

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN

No. 1

Serie:

Fecha: Marzo 2007

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE RETINAS HUMANAS

Iván Ríos Hernández ¹

Edgardo Manuel Felipe Riverón ²

RESUMEN

El presente Informe Técnico trata de las cuestiones básicas del *Sistema de análisis de retinas humanas* que se desarrolla y que constituye mi trabajo de tesis, con el fin de detectar oportunamente en el análisis de las retinas de un paciente, aquellas afecciones que demuestren fehacientemente que está siendo afectado por alguna de las enfermedades que propenden a la ceguera. Estas enfermedades son el Glaucoma (G), la Retinopatía Diabética (RD), la Retinopatía Hipertensiva (RH), la Retinosis Pigmentaria (RP) y la Degeneración Macular Dependiente de la Edad (DMDE).

Palabras clave. Análisis de retinas; Glaucoma; Retinopatía diabética; Retinopatía hipertensiva; Retinosis pigmentaria; Degeneración macular dependiente de la edad.

¹ Alumno de la Maestría en Ciencias de la Computación del Centro de Investigación en Computación.

² Profesor-Investigador del Centro de Investigación en Computación.

“Este reporte contiene información desarrollada por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional a partir de datos y documentos con derechos de propiedad y por lo tanto su uso queda restringido a las aplicaciones que explícitamente se convenga.

La aplicación no convenida exime al Centro de su responsabilidad técnica y da lugar a las consecuencias legales que para tal efecto se determinen.

Información adicional sobre este reporte podrá obtenerse recurriendo a la Unidad de Publicaciones y Reportes Técnicos del Centro de Investigación en Computación del I.P.N. Av. Juan de Dios Bátiz s/n, teléfono 729-60-00 ext. 56403, 56608 y 56610”.

Índice

<i>Índice</i>	3
<i>Lista de Siglas</i>	4
<i>Lista de Figuras</i>	5
INTRODUCCIÓN	6
1 <i>Importancia de la visión</i>	7
1.1 <i>Globo ocular</i>	7
1.2 <i>Medios refringentes</i>	10
2 <i>Patologías que afectan la visión en forma silenciosa</i>	11
2.1 <i>El Glaucoma</i>	12
2.1.1 <i>Tipos de glaucoma</i>	13
2.1.2 <i>Detección del glaucoma en la imagen de fondo de ojo</i>	14
2.2 <i>Retinopatía Diabética</i>	14
2.2.1 <i>Tipos de Retinopatía Diabética</i>	17
2.3 <i>Retinopatía Hipertensiva</i>	19
2.4 <i>Retinosis Pigmentaria</i>	21
2.5 <i>Degeneración Macular Dependiente de la Edad y sus tipos</i>	23
3 <i>Objetivos</i>	27
3.1 <i>Objetivo general</i>	27
3.2 <i>Objetivos específicos</i>	27
3.3 <i>Algunos sistemas desarrollados para el análisis de la retina</i>	27
4 <i>Proyectos de investigación relacionados con el tema</i>	29
5 <i>Trabajos desarrollados en torno al tema</i>	29
6 <i>Publicaciones</i>	32
7 <i>Conclusiones</i>	35
<i>Referencias</i>	35

Lista de Siglas

DMDE:	Degeneración Macular Dependiente de la Edad.
DMH:	Degeneración Macular Húmeda.
DMS:	Degeneración Macular Seca.
EOPL:	Capa Plexiforme Externa (External Plexiform Layer).
EPR:	Epitelio Pigmentario de la Retina.
G:	Glaucoma
INL:	Capa Nuclear Interna (Internal Nuclear Layer).
OCT:	Tomografía de Coherencia Óptica (Optical Coherent Tomography)
RD:	Retinopatía Diabética.
RH:	Retinopatía Hipertensiva.
RP:	Retinosis Pigmentaria.

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Globo ocular</i>	8
<i>Figura 2. Retina normal</i>	9
<i>Figura 3. Sección a través de la porción central de la retina</i>	10
<i>Figura 4. Sección a través de la porción periférica de la retina</i>	10
<i>Figura 5. Efectos de la alta presión intraocular</i>	12
<i>Figura 6. Retina glaucomatosa</i>	12
<i>Figura 7. Visión normal</i>	12
<i>Figura 8. Visión con glaucoma</i>	12
<i>Figura 9. Retina con microaneurismas</i>	14
<i>Figura 10. Retina con exudados duros</i>	15
<i>Figura 11. Retina con exudados blandos</i>	15
<i>Figura 12. Retina con hemorragias en astilla</i>	15
<i>Figura 13. Retina con edemas en la macula</i>	16
<i>Figura 14. Visión de personas afectadas con retinopatía diabética y sus efectos en la retina</i> ..	17
<i>Figura 15. Retina con exudados blandos o algodonosos</i>	17
<i>Figura 16. Visión con RH</i>	20
<i>Figura 17. Hemorragia en llama a causa de la RH</i>	20
<i>Figura 18. Visión con DMDE</i>	24
<i>Figura 19. Efectos de la DMDE y sus tipos (DMH y DMS)</i>	24
<i>Figura 20. Retina con DMDE</i>	24
<i>Figura 21. Rejilla de Amsler</i>	26

INTRODUCCIÓN

La visión es uno de los sentidos más importantes en el ser humano y es por ello que un conocimiento adecuado de las patologías y afecciones que pueden afectar este sentido, le permitirán al ser humano especialista o no especialista en el ramo, poder detectarlas a tiempo y combatir las con los medios y medicamentos existentes para ello. Hay varias enfermedades de la retina, en general hereditarias, que la afectan en forma silenciosa. De no detectarse oportunamente y no tratarse adecuadamente, pueden provocar la ceguera en el humano.

La ceguera es uno de los padecimientos más incapacitantes del ser humano y un serio problema de salud pública. En la actualidad existe en México una deficiencia de información concerniente a su presencia y a las causas principales que la provocan, lo que dificulta el diseño de programas de evaluación y prevención de la misma.

Los conceptos actuales involucran, además, la cantidad y la calidad de los años de vida, así como el impacto de la ceguera sobre la capacidad productiva de los individuos y como consecuencia, su incidencia desfavorable sobre su familia y la sociedad.

Hoy en día existen ciertas enfermedades, sistémicas, en general hereditarias, que producen la ceguera en el humano en forma silenciosa. La presencia de estas enfermedades y sus secuelas en la retina pueden ser detectadas a tiempo si se realizara periódicamente un chequeo minucioso de la retina. Tales enfermedades incluyen el glaucoma, la retinopatía diabética, la retinopatía hipertensiva, la retinosis pigmentaria y la degeneración macular dependiente de la edad.

Todas estas enfermedades afectan la retina de forma diferente, sin que las personas que las padecen se percaten de ello oportunamente. Los cambios en la visión producidos por las mismas en sus estadios iniciales no son perceptibles y no causan dolor.

Cuando estas enfermedades no se detectan en sus comienzos, las lesiones que provocan en la retina son en general irreversibles. Es por ello de suma importancia que aquellas personas propensas a padecerlas, debido a los efectos de las enfermedades sistémicas que las producen, tales como la diabetes mellitus o la hipertensión arterial, se realicen un análisis periódico del fondo de ojo.

El desarrollo de un sistema [6] que contribuya a detectarlas a tiempo, brindaría un servicio extremadamente valioso que evitaría oportunamente la ceguera en aquellos que la padecen sin saberlo. Es por eso que el uso de los sistemas computacionales para el análisis automático del fondo de ojo humano, es cada vez más frecuente.

Su objetivo principal es realizar pesquisajes masivos en la población, sobre todo la de aquellas zonas marginadas donde la salud pública es deficiente o costosa, con el fin de detectar a tiempo la presencia de las afecciones relacionadas con enfermedades que propenden a la ceguera.

Además, el sistema ayudaría en alguna medida a los oftalmólogos en la toma de decisiones ante las afecciones que presenten los pacientes que asisten a su consulta. Estos sistemas son capaces de complementar la labor del oftalmólogo y nunca sustituirlo. La última palabra ha de tenerla el especialista con la información que el sistema pueda brindarle.

El presente trabajo se propone brindar las bases sobre las cuales se implementará un sistema de análisis de retinas humanas capaz de detectar automáticamente aquellas que presentan algunas de las afecciones relacionadas con las patologías anteriormente mencionadas.

1 Importancia de la visión

El papel de la visión en la conducta animal es evidente. La detección de la luz, permite a los individuos localizar tanto alimentos como posibles predadores y peligros. La luz consiste en una radiación electromagnética, que se emite en forma de ondas y varía a lo largo del espacio y el tiempo. Así, en cierta forma podemos afirmar que vivimos en un turbulento mar de radiaciones electromagnéticas. Como en cualquier océano hay ondas grandes, pequeñas y medianas que interaccionan de muy diversas formas. A su vez los objetos pueden reflejarlas, absorberlas, curvarlas, etc. La función del sistema visual es extraer información sobre el mundo a partir de estas radiaciones electromagnéticas. Esto supone un gran trabajo y requiere una maquinaria neural muy especializada y compleja. A través de una pequeña apertura de unos 2mm de diámetro, el ojo selecciona una pequeña fracción de estas longitudes de onda y junto con el cerebro reconstruye la posición, forma, tamaño, textura, color y movimiento de cada objeto en nuestro campo de visión. La situación es análoga a la de un pequeño detector que flotara en el extremo de una piscina. La única información accesible al detector llega a través de los movimientos de su superficie causados por las ondas que le llegan. A partir de estas ondas, nuestro detector debe ser capaz de reconstruir las posiciones, movimientos y otras características de todas las personas que entran, salen o se encuentran nadando en "la piscina".

Nuestros ojos son, por lo tanto, el sentido que le permite al hombre conocer con más detalle el medio que lo rodea para relacionarse con sus semejantes con mayor certidumbre. El ser humano debe contar con los medios adecuados para captar e interpretar las señales provenientes de otros seres semejantes. Las imágenes visuales que perciben los humanos a través del sistema de visión, le proporcionan información sobre el color, la forma, el tamaño, la distancia, la posición y el movimiento de los objetos. El sentido de la visión es el sentido humano más perfecto y evolucionado. El órgano receptor de las imágenes del mundo exterior en el humano es el ojo o globo ocular, órgano par alojado en las cavidades orbitarias de su rostro.

