en las zonas rurales de los departamentos de Santander y Guainía con el apoyo del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC's). En este proyecto trabajan especialistas en glaucoma y retinopatía diabética; se creó con la intención de prevenir complicaciones visuales como la pérdida de visión y ceguera producida por estas enfermedades. De acuerdo al censo del 2005 en el país el 6.4% de la población tiene alguna discapacidad visual, ubicándolo como uno de los países de Latinoamérica con mayor porcentaje de discapacidad, el 43.5% de los colombianos presentan limitaciones permanentes para ver, que se puede prevenir con atención oportuna y de calidad.<sup>28</sup>

En un estudio realizado en el departamento de Santander por Galvis y cols (2009) encontraron que la prevalencia de ceguera en esta población es del 1.79%, principalmente los habitantes de zonas rurales. Entre las principales patologías causantes encontraron catarata (67.61%), alteraciones del segmento posterior (14.08%), glaucoma (2.82%), otras opacidades corneales (8.45%), y retinopatía diabética (1.41%).<sup>29</sup> Actualmente se acoge al programa pionero para prevenir la ceguera llamado “visión 20/20, el derecho a ver” propuesta por la OMS y la Agencia Internacional para la Prevención de la Ceguera.<sup>30</sup>

El diagnóstico y clasificación para RD se realiza bajo la clasificación internacional del International Clinic Diabetic Retinopathy (ICDR) y del Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) para retinopatía diabética proliferativa (PDR) y retinopatía diabética no proliferativa (NPDR)

Anteriormente la clasificación para RD se realizaba bajo los parámetros de Airlie House; establecida por un grupo de expertos en 1968 reunidos en Airlie House (Virginia EU) para discutir que se conocía acerca de la RD, en ese momento se desarrolló y estandarizó el sistema de clasificación de la RD;<sup>31</sup> consistía en tomas 7 estereofotografías (7 campos fotográficos de la retina) que se comparaban con patrones estándar buscando alteraciones o signos de la enfermedad. Se asignaba una puntuación a cada ojo desde 10 (sin retinopatía) hasta 85 (retinopatía diabética proliferativa avanzada). Los siete campos se centran en el disco y la mácula. Las características a observar o la búsqueda de alteraciones se centraba en hemorragias o microaneurismas, exudados duros, manchas algodinosas, anomalías en el calibre venoso, neovascularización, proliferación fibrosa y hemorragias vítreas. Es una clasificación bien detallada que se convirtió en el “Gold Standar” por muchos años y sirvió como ensayo clínico para establecer la clasificación de la ETDRS.<sup>32</sup>



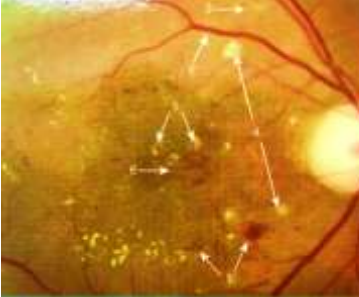
**Tabla 2.** Clasificación de Retinopatía diabética según Airlie House. Basada en el The Wisconsin Epidemiological Studies of Diabetic Retinopathy (WESDR)<sup>33</sup>


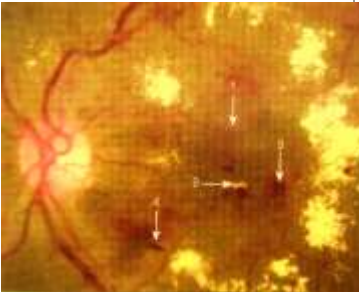
Grado de Retinopatía	Definición	Tasa de progresión (%)			
		A PDR		Etapa de alto riesgo	
		Año 1	Año 3	Año 1	Año 5
NPDR Mínima (nivel 20)	Solo microaneurosas	No se documentan			
NPDR Leve (nivel 30)	Microaneurismas y una o más hemorragias retinales y algunos exudados duros, dilataciones venosas en 2 cuadrantes	5	14	1	15
NPDR Moderada (nivel 40)	Hemorragias y microaneurismas en al menos 2 cuadrantes, amir es 1 o	12–26	30–48	8–18	25–39

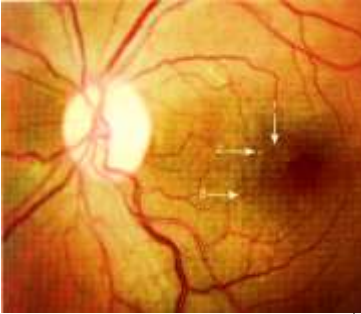


	más cuadrantes, en 1 o y dilataciones venosas en 1 o más cuadrantes				
NPDR Severa Pre-proliferativa (nivel 50)	Amir y hemorragias retinianas en los 4 cuadrantes y dilataciones venosas en los 4 cuadrantes	52	71	15	56
PDR (nivel 60)	Neovascularización y fibrosis retiniana, hemorragia pre-retiniana o hemorragia vítrea			46	75
Alto riesgo PDR (nivel 70)	Neovascularización y fibrosis retiniana $\frac{1}{4}$ de disco con o sin hemorragia vítrea o pre-retiniana	Pérdida visual severa (AV < 5/200) se presenta en el 25–40% con 2 años de progresión			
PDR avanzada	Alto riesgo PDR con desprendimiento por tracción comprometiendo la mácula y hemorragia vítrea				
Edema macular	Engrosamiento retinal a 2 discos de diámetro de la zona central de la mácula	Puede ocurrir en cualquier etapa de la RD			
Edema macular clínicamente significativo	Engrosamiento retina de 500 $\mu$ m en el centro de la mácula, exudados duros	Puede ocurrir en cualquier etapa de la RD			

**Tabla 3.** Clasificación de Retinopatía según la ETDRS y el ICDR.<sup>19-34</sup>

RETINOPATÍA DIABÉTICA	GRADO	HALLAZGOS CLÍNICOS	IMAGEN
<b>Sin Retinopatía</b>	<b>0</b>	Sin retinopatía aparente	
<b>NPRD LEVE</b>	<b>1</b>	Se observan solo microaneurismas	
<b>NPRD MODERADA</b>	<b>2</b>	Hay presencia de 1. Microaneurismas, 2. microhemorragias 3. intra-retinales 4. microexudados	
<b>NPDR SEVERA</b>	<b>3</b>	1. Múltiples hemorragias intra-retinales (>20) en los cuatro cuadrantes 2. Dilataciones venosas 3. Anomalías microvasculares	

		<p>intra-retinales (AMIR)</p> <p>4. Exudados blandos,</p> <p>5. Exudados duros (acúmulos lipídicos)</p> <p>6. Edema macular diabético moderado.</p>	
<b>PROLIFERATIVA</b>	<b>4</b>	<p>1. Neovascularización</p> <p>2. AMIR</p> <p>3. Hemorragias intra-retinales</p> <p>4. Palidez del nervio óptico (neuropatía óptica isquémica)</p> <p>5. Pérdida de la capa de fibras nerviosas.</p>	
<b>CON EDEMA MACULAR</b>	<b>0</b>	<p>1. Engrosamiento retinal a nivel macular</p> <p>2. Exudados duros que comprometen el centro de la fovea</p> <p>3. Hemorragias en llama en la capa</p>	

		de fibras nerviosas	
<b>SIN EDEMA MACULAR</b>	<b>1</b>	No hay presencia de exudados ni engrosamiento retinal dentro de 1 diámetro de disco de la fovea	

En un intento de simplificar y facilitar la clasificación para la RD un grupo de expertos se reunieron y crearon el International Clinical Disease Severity Scale for DR.<sup>35</sup> La nueva escala de severidad se basa en los hallazgos del WESDR y el ETDRS; esta nueva clasificación es simple de usar y fácil de recordar, son 5 etapas que se deben reconocer basados en los hallazgos del fondo de ojo; además se debe resaltar que está basada en evidencia científica.<sup>31</sup>

