

**Universidad de las Ciencias Informáticas**

**Facultad 3**



PANDOC: Sistema basado en casos para la cuantificación objetiva de la opacidad capsular de un paciente operado de catarata

**Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas**

**Autor:**

Michel Alvarez Cancio

**Tutores:**

Dr. C. Rafael Rodríguez Puente

Dr. Iván Hernández López

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos ser los autores de la presente tesis y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Michel Alvarez Cancio

\_\_\_\_\_  
Dr.C. Rafael Rodríguez Puente

\_\_\_\_\_  
Dr. Iván Hernández López

## DATOS DE CONTACTO

**Tutor:** Dr. C. Rafael Rodríguez Puente.

**Edad:** 33 años.

**Ciudadanía:** cubano.

**Institución:** Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI).

**Título:** Doctor en Ciencias Técnicas.

**Categoría Docente:** Profesor Auxiliar.

**E-mail:** [rafaelrp@uci.cu](mailto:rafaelrp@uci.cu)

**Tutor:** Dr. Iván Hernández López.

**Edad:** 40 años.

**Ciudadanía:** cubano.

**Institución:** Instituto Cubano de Oftalmología "Ramón Pando Ferrer" (ICO).

**Título:** Especialista de 2do Grado en Oftalmología.

**Categoría Docente:-.**

**E-mail:** [ivan.hdez@infomed.sld.cu](mailto:ivan.hdez@infomed.sld.cu)

## **AGRADECIMIENTOS**

Para agradecer a todas las personas que me han ayudado necesitaría otro documento de tesis, así que trataré de ser lo más breve posible para que todos quepan en una cuartilla.

A mi universidad, la cual me supo acoger cuando aún estaba en los pañales del conocimiento y me dio vía libre para la investigación y mi desarrollo como profesional, y a la revolución que permitió que todos estos sueños se hicieran posibles.

Agradezco a todos mis profesores, a ustedes que siempre han tratado y de alguna manera han logrado encaminarme en la vida, agradezco de forma especial a **Zenel, Batard, Cealys, Aray, Maurice**, en fin son muchos, les agradezco a todos.

A mis tutores **Rafael e Iván** por haber confiado en mí y dedicarme sus tiempos libre, casi sin dejarse espacio para el descanso, yo sé que esto fue una travesía difícil también para ustedes.

A los que empezaron este proyecto conmigo, a **Eiler y Adrian** junto a ustedes empezó todo esto que hoy es mi tesis, de veras gracias.

A todos mis H.:M que me han apoyado y brindado su mano, a Wilfredo, a Frank a mis padrinos Luis y Sosa, en fin a todos.

A todo ese piquete loco que empezó como el 3401 y terminó siendo los Vikingos, que también me acompañaron y me demostraron el valor del consejo certero y la amistad.

A todos los amigos y amigas que dejó aquí en esta universidad.

A todas aquellas que formaron parte de mi inspiración en estos 5 años y que sin saberlo quizás me motivaron a ser mejor cada día, espero estén presente y vean lo que forjaron con su granito de arena.

A mi novia que casi sin conocerme se pegó conmigo en la tesis y no me dejaba ni rascarme hasta que no terminara, a ti también van dirigidos estos agradecimientos.

A mi familia, a mis padres, a todos mis tíos, tías, primas y primos que de una forma u otra se sintieron tesistas también y sé que están aquí llenos de regocijo de ver como llegué hasta aquí, los quiero muchísimo a todos.

Y uno especial para mi hermano **Michael** que aunque no esté presente sé que está esperando este resultado y está orgulloso de su hermano.

## **DEDICATORIA**

*A mis padres que sin ellos no sería nada, a mi sobrino **Adrián** que solo sabe darme alegrías, y en especial a mi hermano quien ha sido el pilar fundamental de mi vida, a él por encima de todos le dedico todos mis logros, no solo estos, sino todos aquellos que sea capaz de alcanzar.*

*También quiero dedicarle este trabajo a todos los servicios médicos del país, en especial a los oftalmólogos y al Instituto Cubano de Oftalmología.*