Aunque todas las partes del ojo son importantes para percibir la información visual, la retina es quizás la parte vital del sistema. La retina es esencialmente una porción del cerebro que se proyecta hacia las estructuras superficiales del organismo con el fin de recibir los rayos luminosos que provienen del mundo exterior. Su fácil acceso, unido a la posibilidad de estudiar el procesamiento de la información en una porción intacta del sistema nervioso, convierte a esta estructura en un modelo único y de gran utilidad para estudios fisiológicos y morfológicos del sistema nervioso en general.

1.1 Globo ocular

El sentido de la vista permite percibir el color, la forma, el tamaño, la posición y la distancia de los objetos. Los ojos son los órganos de la vista, y se encuentran en sendas cavidades u órbitas, situadas a uno y otro lado de la parte superior de la cara.

Vulgarmente llamado ojo, es un órgano par, simétrico y muy simple, especializado para percibir la luz. Anatómicamente está formado por tres túnicas o capas concéntricas, y por un sistema de medios transparentes y refringentes que se alojan en su interior.

Las tres capas o túnicas del ojo son, de afuera hacia adentro: Túnica fibrosa o *esclerótica*, túnica vascular o *coroides* y túnica nerviosa o *retina* (Fig. 1).

Esclerótica [1]. Es la membrana más externa, de color blanco, que impide el paso de la luz del exterior hacia adentro del ojo. Está formada por fibras de colágeno y es muy resistente, lo que le da forma y protección al globo ocular. En su parte anterior la esclerótica se continúa con la córnea. Cerca de esa zona de unión, denominada limbo esclerocorneal, se insertan los siete músculos que mueven el ojo: cuatro músculos rectos que lo mueven hacia arriba, hacia abajo y hacia los lados; dos músculos oblicuos que permiten el movimiento circular, y el músculo elevador del párpado superior.

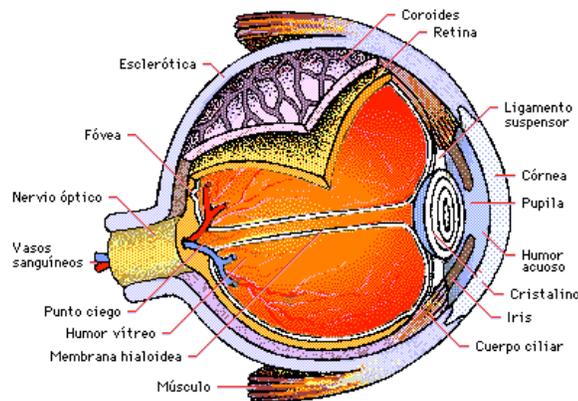


Figura 1. Globo ocular

Coroides [2]. Es la membrana media del ojo, también denominada túnica vascular, porque contiene numerosos vasos sanguíneos que nutren a la retina; por eso aparece como una membrana rojiza oscura. La coroides se extiende por toda la parte posterior del globo ocular, entre la esclerótica y la retina. Está constituida por una red compleja de vasos sanguíneos, imprescindibles para la nutrición y el buen funcionamiento de las capas externas de la retina, con la cual se relaciona a través de la membrana de Bruch.

Retina [2]. Es la capa más interna del ojo, también llamada túnica nerviosa, porque en ella se origina el nervio óptico. Funcionalmente actúa como una placa sensible a la luz (fotosensible) (Fig. 2).

La retina es la una capa sensorial constituida por un gran número de células receptoras en forma de bastoncitos o de conos. Mientras que los bastoncitos son sensibles a la intensidad luminosa, los conos son sensibles a los colores.

En su parte posterior la retina presenta el punto ciego, o papila óptica, y la mancha amarilla o mácula lútea. El punto ciego es un lugar de la retina que es insensible a la luz, porque no posee bastones ni conos.

La mácula lútea es una región que tiene en su centro una depresión llamada fovea (o fovea), donde se halla la mayor cantidad de células sensoriales (conos) responsables de la visión del color; es considerada la zona de mayor agudeza visual.

Retina central y retina periférica [1]. Cuando comparamos la retina central con la retina periférica encontramos que la zona de la fovea es considerablemente más gruesa que la retina periférica. Esto es debido a que a este nivel se encuentran densamente empaquetados gran cantidad de fotorreceptores (sobre todo conos), lo cual hace que incluso se desplacen lateralmente hacia afuera sus células bipolares y ganglionares asociadas.

En la porción central de la retina existen fundamentalmente conos, mientras que en la retina periférica predominan los bastones.

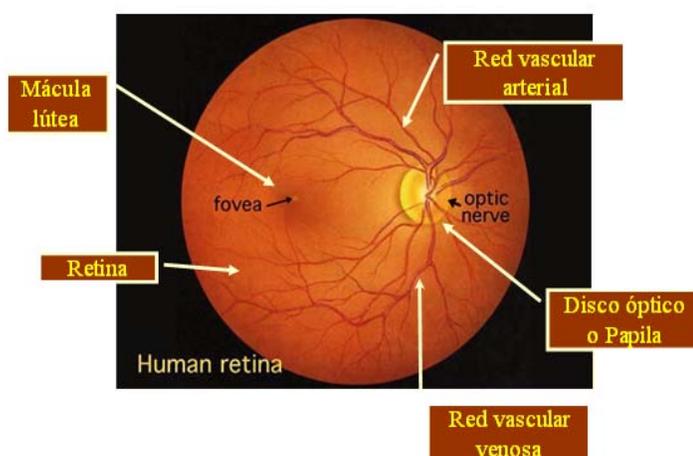


Figura 2. Retina normal

La capa nuclear externa, donde se encuentran los cuerpos celulares de los conos y bastones, presenta un espesor semejante a lo largo de toda la retina. Sin embargo, en la retina periférica el número de bastones es muy superior al de los conos, y lo opuesto ocurre a nivel de la retina central. Al nivel de la retina central los conos presentan unos axones oblicuos que se encuentran desplazados lateralmente respecto a sus pedículos sinápticos al nivel de la *capa plexiforme externa* (OPL). Estos axones oblicuos, junto con los procesos de las células de Müller que los acompañan, dan lugar a una especie de formación en empalizada que se denomina Capa de Fibras de Henle. Esta capa no existe a nivel de la retina periférica.

La *capa nuclear interna* (INL) es más gruesa a nivel de las zonas centrales de la retina, por una parte debido a la mayor densidad de conos, y por tanto de células bipolares específicas para conos, y por otra a la existencia de células horizontales y amacrinas más pequeñas.

También existen mayor cantidad de células ganglionares, y por tanto de fibras nerviosas al nivel de la retina central. De la misma manera, esto es debido a la mayor cantidad de células implicadas en el procesamiento de la información del sistema de conos. A su vez esto implica mayor cantidad de interacciones sinápticas y por tanto un mayor grosor de la capa plexiforme interna al nivel de la retina central (Fig. 3 y Fig. 4).

1.2 Medios refringentes

Estos medios refringentes constituyen el sistema dióptrico del ojo y están formados por la córnea, el cristalino, el humor acuoso y el humor vítreo.

Córnea [2] [9] [6]. Tejido transparente que recubre la capa más anterior del ojo y es la continuación de la túnica esclerótica. Ocupa la parte anterior de la capa fibrosa, es totalmente transparente, y tiene un diámetro de 11 a 12mm, un grosor de unos 500 micrones en su parte central y 670 micrones, aproximadamente, en la periferia. Tiene una capacidad de refracción de unas 43 dioptrías y su constitución tisular, de adelante hacia atrás, es la siguiente: epitelio anterior, membrana de Bowman, estroma (que ocupa el 90% del espesor de la córnea), membrana de Descemet y epitelio posterior o endotelio.

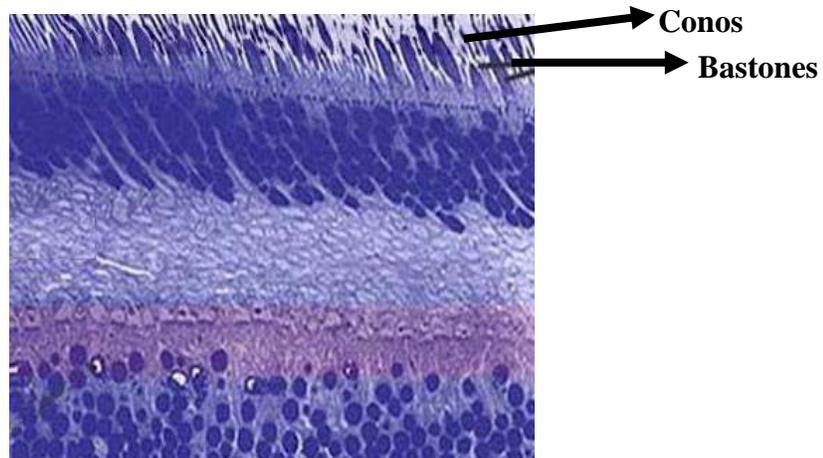


Figura 3. Sección a través de la porción central de la retina

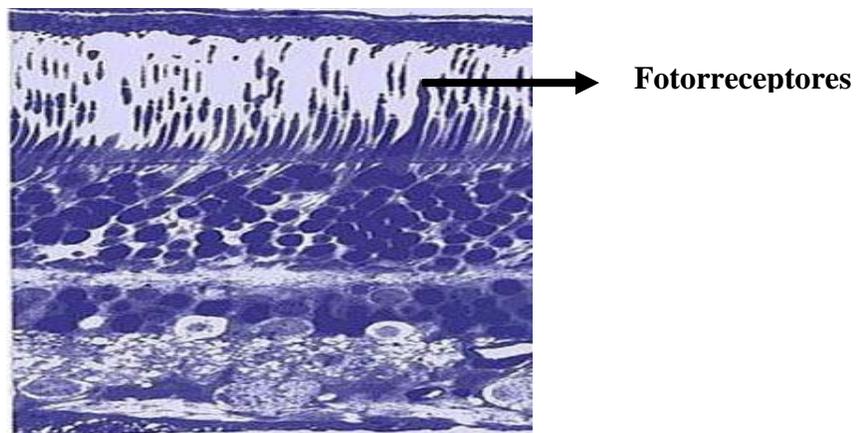


Figura 4. Sección a través de la porción periférica de la retina

Cristalino [1]. Es una lente biconvexa elástica, incolora y transparente, que se ubica inmediatamente detrás del iris, y está sujeto por el ligamento suspensor del cristalino o zónula de

Zinn que lo fija a la túnica vascular. El cristalino divide el globo ocular en dos compartimientos, uno anterior que contiene el humor acuoso, y otro posterior que contiene el humor vítreo. Se encarga de enfocar los rayos luminosos para que sobre la retina se vea una imagen nítida. Tiende a adoptar una forma redondeada, debido a la presencia de músculos que varían su forma según la distancia a la que se hallan los objetos que se observan. Participa en alguna medida en el sistema dióptrico del ojo al contribuir a la convergencia de los rayos luminosos sobre la mácula con un proceso involuntario conocido como acomodación.

