

VALIDACIÓN DE LA SEGMENTACIÓN EN IMÁGENES DE OPACIDAD DE LA
CÁPSULA POSTERIOR PROVENIENTES DEL PENTACAM

VALIDATION OF SEGMENTATION IN OPACITY IMAGES OF THE POSTERIOR
CAPSULE FROM THE PENTACAM

Ing. Ruben Hayron Rodríguez Espinosa¹ (0000-0002-2192-7054), Empresa Constructora ECM 4,

ruben.hayron@umcc.cu

Dr. C. Elpidia Caridad Cruz Cabrera² (0000-0002-2708-3032), Universidad de Matanzas

Resumen

La opacidad de la cápsula posterior, asociada con la disminución de la agudeza visual, es la complicación posoperatoria tardía más frecuente tras la cirugía de catarata. En la Universidad de las Ciencias Informáticas se han desarrollado varios algoritmos para cuantificar la magnitud de esta complicación en imágenes provenientes del PENTACAM, ellos han logrado diversos resultados, pero no se ha concretado cuál identifica mejor este tipo de complicación postoperatoria. Por tal motivo, esta investigación tiene como objetivo, la creación de un módulo para validar la segmentación realizada por un algoritmo atendiendo a una segmentación de referencia brindada por un especialista, con el fin de mostrar el resultado de varias métricas usadas en la literatura para llevar a cabo la validación del mismo. Con la aplicación de estas métricas sobre los métodos existentes se pudo constatar la eficacia del método propuesto en el año 2016 por Paula Vidal.

Palabras claves: *imágenes del Pentacam; medidas estadísticas de error; métricas de Hausdorff; medidas de localización; opacidad de la cápsula posterior; validación de la segmentación*

Abstract

The opacity of the posterior capsule associated with decreased visual acuity, it remains the most common late postoperative complication following cataract surgery. In the University of Informatic



Monografías 2021

Universidad de Matanzas © 2021

ISBN: 978 - 959 - 16 - 4681 - 1

Sciences several algorithms have been developed to quantify the Opacity of the Posterior Capsule in PENTACAM images, they have achieved several results, although it has not been determined which best identifies this type of postoperative complication. For this reason, the present research aims at the creation of a module to validate the segmentation performed by an algorithm according to a reference segmentation provided by the user, in order to show the result of several means used in the literature and lead to Validation of the same. With the application of these metrics on the existing methods it was possible to verify the effectiveness of the method proposed by Paula Vidal in 2016.

Keywords: *Cataract surgery; Hausdorff metrics; location metrics; opacity of the posterior capsule; statistical measures of error; the Pentacam images*

En la actualidad, miles de personas de todo el mundo padecen de la enfermedad de cataratas, sufriendo como consecuencia la pérdida total o parcial de la visión. La catarata es la opacidad en el cristalino del ojo, y la causa más común de ceguera tratable con cirugía. Tiene diversas causas, pero se le atribuye mayormente a la edad, tendiendo a aparecer en pacientes mayores de cincuenta años (R Acosta, 2006).

Tras una intervención quirúrgica el paciente puede recuperar su visibilidad total o parcialmente, pero no en todos los casos la cirugía es un éxito a largo plazo, pues en ocasiones los pacientes pueden presentar complicaciones postoperatorias. La complicación postoperatoria tardía más frecuente a largo o mediano plazo es la Opacidad de la Cápsula Posterior (OCP). La cápsula posterior es una estructura que anatómicamente queda por detrás de la lente intraocular implantada en el paciente operado de catarata. Para garantizar la recuperación visual del paciente es imprescindible la transparencia de esta estructura. Su incidencia en la actualidad se encuentra entre 0,7 % y 47,6 % en los primeros cinco años de realizada la cirugía, según un análisis de 90 estudios publicados, mientras que en Cuba asciende hasta el 50 % de los casos. En la comunidad médica internacional no existe consenso alguno acerca de la correcta cuantificación de la OCP, se deja a cada especialista la elección de alguna de las técnicas (Hernández López, y otros, 2010).

El Pentacam es un equipo oftalmológico de alta tecnología capaz de reconstruir imágenes tridimensionales de alta resolución del polo anterior del ojo. El análisis de estas imágenes

resultantes es de gran utilidad para la cuantificación objetiva de la OCP. Una ventaja notable que poseen las imágenes provenientes del Pentacam es la no presencia de destellos de luz que interfieran con el análisis de las mismas (D Grewall, 2008).