**Tabla 4.** Nueva clasificación para RD y edema macular.<sup>31</sup>

<b>Etapas</b>	<b>Clasificación RD</b>	<b>Hallazgos clínicos</b>
<b>1</b>	Sin aparente RD	No hay ningún cambio en el fondo de ojo
<b>2</b>	NPRD leve	Presencia de algunos microaneurismas
		Presencia de microaneurismas,

3	NPDR moderada	hemorragias intrarretinianas o dilataciones venosas
4	NPDR severa	Es la etapa clave para identificarla. Los datos de la ETDRS han demostrado que las personas con DM2 tienen que llegar alcanzan esta etapa tiene 50% de desarrollar características de alto riesgo si no se realiza un tratamiento láser. El diagnóstico se realiza con base al ETDRS hemorragias en los 4 cuadrantes, dilataciones venosas en los 4 cuadrantes, amir
5	PDR	Caracterizada por la neovascularización del disco, la retina, el iris, el ángulo, presencia de hemorragias vítreas, o desprendimiento por tracción de la retina

Actualmente la RD tiene un gran impacto sobre la calidad de vida de las personas con diabetes debido a la gran pérdida visual que ocasiona; pero lo más importante

que se debe saber es que es una complicación prevenible a través de tratamientos oportunos con láser, farmacológicos o quirúrgicos.<sup>36</sup>

El reto se encuentra en la detección y clasificación precoz de la RD, con el uso e implementación de las ayudas tecnológicas es aún más fácil, seguro, rápido y confiable, ayuda a preservar la salud de las personas con enfermedades crónicas como la diabetes.<sup>19</sup>

Las personas con DM tienen 25 más de probabilidades de perder la visión en comparación con la población en general. Se genera un proceso de isquemia generalizada que libera citoquinas como el factor de crecimiento endotelial (VEGF) en la cavidad vítrea, identificado como uno de los precursores más importantes en la formación de neovasos (NV) y desarrollo de la RDP. La RDP es la principal causa de pérdida visual en personas diabéticas caracterizada principalmente por formación de NV.

## **5. Sistemas de análisis de imágenes**

### **5.1. Sistemas tradicionales de análisis de imágenes para RD**

En la Universidad de California un equipo interdisciplinar desarrolló un programa de detección para retinopatía diabética basados en telemedicina y lectura de imágenes diagnósticas llamado Eye Picture Archive Communication System (EyePACS). Este programa fue desarrollado en el año 2001 e implementado desde el 2003 en la UC Berkeley Optometric Eye Center y se amplió a través de California, en colaboración con la Foundation California HealthCare en 2005. El objetivo del programa es utilizar la telemedicina para instaurar programas de tamizaje para retinopatía diabética en las clínicas de la comunidad. Se realiza por medio del envío de imágenes a equipo médico de la UC Berkeley para su interpretación. Utiliza un sistema de “almacenamiento y reenvío” electrónico; las imágenes digitales se toman en una clínica y se envían electrónicamente a otro lugar para su interpretación. El sistema permite capturar y subir imágenes digitales de la retina de un paciente a la página web EyePACS para que sea interpretada por un médico capacitado ubicado en otra

parte. La aplicación EyePACS es una aplicación web que permite participar a profesionales médicos acreditados como revisores de casos desde una terminal de Internet segura en cualquier parte del mundo. Esta red permite al sistema vincular a los médicos de atención primaria con los especialistas del cuidado visual sin importar su ubicación física y geográfica. Actualmente el sistema EyePACS se está utilizando en más de 170 sitios en California y en otros lugares.<sup>37</sup>

El programa de tamizaje para RD “Diabetic Retinopathy Detection with EyePACS” creado y aplicado por Cuadros y cols en 2003, está diseñado para tomar 8 fotografías de la retina, que posteriormente son cargadas a la página web del EyePACS para que sean revisadas e interpretadas por los especialistas en busca de cualquier alteración o signo de retinopatía diabética, una vez evaluadas se genera el informe y se envía al médico tratante quien debe informar a su paciente los resultados y las recomendaciones dadas, en casos en los que sea necesario se envían remisiones para iniciar tratamiento y control para evitar la progresión de la enfermedad y complicaciones visuales y oculares.<sup>38</sup>

## **5.2. Sistemas automáticos de análisis de imágenes RD**

Las imágenes digitales se componen de una manera que las hacen accesibles a manipulación matemática a través de algoritmos programados simples y complejos. Las imágenes en blanco y negro (escala de grises) tienen una cantidad determinada de píxeles correspondiente a un rango entre cero (0=negro) hasta 225 (blanco) y 28 para imágenes de 8 bits, para imágenes de 12 bits hay 4.096 niveles de gris. Las imágenes están compuestas por una matriz de píxeles de intensidad variable a través de la imagen, la intensidad corresponde al nivel de “grises” en cualquier punto de la imagen. Si se traslada al idioma matemático y se puede decir que la imagen es una ecuación o función, en cualquier punto o coordenada espacial (X, Y) la imagen tiene un tono o intensidad específica. Estas imágenes monocromáticas o escala de grises son las imágenes en 2 dimensiones.<sup>39</sup>

Los sistemas automáticos para la detección temprana de cambios retíales en la diabetes han sido diseñados por grupos interdisciplinarios de expertos en

informática y oftalmología, obteniendo programas capaces de identificar cambios en estadios iniciales de la enfermedad. El funcionamiento de estos programas depende del diseño pero se enfocan en un mismo fin. Básicamente se inicia por el reconocimiento de las estructuras normales de la retina, nervio óptico, mácula y vasos sanguíneos. El primer paso para el análisis automático de una imagen de la retina es reconocer y separar las “estructuras” del fondo de ojo.

Las ventajas de la imagen digital son la facilidad de obtención y la transmisión a los centros de lectura. Las imágenes también pasan por un proceso previo o de “entrenamiento” de análisis por su capacidad de detectar la presencia de cualquier signo de enfermedad y clasificar si la retina evaluada es “sana o enferma”. A las imágenes clasificadas como enfermas pasan por un análisis más detallado para identificar el grado y la etapa en la que se encuentra la enfermedad, se conoce como análisis automatizado.<sup>40</sup>

La lectura y análisis automático de las imágenes se realiza por la implementación de un software especializado para tal actividad. Para su funcionamiento es necesario tener una base o información previa de reconocimiento. Se logra a través de la creación de un “diccionario visual” que contenga los patrones generales y características de cada alteración que se pueda presentar en la retina, además debe ser capaz de reconocer si una imagen tiene la nitidez suficiente para su lectura o si por el contrario es tan borrosa que no cumple con el parámetro para la lectura. Es un proceso de entrenamiento con imágenes para alimentar la base de datos de software. El siguiente paso es la localización de los puntos de interés (PDI) en cada imagen, para reconocer las posibles alteraciones en determinada enfermedad con un patrón detector acelerado. Estos puntos se asocian en el diccionario para el reconocimiento automático de las lesiones. Cada imagen se mapea y traduce al lenguaje del diccionario.<sup>41</sup>



## 6. Retinopatía Hipertensiva

La retinopatía hipertensiva es otra complicación a nivel ocular que se desarrolla en personas con presión arterial elevada. Esta condición ha sido descrita por muchos años; en 1914 Volhard y Fahr la describieron como “retinopatía angioespástica”. Los cambios en la retina ocasionados por la hipertensión son muy importantes porque se correlacionan mejor que cualquier otro factor individual en la enfermedad no diagnosticada y tratada.<sup>42</sup>

Es considerada como una enfermedad crónica que afecta a 50 millones de personas en Estados Unidos y aproximadamente un billón más en el resto del mundo, siendo el factor de riesgo modificable más importante para evitar el accidente cerebrovascular.<sup>43</sup>