Humor acuoso [4]. El humor acuoso es un líquido transparente e incoloro que llena la cámara anterior y posterior del globo ocular, formado en su mayor parte por agua (98%). Se aloja en el compartimiento anterior del globo ocular. Este líquido provoca la refracción de los rayos luminosos que lo atraviesan. Sirve para alimentar a la córnea. La cantidad en las dos cámaras es de $0,2\text{cm}^3$ y su volumen circulante, de 2mm^3 por minuto. Es producido por el cuerpo ciliar a partir de diferentes procesos, fundamentalmente por secreción (ultra filtración, ósmosis). Desde este lugar pasa a la cámara anterior a través de la pupila. Aquí, mediante una corriente térmica de convección, sube por delante de la cara anterior del iris (superficie calentada por los vasos sanguíneos) y desciende por la cara posterior de la córnea (superficie fría). La mayor parte drena del ojo a través de una malla trabeculada ubicada en el ángulo esclerocorneano. Una pequeña parte se filtra hacia atrás al vítreo, y luego a la coroides y la esclerótica posterior.

El humor acuoso es el responsable principal de la presión intraocular, cuyo valor normal oscila entre 6 y 21mm de mercurio (Hg) y permite mantener una forma y dimensiones constantes como lo requiere un sistema óptico. Además, ejerce una función nutricional de las estructuras avasculares, como la córnea y el cristalino, o poco vascularizadas, como la retina.

Humor vítreo [4]. También llamado cuerpo vítreo, es una masa transparente y gelatinosa que llena la cavidad comprendida entre el cristalino y la retina (compartimiento posterior). Es un líquido más denso y consistente que el humor acuoso y se concentra en la cámara posterior. Está compuesto en un 99.98% de agua (el resto consiste en cantidades casi despreciables de cloro, sodio, glucosa y potasio), que llena el interior del ojo.

El humor vítreo está envuelto en una membrana, la membrana hialoidea, y atravesado en sentido anteroposterior por el conducto hialoideo o de Cloquet, por el que pasa una arteria durante el estado embrionario.

La cantidad de proteínas del humor vítreo es cien veces inferior a la de la sangre. La causa más frecuente de opacidad del vítreo es el sangrado producido por la retinopatía diabética, primera causa de ceguera irreversible en México.

2 Patologías que afectan la visión en forma silenciosa

Hay varias enfermedades de la retina, en general hereditarias, que afectan la retina en forma silenciosa. De no detectarse oportunamente y no tratarse adecuadamente, pueden provocar la ceguera en el humano. Estas enfermedades son el Glaucoma (G), la Retinopatía Diabética (RD), la Retinopatía Hipertensiva (RH), la Retinosis Pigmentaria (RP) y la Degeneración Macular Dependiente de la Edad (DMDE).

2.1 El Glaucoma

El glaucoma [4], también denominado hipertensión intraocular, es una enfermedad de los ojos que puede causar la pérdida de la visión. Ocurre como resultado de la acumulación excesiva de líquido (humor acuoso) en el globo ocular (Figura 5).

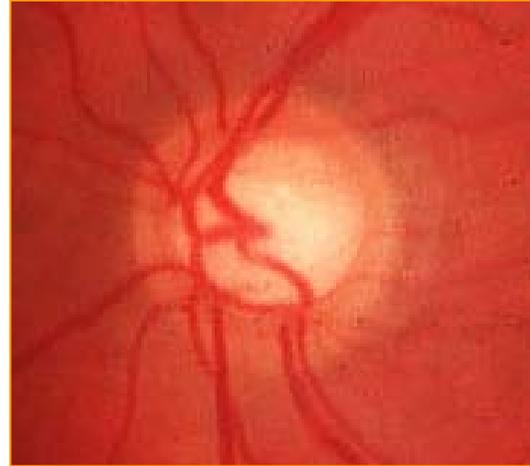
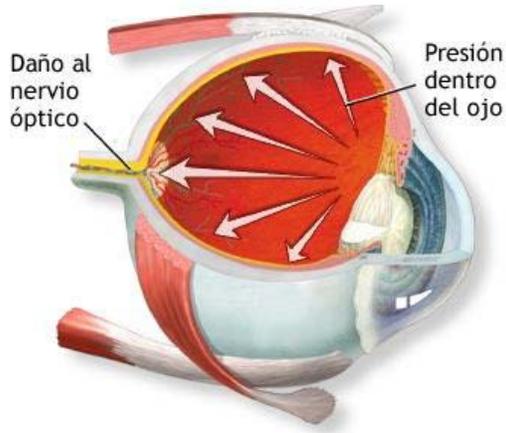


Figura 5. Efectos de la alta presión intraocular

Figura 6. Retina glaucomatosa

El líquido se acumula y ocasiona un aumento de la presión en el ojo (mayor que 21mm de Hg). Por lo general se presenta después de los 40 años, aunque existen diferentes tipos de glaucoma que pueden afectar la visión en otras etapas de la vida, la figura 6 muestra la imagen de una retina afectada por glaucoma. La Fig. 7 presenta la visión normal de una persona, mientras que la Fig. 8 presenta la visión de una persona afectada de glaucoma. A este tipo de visión se le conoce también como visión de túnel.



Figura 7. Visión normal



Figura 8. Visión con glaucoma

2.1.1 Tipos de glaucoma

El glaucoma puede ser de los siguientes tipos [4]:

El glaucoma de ángulo abierto es la permanente elevación de la presión intraocular de manera crónica en un lapso de meses o años, lo que origina atrofia óptica con pérdida de la visión que varía de una constricción ligera de los campos visuales periféricos nasales superiores hasta la ceguera total.

El glaucoma de baja tensión o de tensión normal produce un daño en el nervio óptico y en la visión lateral en personas que tienen una presión normal del ojo. En este caso, la presión del ojo debe reducirse con medicamentos en por lo menos un 30 por ciento.

El glaucoma de ángulo cerrado o agudo es causado por un cambio en la posición del iris del ojo que súbitamente bloquea la salida del humor acuoso. Esto causa una elevación rápida, severa y dolorosa de la presión dentro del ojo (presión intraocular). La mayoría de las personas con glaucoma de ángulo cerrado presentarán enrojecimiento e inflamación en el ojo afectado. Se pueden presentar náuseas y vómitos.

En el glaucoma congénito los niños nacen con un defecto en el ángulo del ojo que reduce el drenaje normal del humor acuoso. Estos niños generalmente tienen síntomas que se pueden notar fácilmente, como son, los ojos opacos, la sensibilidad a la luz y el lagrimeo excesivo.

Los glaucomas secundarios se pueden desarrollar como resultado de complicaciones de otros problemas médicos. Estos tipos de glaucoma a veces son asociados con la cirugía de los ojos, las cataratas avanzadas, las lesiones en los ojos, ciertos tipos de tumores del ojo, o la inflamación del ojo (uveítis).

El glaucoma pigmentario ocurre cuando partículas del pigmento del iris se desprenden y bloquean la malla trabecular (o simplemente trabéculo), haciendo que el humor acuoso drene más lentamente.

El glaucoma neovascular es un tipo de glaucoma muy severo que está relacionado con la diabetes.

Síntomas

Los síntomas dependen del tipo de glaucoma padecido pudiendo ser desde dolores de cabeza leves hasta mareos, náuseas, intensos dolores de cabeza, pulsaciones en el ojo afectado, así como dolor, etc.

Signos y exámenes

El diagnóstico y la evaluación requieren un examen con lámpara de hendidura del iris y una evaluación gonioscópica del ángulo de filtración. Las drogas corticoesteroides, que se usan para tratar las inflamaciones de los ojos y otras enfermedades, pueden precipitar el glaucoma en algunas personas. El tratamiento incluye medicamentos, cirugía láser o cirugía convencional.

2.1.2 Detección del glaucoma en la imagen de fondo de ojo

El glaucoma se manifiesta visiblemente en la papila óptica o disco óptico [5], por lo que la forma en que se detecta el glaucoma en la imagen de fondo de ojo es mediante el análisis de la papila óptica o disco óptico.

La papila óptica de un ojo glaucomatoso se muestra en la Fig.6. Como se observa, el racimo vascular, el cual debe salir hacia la retina por el centro de la papila, se encuentra desplazado hacia la zona nasal tomando una forma de gancho. Esto es debido al gran tamaño de la excavación o copa (zona más clara) producido por la excesiva presión intraocular que ha tenido lugar durante un tiempo más o menos prolongado (3-4 años). La proporción en tamaño de la copa respecto al tamaño de la papila, brinda un claro indicio de la presencia del glaucoma, cuando la proporción de sus respectivos diámetros es mayor que 0.3. También, al estar el racimo desplazado y provenir desde muy abajo de la papila, se producen dobleces en las venas y arterias al sobrepasar el anillo neural que bordea la papila.

2.2 Retinopatía Diabética

La Retinopatía Diabética (RD) [1] [4] es una patología provocada por las diferentes alteraciones estructurales y funcionales en la retina ocasionadas por la hiperglucemia crónica que presentan los diabéticos mal controlados. Algunas de las afecciones que pueden ocurrir a causa de esta patología, en su orden de aparición en la retina, son:

- *Microaneurismas* [10].-Son dilataciones puntiformes o saculares (en forma de saco) de los capilares que se observan como lesiones rojas puntiformes, tal como los muestra la Fig.9. Constituyen las lesiones más tempranas visibles por el oftalmólogo.