## **RESUMEN**

La opacidad de la cápsula posterior es actualmente uno de los aspectos más importante en la cirugía de catarata de los tiempos modernos. Sigue siendo la complicación posoperatoria tardía más frecuente tras la cirugía de catarata asociada con disminución de la agudeza visual, deterioro de la sensibilidad al contraste y problemas de deslumbramiento que conllevan importantes repercusiones sociales, médicas y económicas. Por tal motivo la presente investigación trata acerca de la creación del software PANDOC, un sistema basado en casos para identificar y cuantificar objetivamente esta opacidad mediante el uso de las imágenes resultantes de la cámara Scheimpflug del Pentacam y evaluar su correlación con la gradación subjetiva mediante lámpara de hendidura. Mediante el presente software se le provee al oftalmólogo de una herramienta por medio de la cual este es capaz de cuantificar numéricamente y detectar diferencias de opacidad (a veces imperceptibles para el ojo humano), logrando así una evaluación objetiva del grado de opacidad, minimizando el sesgo de observación entre un médico y otro. La comunidad oftalmológica mundial se mantiene expectante acerca de los resultados de nuevos ensayos clínicos, experimentales y multicéntricos que están actualmente en curso para la prevención de esta complicación, a los cuales el PANDOC puede brindar soporte.

## **PALABRAS CLAVE**

Catarata secundaria, cirugía de catarata, opacidad de la cápsula posterior, sistema basado en casos, tomogramas Scheimpflug del Pentacam.

## ÍNDICE

|  |     |
|--|-----|
| AGRADECIMIENTOS.....   | I   |
| DEDICATORIA .....  | III |
| RESUMEN.....   | IV  |
| ÍNDICE .....   | V   |
| INTRODUCCIÓN.....  | 2   |
| CAPÍTULO 1.Opacidad capsular en pacientes sometidos a cirugía de catarata: Bases conceptuales..... | 7   |
| 1.1. Opacidad de la Cápsula Posterior: Conceptualización.....                                      | 7   |
| 1.2. Patogenia de la Opacidad de la Cápsula Posterior .....  | 7   |
| 1.3. Incidencia y prevención de la Opacidad de la Cápsula Posterior .....                          | 8   |
| 1.4. Herramientas para la cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior.....               | 9   |
| 1.4.1 POCO.....  | 9   |
| 1.4.2 AQUA .....   | 10  |
| 1.4.3 EPCO .....   | 11  |
| 1.4.4 OSCA .....   | 11  |
| 1.4.5 AA.....  | 12  |
| 1.4.6 IMAGE J.....   | 13  |
| 1.5. Sistemas Basados en el conocimiento.....  | 13  |
| 1.5.1 Composición de los Sistemas Basados en Casos .....   | 14  |
| 1.5.2 Sistemas Basados en Reglas .....   | 15  |
| 1.5.3 Sistemas Basados en Probabilidades.....  | 17  |
| 1.5.4 Razonamiento Basado en Casos.....  | 18  |
| 1.5.5 Componentes del Razonamiento Basado en Casos .....   | 19  |
| 1.5.6 Valoración del estudio de los Sistemas Basados en Casos .....                                | 20  |
| 1.5.7 Tipos de Búsqueda en los Sistemas Basados en Casos .....                                     | 21  |
| 1.5.8 Justificación de la selección de Búsqueda por Semejanza .....                                | 22  |
| 1.5.9 Base de Conocimientos .....  | 22  |
| 1.6. Herramientas usadas en el desarrollo.....   | 22  |
| 1.7. Conclusiones del capítulo .....   | 27  |



|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 2. Sistema basado en casos para la cuantificación objetiva de la opacidad capsular de un paciente operado de catarata ..... | 28 |
| 2.1. Fase de Planificación.....  | 28 |
| 2.1.1 Historias de Usuario .....   | 28 |
| 2.1.2 Plan de Iteración.....   | 29 |
| 2.1.3 Plan de Entrega.....   | 30 |
| 2.1.4 Implementación de la propuesta de solución .....   | 30 |
| 2.1.5 Tarjetas CRC.....  | 31 |
| 2.2. Visor de OCP.....   | 31 |
| 2.2.1 Interfaz gráfica de usuario .....  | 32 |
| 2.3. Reconocimiento de la OCP.....   | 34 |
| 2.3.1 Definición de los rasgos predictores y los rasgos objetivos.....   | 35 |
| 2.3.2 Dominio de definición de cada rasgo .....  | 36 |
| 2.3.3 Peso informacional de cada rasgo.....  | 36 |
| 2.3.4 Selección de las funciones de comparación de rasgos .....  | 37 |
| 2.3.5 Selección de la función de comparación de casos.....   | 37 |
| 2.3.6 Representación de los casos .....  | 38 |
| 2.3.7 Obtener el nuevo caso a resolver .....   | 38 |
| 2.3.8 Comparación del nuevo caso con la Base de Casos .....  | 39 |
| 2.3.9 Obtención de los 'k' casos más semejantes.....   | 39 |
| 2.3.10 Selección del rasgo objetivo .....  | 39 |
| 2.4. Conclusiones del Capítulo .....   | 40 |
| CAPÍTULO 3. Resultados y validación del sistema .....  | 41 |
| 3.1. Pruebas de software .....   | 41 |
| 3.1.1 Pruebas de unidad.....   | 42 |
| 3.2. Pruebas de aceptación .....   | 45 |
| 3.3. Conclusiones del capítulo .....   | 49 |
| CONCLUSIONES GENERALES.....  | 50 |
| RECOMENDACIONES .....  | 51 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 52 |
| ANEXOS.....  | 56 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS .....   | 62 |