La hipertensión es considerada un “asesino silencioso” ya que está presente mucho antes de generar daños clínicamente evidentes en distintos órganos. Por esta razón es importante la detección temprana evitando complicaciones sintomáticas e irreversibles.<sup>44</sup> Bajo esta perspectiva debe tenerse en cuenta que la retina es la puerta de entrada para el estudio de la circulación sanguínea. Las arterias y venas son fácilmente visibles de forma no invasiva; y una ventaja mayor es la similitud anatómica y fisiológica con los microcirculación cerebral y coronaria.<sup>45</sup>

La detección de retinopatía hipertensiva se realiza a través de la exploración clínica con el oftalmoscopio como parte del examen rutinario de las personas con hipertensión arterial.<sup>46</sup> Práctica clínica que ha sido soportada por estudios anteriores y actuales, uno de ellos el Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure (JNC);<sup>47</sup> quienes presentan marcadores específicos para los órganos diana en la hipertensión. Dentro de los criterios de la JNC, la presencia de retinopatía puede ser una indicación para iniciar el tratamiento antihipertensivo, incluso en personas con hipertensión fase 1 (presión arterial 140 a 159/90 a 99mmHg) que no tienen más evidencias de daño en otros órganos.<sup>48</sup>

La hipertensión arterial (HTA) mal controlada induce cambios y daños en la microcirculación retiniana, sin embargo no hay establecida una clasificación o definición aceptada para la retinopatía hipertensiva. Varios comités internacionales se han reunido pero no han llegado a un consenso unificado. En 1953 Scheie clasificó los cambios de la HTA en cinco etapas, desde la normalidad hasta el estadio más avanzado con cambios en la retina (Tabla 4)<sup>49</sup>

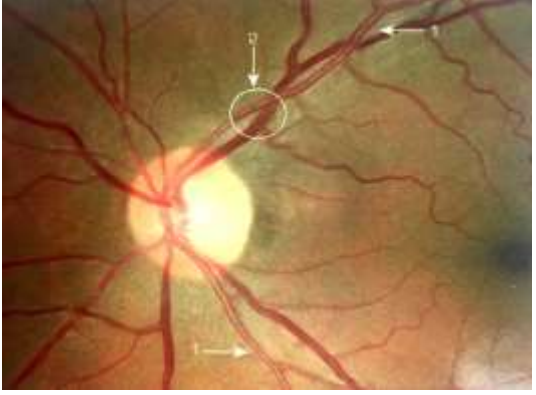
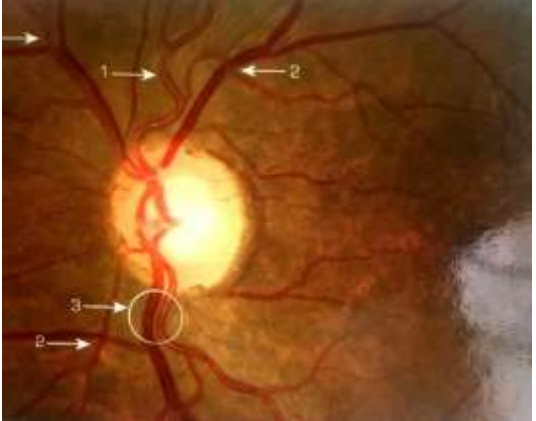
**Tabla 5.** Clasificación para retinopatía hipertensiva de Scheie.<sup>50</sup>

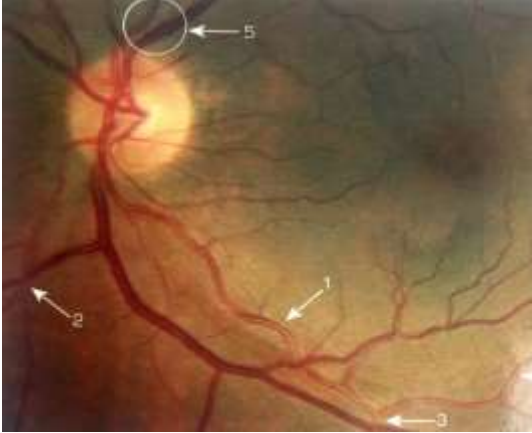
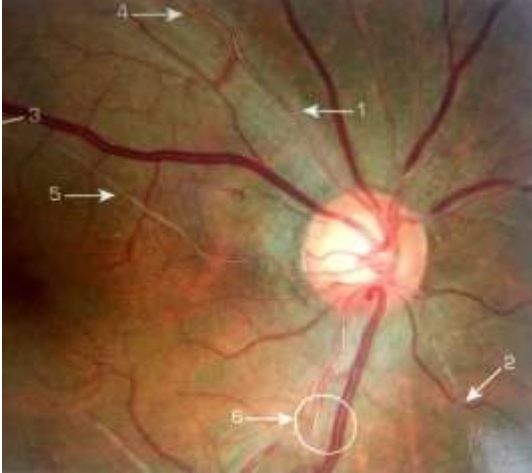
<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
<b>Cambios Hipertensivos</b>	
<b>0</b>	Paciente diagnosticado con HTA, no hay cambios visibles en la vasculatura retinal
<b>I</b>	Estrechamiento arteriolar difuso, se observa en los vasos más pequeños. Calibre arteriolar uniforme, sin constricción focal
<b>II</b>	Estrechamiento arteriolar más pronunciado, áreas focales de constricción arteriolar
<b>III</b>	Estrechamiento arteriolar focal y difuso más evidente, hemorragias retinianas graves pueden estar presentes
<b>IV</b>	Todas las alteraciones anteriores pueden estar presentes, junto con edema retinal, exudados duros y edema del disco óptico

Actualmente la clasificación con mayor aplicación para retinopatía hipertensiva es la de Keith-Wagener-Barker.<sup>51</sup> Divide la retinopatía en fases agudas y crónicas (tabla 5) en los grados 1 y 2 hay hilalinización y engrosamiento de las paredes arteriales retinianas que inducen al entrecruzamiento arteriovenoso. En el grado 3 de la retinopatía hipertensiva, la presión arterial diastólica sistémica se encuentra entre 110 y 115mmHg. En este punto las arterias retinianas pierden su capacidad

de autorregular el flujo sanguíneo y la presión elevada pasa distalmente a las arteriolas y el lecho capilar de la retina. En el grado 4 la presión sistémica diastólica se encuentra entre 130 a 140mmHg. En los grados 3 y 4 el aumento de la presión arterial puede dañar la pared del vaso sanguíneo, lo que conduce a la necrosis fibrosa (presencia de trombos de fibrina dentro del lumen vascular).<sup>49</sup>

**Tabla 6.** Clasificación de Keith-Wagener-Barker para retinopatía hipertensiva.<sup>51-52</sup>

Grado	Descripción	Imagen
1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leve a moderado estrechamiento o esclerosis de las arteriolas</li> <li>2. Relación A-V conservada 2:3</li> </ol>	
2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento del reflejo arterial</li> <li>2. Cruces arterio-venoso +</li> <li>3. Pérdida de la relación A-V 1:2</li> </ol>	

<p><b>3</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento del reflejo arterial</li> <li>2. Cruces A-V</li> <li>3. Salto venoso</li> <li>4. Arterias en hilos de cobre</li> <li>5. Pérdida de la relación A-V 1:2</li> </ol>	
<p><b>4</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento del reflejo arterial</li> <li>2. Cruces A-V</li> <li>3. Salto venos</li> <li>4. Arterias en hilos de cobre</li> <li>5. Arterias en hilos de plata</li> <li>6. Pérdida de la relación A-V 1:2</li> </ol>	

Varios estudios han demostrado que los cambios microvasculares de la retina se pueden documentar de manera segura con fotografías de la retina. Actualmente la reproducibilidad de las fotografías de la retina ha sido un gran apoyo diagnóstico para la detección de signos en la retinopatía hipertensiva (microaneurismas y hemorragias retinianas).<sup>53</sup> El estrechamiento arteriolar generalizado y los cambios retinianos pueden ser determinados a través de la variación del diámetro vascular mediante el uso de fotografías y software de análisis automáticos. Estos programas miden objetivamente la relación arteria-vena (AVR) en porciones seleccionadas y estandarizadas de la retina.<sup>54</sup> Utilizando las fotografías del fondo de ojo es posible determinar los cambios en las arteriolas retinianas (estrechamiento de vasos) para predecir el riesgo de hipertensión en personas normotensas.