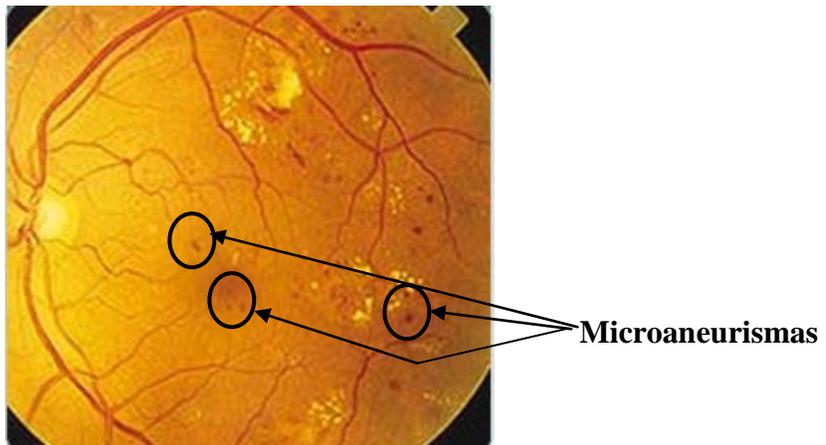


Figura 9. Retina con microaneurismas

- *Exudados duros*.- Los exudados duros se observan con oftalmoscopio como manchas amarillas distribuidas arbitrariamente. Indican filtración lipoproteica crónica proveniente de microaneurismas y de capilares filtrantes y deben tratarse cuando producen edema de mácula y amenazan la visión.

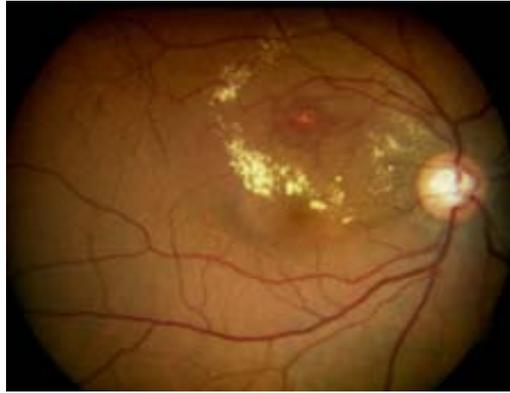


Figura 10. Retina con exudados duros

- *Exudados blandos.*- Se producen por isquemia (falta de irrigación sanguínea (Fig. 11).

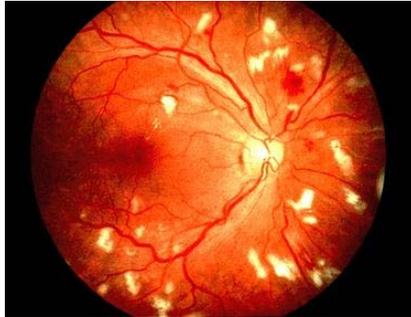


Figura 11. Retina con exudados blandos

- *Hemorragias en astilla* [8].- Se encuentran dentro de la retina si provienen de microaneurismas o de capilares anormales y se sitúan en las capas medias de la retina. En estos casos las hemorragias adoptan la configuración de una mancha puntiforme. Si las hemorragias se originan en los grandes vasos retinianos que están localizados más superficialmente en la retina, la configuración será “en flama”, por seguir la distribución de la capa de fibras nerviosas de la retina (Fig. 12).



Figura 12. Retina con hemorragias en astilla

- *Edemas maculares.*- líquido exudado por los vasos que se deposita en la mácula (Fig. 13).

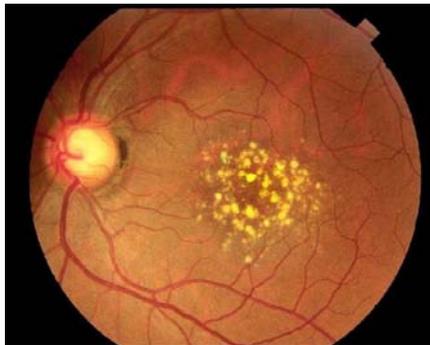


Figura 13. Retina con edemas en la macula

En casos avanzados pueden formarse nuevos capilares (*neovascularización*) que si se rompen producirían sangrados hacia la cámara posterior del ojo que contiene el humor vítreo, lo que podría bloquear la visión.

La glicemia es una medida de la concentración de la glucosa en el plasma sanguíneo. En ayunas, los niveles normales de glucosa son entre 70mg/dl y 120mg/dl. Cuando la glicemia es menor que 70mg/dl se habla de hipoglucemia, pero cuando la glicemia supera los 120mg/dl hablamos de hiperglucemia.

La diabetes mellitus ocasiona la presencia de una cantidad excesiva de glucosa en el torrente sanguíneo, lo cual puede lesionarlos. En los ojos, es posible que la sangre y otros fluidos goteen dentro de los tejidos circundantes desde los vasos sanguíneos lesionados y causen problemas de la vista.

Los efectos de esta enfermedad provocan el daño a los vasos sanguíneos de la retina. En el tipo más temprano y menos severo de esta condición (la retinopatía diabética no proliferativa), los vasos sanguíneos existentes se vuelven porosos y dejan filtrar el líquido hacia la retina, ocasionando visión borrosa (Fig. 14). En el tipo más avanzado y más grave de la enfermedad (retinopatía proliferativa) se presenta un nuevo crecimiento de vasos sanguíneos dentro del ojo, los cuales son frágiles y pueden sangrar, ocasionando la pérdida de la visión.

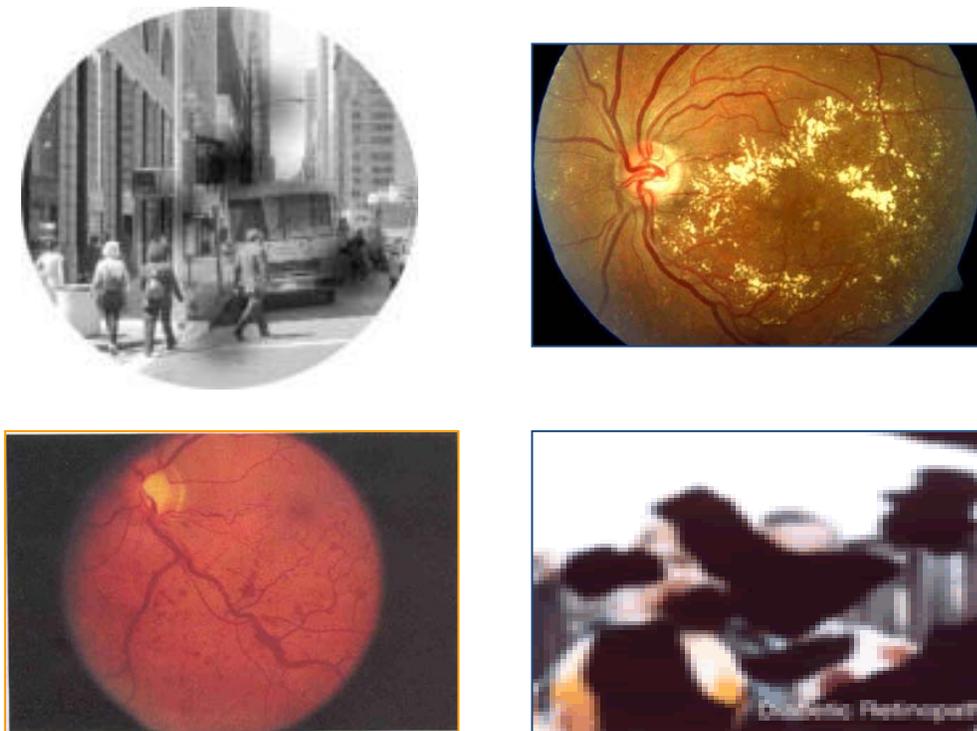


Figura 14. Visión de personas afectadas con retinopatía diabética y sus efectos en la retina

2.2.1 Tipos de Retinopatía Diabética

Hay dos tipos de retinopatía diabética: la *no proliferativa* y la *proliferativa* [1] [4].

En la **retinopatía no proliferativa**, los vasos sanguíneos localizados dentro de la retina presentan cambios; algunos disminuyen de tamaño y otros se agrandan y forman sacos en forma de globos que obstruyen la circulación de la sangre. Estos vasos sanguíneos gotean y sufren hemorragias. En estas circunstancias, la retina se hincha y/o se forman depósitos llamados exudados (Fig. 15).

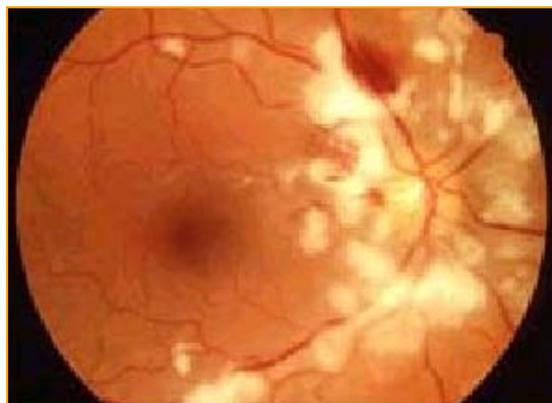


Figura 15. Retina con exudados blandos o algodinosos

La retinopatía no proliferativa está considerada como la etapa inicial de la retinopatía diabética. Afortunadamente, la vista en general no queda seriamente afectada y la patología no progresa en aproximadamente el 80% de los casos. En algunos pacientes, sin embargo, el líquido exudativo se deposita en la mácula, porción central de la retina, que permite la visión central. Las imágenes de objetos situados directamente al frente, la lectura y el trabajo detallado, pueden volverse borrosos y la pérdida de la visión central puede convertirse en una ceguera legal. La retinopatía no proliferativa es una señal de peligro, ya que puede avanzar a etapas más graves y dañar la vista permanentemente.

El segundo tipo es la **retinopatía proliferativa**. Este tipo comienza de la misma manera que la no proliferativa pero, además, hay neoformación de vasos sanguíneos en la superficie de la retina o del nervio óptico. Estos nuevos vasos sanguíneos, de gran fragilidad, pueden desgarrarse y sangrar dentro del humor vítreo, que es la sustancia transparente y gelatinosa que llena el centro del globo ocular. Si la sangre vuelve opaco el humor vítreo que generalmente es transparente, se bloquea la luz que pasa hacia la retina y las imágenes se ven distorsionadas. Además, el tejido fibroso que se forma a partir de la masa de los vasos sanguíneos rotos en el humor vítreo, puede estirar y retraer la retina, desprendiéndola del fondo del ojo. Los vasos sanguíneos pueden también formarse en el iris y causar aumento de la presión ocular, provocando severas pérdidas de la visión.

Síntomas

- Disminución de la agudeza visual
- Manchas flotantes en los ojos (flotadores)

Muchas personas no presentan síntomas preliminares antes de una gran hemorragia en el ojo, razón por la cual toda persona con diabetes debe ser examinada regularmente.