## INTRODUCCIÓN

La opacificación de la cápsula posterior (OCP) es actualmente uno de los aspectos más importantes en la cirugía de catarata de los tiempos modernos. Sigue siendo la complicación posoperatoria tardía más frecuente tras la cirugía de catarata asociada con disminución de la agudeza visual, deterioro de la sensibilidad al contraste y problemas de deslumbramiento que conllevan importantes repercusiones sociales, médicas y económicas. Su incidencia en la actualidad se encuentra entre 0,7% y 47,6 % en los primeros cinco años de la cirugía, según un análisis de 90 estudios publicados. Este amplio intervalo de variación pudiera atribuirse a diferentes criterios de selección de la muestra, edad, técnica quirúrgica, tipo de lente intraocular (LIO) y sistemas de evaluación de la opacidad (Hernández López I y otros, 2009).

Diversas investigaciones han sido dirigidas a identificar los principales factores que influyen en la aparición de esta anomalía posoperatoria, entre estos se encuentran los relacionados con el diseño de los LIOs, como se describe en el estudio de Findl O y otros (2008). En el citado estudio se puede observar cómo influye la biocompatibilidad de la lente intraocular en relación con el saco capsular. Otro factor influyente son los implantes adicionales como los anillos de tensión capsular (Capsular Tension Ring: CTR), los cuales a pesar de su eficacia para la reducción significativa de la OCP no logran eliminarla totalmente; este efecto limitado y el costo adicional de la cirugía han dificultado que se generalice su uso (Hernández López I y otros, 2009). Las intervenciones farmacológicas han contribuido a interrumpir o inhibir la regeneración de las células epiteliales cristalinas, antimetabolitos (Hernández López I y otros, 2009), inmunotoxinas (Tenten Y y otros, 2001), antiinflamatorios (Cortina P y otros, 1997) y *trypanblue* (Portes ALF y otros, 2010). La aplicación de las nuevas tecnologías también ha permitido obtener cierto grado de avance en este campo, el uso de técnicas como *Cleanbagjet* (Dewey S, 2006), la fotólisis láser (Pollhammer M y otros, 2007) y la pieza de mano láser (Henderson BA. 2009), las cuales se encuentran actualmente en estudio para definir su utilidad en la reducción de la OCP. También se menciona la terapia genética, campo en el cual se realizaron estudios con planteamientos revolucionarios, evitando la diferenciación de las células epiteliales cristalinas (LEC: Lens epitelial cells) en células fibroblásticas que resultan en OCP (Gwon AE y otros, 1992) (Malecaze F y otros, 1999). No obstante, hasta el presente estas estrategias no han logrado eliminar la aparición de la OCP de manera definitiva.

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 propuestas. La mayoría de los

esfuerzos para el diseño de sistemas que cumplan con los objetivos de la investigación, tales como POCO del inglés *Posterior Capsule Opacification* (Barman SA y otros, 2000), AQUA (Cuantificación automática de catarata secundaria) (Findl O y otros, 2003), EPCO (Evaluación de la opacidad de la cápsula posterior) (Tetz MR y otros, 1997), y el sistema AA del inglés *Aslam Analysis* (Aslam TM y otros, 2005, Aslam TM y otros, 2005), están basados en las imágenes en retroiluminación obtenidas por las lámparas de hendiduras (Friedman DS y otros, 1999).

Estos sistemas mencionados anteriormente, tienen una desventaja muy peculiar producto de las imágenes resultantes de la lámpara de hendidura, como resultado de la reflexión del artefacto, llamadas imágenes de Purkinje. Han sido desarrollados varias aplicaciones informáticas propietarias para eliminar el efecto indeseable de dichas imágenes, con la función de múltiples imágenes de un mismo ojo (Buehl W y otros, 2003), fotografiadas en direcciones ligeramente diferentes de la mirada (Tetz MR y otros, 1997) (Buehl W y otros, 2002), pero ello involucra una curva de aprendizaje muy larga y un procesamiento tedioso.