## **7. Métodos Diagnósticos para Retinopatía Hipertensiva**

Actualmente existen varias metodologías para el diagnóstico de retinopatía hipertensiva a través de imágenes de la retina, una de ellas es por medio del análisis clínico realizado por profesionales entrenados que reciben las imágenes, las observan, analizan y describen; y el otro es a través de un sistema automático de lectura digital, es decir por medio software (programas informáticos) diseñados para el reconocimiento y detección de alteraciones en la retina a través de algoritmos.

En el análisis de la imagen retiniana es importante la localización de las estructuras anatómicas, la primera en ser identificada dentro de la imagen es el disco óptico.

## **8. Análisis automático de imágenes**

### **8.1. Localización de la fóvea**

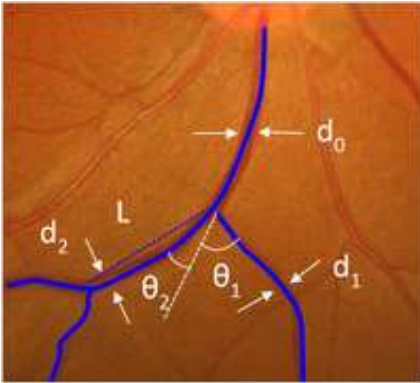
La localización de la fóvea fue seleccionada como la posición de máxima correlación entre la imagen modelo y la intensidad de la imagen, obtenida a partir de la saturación de la transformación en la saturación, la tonalidad e intensidad del color siempre se colocó temporal al disco óptico y en la región de mínima intensidad. La localización de la fóvea se ve afectada o es difícil de detectar si hay poca concentración de color.<sup>55</sup> Li y Chutatape (2004) reportaron la detección de la región foveal con un éxito del 100% estimando la posición de la fóvea con un modelo en el que se extraen los puntos sobre los principales vasos sanguíneos por un modelo modificado ajustando una curva colocando el disco óptico como centro. El resultado, la fóvea se encuentra a 2 diámetros de disco.<sup>56</sup>

### **8.2. Segmentación vascular**

Los vasos sanguíneos son las estructuras más complejas para la identificación automática en fotografías de la retina, pero los cambios detectados en el calibre vascular son indicadores de respuestas fisiopatológicas subclínicas como la hiperglucemia, hipertensión, inflamación, hipoxia y disfunción endotelial y a través de ellos se puede predecir complicaciones microvasculares o accidentes cerebrovasculares (ACV) y enfermedad cardíaca coronaria.<sup>57</sup>

Se utiliza un técnica en la que se tienen en cuenta el contraste de los vasos sanguíneos con respecto a la retina circundante, la vasculatura retiniana tiene un forma lineal que puede ser representada por una serie de líneas segmentadas que se originan desde un mismo punto (disco óptico) y todos los vasos están ahí conectados.<sup>58</sup>

**Figura 3.** Segmentación vascular; se cuantifica la bifurcación de los vasos, el calibre vascular ( $d_0$ ) y sus ramificaciones ( $D_1$ ,  $D_2$ ) así como el ángulo de ramificación.<sup>57</sup>



## 9. Glaucoma

La Organización Mundial de la Salud (OMS) definió el glaucoma como un grupo de enfermedades que generan una neuropatía óptica determinada por déficit visual y funcional.<sup>58</sup> La Academia Americana de Oftalmología (AAO) define el glaucoma como neuropatía óptica progresiva del adulto en la cual la presión intraocular (PIO) y otros factores de riesgo contribuyen en el daño de las células ganglionares, sus axones y atrofia en la cabeza del nervio óptico, en ausencia de otra patología ocular que lo causara y en presencia de un ángulo abierto.<sup>59</sup>

El glaucoma es el mayor problema de salud pública, es la segunda causa de ceguera irreversible en personas adultas en todo el mundo.<sup>60</sup> El glaucoma provoca ceguera irreversible al igual que otras enfermedades oculares como la DMRE, pero el glaucoma es una enfermedad que puede ser diagnosticada a tiempo para iniciar un tratamiento oportuno y evitar la pérdida visual.<sup>61</sup>

El glaucoma es una enfermedad silenciosa que inicia mucho antes de presentarse alguna manifestación clínica, en la que se involucran muchos cambios a nivel genético, moleculares, bioquímicos y estructurales que inducen daños funcionales irreversibles.

El glaucoma primario de ángulo abierto es el tipo más común de glaucoma en la población, representa las tres cuartas partes (74%) de todos los casos de glaucoma;<sup>62</sup> en 2013 el número de casos se estimó en 44 millones de personas y se estima que para el año 2020 aumenten los casos a 53 millones debido al envejecimiento de la población.<sup>63</sup>

Clínicamente se puede determinar la presencia o sospecha de la enfermedad mediante el examen y evaluación del fondo de ojo, especialmente del nervio óptico, se realiza la exploración con el oftalmoscopio directo o indirecto bajo midriasis farmacológica, o se puede hacer uso de las nuevas tecnologías de apoyo diagnóstico como las fotografías, la tomografía óptica de coherencia (OCT), campos visuales computarizados y como lo recomienda la AAO la medición de PIO considerada uno de los factores de riesgo principales en el glaucoma.<sup>59-61</sup>

A demás de la PIO otros de los factores de riesgo son la edad, ya que la prevalencia del aumento de la PIO en personas blancas no hispanas mayores de 40 años es del 4.5% y del 7.7% en mayores de 75 años y en latinos la prevalencia se estima en un 3.5% en mayores de 40 años y 7.4% en mayores de 80 años.<sup>61</sup>

La detección de los daños glaucomatosos y los cambios estructurales actualmente siguen siendo un reto en el diagnóstico oportuno de la enfermedad. En los últimos años los instrumentos de imagen proporcionan medidas cuantitativas y objetivas del adelgazamiento del anillo neuroretinal, de la atrofia de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) y la excavación aumentada del nervio óptico; mejorando el tiempo de atención determinando el diagnóstico y el manejo oportuno de los pacientes con glaucoma.<sup>64</sup>

La mayoría de estos instrumentos actualmente están equipados con una base de datos para realizar un análisis automático y determinar si la una medida está dentro

o fuera de los límites normales. A demás estos equipos generan una lectura de la calidad de la imagen, para que el médico pueda determinar si es apta o no para el análisis clínico.

### **9.1. Localización del nervio óptico**

La estructura principal en el diagnostico precoz de la enfermedad. Su análisis brinda información sobre tamaño y forma, que sirven como referencia en el registro de los cambios dentro de la misma región secundarios a la enfermedad. El disco óptico es generalmente la estructura más brillante en el fondo de ojo, y se define como una región con gran cantidad de pixeles que será reconocida fácilmente en una imagen en escala de grises.<sup>56</sup>

La ubicación del centro del disco óptico se pudo localizar mediante el cálculo de la distancia mínima entre la imagen retiniana original y su proyección. Otras características que ayudan a diferenciar el nervio óptico son la confluencia de los vasos sanguíneos en el nervio óptico, lo que resulta en una gran variación de pixeles adyacentes.<sup>66</sup> La correcta identificación y ubicación del nervio óptico se realiza mediante la varianza en la intensidad entre el disco óptico y los vasos sanguíneos adyacentes en 112 de 112 imágenes del fondo de ojo a color, con una sensibilidad y especificidad del 99,1%.<sup>66</sup>