Signos y exámenes

- Examen oftalmológico.
- Fotografía de la retina.

Tratamiento

El objetivo del tratamiento es el control de la diabetes y de la presión sanguínea alta que viene asociada con ella. Generalmente, el tratamiento no contrarresta el daño existente, pero retarda el progreso de la enfermedad. Se puede recomendar la cirugía con láser para sellar las filtraciones de los vasos o erradicar los vasos sanguíneos frágiles anormales.

El tratamiento quirúrgico (vitrectomía) se utiliza en los casos de hemorragias dentro del ojo o para reparar el desprendimiento de la retina, causado por la hemorragia y la consiguiente cicatrización.

Las personas con diabetes deben acudir al oftalmólogo para hacerse un examen oftalmológico de rutina de la retina una vez por año, para reducir las probabilidades de una pérdida grave de la visión.

Expectativas (pronóstico)

El pronóstico puede mejorar con un buen control de la diabetes y de la presión sanguínea alta. Después de 10 años de padecer la enfermedad, generalmente la retinopatía diabética se vuelve evidente y es casi universal la presencia de esta patología en las personas que han padecido diabetes mellitus por más de 30 años.

La retinopatía diabética que no recibe tratamiento puede llevar a que se presente ceguera; sin embargo, este problema se puede prevenir, en la mayoría de los casos, con la realización de exámenes frecuentes y de ser necesario, con cirugía láser.

Complicaciones

- Glaucoma.
- Desprendimiento de la retina.
- Ceguera.

Prevención

El control adecuado de la diabetes y de la presión sanguínea alta, si la hay, puede detener el progreso de la retinopatía.

2.3 Retinopatía Hipertensiva

El daño a la retina a causa de la presión sanguínea alta se llama Retinopatía Hipertensiva [1] [4] y se presenta a medida que la presión sanguínea alta existente provoca cambios en la microvasculatura de la retina. Abarca aquellos trastornos oculares que se producen como consecuencia de la hipertensión arterial. Entre otros están las hemorragias, las secreciones, las contracciones continuas de los ojos, etc.

La alta presión sanguínea puede provocar daño a los vasos sanguíneos de los ojos. Cuanto más alta sea la presión sanguínea y mayor sea el tiempo que ésta permanezca elevada, es probable que el daño sea más grave.

El médico puede observar un estrechamiento de los vasos sanguíneos y el exudado excesivo de líquido desde los mismos con un instrumento llamado oftalmoscopio. El grado de la lesión de la retina (retinopatía) se clasifica en una escala de I a IV.

En el grado I, la lesión puede ser asintomática. La retinopatía hipertensiva grado IV implica inflamación del nervio óptico y del centro visual de la retina (mácula), lo cual puede ocasionar disminución en la visión.

Las personas que están afectadas por la retinopatía hipertensiva tienen afectada la visión debido a los escotomas presentes en la retina (Fig. 16).

Algunos de los primeros hallazgos en esta enfermedad son las hemorragias en flama y las manchas algodonosas (Fig. 17). A medida que la retinopatía hipertensiva progresa, pueden aparecer exudados duros alrededor de la mácula junto con la hinchazón de ésta y del nervio óptico, causando deterioro de la visión. En casos severos, se puede provocar un daño permanente en el nervio óptico o en la mácula.



Figura 16. Visión con RH

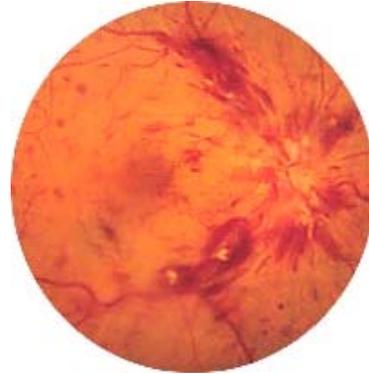


Figura 17. Hemorragia en flama a causa de la RH

Síntomas

- Dolores de cabeza.
- Perturbaciones visuales.

Signos y exámenes

- Examen oftalmoscópico.
- Angiografía con fluoresceína.
- Medición de la presión sanguínea.

Tratamiento

El único tratamiento para esta enfermedad es el control de la presión sanguínea alta (hipertensión).

Expectativas (pronóstico)

Los pacientes que tienen el grado IV (retinopatía hipertensiva severa) con frecuencia padecen también complicaciones cardíacas y renales debido a la presión sanguínea alta. En general, la retina se recuperará satisfactoriamente si se controla la presión sanguínea, pero algunos pacientes

con retinopatía hipertensiva grado IV tendrán daños permanentes del nervio óptico o de la mácula.

Complicaciones

- Complicaciones relacionadas con la presión sanguínea alta.
- Daño irreversible al nervio óptico o a la mácula, ocasionando problemas de visión.

Prevención

Los cambios vasculares en el ojo se pueden prevenir con el control de la presión sanguínea alta.

2.4 Retinosis Pigmentaria

La Retinosis Pigmentaria o Retinitis Pigmentosa (RP) [1] [4] comprende un conjunto de enfermedades oculares de carácter degenerativo, genético y hereditario, cuya consecuencia es una gran disminución de la visión debido a la muerte progresiva de las células oculares de la retina denominadas "fotorreceptores", la que en muchos casos conduce a la ceguera.

Aunque se nace con la enfermedad, es raro que se manifieste antes de la adolescencia. La persona afectada no está consciente de su enfermedad hasta que ésta se encuentra en fases avanzadas.

Los síntomas más frecuentes en las retinosis pigmentarias son:

- **Ceguera nocturna.** Deficiente adaptación a la oscuridad o visión reducida en lugares poco iluminados.
- **Campo de visión limitado.** Pérdida de visión periférica. Para poder ver los objetos circundantes hay que girar la cabeza. Es la llamada visión "en túnel".
- **Deslumbramiento.** Molestias ante excesiva luminosidad, haciéndose necesarias gafas de sol especiales.

Es muy importante saber que no todas las retinosis pigmentarias son iguales ni conducen a la misma pérdida de visión.

Atendiendo a la genética, existen diferentes tipos de RP:

- **Forma dominante.** Se establece que la RP es del tipo *autosómico dominante* cuando aparecen afectados/as en tres generaciones, aunque algunos autores consideran suficiente que se manifieste en dos generaciones. Se han publicado estudios de cuatro, cinco y seis generaciones. Normalmente, uno de los padres es afectado/a y trasmite la enfermedad con una prevalencia del 50% a su descendencia.
- **Forma recesiva.** El patrón hereditario *autosómico recesivo* parece ser el más frecuente para la transmisión de la RP y se relaciona con consanguinidad en múltiples casos. Se establece que se trata de un caso autosómico recesivo cuando los padres son sanos, pero hay descendientes afectados (sin que ello se pueda vincular a un patrón de herencia ligada

al sexo), o cuando existe consanguinidad. La posibilidad de transmitir la enfermedad a la descendencia es del 25%.

- **Forma ligada al sexo.** En aproximadamente el 10% de las familias afectadas de RP la enfermedad presenta el rasgo de estar ligada al sexo. Normalmente transmitida por las mujeres y padecida por los hombres, es la forma menos frecuente y más grave, dada su rápida evolución. Para saber si el paciente corresponde realmente a este tipo genético, hay que estudiar a su madre, abuela materna, hermanas e hijas.

Por todo esto, es muy importante determinar el tipo de herencia en la Retinosis Pigmentaria. Un buen árbol genealógico es algo por lo que podemos empezar para determinar nuestro tipo de herencia.

En muchas ocasiones el/la afectado/a es el único en su familia, y estamos ante una forma "esporádica" de la enfermedad. Muchos genetistas son de la opinión de que más que formas esporádicas habría que hablar de formas hereditarias donde se desconocen los antecedentes.

Síntomas

- Disminución de la visión nocturna o en ambientes con poca luz.
- Pérdida de la visión periférica.
- Pérdida de la visión central (en casos avanzados).

Signos y exámenes

Los exámenes que determinan la integridad de la retina son:

- Agudeza visual.
- Prueba de refracción.
- Determinación de defectos de la visión de los colores.
- Respuesta a los reflejos pupilares.
- Examen con lámpara de hendidura.
- Determinación de la presión intraocular.
- Examen de la retina por medio de la oftalmoscopia.
- Ultrasonido del ojo.
- Fotografía retiniana.
- Angiofluoresceinografía.
- Electrorretinograma (registro de las corrientes de acción de la retina producidas por estímulos visuales).

Tratamiento

No se conoce ningún tratamiento efectivo para esta afección, pero el uso de gafas de sol que protejan la retina contra la luz ultravioleta puede ayudar a preservar la visión.

Estudios controversiales han demostrado que el tratamiento con agentes antioxidantes como el palmitato de vitamina A puede retardar el empeoramiento de la enfermedad.

La remisión a un especialista cuando se presenta visión baja es bastante útil. Los pacientes deben hacer visitas a un oftalmólogo especializado con regularidad para vigilar el desarrollo de cataratas o inflamación de la retina, dado que éstos son trastornos que se pueden tratar.

Expectativas (pronóstico)

Este trastorno sigue progresando, aunque de una forma muy lenta. La ceguera total es poco común que se presente.

Complicaciones

Finalmente se puede presentar la pérdida de la visión central y periférica.

Prevención

El asesoramiento genético puede determinar el riesgo que esta enfermedad ofrece para la descendencia de una persona.

2.5 Degeneración Macular Dependiente de la Edad y sus tipos

La Degeneración Macular Dependiente de la Edad (DMDE) [1] [4] es una enfermedad de la retina que afecta a la mácula en el fondo del ojo. La mácula es importante para la visión central clara que le permite al individuo observar los detalles finos y los colores. Hay dos tipos de degeneración macular: atrófica o seca (DMS) y exudativa o húmeda (DMH). La degeneración macular seca es generalmente leve y es más común; está caracterizada por el adelgazamiento de la retina y la creación de engrosamientos, que son pequeños depósitos blancos que se forman dentro de la misma. La degeneración macular húmeda puede suceder más rápidamente y ser más grave. Se presenta cuando los vasos que están bajo la capa retiniana sangran y causan la muerte de las células retinianas, creando puntos ciegos o distorsiones visuales en la visión central. Esta enfermedad se vuelve progresivamente más común entre las personas en cada década subsiguiente después de los 50 años de edad. La DMDE produce la disminución de la visión central (Fig. 18).