Las imágenes provenientes del PENTACAM pueden poseer regiones de OCP tan pequeñas que se hace difícil su detección a simple vista, lo que provoca un mal análisis por parte del especialista sobre esta enfermedad. En la actualidad existen diversos *software* que identifican de forma automática la OCP, destacándose entre ellos el PANDOC, el cual fue desarrollado en el Grupo de Investigación AIRI (*Artificial Intelligence: Research and Innovation*) de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) en colaboración con el Instituto Cubano de Oftalmología (ICO) "Ramón Pando Ferrer".

PANDOC es un *software* para identificar regiones con OCP, mediante el uso de las imágenes provenientes del PENTACAM y evaluar su correlación con la graduación subjetiva a través de la lámpara de hendidura. Este *software* provee al oftalmólogo de una herramienta capaz de detectar diferencias de opacidad, a veces imperceptibles para el ojo humano (Alvarez Cancio, y otros, 2013).

Para la identificación automática de la opacidad por el *software* PANDOC, en el año 2015 se realizó una propuesta fundamentada por un Sistema Basado en Casos (SBC) (Moreno, 2015) (Alvarez Cancio, y otros, 2016). En esta propuesta cada caso a identificar era un píxel, donde se analizaban sus características de color y las de sus vecinos, así como también su cercanía con respecto al centro de la estructura ocular.

También se realizó una variante en el 2016 que utilizaba un SBC, pero en esta ocasión con el objetivo principal de minimizar tiempo de ejecución con respecto al SBC anterior. En esta versión se usan como casos, regiones que fueron previamente extraídas usando un algoritmo de componentes conexas, entre los rasgos de estas regiones seguía estando el de cercanía al centro de la estructura ocular debido a la importancia de este rasgo para la decisión del SBC (Alonso Peña, y otros, 2016).

En el propio 2016 se propone otra variante utilizando mayormente técnicas de procesamiento digital de imágenes, en esta ocasión buscando los bordes de la Capsulorrexia¹ (Paula Vidal, y otros, 2016), esto bajo la premisa de que toda variación de la imagen de fondo en la región comprendida por la Capsulorrexia es OCP. Esta solución está basada en una combinación de filtros espaciales, la transformada circular de Hough y un algoritmo de contornos activos (Paula Vidal, y otros, 2016)

(Cancio, 2017).

Estos algoritmos desarrollados han tenido como objetivo cuantificar OCP en tomogramas *Scheimpflug* del PENTACAM logrando diversos resultados, principalmente en cuanto a calidad de la segmentación y tiempo de ejecución. Pero, hasta el momento no se ha concretado cuál identifica mejor este tipo de complicación postoperatoria. Por lo que se hace necesaria la creación de un software para validar la segmentación realizada por un algoritmo atendiendo a la imagen segmentada manualmente por el especialista (*ground truth*) y la devolución del resultado de varias métricas usadas en la literatura para poder realizar la validación del mismo.

Validación de la segmentación

En el mundo del procesamiento digital de imágenes médicas el desarrollo de nuevas técnicas de segmentación es un campo de gran interés, debido a esto, se requieren junto con los algoritmos de segmentación, métodos consistentes con los cuales se pueda evaluar y validar el desempeño de los mismos.

La validación es la medición (evaluación cuantitativa) del desempeño de un algoritmo de procesamiento de imágenes. La evaluación del desempeño tiene dos aspectos principales (Arambula, 2008):

- eficiencia computacional
- exactitud del algoritmo

En esta sección se expondrán algunas de las métricas más usadas para la evolución de la exactitud de un algoritmo de segmentación de imágenes médicas, teniendo en cuenta que sólo tiene sentido hablar de la eficiencia computacional cuando la exactitud de dos algoritmos que realizan la misma tarea es comparable. Este tipo de evaluación permitirá hacer afirmaciones del tipo: "El algoritmo A es mejor que el algoritmo B para la detección de la opacidad de la cápsula posterior en pacientes operados de catarata" (Arambula, 2008).

Métricas para segmentación de imágenes

Los problemas de segmentación de imágenes involucran la división de una imagen en un conjunto de regiones diferentes, de acuerdo a una medida de similitud determinada. Las métricas de

desempeño para este tipo de problemas son generalmente más complejas. Existen dos versiones del problema de segmentación: segmentación genérica de bajo nivel y detección y localización de anomalías. En la segmentación genérica de bajo nivel el objetivo es producir descripciones del contenido de una imagen, mientras que en el problema de detección y localización de anomalías el objetivo es encontrar todas las regiones de una imagen que contengan formas anómalas (Arám bula, 2008).