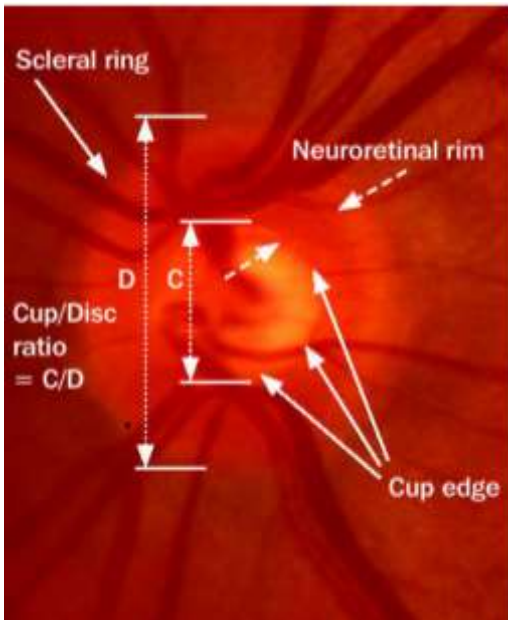
Las técnicas digitales más utilizadas para el diagnóstico de glaucoma son:

### **9.2. Fotografía digital del nervio óptico**

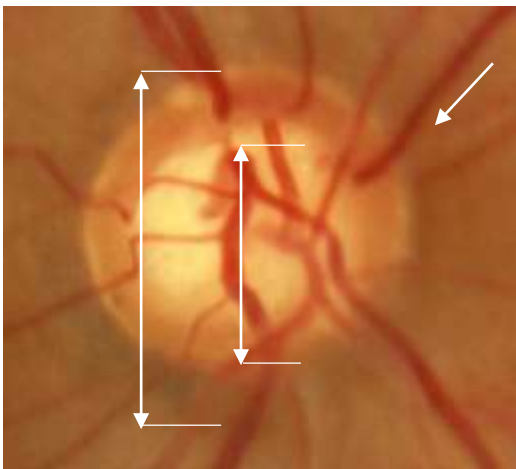
El parámetro de mayor importancia en el diagnóstico del glaucoma es la evaluación del nervio óptico, en el que se evalúa la presencia de defectos en la capa de fibras nerviosas. El disco óptico tiene una conformación ovalada, con forma de agujero por el que descienden millones de fibras nerviosas formando la lámina cribosa; las fibras se entrecruzan en la parte de atrás formando el nervio óptico que continua hasta el cerebro para llevar la información visual del exterior.<sup>67</sup>



**Figura 4.** Evaluación rutinaria del nervio óptico debe incluir el tamaño y la forma de la excavación, la relación del anillo neuroretinal y la profundidad de la excavación.<sup>67</sup>



**Figura 5.** Evaluación del nervio óptico glaucomatosos, evaluación del tamaño del disco óptico, profundidad de la excavación y relación del anillo neuroretinal.<sup>67</sup>




Una vez obtenidas imágenes de nervios ópticos normales y alterados, estas imágenes se traducen en lenguaje digital, específicamente algoritmos previamente introducidos en el sistema. Las imágenes de un nervio óptico sano tienen algoritmos específicos que discriminan el tamaño del disco, la anatomía de los vasos y la textura de la capa de fibras nerviosas. Cuando se evalúa la retina y el nervio óptico

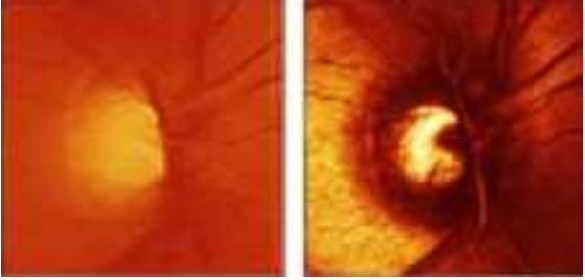
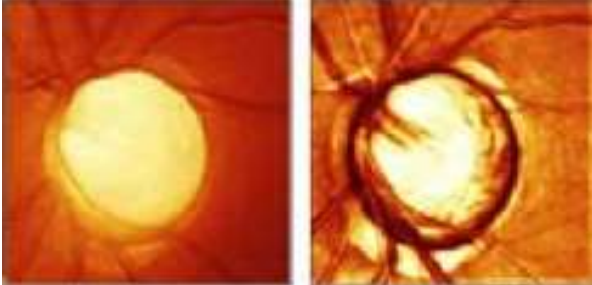
de un paciente con sospecha de glaucoma o glaucoma ya diagnosticado el sistema es capaz de identificar los cambios en el espesor de las fibras, el aumento del tamaño de la excavación y compararlos con las imágenes de un ojo sano; cada cambio corresponde a un “código-algoritmo” cada vez que coincidan el sistema automáticamente detectará la alteración y el tipo de glaucoma al que corresponda. Otro de los beneficios de este sistema diagnóstico es la posibilidad de observar la, mejoría, o el control de la enfermedad a través de imágenes en cada control.<sup>68</sup>

### 9.3. Oftalmoscopia confocal láser

Es una técnica para la detección de glaucoma utilizada desde 1992. Utiliza la óptica confocal para obtener múltiples medidas y planos focales de la retina consecutivos para proporcionar un mapa topográfico que se extiende desde la lámina cribosa hasta la superficie anterior de la retina. Proporciona numerosos parámetros como el área total del disco, el área del borde del disco y la zona de la excavación para ayudar a los clínicos a observar y evaluar las características anatómicas y cambios del disco óptico.

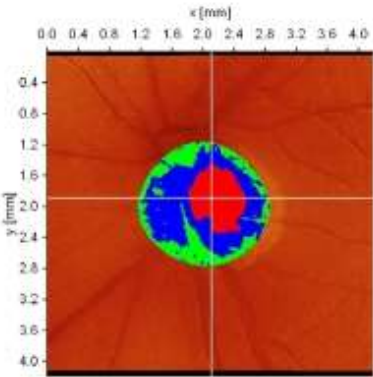
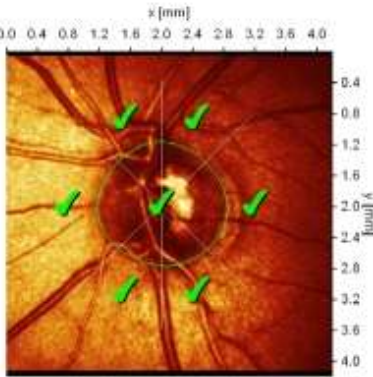
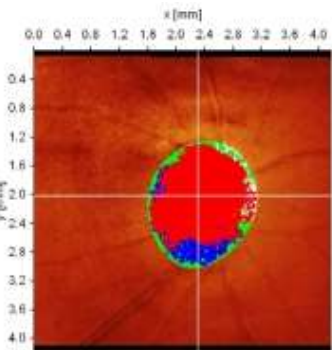
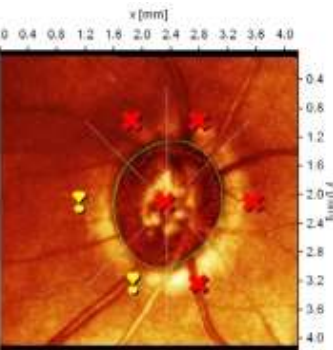
**Tabla 7.** Análisis computarizado de imágenes para el diagnóstico de glaucoma. Reconocimiento automático de las alteraciones glaucomatosas: ojo normal.<sup>69</sup>

Descripción del parámetro	Imagen
Escala de color predeterminada y estandarizada para identificar el nervio óptico	
Disco óptico y excavación normal	

	
<p>Excavación aumentada en un caso de glaucoma avanzado</p>	

La discriminación de las imágenes para su clasificación se basa en una función  $F$  que tiene en cuenta los tres aspectos principales del disco óptico: la mediada del disco óptico, el volumen y la variación de la altura de la superficie de la retina. Si  $F$  es positivo es un ojo normal, pero si  $F$  es negativo es un ojo glaucomatoso.<sup>69</sup> Swindale y col. (2000) en su estudio reportaron una sensibilidad de 87% y una especificidad de 84% en la detección de los cambios en ojos con glaucoma, con esta técnica diagnóstica.<sup>70</sup>