Figura 18. Visión con DMDE

La degeneración se produce por una descomposición parcial del epitelio pigmentario de la retina (EPR), que es la capa aislante entre la retina y la coroides (la capa de vasos sanguíneos detrás de la retina). El EPR actúa como un filtro para determinar qué nutrientes llegan hasta la retina desde la membrana coroides. El EPR normal mantiene alejados muchos componentes de la sangre que son dañinos para la retina.

La descomposición del EPR interfiere con el metabolismo de la retina, causando su adelgazamiento (fase "seca" de la degeneración macular). Estos elementos dañinos pueden también promover la formación de nuevos vasos sanguíneos y filtración de líquido (fase "húmeda" de la degeneración macular). Véanse la Fig. 19 y la Fig. 20.

Esta enfermedad produce únicamente pérdida de la visión central; los campos periféricos generalmente permanecen normales. Aunque la degeneración macular puede causar pérdida de la capacidad para leer y conducir, la enfermedad no conduce a la ceguera total.

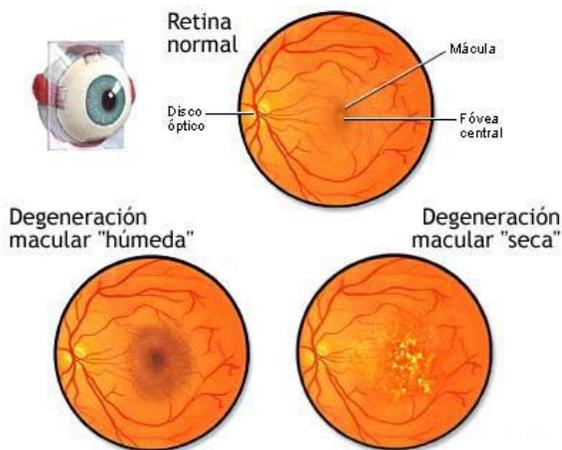


Figura 19. Efectos de la DMDE y sus tipos (DMH y DMS)



Figura 20. Retina con DMDE

La enfermedad se vuelve cada vez más común a medida que las personas pasan de los 50 años y a los 75 años casi el 15% de las personas presentan la afección. Otros factores de riesgo son los antecedentes familiares, el consumo de cigarrillos y ser de raza blanca.

Síntomas

- Visión central ausente, oscura, distorsionada o borrosa.

Signos y exámenes

Los exámenes para evaluar la retina pueden ser:

- Agudeza visual.
- Prueba de refracción.
- Respuesta al reflejo pupilar.
- Examen con lámpara de hendidura.
- Examen de la retina por medio de varias técnicas.
- Angiografía con fluoresceína y en algunas ocasiones angiografía con verde de indocianina.
- Rejilla de Amsler (Fig. 21).
- Tomografía de coherencia óptica (OCT, por sus siglas en inglés), consistente en un examen que crea una fotografía en colores de la mácula o de la retina.

Tratamiento

No existe tratamiento específico para la degeneración macular seca, aunque los suplementos de zinc pueden disminuir la progresión de la enfermedad.

La fotocoagulación con láser (cirugía láser para detener la filtración en los vasos sanguíneos coroideos) puede servir en las primeras etapas de la forma húmeda de la enfermedad. Esto implica el uso de un láser térmico, que cauteriza los vasos sanguíneos anormales que presentan fuga e impide su propagación.

Una opción de tratamiento más novedosa para pacientes con degeneración macular húmeda es la terapia fotodinámica, que se puede llevar a cabo en el consultorio médico. En este procedimiento, se inyecta un medicamento sensible a la luz llamado Visudyne, en una vena del brazo del paciente, el cual circula a través del cuerpo hasta los ojos. Cuando se ilumina con un láser no térmico dentro los ojos, el Visudyne produce una reacción química que destruye los vasos sanguíneos anormales. Si estos vasos vuelven a crecer, se puede repetir el procedimiento.

La terapia fotodinámica es costosa y no es curativa, pero puede ser eficaz en el manejo de un área particular de filtración desde la coroides a través del EPR.

El médico puede recomendar el uso de una rejilla de Amsler (Fig. 21) para descubrir posibles nuevas filtraciones antes de que se presente la cicatrización.

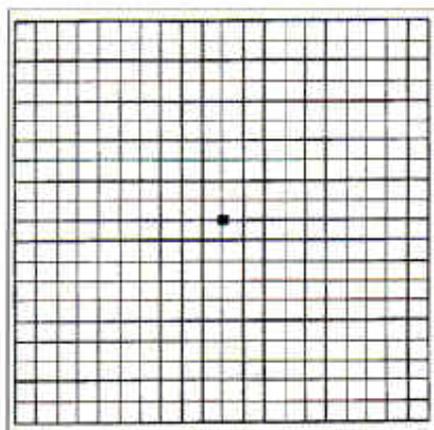


Figura 21. Rejilla de Amsler

Los medicamentos Macugen, Avastin, Lucentis y Kenalog también se pueden utilizar para tratar la forma húmeda de la degeneración macular relacionada con la edad. Cada uno de estos medicamentos se inyecta directamente dentro del ojo a diversos intervalos de tiempo.

Las ayudas y la terapia para la baja visión pueden ser vitales para el mejoramiento de la visión y la calidad de vida.

Expectativas (pronóstico)

Aunque la mayoría de las personas que tienen degeneración macular seca nunca presentan una pérdida incapacitante de la visión central, no existe ningún método para predecir quién tendrá una progresión de la enfermedad hacia una forma más severa, la húmeda. Este trastorno produce sólo pérdida de la visión central y no puede causar pérdida de la visión periférica.

La forma húmeda de la degeneración macular a menudo lleva a que se presente una pérdida significativa de la visión.

Complicaciones

La pérdida de la visión central puede interferir con muchas actividades de la vida diaria. La lectura puede requerir la utilización de aumento o se puede tornar imposible e igualmente se puede perder la capacidad para conducir.

Prevención

No existe prevención conocida que sea efectiva. Si el paciente presenta antecedentes familiares de degeneración macular, se debe evitar cualquier uso del tabaco. Los estudios han demostrado que una buena nutrición y el uso de vitaminas como lo recomienda el Estudio de las

Enfermedades Oculares Relacionadas con la Edad (*Age-Related Eye Disease Study, AREDS*) pueden reducir el riesgo de desarrollar la degeneración macular.

3 Objetivos

Los objetivos general y específicos del sistema que se desarrolla son:

3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de software que, sobre imágenes naturales en colores de fondos de ojo humanos reales, discrimine con eficiencia las retinas sanas de las patológicas, y entre las últimas, determine el tipo de afección que las aqueja. Entre éstas se considerarán las siguientes: alteraciones en la papila óptica, microaneurismas, exudados duros y algodonosos, hemorragias, drusas y edemas.

3.2 Objetivos específicos

Dentro de los objetivos particulares se pretende segmentar las imágenes de fondo de ojos humanos reales en colores, para lograr el análisis morfológico de los elementos anatómicos en sus tres vertientes: mácula lútea, disco óptico o papila óptica y red vascular; así como analizar las imágenes de fondo de ojos humanos reales en colores acorde a las afecciones que presentan los 5 tipos de patologías tratadas, a saber, glaucoma, retinopatía diabética, retinopatía hipertensiva, retinosis pigmentaria y degeneración macular dependiente de la edad. Estas afecciones, detectadas mediante el análisis morfológico de la retina, son los microaneurismas, los exudados duros y algodonosos, las hemorragias, los edemas, las drusas y la tortuosidad vascular.

3.3 Algunos sistemas desarrollados para el análisis de la retina

A continuación se muestran las características de algunos de los sistemas ya desarrollados para el análisis automático de la retina, obtenidos a partir de sus correspondientes enlaces.

* <http://www.adcis.net/es/Applications/RetinalAnalysis.html>

ADCIS (ADvanced Concepts in Imaging Software) ha desarrollado herramientas avanzadas de diagnóstico de la retina en asociación con dos prestigiosos centros de investigación, el Centro de Morfología Matemática de La Escuela de Minas de Paris y el Hospital Lariboisière de Paris. El proyecto ha sido financiado por el Gobierno Francés y el Ministerio de la Investigación (inicio de los trabajos al final del año 2001 y entrega del reporte final en abril del 2003).

El objetivo del proyecto consistió a desarrollar un sistema totalmente automatizado capaz de procesar imágenes a color del fondo del ojo capturadas por un retinógrafo. El conjunto de algoritmos desarrollados es hoy en día utilizado por oftalmólogos y hospitales especializados en estudios sobre la degeneración macular y la retinopatía diabética.

A partir de una imagen a color de la retina, la aplicación es capaz de realizar las siguientes tareas sin la intervención humana:

- Mejora la calidad visual de la imagen aplicando operaciones de filtrado.
- Localiza la papila óptica (salida del nervio óptico).
- Aísla la red vascular y detecta las bifurcaciones.
- Detecta los microaneurismas.
- Detecta los exudados y las hemorragias.
- Detecta la mácula lútea (zona central de la retina), así como los neovasos.

* <http://www.it.lut.fi/project/retina/#GOALS>

La meta de este proyecto es estudiar y desarrollar métodos exactos y confiables para la visión por computadora y el reconocimiento de patrones, para un análisis de imágenes de fondo de ojo automático. El objetivo principal está en una detección exacta y confiable de las evidencias de la diabetes. Los usos de los métodos serían por ejemplo supervisión llana del hospital para el progreso de la enfermedad, el sistema automático de la investigación que delega pacientes a la inspección médica adicional y un instrumento de apoyo para la toma de decisión médica.

El objetivo secundario del proyecto es desarrollar una herramienta general para recoger datos médicos generales de la imagen; la herramienta debe tener una interfaz de usuario apropiado para los doctores-médicos y proporcionar fácilmente mecanismos comprensibles para marcar diversas clases de resultados médicos. La herramienta debe utilizar un idioma descriptivo médico general de la imagen, entregar una correcta y confiable información a los expertos del proceso de imagen.

El proyecto es un esfuerzo de colaboración entre el laboratorio del tratamiento de la información, la Universidad de Lappeenranta de Technology y el Departamento de Oftalmología de la Universidad de Kuopio.

* <http://www.ornl.gov/sci/risa/index.shtml>

Retinopathy Image Search and Analysis (RISA). Esta tecnología está desarrollada para el análisis y búsqueda de imágenes con retinopatía mediante el método contenido-basado de la recuperación de la imagen (CBIR).