Al comparar el resultado de un algoritmo de segmentación con una imagen segmentada de referencia (p.e. Segmentación manual de un experto) se tienen en cuenta las siguientes condiciones (Arám bula, 2008):

Segmentación correcta de una región: Esto sucede cuando el solapamiento entre la región segmentada por el algoritmo propuesto y la región correspondiente en la imagen de referencia cumplen con cierto umbral mínimo de similitud.

Sub-segmentación de una región: La sub-segmentación sucede cuando varias regiones de la imagen de referencia corresponden sólo a una región de la imagen segmentada por el algoritmo propuesto.

Sobre-segmentación de una región: Ocorre cuando varias regiones de la imagen segmentada por el algoritmo propuesto, corresponden a una sola región de la imagen de referencia.

Región faltante: La región faltante, existe cuando una región en la imagen de referencia no corresponde con ninguna región existente en la imagen segmentada por el algoritmo propuesto.

Región producida por ruido: Este tipo de regiones aparecen en la imagen segmentada y no corresponden a ninguna región de la imagen de referencia.

Medidas del error

Las medidas de error son usadas frecuentemente a la hora de diseñar algoritmos de segmentación, clasificación y en la detección de contornos en sistemas de inteligencia artificial. Estas medidas se clasifican en tres grupos (López, 2000):

- **Medidas estadísticas de error:** las medidas estadísticas de error nos darán la medida de la frecuencia con la que se clasifican incorrectamente los píxeles. Entre estas se encuentran los Verdaderos Positivos, Verdaderos Negativos, Falsos Positivos, Falsos Negativos,

Precisión, Exactitud, Revocación, Promedio Señal a Ruido, Medida de Primer Plano, Tasa de Error y la Tasa Negativa.

- **Medidas de localización:** las medidas de localización son aquellas que se basan en el cálculo de la distancia mínima entre un punto y un conjunto de puntos. En este conjunto se encuentran las Medidas de Peli y Malah las cuales utilizan dos criterios estadísticos característicos de la detección de errores, la Media (error medio) y la Varianza (error cuadrático medio) y la Figura de Merito de Pratt (FOM) la cual es una medida solo para errores de Falsos Positivos al igual que la Media y la Varianza.
- **Métrica Hausdorff:** la Distancia de Hausdorff no suele usarse como medida de error, pues es muy sensible al ruido tomándose como medida alternativa la Distancia de Baddeley la cual elimina la sensibilidad al ruido presente en la Distancia de Hausdorff.

Propuesta de solución

Para elaborar la propuesta de solución se tuvo en cuenta la implementación de todos los métodos de validación de la segmentación expuestos en este proyecto, con el objetivo de brindarle al usuario las métricas necesarias para validar la calidad de la segmentación de la OCP en imágenes provenientes del Pentacam. A continuación, se muestra la interface principal del software PASI (Programa analizador de segmentación de imágenes) generado como resultado de este proyecto.