**Tabla 8.** Análisis computarizado de imágenes para el diagnóstico de glaucoma. Reconocimiento automático de las alteraciones glaucomatosas: ojo normal.<sup>69</sup>

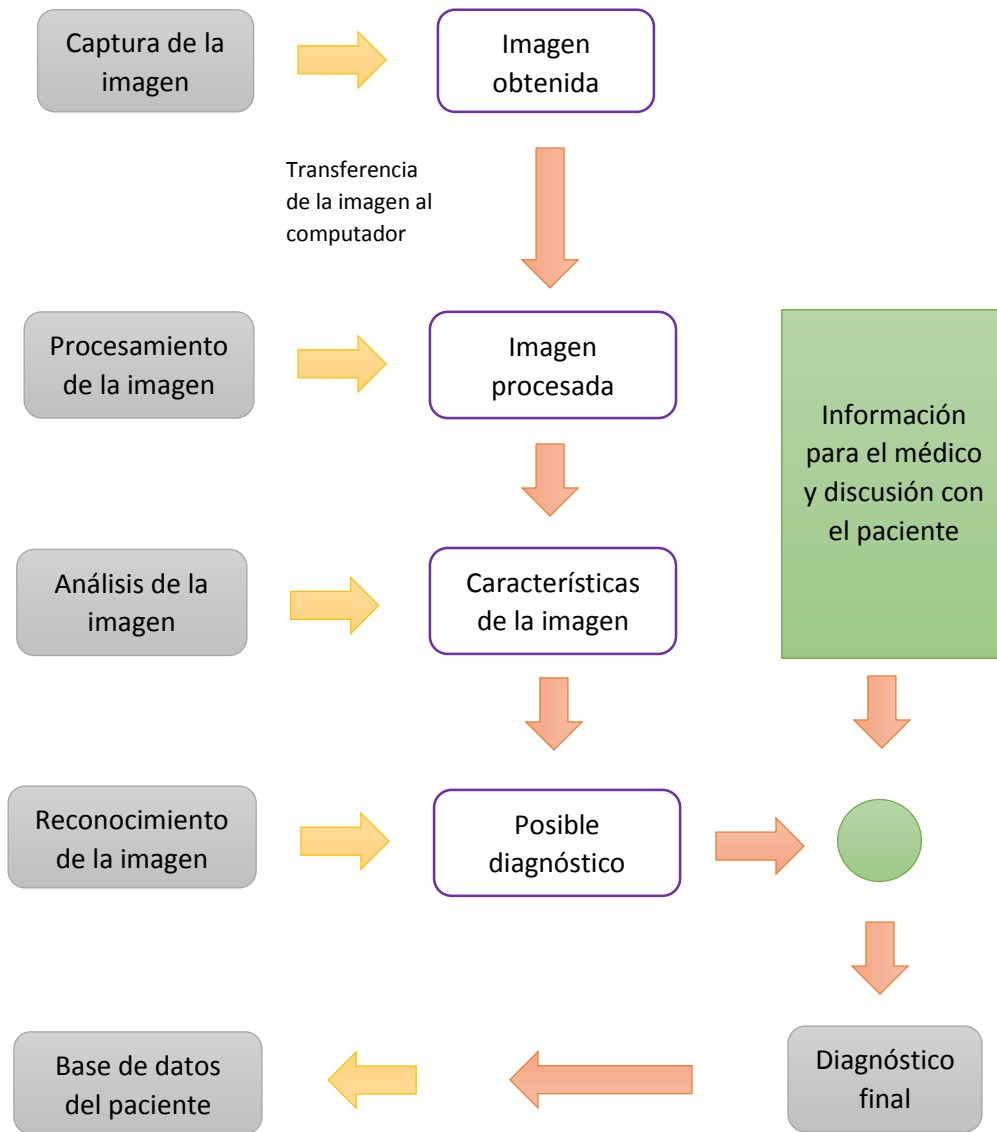
<p><b>Disco óptico sano</b></p>		
<p>Disco óptico normal  Excavación poco profunda  Ligera asimetría debido al tronco vascular  Elevación simétrica con respecto al plano de la retina</p>		
<p><b>Disco óptico glaucomatoso</b></p>		
<p>Disco óptico de mayor tamaño, reducción del borde del anillo neuroretinal  Excavación profunda, aumentado el tamaño horizontal y vertical  Perfil de elevación aplanado y asimétrico de acuerdo con la línea de referencia (línea roja) depresión en los sectores superiores</p>		

## 10. Transmisión de imágenes

El proceso de análisis y diagnóstico de imágenes retinianas se lleva a cabo mediante procesos estandarizados que inician con la recolección de datos del paciente; las imágenes obtenidas a través de la cámara retinal de cada persona se almacenan en una base de datos en la que se compara con registros de imágenes normales y con imágenes de alteraciones para descartar o confirmar coincidencias en los patrones de alteración dentro de una red neuronal creada previamente para evaluar más posibilidades. Todas las imágenes atraviesan un proceso de “tratamiento” que pueden ser mejoras en contraste o color, restauración para mejorar la nitidez y segmentación para aislar áreas de interés dentro de la imagen (fig 6)<sup>71</sup>

El procesamiento de la imagen se realiza para mejorar la calidad de la imagen o para realizar transformaciones geométricas de acuerdo al área de interés para el estudio. Dentro de la imagen se extraen automáticamente valores obtenidos (signos clínicos traducidos a lenguaje informático - algoritmos) que ingresan a la red neuronal artificial para que reconozca los valores. La red dentro del software reconoce los patrones y genera cuatro posibles diagnósticos en orden de mayor coincidencia. Al final del proceso quien determina el diagnóstico definitivo es el médico especialista que evalúa las imágenes y relaciona los antecedentes personales y datos de la historia clínica de cada paciente.<sup>72</sup> Todos los resultados, notas, tratamiento y controles se almacenan en la base de datos, separado en archivos personalizados para cada paciente.

**Figura 6.** Procesamiento de la imagen a través del software.<sup>72</sup>



Las partes esenciales para prestar y recibir un servicio de telemedicina es un espacio de almacenamiento de información, un equipo de grabación y captura de imagen y sistemas de comunicación (computadores, teléfonos, celulares) que deben capturar, digitalizar y transmitir la información; debe ser operado por personal de salud calificado o entrenado para tal fin.<sup>73</sup> En el área de oftalmología se requieren

imágenes digitales de alta calidad por lo que su transmisión es más lenta y se requiere mayor espacio de almacenamiento.

El United Kingdom's National Health Service for effective retinopathy screening and detection of diabetic retinopathy (DR)-related pathology estableció un punto de referencia para determinar la resolución de las imágenes retinianas para su análisis y transmisión que debe ser 6 MP y 30 pixeles por grado de los 50° totales que captura la imagen.<sup>75</sup>

## **11. Conclusiones**

Uno de los mayores retos en salud es asegurar la cobertura y la prestación de los servicios médicos a toda la población alrededor del mundo. Geográficamente la población está distribuida en zonas urbanas y zonas rurales en las cuales el acceso al servicio es limitado o nulo; otro de los factores determinantes es el socio-económico, ya que los centros de salud no cuentan con un presupuesto que pueda cubrir la prestación del servicio especializado e incluso el básico y menos instituciones que sirvan para la capacitación profesional requerida. Con la creación de las plataformas virtuales y la telecomunicación se ha logrado superar esas barreras.

La telemedicina ha permitido el acceso a través de videoconferencias, portales médicos e intercambio de imágenes sin importar la ubicación. La evaluación médica en estas circunstancias permite a los profesionales examinar al paciente, escuchar sus relatos, observar los signos para determinar un diagnóstico, una conducta y un tratamiento, incluso también programar controles. Con este medio se elimina o reduce la necesidad de realizar grandes desplazamientos reduciendo así mismo los sobrecostos.