*

http://www.crim.ca/files/documents/services/rd/publications/VIS_LalMals_Cbms04.pdf#search=%22retinal%20image%20analysis%2Csoftware%22

Este enlace muestra el software denominado RetSoftPlus, diseñado específicamente para el análisis de imágenes de retina. La organización de los datos es almacenada en carpetas que contienen las imágenes originales del paciente; detecta dos de las estructuras anatómicas de la retina, el disco óptico y la mácula, y dos de las lesiones, los microaneurismas y los exudados.

*http://www.geocities.com/Athens/Library/9805/funduslide_files/slide1.htm

Este enlace presenta un trabajo desarrollado para la detección temprana de la retinopatía diabética, basado en imágenes de fondo de ojo en color, la extracción de la red vascular se realiza utilizando un filtro Gaussiano de segundo orden con amplitud modificada, mientras que las anomalías fueron extraídas utilizando la transformación de cuencas (*watershed*) en el objeto basado en la diferencia de color en la imagen.

4 Proyectos de investigación relacionados con el tema

Los siguientes son los proyectos de investigación relacionados con el tema en los que se ha trabajado, todos del CIC y dirigidos por el Dr. Edgardo Manuel Felipe Riverón.

- **Caracterización del fondo de ojo humano normal**, CIC-IPN, Proyecto CGPI, No. de registro 2001 0764.
- **Análisis de retinas humanas mediante técnicas de inteligencia artificial**, CIC-IPN, Proyecto CGPI marzo 2003-febrero 2004, No. de registro 2003 1385.
 - **Análisis de retinas humanas mediante técnicas de inteligencia artificial**, CIC-IPN, Proyecto CGPI recurrente (1ra vez) marzo 2004-febrero 2005, No. de registro 2004 1155.
 - **Análisis de retinas humanas mediante técnicas de inteligencia artificial**, CIC-IPN, Proyecto CGPI recurrente (2da vez) marzo 2005-febrero 2006, No. de registro 2005 1165.
- **Sistema de análisis masivo de retinas humanas**, CIC-IPN, Proyecto SIP, No. de Registro: 2006 1286.
 - **Sistema de análisis masivo de retinas humanas**, CIC-IPN, Proyecto SIP recurrente (1ra vez) enero 2007- diciembre 2007, No. de Registro: 2007 1321.

5 Trabajos desarrollados en torno al tema

Hasta el momento se han desarrollado los siguientes trabajos de investigación relacionados con el Proyecto, los cuales alimentarán el desarrollo del sistema:

Licenciatura o Ingeniería

2003

1. **Medición de parámetros del disco óptico en imágenes de retina**, Licenciatura, Mijail del Toro Céspedes, Universidad de La Habana, julio 2003.

Presenta una metodología propuesta para la segmentación adecuada tanto del disco óptico como de la excavación y con base en ello realiza mediciones en las imágenes de retinas que se analizan, para diagnosticar la posible presencia de glaucoma detectando los bordes y áreas (en píxeles) de la excavación y del disco óptico; calculando el cociente de las áreas de ambas partes, sobre la base de las recomendaciones de los especialistas, los resultados presentaron el 85% de efectividad.

2. **Segmentación de la red vascular en imágenes de retina humana**, Licenciatura, Noel García Quimeras, Universidad de La Habana, julio de 2003.

Este trabajo presenta como resultado la segmentación de la red vascular que se observa en el polo posterior de una imagen oftalmoscópica de retina en colores. Lo logra sobre la base de los operadores máximo de aperturas y suma de valles, usando una familia de elementos de estructura lineales de altura cero rotados de 0° a 180° y de una longitud dada de acuerdo al tamaño de las venas y arterias más gruesas de la red vascular.

Licenciatura o Ingeniería

2004

3. **Caracterización de la red vascular del polo posterior de una retina normal**, Ingeniería, José Silvano Mendoza Mendiola, Jorge Iván Ruiz Ramírez, David Silva Leyva, Erick Morales Silva, Escuela Superior de Cómputo, TT 0498, junio de 2004.

Este trabajo trata sobre la codificación, mediante el código de cadenas, de la red vascular de una retina humana, con el fin de iniciar trabajos en la identificación y reconocimiento de las personas sobre la base del análisis de la estructura de sus redes vasculares venosa y arterial.

Maestría

4. **Detección automática de la normalidad de las retinas humanas**, Maestría, Sandra Luz Morales Güitrón, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, diciembre de 2004.

Con los resultados efectivos obtenidos por encima de un 80%, se concluye que se logró el objetivo del proyecto, además de que las técnicas morfológicas utilizadas garantizan un alto nivel de certidumbre. Por el método directo propuesto en este trabajo, se evita el uso de procedimientos que según el autor, quizás brinden mejores resultados, pero de mayor complejidad y tiempo de procesamiento. Se logra hacer la detección de las retinas sanas y patológicas directamente a partir de imágenes oftalmoscópicas en colores. Por el tiempo promedio consumido en analizar cada imagen (5 segundos aproximadamente), el método propuesto permitirá hacer pesquisajes masivos en la población. El análisis lo realiza sin considerar las hemorragias de bolsa y subretinianas.

Licenciatura o Ingeniería

2005

5. **Detección de hemorragias en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Ingeniería, Selene Ramírez Acuayte y Carlos David Tejada Sánchez, Escuela Superior de Cómputo, TT 0790.

Detecta eficientemente las hemorragias del tipo puntiforme, en forma de mancha, de flama o astilla y subretinianas, con base en técnicas de segmentación por morfología matemática, logrando resultados de hasta un 90% de efectividad.

6. **Detección de la normalidad de la mácula lútea en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Ingeniería, Fabiola Campos Torres, Julio C. Flores Godínez, Jaime A. Morelos Covarrubias y Sunner Pimentel Vieyra, Escuela Superior de Cómputo, TT 0800.

Detecta eficientemente la normalidad de la mácula lútea, o en su defecto caracteriza y clasifica las afecciones que presente, mediante el análisis de imágenes oftalmoscópicas reales en colores. Además reconoce la imagen como de fondo de ojo. Segmenta la mácula lútea, la caracteriza y la clasifica en normal o anormal. El prediagnóstico de cada imagen se logró en 2 segundos aproximadamente, además de que el método utilizado de círculos resulta ser muy eficiente para la detección de la normalidad o anormalidad de la mácula lútea.

7. **Detección y clasificación de exudados en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Ingeniería, Grissel Espinosa Castañeda y Gabriela Filomeno Anaya, Escuela Superior de Cómputo, TT 0807.

Detecta y clasifica automáticamente los exudados duros y los suaves o algodinosos. Normaliza en tamaño las imágenes en colores y las preprocesa para mejorarlas; segmenta la papila óptica, la mácula lútea y los exudados; los clasifica en duros y algodinosos y determina sus características (número, tamaño y posición) utiliza técnicas de morfología matemática. Alcanza resultados del 92% de efectividad.

Licenciatura o Ingeniería

2006

8. **Caracterización de la papila óptica en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Tania Iracel Chablé Razo, Escuela Superior de Cómputo, TT 0800.

Caracteriza la papila óptica a partir de imágenes digitales oftalmoscópicas en colores de retinas humanas y la clasifica como normal o con glaucoma incipiente o avanzado. Segmenta la papila óptica o disco óptico, realiza la segmentación de la excavación o copa, segmenta el racimo vascular y caracteriza la papila óptica. El tiempo requerido para que el sistema realice el análisis de una retina es de 30 segundos aproximadamente, esto gracias a la normalización de las imágenes y al desarrollo de los procesos que discriminan la información que no es útil para el resultado final.

9. **Separación y extracción de características de las redes vasculares venosa y arterial en imágenes de retinas humanas**, Agustín de la Rosa Hernández, Ángel Olmedo Maldonado, Daniel Hernández Pérez, Escuela Superior de Cómputo, TT 0816.

Realiza la segmentación de la red vascular separándola de los demás elementos anatómicos de la imagen; obtiene el esqueleto de la red representándola con un grosor de 1 píxel facilitando su recorrido; distingue la red arterial de la venosa y describe las características generales de las redes analizadas.

10. **Detección de microaneurismas en imágenes de retina humana**, Luis Enrique Huerta Valdez, Amado Demesa Arévalo, Omar Arturo Villegas Argota, Manuel Alejandro Vega Munguía, Escuela Superior de Cómputo, TT 0850.

Realiza la segmentación de los microaneurismas normalizando el tamaño de las imágenes a 600 píxeles por el lado mayor, utiliza técnicas de morfología matemática realizando dos tipos de análisis: global y local; en este último, la imagen es dividida en rejillas de tamaño específico y aplicando el algoritmo de segmentación propuesto por los autores a cada celda de la rejilla, se

lograron resultados por encima del 55% de efectividad. Estos resultados fueron obtenidos con la ayuda de la detección visual hecha en tres imágenes fluoresceínicas disponibles de las mismas retinas.

Licenciatura o Ingeniería

2007

11. **Detección de la degeneración macular dependiente de la edad en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Luis Fernández Pérez, Karen Berenice Carballo Jaramillo, Martha Patricia Sagahón Azúa, ESCOM, IPN.

Este trabajo trata sobre la detección de las afecciones llamadas drusas, propias de la degeneración macular dependiente de la edad, y su diferenciación de los exudados duros y suaves, así como la preparación de un prediagnóstico sobre la base del número, posición y tamaño de los objetos hallados mediante reconstrucción geodésica.

12. **Mejoramiento de imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Mendoza Ortiz Eva Cristina, Moreno Elizondo Karina, Mario Alberto Gaitán Torres, ESCOM, IPN.

Este trabajo crea una metodología para el mejoramiento de las imágenes oftalmoscópicas de las retinas humanas, a modo de preprocesamiento de todas las imágenes a analizar, mediante la compensación de la falta de homogeneidad debida a la convexidad de la misma, la eliminación del ruido sin perder los detalles de la imagen, la modificación de la brillantez, la eliminación de los reflejos que tienen lugar en las venas y arterias gruesas verticales y el mejoramiento del contraste.

6 Publicaciones

A continuación se expone la relación de las publicaciones hechas asociadas con los proyectos aprobados sobre análisis de retinas humanas, útiles para el desarrollo de nuestro trabajo de tesis.