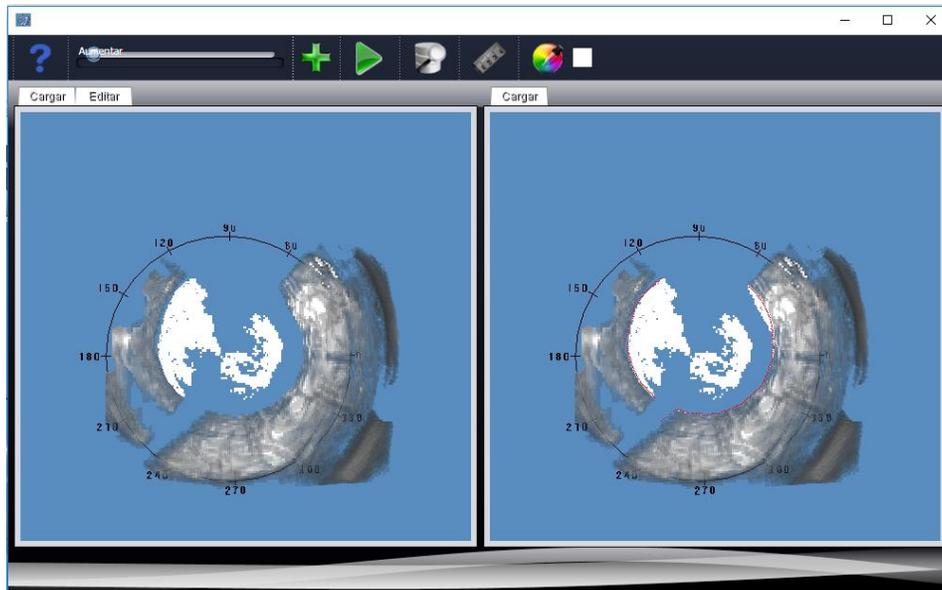


Figura 1 Interface principal del software PASI

Fuente: elaboración propia

Archivo Herramientas Graficar

Imagen	Algoritmo	FP	FN	VP	VN	Precisión	Exactitud	Primer Pl...	Revocación	NSR
CEDENO ...	Metodo d...	349	159	6934	275144	0.952080...	0.998202...	0.964663...	0.977583...	0.050331...
CEDENO ...	Metodo d...	4586	504	6589	270907	0.589619...	0.981987...	0.721370...	0.928944...	0.696008...
CEDENO ...	Metodo d...	3008	638	6455	272485	0.682130...	0.987097...	0.779777...	0.910052...	0.465995...

Mejor segmentación: Metodo de Erlis

Promedio por métricas

Algoritmo	Precisión	Exactitud	Primer Pl...	Revocación	NSR	Tasa de E...	Tasa Neg...	Media	Varianza
Metodo de Maidevis	0.589619...	0.981987...	0.721370...	0.928944...	0.696008...	0.646552...	0.358804...	7.427463...	157.6110...
Metodo de Carlos&P...	0.682130...	0.987097...	0.779777...	0.910052...	0.465995...	0.424080...	0.257013...	6.245594...	125.3720...

Mejor algoritmo: Metodo de Erlis

Figura 2 Interfaz de los resultados de las muestras brindadas por el software PASI

Fuente: elaboración propia

Pruebas de aceptación

Para la conformación de las pruebas de aceptación se procedió a la creación de 15 casos de estudio para verificar los resultados del software, en los mismos se realizaron 5 comparaciones por cada uno de los tres algoritmos desarrollados por el grupo AIRI mostrando en su totalidad un correcto funcionamiento del mismo. Como parte de estas pruebas y teniendo en cuenta los requisitos definidos para el desarrollo del software, se muestra a continuación el acta de liberación del software PASI, emitido por el Centro de Gobierno Electrónico (CEGEL), centro ubicado en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) como aval de conformidad del cumplimiento de todos los requisitos funcionales.

Acta de Liberación Interna de Productos Software

Fecha de emisión del acta: 01/06/2017

Emitida a favor de: Tesis "Módulo para la validación de la segmentación en imágenes de opacidad de la cápsula posterior provenientes del Pentacam".

Datos del producto

Artefacto	Versión	Estado final	Cantidad Iteraciones	Tipos de pruebas realizadas	Fecha de liberación
App: Módulo para la validación de la segmentación en imágenes de opacidad de la cápsula posterior provenientes del Pentacam.	1.0	0	2	Evaluación dinámica Pruebas de Funcionalidad	01/06/2017



[Signature]
Ruben Hayron Rodríguez Espinosa
Autor

Figura 3: Acta de Liberación del Software PASI

Resultados

Luego de efectuar las pruebas correspondientes para validar la fiabilidad del sistema, se procedió a realizar la comparación de las métricas de error y los tiempos de ejecución entre los tres algoritmos de segmentación propuestos por el grupo AIRI, con el fin de seleccionar el algoritmo más eficiente para la detección de la opacidad de la cápsula posterior en imágenes provenientes de tomogramas *Scheimpflug* del PENTACAM. Estas comparaciones fueron ejecutadas sobre un conjunto de 28 imágenes de pacientes con esta complicación postoperatoria por cada uno de los algoritmos propuestos. A continuación, se muestran los resultados de los promedios de las métricas por algoritmos, así como los tiempos de ejecución de cada uno de ellos:

Tabla 1. Resultado de las métricas para el algoritmo de Alonso P y Machado S

<i>Algoritmo</i>	<i>Precisión</i>	<i>Exactitud</i>	<i>Primer Plano</i>	<i>Revocación</i>	<i>NSR</i>	<i>Tasa de Error</i>
Alonso P y Machado S (69)	0.840	0.984	0.685	0.695	0.845	0.818
	<i>Tasa Negativa</i>	<i>Media</i>	<i>Varianza</i>	<i>FOM</i>	<i>Hausdorff</i>	<i>Baddeley</i>
	0.561	20.503	713.343	0.593	39.714	13.490

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Resultado de las métricas para el algoritmo de Rodríguez M

<i>Algoritmo</i>	<i>Precisión</i>	<i>Exactitud</i>	<i>Primer Plano</i>	<i>Revocación</i>	<i>NSR</i>	<i>Tasa de Error</i>
Rodríguez M (70)	0.651	0.978	0.604	0.681	1.619	1.451
	<i>Tasa Negativa</i>	<i>Media</i>	<i>Varianza</i>	<i>FOM</i>	<i>Hausdorff</i>	<i>Baddeley</i>
	0.884	31.977	1126.219	0.655	39.071	12.967

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Resultado de las métricas para el algoritmo de E. Paula V

<i>Algoritmo</i>	<i>Precisión</i>	<i>Exactitud</i>	<i>Primer Plano</i>	<i>Revocación</i>	<i>NSR</i>	<i>Tasa de Error</i>
E. Paula V (71)	0.927	0.993	0.890	0.892	0.111	0.103
	<i>Tasa Negativa</i>	<i>Media</i>	<i>Varianza</i>	<i>FOM</i>	<i>Hausdorff</i>	<i>Baddeley</i>
	0.105	1.295	35.925	0.864	29.785	8.060

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Resultado de los tiempos de complejidad media por algoritmo

<i>Algoritmo</i>	<i>Promedio (ms)</i>
Método propuesto por Paula Vidal (2016)	4326,96
Método propuesto por Rodríguez Moreno (2015)	98994,5
Método propuesto por Alonso & Machado (2016)	5946,03

Fuente: elaboración propia

Tras constatar los resultados de los promedios de las métricas por cada algoritmo, y sus respectivos tiempos de ejecución, se pudo apreciar que el más eficiente para la detección de la opacidad de la cápsula posterior en imágenes provenientes de tomogramas *Scheimpflug* del PENTACAM, es el propuesto por E. Paula Vidal en el año 2016, proporcionando los mejores valores en cuanto a métricas y en cuanto a tiempos de ejecución.

Validación de los resultados

La validación de un sistema de validación es algo complejo, de ahí la importancia de contar con buenos criterios a la hora de arribar a conclusiones sobre los resultados obtenidos. En este trabajo los especialistas afirman que no existen formas de experimentación bien establecidas, por tal motivo, como parte de las pruebas realizadas al sistema, se hizo necesaria aplicar la técnica de juicio de experto, ya que se requiere de la valoración de los especialistas, para verificar los resultados de las métricas proporcionando una valoración de cada uno de los casos de estudio.

El juicio de expertos es un método de validación útil para verificar la fiabilidad de una investigación que se define como una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos calificados, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones (Garrote, 2015).

Panel de expertos

Integran el panel de expertos el Ingeniero en Ciencias Informáticas Michel Álvarez Cancio profesor de la Universidad de las Ciencias Informáticas, el Doctor en Ciencias Rubén Orozco Morales profesor titular de la Universidad Central de las Villas (UCLV) y la Doctora en Ciencias Silena Herold García profesora titular de la Universidad de Oriente (UO), todos cuentan con gran experiencia y un amplio número de publicaciones en el campo del procesamiento digital de imágenes.

Criterios de los expertos

Para la evaluación del panel de expertos sobre los casos de pruebas realizadas se analiza la evaluación de los resultados de las métricas de la siguiente forma:

Tabla 5 Evaluación de los resultados de la segmentación (Elaboración propia).

<i>Evaluación</i>	<i>Descripción</i>
5	Totalmente de acuerdo con el resultado de las métricas.
4	Conuerdo con la mayoría de los resultados de las métricas.
3	Conuerdo medianamente con el resultado de las métricas.
0	No estoy de acuerdo con el resultado de las métricas.

Evaluación final de los expertos

Tras el análisis realizado por el grupo de expertos, se arribó a la conclusión de que el sistema cumple con el objetivo propuesto, ya que de las imágenes analizadas solo 1 de las 28 totales fue evaluada de 3 y ninguna de ellas fue evaluada de 0, logrando que la mayoría de los resultados fueran de nivel 5, con un promedio de evaluación de 4.6, lo que permite afirmar que las métricas de evaluación cumplen con los requerimientos especificados.