Las aplicaciones clínicas actuales parten desde consultas de libros o artículos, hasta asistencia en cirugía. Un ejemplo más reciente es el sistema Da Vinci que permite realizar cirugías remotas a través de robots. En oftalmología aún no se ha implementado un sistema parecido pero si se cuenta con plataformas conectadas y entrelazadas de apoyo, como EyePacs en Estados Unidos. En Colombia

actualmente no hay una red integrada o una plataforma que forme la red de apoyo que pueda llevar este servicio a los municipios o pueblos más recónditos del país, pero ese es el reto, de esta y las generaciones futuras.



## 12. Bibliografía

1. Keeler, C. (2003). Brief History A of the Ophthalmoscope. *Optometry in Practice Vol 4. The Royal College of Ophthalmologists, London, UK*, 4:137-145.
2. Koch , P., & Scherfig, E. (23 de Junio de 1999). Resolution of retinal digital colour images. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 526-529. Obtenido de Acta Ophthalmologica : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0420.1999.770508.x/abstract;jsessionid=364A5CDDD908B2939D4A32493BFC14C7.f04t03>
3. Abràmoff, M., Garvin , M. K., & Sonka , M. (2010). Retinal Imaging and Image Analysis. *IEEE Trans Med Imaging*, 1; 3:169–208.
4. Li, Z., Wu, C., Olayiwola, J., Hilaire, D., & Huang, J. (2012). Telemedicine-based digital retinal imaging vs standard ophthalmologic evaluation for the assessment of diabetic retinopathy. *Conn Med*, 76(2):85-90.
5. Sundhara, D., Vasuki, S., & Rajesh Kum, D. (2014). PERFORMANCE ANALYSIS OF RETINAL IMAGE BLOOD VESSEL SEGMENTATION. *Advanced Computing: An International Journal*, 5;3: 17-23.
6. Prathiba, V., & Rema, M. (2011). Teleophthalmology: A Model for Eye Care Delivery in Rural and Underserved Areas of India. *International Journal of Family Medicine*, 1-5.
7. Soriano, O., Martín, L., Fernández, M., & Hernández, R. (2010). Telemedicina: ¿futuro o presente? *Revista Cubana Habanera de Ciencias Médicas*, 9(1), 127-139.
8. Hjelm, N. (2005). Benefits and drawbacks of telemedicine. *J Telemed Telecare*, 11(2), 60-70.
9. Miller, E. (2003). The technical and interpersonal aspects of telemedicine: effects on doctorpatient communication. *J Telemed Telecare*, 9(1), 1-7.

10. Ruta, L., Magliano, D., Lemesurier, R., Taylor, H., Zimmet, P., & Shaw, J. (2013). Prevalence of diabetic retinopathy in Type 2 diabetes in developing and developed countries. *Diabet Med.*, (4):387-98.
11. Jeganathan, S. E., Wang, J. J., & Wong, T. Y. (2008). Ocular Associations of Diabetes Other Than Diabetic Retinopathy. *Diabetes Care*, 31(9): 1905–1912.
12. Zundel, K. (1996). Telemedicine: history, applications, and impact on librarianship. *Bull Med Libr Assoc*, 71-79.
13. Perednia, D., & Allen, A. (1995). Telemedicine technology and clinical applications. *JAMA*, Feb 8;273(6):483-8.
14. Bradford, N., Herbert, A., Walker, R., Pedersen, L., Hallahan, A., Irving, H., . . . Smith, A. (2010). Home telemedicine for paediatric palliative care. *Stud Health Technol Inform*, 161():10-9.
15. Reid, J. (1996). A Telemedicine Primer: Understanding the Issues. Innovative Medical Communications.
16. Swinfen, R., & Swinfen, P. (2002). Low-cost telemedicine in the developing world. *J Telemed Telecare*, 8:63-5.
17. Swinfen Charitable Trust . (14 de Abril de 2016). Obtenido de Swinfen Charitable Trust : <http://www.humanitariantelemed.org/>
18. Gramatikov, B. I. (2014). Modern technologies for retinal scanning and imaging: an introduction for the biomedical engineer. *Biomed Eng Online.*, 13:52.
19. Abramoff, M., Folk, J., Han, D., Walker, J., Williams, D., Russell, S., . . . Niemeijer, M. (2013). Automated analysis of retinal images for detection of referable diabetic retinopathy. *JAMA Ophthalmol.*, 131(3), 351-7.
20. Klein, R., Chou, C., Klein, B., Zhang, X., Meuer, S., & Saaddine, J. (2011). Prevalence of age-related macular degeneration in the US population. *Arch Ophthalmol.*, 129(1):75-80.

21. Sdobnikova , S., Dorokhina , N., Gupalo , O., & Krivosheeva , N. (2010). Pupillary reactions and eye hemodynamics in patients with diabetes mellitus with different glycemic levels. *Vestn Oftalmol.*, 126(4):10-4.
22. Larsen, N., Grunkin, M., Lund-Andersen , H., & Larsen M. (2003). Automated detection of diabetic retinopathy in a fundus photographic screening population. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, 44(2), 767-71.
23. Bragge, P., Gruen, R., Chau, M., Forbes, A., & Taylor, H. (2011). Screening for presence or absence of diabetic retinopathy: a meta-analysis. *Arch Ophthalmol*, 129(4), 435-444.
24. SujithKumar, S., & Singh, V. (2012). Automatic Detection of Diabetic Retinopathy in Nondilated RGB Retinal fundus Images . *International JOurnal of Computer Applications*, 47(10), 26-32.
25. *Center for Disease Control and Prevention*. (2 de Junio de 2015). Obtenido de National Health and Nutrition Examination Survey (NHNES) Ophthalmology Procedures Manual : [http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes\\_05\\_06/OP.pdf](http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_05_06/OP.pdf)
26. Hazin, R. (2011). Revisiting Diabetes 2000: challenges in establishing nationwide diabetic retinopathy prevention programs. *Am J Ophthalmol*, 152(5), 723-729.
27. Moreno, C. (2014). Análisis de Situación de Salud Colombia 2013. *MINSALUD*, 166
28. Rueda, J., & Rodríguez, J. (2011). (Colombia)., *Telemedicina y Rastreo Masivo del Glaucoma: Nuestra Experiencia en Santander*. Obtenido de Vision 2020 The right to Sight: <http://vision2020la.wordpress.com/2013/03/26/1515/>
29. Galvis , V., Rey , J. J., Rodríguez, L. A., Serrano , C., & Tello, A. (2009). Prevalencia de ceguera en el Departamento de Santander - Colombia. *Med UNAB*, Vol. 12 Número 2; .

30. World Health Organization . (2007). Vision 2020 The right to sight. Global initiative for the elimination of avoidable blindness Action plan 2006-2011. *World Health Organization*.
31. Wu, L., Fernandez-Loaiza, P., Sauma, J., Hernandez, E., & Masis, M. (2013). Classification of diabetic retinopathy and diabetic macular edema. *World J Diabetes*, 4(6), 290-294.
32. Diabetic retinopathy study. Report Number 6. Design, methods, and baseline results. Report Number 7. A modification of the Airlie House classification of diabetic retinopathy. Prepared by the Diabetic Retinopathy. (1981). *Invest Ophthalmol Vis Sci.* , 21, 1-226.
33. Klein et al. (1994). The Wisconsin Epidemiological Studies of Diabetic Retinopathy. *Archives of Ophthalmology*.
34. Botero, L., & Aulestia, P. (2013). Retinopatía Diabética . En L. Botero, & P. Aulestia, *Atlas de la Retina. Patologías frecuentes* (págs. 11-18). Bogotá : Botero & Aulestia Fotografía Oftálmica .
35. Wilkinson, C., Ferris, F., Klein, R., Lee, P., Agardh, C., Davis, M., . . . Verdager, J. (2003). Proposed international clinical diabetic retinopathy and diabetic macular edema disease severity scales. *Ophthalmology* , 110, 1677-1682.
36. Wild, S., Roglic, G., Green, A., Sicree, R., & King, H. (2004). Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care* , 27, 1047-1053.
37. *The EyePacs Handbook Tools For Diabetic Retinopathy Screening Programs Succes* . California HealthCare Foundation and the UC Berkeley Optometric Eye Center, California . (2009).
38. EyePACS, D. R. (2010). *EyePacs Pictures Archive Communication System* . Obtenido de Diabetic Retinopathy Detection with EyePACS: <http://eyepacs.com/Diabetic-Retinopathy-Detection>