El Pentacam es un equipo oftalmológico de alta tecnología capaz de reconstruir imágenes tridimensionales de alta resolución del polo anterior del ojo. Esto lo realiza a partir de múltiples fotografías tomadas mediante una cámara rotacional del sistema Scheimpflug con que cuenta el equipo. El análisis de estos tomogramas en 3D puede ser potencialmente utilizado para la cuantificación objetiva de la OCP (Grewal D y otros, 2008).

El primer sistema Scheimpflug capturaba imágenes en un único meridiano. Este sistema fue desarrollado más adelante por Hayashi y colaboradores en 1998, logrando analizar imágenes obtenidas en 4 meridianos. A Hayashi se deben los primeros trabajos reportados sobre el uso de las imágenes de Scheimpflug para cuantificar la OCP en ese año (Findl O. y otros, 2010) (Hayashi K y otros, 1998).

El moderno sistema Scheimpflug con que cuenta el Pentacam es capaz de capturar imágenes en múltiples meridianos (hasta 50 imágenes en 2 segundos) en un único escaneo automatizado. Posteriormente, calcula un modelo tridimensional del segmento anterior del ojo a partir de los 25 000 puntos de elevación real (Grewal D y otros, 2008). El equipo permite además aislar específicamente la estructura deseada de la imagen tomográfica, en este caso el saco capsular, para ser analizada posteriormente.

Los tomogramas del Pentacam tienen además la ventaja de no presentar destellos de luz que interfieran con el análisis como sucede con las fotografías en retroiluminación, tomadas por los sistemas de adqui-

sición de imágenes en lámpara de hendidura (Findl O y otros, 2003) (Bender L y otros, 2004) (Buehl W y otros, 2003).

Existe además un software que ha sido usado hoy en día en algunos estudios para el cálculo de la densidad de OCP, en imágenes de tomogramas del Pentacam, desarrollado por el NIH (National Institute of Health, Bethesda, MD), el ImageJ es un software gratuito y de libre descarga en <http://rsb.info.nih.gov/ij/> (accedido el 11 Octubre de 2007). Dicha aplicación constituye un software de tratamiento de imágenes, el cual brinda herramientas que pueden ser utilizadas para este propósito pero con algunas limitaciones, las cuales vienen dadas por su propósito más general. Por ejemplo, para los propósitos de estudio de la OCP, se puede utilizar la herramienta de selección circular la cual extrae una región que debe ser definida previamente por el usuario quien necesita tener conocimientos de informática y del uso de esta función del sistema, demorando y complicando la obtención del resultado final esperado. La escala en el ImageJ fue definida por la medición de la longitud del píxel utilizando una muestra conocida a escala real. Para los tomogramas del Pentacam 1 mm es equivalente a 36.52 píxeles en la pantalla (Grewal D y otros, 2008).

Dada la **situación problemática** expuesta anteriormente, se plantea como **problema**: ¿Cómo identificar las estructuras de opacidad capsular en tomogramas de Scheimpflug del Pentacam? A raíz de esto, se toma como **objeto de estudio** el reconocimiento de patrones en imágenes médicas y como **objetivo general**: Desarrollar un software capaz de cuantificar objetivamente la densidad y área que ocupa la OCP en relación con el eje visual del paciente operado de catarata. Y dentro de esta extensa área de trabajo se toma como **campo de acción**: Cuantificación objetiva de la OCP a partir de imágenes resultantes de los tomogramas de Scheimpflug del Pentacam en pacientes operados de catarata.

Teniendo en cuenta el problema a resolver se formuló la siguiente Hipótesis:

Si se desarrolla un software capaz de cuantificar objetivamente la densidad y área que ocupa la opacidad en relación con el eje, entonces se dotará al oftalmólogo de una herramienta efectiva para la detección de la incidencia de la OCP en pacientes sometidos a cirugía de catarata.

Para dar cumplimiento al objetivo de la investigación se definieron las siguientes **tareas de investigación**:

- Identificación de las diferentes técnicas de procesamiento de imágenes médicas.
- Selección de los algoritmos adecuados para las técnicas propuestas en el proyecto.

- Revisión de las técnicas de reconocimiento de patrones en imágenes médicas.
- Estudio del uso de bases de conocimientos en reconocimiento de patrones.
- Descripción de los pasos a seguir para el uso de un sistema basado en casos.
- Implementación de la base de conocimiento para el sistema basado en casos.
- Implementación de los algoritmos de identificación, aprendizaje y cálculo de la opacidad capsular en tomogramas de Scheimpflug del Pentacam.
- Desarrollo de la aplicación para la cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior en pacientes operados de catarata.