Tabla 6: Evaluación de los expertos por imágenes	<i>Evaluación</i>
<i>Cantidad de Imágenes</i>	
18	5
9	4
1	3
<i>Promedio</i>	4,6

Fuente: elaboración propia

Con el desarrollo de este trabajo se cumplieron todas las actividades propuestas, respondiendo a la necesidad de buscar una solución al problema general planteado, arribando a la conclusión que el cálculo de métricas de error de la segmentación de una imagen, puede ser utilizado para diferenciar la calidad de la segmentación de un algoritmo. Se implementaron las métricas estadísticas de error, medidas de localización y métricas Hausdorff para la validación de la segmentación. Con el uso de la solución, se dotó al Grupo de investigación AIRI de una herramienta de apoyo al análisis de la segmentación de imágenes de tomogramas *Scheimpflug* del PENTACAM. Mediante las pruebas realizadas a un conjunto de 28 imágenes provenientes de este equipo oftalmológico, se pudo obtener que el algoritmo más estable para la detección de la OCP es el propuesto por Paula Vidal 2016, atendiendo a que brindó los mejores resultados en cuanto a métricas estadísticas de error, medidas de localización y métricas Hausdorff.

Referencias bibliográficas

- Acosta, R., Hoffmeister, L., & Román, R. (2006). Revisión sistemática de estudios poblacionales de prevalencia de cataratas. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 81(9), 509-516.
- Alonso Peña, C. A., Machado Sanchez, P. L., & Alvarez Cancio, M. (2016). *Sistema de cuantificación de opacidad capsular mediante Componentes Conexas*. Universidad de las Ciencias Informáticas, Facultad3. La Habana: Universidad de las Ciencias Informáticas. Facultad3.

- Alvarez Cancio, M., Cruz de la Osa, R., & Hernández López, I. (2016). APLICACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN CASOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE OPACIDAD EN LA CÁPSULA POSTERIOR MEDIANTE IMÁGENES DEL PENTACAM. INFORMÁTICA 2016, 8(1), 545-558.
- Alvarez Cancio, M., Hernandez Barrios, A., Rodriguez Puente, R., & Hernandez Lopez, I. (2013). PANDOC: SOFTWARE PARA LA CUANTIFICACIÓN OBJETIVA DE LA OPACIDAD DE LA CÁPSULA POSTERIOR MEDIANTE TOMOGRAMAS SCHEIMPFLUG DEL PENTACAM. La Habana.
- Arámbula, F. (2008). Análisis de imágenes médicas.
- CANCIO, M. A. (Enero-Marzo de 2017). Algoritmo para la identificación de la opacidad de la cápsula posterior en imágenes provenientes del PENTACAM. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 11(1), 153-167.
- Carlos A, A. P., & Pedro L, M. S. (junio 2016). Sistema de cuantificación de opacidad capsular mediante Componentes Conexas. Ciudad de la Habana.
- D Grewall, R. J. (2008). PENTACAM tomograms: A Novel Method for Quantification of Poste. ARVO JOURNALS, 49(5), 2004-2008.
- Erlis, P. V. (Junio, 2016). Algoritmo para la identificación de la opacidad de la cápsula posterior en imágenes provenientes del PENTACAM. Ciudad de la Habana.
- Garrote, P. R. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada.
- Hernández López, I., Raúl, H. S., Castro González, Y., Garcés Fernández, A., Veitía Roviro sa, Z., & Pérez Candelaria, E. (2010). Estrategias de prevención de la opacidad de la cápsula posterior. Revista Cubana de Oftalmología, 23(1), 608-623.
- López, M. d. (2000). Incorporación de características en la función de energía para segmentación de imágenes usando campos aleatorios de Markov.
- Maidevis, R. M. (junio 2015). Desarrollo de un sistema basado en casos para la identificación de opacidad de la cápsula posterior en el software PANDOC. Ciudad de la Habana .
- Moreno, M. R. (junio del 2015). Desarrollo de un sistema basado en casos para la identificación de opacidad de la cápsula posterior en el software PANDOC. La Habana.

Paula Vidal, E., Álvarez Cancio, M., & Cruz de la Osa, R. (Junio, 2016). Algoritmo para la identificación de la opacidad de la cápsula posterior en imágenes provenientes del PENTACAM. La Habana.