Empastados de trabajos terminales de ingeniería y licenciatura:

1. **Medición de parámetros del disco óptico en imágenes de retina**, Licenciatura, Mijail del Toro Céspedes, Universidad de La Habana, julio 2003.
2. **Segmentación de la red vascular en imágenes de retina humana**, Licenciatura, Noel García Quimeras, Universidad de La Habana, julio de 2003.
3. **Caracterización de la red vascular del polo posterior de una retina normal**, Ingeniería, José Silvano Mendoza Mendiola, Jorge Iván Ruiz Ramírez, David Silva Leyva, Erick Morales Silva, Escuela Superior de Cómputo, TT 0498, junio de 2004.
4. **Detección de hemorragias en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Ingeniería, Selene Ramírez Acuayte y Carlos David Tejeda Sánchez, Escuela Superior de Cómputo, TT 0790.
5. **Detección de la normalidad de la mácula lútea en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Ingeniería, Fabiola Campos Torres, Julio C. Flores Godínez, Jaime A. Morelos Covarrubias y Sunner Pimentel Vieyra, Escuela Superior de Cómputo, TT 0800.

6. **Detección y clasificación de exudados en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, Ingeniería, Grissel Espinosa Castañeda y Gabriela Filomeno Anaya, Escuela Superior de Cómputo, TT 0807.
7. **Caracterización de la papila óptica en imágenes oftalmoscópicas de retina humana**, ESCOM 11, Tania Iracel Chablé Razo, Escuela Superior de Cómputo, TT 0800.
8. **Separación y extracción de características de las redes vasculares venosa y arterial en imágenes de retinas humanas**, ESCOM 12, Agustín de la Rosa Hernández, Ángel Olmedo Maldonado, Daniel Hernández Pérez, Escuela Superior de Cómputo, TT 0816.
9. **Detección de microaneurismas en imágenes de retina humana**, ESCOM 13, Luis Enrique Huerta Valdez, Amado Demesa Arévalo, Omar Arturo Villegas Argota, Manuel Alejandro Vega Munguia, Escuela Superior de Cómputo, TT 0850.

Empastados de tesis de maestría:

1. **Detección automática de la normalidad de las retinas humanas**, Maestría, Sandra Luz Morales Güitrón, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, diciembre de 2004.

Reportes técnicos

1. **Análisis y diseño de un sistema para la caracterización del fondo de ojo humano normal**, Sandra Morales Güitrón, Edgardo M. Felipe Riverón y Agustín Gutiérrez Tornés. Reporte Técnico del CIC, Serie Azul, No. 157, ISBN 970-18-9212-7, octubre 2002, 80 páginas.
2. **Sistema para el Análisis del Fondo de Ojo Humano**, Edgardo M. Felipe Riverón y Sandra L. Morales Güitrón. Reporte Técnico del CIC, Serie Azul, No. 166, ISBN 970-36-0019-0, enero 2003, 9 páginas.
3. **Sistema para el diagnóstico de glaucoma en imágenes de fondo de ojo humano**, R. Gutiérrez, E. Felipe, A. Gutiérrez. Reporte Técnico del CIC, Serie Verde, No. 106, ISBN 970-36-0119-7, CIC-IPN, diciembre de 2003.
4. **Editor visual de elementos de estructura para el análisis morfológico de imágenes**, S. Güitrón, E. Felipe, R. Gutiérrez. Reporte Técnico del CIC, Serie Azul, No. 195, ISBN 970-36-0146-4, CIC-IPN, abril de 2004.

Volúmenes de investigación

1. **Segmentación de la red vascular de retinas humanas**, Edgardo M. Felipe y Noel García Guimeras, *Research in Computing Science, Avances en Ciencias de la Computación*, Vol. 3, pp. 229-235, Centro de Investigación en Computación, IPN, México, D. F., octubre 2003, ISBN 970-36-0098-0.
2. **Characterization of the Vascular Network in a Normal Human Fundus Retina**, J. Silvano Mendoza Mendiola, Edgardo M. Felipe Riverón, Flavio A. Sánchez Garfias, Erick Morales Silva, Jorge I. Ruiz Ramírez and David Silva Leyva, *Research in Computing Science, Advances in: Artificial Intelligence, Computing Science and*

Computer Engineering, Vol. 10, pp. 67-77, IPN, México, D. F., October. 2004, ISBN 970-36-0194-4; ISSN 1665-9899.

Eventos científicos nacionales:

1. **Informática 2003, Aplicación de UML en el diseño de un sistema para el análisis del fondo de ojo humano**, 17-21 de marzo del 2003, La Habana, Cuba.
2. **Informática 2003, Sistema para el análisis del fondo de ojo humano**, 17-21 de marzo, 2003, La Habana, Cuba.
3. **CIC 2003, XII Congreso Internacional de Computación, Segmentación de la red vascular de retinas humanas**, México, D. F., 13-17 de octubre del 2003.
4. **14ª Reunión de Otoño de Comunicaciones, Computación, Electrónica y Exposición Industrial ROC & C'03, IEEE, Extracción de la red vascular en imágenes de retinas humanas en colores**, Edgardo M. Felipe Riverón y Noel García Guimeras, Acapulco, 26-30 de noviembre del 2003.
5. **14ª Reunión de Otoño de Comunicaciones, Computación, Electrónica y Exposición Industrial ROC & C'03, IEEE, Measuring parameters on the optical disk in images of human retina**, Edgardo M. Felipe Riverón y Mijail del Toro Céspedes, Acapulco, 26-30 de noviembre del 2003.
6. **14ª Reunión de Otoño de Comunicaciones, Computación, Electrónica y Exposición Industrial ROC & C'03, IEEE, Sistema de análisis masivo de retinas humanas**, Sandra L. Morales Güitrón y Edgardo M. Felipe Riverón, Acapulco, 26-30 de noviembre del 2003.
7. **CIC 2004, XIII Congreso Internacional de Computación, Characterization of the vascular network in a normal human fundus retina**, J. Silvano Mendoza Mendiola, Edgardo M. Felipe Riverón, Flavio A. Sánchez Garfías, Erick Morales Silva, Jorge I. Ruiz Ramírez, y David Silva Leyva, CIC, oct. 13-15 de 2004, pág. 67-77, México.
8. **XVIII Congreso Nacional y IV Congreso Internacional de Informática y Computación, ANIEI 2005, Detección automática de la normalidad de las retinas humanas**, Sandra L. Morales Güitrón, Edgardo M. Felipe Riverón, Sandra Ortiz Yáñez, Torreón, Coahuila, México, 26-28 de octubre de 2005.
9. **I Congreso Latinoamericano de Informática Médica MILA 2006, Segmentación automática de la red vascular retiniana en imágenes de fondo de ojo**, Luis Octavio López Leyva, Edgardo M. Felipe Riverón, Rolando Flores Carapia, Bolivia, Nov. 2006.
10. **I Congreso Latinoamericano de Informática Médica MILA 2006, Un algoritmo morfológico para la detección automática de la mácula lútea y la papila óptica en imágenes de retina humana**, Cornelio Yáñez Márquez, Edgardo M. Felipe Riverón, Rolando Flores Carapia, Bolivia, Nov. 2006.

Eventos científicos internacionales:

1. **IX Iberoamerican Congress on Pattern Recognition CIARP 2004, Measurement of Parameters of the Optic Disk in Ophthalmoscopic Color Images of Human Retina**, E. M. Felipe, M. A. del Toro, INAOE, Puebla, Mexico, October 26-29, LNCS No. 3287, 661-668, 2004.
2. **XI Iberoamerican Congress on Pattern Recognition CIARP 2006, Extraction of Blood Vessels in Ophthalmic Color Images of Human Retinas**, E. M. Felipe-Riverón, N. Garcia-Guimeras, November 14-17, 2006, Cancún, México, LNCS No. 4225.

7 Conclusiones

A pesar de que existen algunos sistemas comerciales especializados para el análisis de las retinas humanas, en su mayoría cuentan con un uso muy limitado debido a su alto costo de inversión, y por ende, un elevado precio por su uso, lo que conlleva un acceso reducido por parte de la población que tiene bajos y medios ingresos.

El sistema analiza las afecciones relacionadas con las cinco siguientes patologías que propenden a la ceguera de quienes las padecen: Glaucoma, Retinopatía Diabética, Retinopatía Hipertensiva, Retinosis Pigmentaria y Degeneración Macular Dependiente de la Edad.

El propósito del sistema es hacer el análisis de dos de los tres elementos anatómicos de la retina independientemente, a saber, de la papila óptica o disco óptico y de la mácula lútea, así como de las afecciones más comunes relacionadas con las enfermedades de la retina mencionadas, como son: los microaneurismas, exudados duros y suaves o algodinosos, hemorragias de los diferentes tipos, edemas maculares y las drusas.

Cabe mencionar que el desarrollo de este sistema de software no será una simple integración de los trabajos anteriormente mencionados, sino conformará una eficiente estrategia de análisis y una metodología compuesta de un conjunto de procedimientos que le brindarán al especialista un prediagnóstico automático, eficiente y flexible del estado de la retina, de tal forma que lo ayudará en el análisis de un gran número de casos diarios para la realización de pesquisajes masivos a la población en general.

Referencias

- [1] <http://webvision.med.utah.edu/spanish/vgeneral.html>
- [2] <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001212.htm>
- [3] <http://www.geocities.com/fabianroch/diabetica.html>
- [4] <http://www.medlineplus.gov/spanish/>
- [5] Medición de parámetros del disco óptico en imágenes de retinas. Mijail Aramis del Toro Céspedes. Tesis de Licenciatura, Universidad de La Habana, 2003.

- [6] Detección automática de la normalidad de las retinas humanas. Sandra Luz Morales Güitrón. Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Computación, IPN, 2004.
- [7] Detección de la normalidad de la macula lútea en imágenes oftalmoscópicas de retina humana, Fabiola Campos Torres, Julio Cesar Flores Godínez, Jaime Andrés Morelos Covarrubias, Sunner Pimentel Vieyra. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Computo, IPN, 2005.
- [8] Detección de hemorragias en imágenes oftalmoscópicas de retina humana, Selene Ramírez Acuayte, Carlos David Tejeda Sánchez. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Computo, IPN, 2005.
- [9] Caracterización de la papila óptica en imágenes oftalmoscópicas de retina humana, Tania Iracel Chablé Razo. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Computo, IPN, 2006
- [10] Detección de microaneurismas en imágenes de retina humana, Luis Enrique Huerta Valdez, Amado Demesa Arévalo, Omar Arturo Villegas Argota, Manuel Alejandro Vega Munguia, Escuela Superior de Computo, IPN ,2006.