39. Patton, N., Aslam, T., MacGillivray, T., Deary, I., Dhillon, B., Eikelboom, R., . . . Constable, I. (2006). Retinal image analysis: Concepts, applications and potential. *Progress in Retinal and Eye Research Elsevier*, 25:99-127.
40. Bernardes, R., Serranho, P., & Conceição, L. (2011). Digital Ocular Fundus Imaging: A Review. *Ophthalmologica*, 226:161–181.
41. Pires, R., Jelinek, H., Wainer, J., Goldstein, S., Valle, E., & Rocha, A. (2013). Assessing the Need for Referral in Automatic Diabetic Retinopathy Detection. *Biomedical Engineering, IEEE*, 60.
42. Ramalho, P., & Dollery, C. (2015). Hypertensive Retinopathy Caliber Changes in Retinal Blood Vessels Following Blood-Pressure Reduction and Inhalation of Oxygen. *Circulation Aha journals*.
43. Grosso, A., Veglio, F., Porta, M., Grignolo, F., & Wong, T. (2005). Hypertensive retinopathy revisited: some answers, more questions . *Br J Ophthalmol*, 89:1646–1654.
44. Wolf-Maier, K., Cooper, R., & Kramer, e. a. (2004). Hypertension treatment and control in five European countries, Canada, and the United States. *Hypertension*, 43:10–17.
45. Tso, M., & Jampol, L. M. (1982). Pathophysiology of hypertensive retinopathy. *Ophthalmology*, 89:1132–45.
46. August, P. (2003). Initial treatment of hypertension . *N Engl J med*, 348:610-7.
47. Chobanian, A., Bakris, G., Black, H., & et al . (2003). The Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and and Treatment of High Blood Pressure: the JNC 7 report. *JAMA*, 289:2560-72.
48. Wong, T., & Mitchell, P. (2004). Hypertensive Retinopathy . *The new england journal of medicine*, 351:2310-7.

49. O'toole, L. (2 de Septiembre de 2011). *Hypertensive Retinopathy* . Obtenido de Counting Education & Training : [http://www.optometry.co.uk/uploads/exams/articles/cet\\_02\\_09\\_2011\\_otoole.pdf](http://www.optometry.co.uk/uploads/exams/articles/cet_02_09_2011_otoole.pdf)
50. Chopra, A., Sharma, A., Singh, S., & Bahl, V. (2014). Changing Perspectives in Classifications of Hypertensive Retinopathy. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)*, 13; 51-54.
51. Trisan, A., Menéndez, H., Trisan, A., Soto, D., & Suarez, H. (2000). Retinopatía Hipertensiva . *Medicina General* , 25: 554-564.
52. Botero, L. A. (2013). Retinopatía Hipertensiva . En L. A. Botero, *Atlas de la Retina* (págs. 19-22). Bogotá : Botero & Aulestia Fotografía Oftálmica y Salud Visual
53. Couper, D., Klein, R., Hubbard, L., & al., e. (2002). Reliability of retinal photography in the assessment of retinal microvascular characteristics. The Atherosclerosis Risk in Communities Study . *Am J Ophthalmol* , 133:78–88.
54. Wang, J., Mitchell, P., Leung, H., & al, e. (2003). Hypertensive retinal wall signs in a general older population: the Blue Mountains Eye Study. *Hypertension* , 42:534-41.
55. Goldbaum, M., Moezzi, S., Taylor, S., Chatterjee, S., Boyd, J., Hunter, E., & Jain, R. (1996). Automated diagnosis and image understanding with object extraction, object classification, and inferencing in retinal images.
56. Li, H., & Chutatape, O. (s.f.). Automated feature extraction in color retinal by a model based approach. *IEEE Trans. Biomed. Eng*, 51, 246-254.
57. Ikram , K., Cheung,, C. Y., Lorenzi, M., Klein, R., Jones, T. L., & Yin , T. (2013). Retinal Vascular Caliber as a Biomarker for Diabetes Microvascular Complications. *American Diabetes Association. Diabetes Care*, 750-760.
58. *WHO Prevention of Blindness and Visual Impairment. 2010.* (3 de octubre de 2015). Obtenido de World Health Organization : <http://www.who.int/blindness/>

59. American Academy of Ophthalmology Glaucoma Panel. Preferred Pattern® guidelines. Primary open-angle. (2010) San Francisco, CA: American Academy of Ophthalmology: American Academy of Ophthalmology.
60. World Health Organization. Visual impairment and blindness: Fact Sheet No 282, 2. (1 de Octubre de 2015). *Visual impairment and blindness*. Obtenido de World Health Organization: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>
61. Castañeda, R., Jiménez, J., & MJ, I. (2014). Concepto de sospecha de glaucoma de ángulo abierto: definición, diagnóstico y tratamiento. *Rev Mex Oftalmol. ELSEVIER*, 88(4):153-160.
62. Quigley, H., & Broman, A. (2006). The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* , 90:262–7.
63. Tham , Y., Li , X., Wong , T., & et al. (2014). Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*, 121:2081–90.
64. Vizzeri, G., Kjaergaard, S., Rao, H., & Zangwill, L. (2011). Role of imaging in glaucoma diagnosis and follow-up. *Indian J Ophthalmol*, 59(Suppl1): S59–S68.
65. Llowell, W., Hunter, A., Steel, D., Basu, A., Ryder, R., Fletcher, E., & Kennedy, L. (2004). Optic nerve head segmentation. *IEEE Trans. Biomed. Eng*, 23, 256-264.
66. Hoover, A., & Goldbaum, M. (2003). Locating the optic nerve in a retinal image using the fuzzy convergence of the blood vessels . *IEEE Trans. Biomed. Eng*, 22, 951-958.
67. Bourne, R. R. (2006). The optic nerve head in glaucoma. *Community Eye Health.*, 19(59): 44–45.
68. Nandibewoor, A., Kulkarni, S., Byahatti, S., & Hegadi , R. (2013). Based Diagnosis of Glaucoma using Digital Fundus Images . *Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III, WCE 2013*.

69. Alexandrescu, C., Dascalu, A., Panca, A., Sescioreanu, A., Mitulescu, C., Ciuluvica, R., . . . Celea, C. (2010). Confocal scanning laser ophthalmoscopy in glaucoma diagnosis and management. *J Med Life.*, 15; 3(3): 229–234.
70. Swindale, N., Stjepanovic, G., & Mikelberg, M. (2000). Automated analysis of normal and glaucomatous optic nerve head topography images. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, 41:1730–1742.
71. Liesenfeld, B., Kohner, E., Piehlmeier, W., Kluthe, S., Porta, M., Bek, T., . . . et al. (2000). A telemedical approach to the screening of diabetic retinopathy: digital fundus photography. *Diabetes Care*, 23, 345-148.
72. Luculescu, M. C., & Lache, S. (2008). Computer-Aided Diagnosis System for Retinal Diseases in Medical Imaging. *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS*, 7: 264-276.
73. Yogesan, K., Constable, I., Eikelboom, R., & van Saarloos, P. (1998). Teleophthalmic screening using digital imaging devices. *Aust NZ J Ophthalmol.*, 26:S9–S11.
74. Yamamoto, L. (1995). Using JPEG image compression to facilitate telemedicine. *Am J Emerg Med.*, 13:55–57.
75. *National Health Service Essential elements to developing a diabetic eye screening programme.* (19 de Enero de 2012). Obtenido de <http://diabeticeye.screening.nhs.uk/workbook>