Para todo el proceso de investigación es necesario utilizar varios métodos científicos. Los cuales se reseñan a continuación.

**Método Analítico-Sintético:** Con el objetivo de analizar las teorías, documentos e información, permitiendo la extracción de los elementos más importantes que se relacionan con el reconocimiento de patrones en imágenes médicas.

**Inductivo – deductivo:** Para luego de inducir una serie de conocimientos referentes a la cuantificación objetiva de la opacidad de la cápsula posterior, poder arribar a razonamientos que conlleven a la deducción de conocimientos que puedan ser aplicables al problema a tratar en particular.

**Análisis histórico-lógico:** El cual permitirá analizar y estudiar la trayectoria y evolución de software de análisis de opacidad de la cápsula posterior en pacientes operados de catarata, para así poder contar con una noción de cuan desarrollado está el tema a nivel global y tomar la decisión de cuál o cuáles desarrollar.

**Experimento:** Método empírico mediante el cual, se realizarán experimentos y pruebas de los principales algoritmos de identificación, aprendizaje y cálculo de la opacidad de la cápsula posterior, para examinar los resultados en busca de escoger los más adecuados.

**Observación:** Mediante este método empírico se observarán los resultados obtenidos en la caracterización e identificación de los principales algoritmos utilizados, para poder decidir luego cuál o cuáles serán más adecuados.

La investigación está estructurada de la siguiente forma:

**Capítulo 1. Opacidad capsular en pacientes sometidos a cirugía de catarata: Bases conceptuales.** Se realiza un estudio de los aspectos fundamentales relacionados con la OCP, así como un estudio del arte de los Sistemas Basados en el Conocimiento como técnica de Inteligencia Artificial a utilizar en la solución propuesta y se realiza un análisis de herramientas computacionales para la cuantificación de la OCP existentes en la actualidad.

**Capítulo 2. Sistema basado en casos para la cuantificación objetiva de la opacidad capsular de los pacientes operados de catarata.** Se realiza una descripción detallada de la solución propuesta, se describe el diseño del software con todas las herramientas y tecnologías a utilizar; y el modelado completo de la solución. Además se profundiza en el razonamiento basado en casos.

**Capítulo 3. Resultados y validación del sistema.** Se muestra el conjunto de pruebas realizadas a la herramienta y los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO 1. Opacidad capsular en pacientes sometidos a cirugía de catarata: Bases conceptuales**

En este capítulo se abordan conceptos como el de incidencia y patogenia de la OCP, que ayudarán en la comprensión del tema tratado y servirán de soporte para la elaboración del software, además se describe como se realiza la detección de esta complicación oftalmológica. También se realiza un estudio del arte de los Sistemas Basados en Conocimiento como técnica de Inteligencia Artificial a utilizar en la solución propuesta y se realiza un análisis de herramientas computacionales para la cuantificación de la OCP existentes en la actualidad.

### **1.1. Opacidad de la Cápsula Posterior: Conceptualización**

La extracción extracapsular de la catarata (EECC) con implante de lente intraocular es la técnica quirúrgica más usada para el tratamiento de catarata en la actualidad. En esta, a diferencia de la extracción intracapsular de la catarata (EICC), se extrae del ojo únicamente el cristalino opacificado dejando la cápsula posterior intacta. Esta estructura constituye una barrera anatómica entre los segmentos anterior y posterior del ojo, que se cree reduce el riesgo de complicaciones en el segmento posterior después de la cirugía (como el edema macular cistoideo y el desprendimiento de retina). Sin embargo, dejar la cápsula intacta puede dar lugar a complicaciones a largo plazo, principalmente la opacificación de la cápsula posterior (Findl O y otros, 2008).

La cápsula posterior es una estructura que anatómicamente queda por detrás de la lente intraocular implantada en el paciente operado de catarata. Para garantizar una buena recuperación visual del paciente es imprescindible la transparencia de esta estructura. Desafortunadamente en no pocos pacientes se desarrolla, en un tiempo variable, una opacificación de la cápsula posterior que repercute negativamente en el resultado visual del paciente. A esto se le conoce en el campo de la oftalmología como OCP y constituye la complicación tardía más importante de la cirugía moderna de la catarata.

### **1.2. Patogenia de la Opacidad de la Cápsula Posterior**

Clínicamente, la OCP relacionada intrínsecamente con la cápsula posterior se subdivide en dos tipos: regenerativa y fibrótica. La OCP regenerativa es mucho más frecuente y es resultado de la migración de las

LEC a lo largo de la cápsula posterior hasta la región retrolental formando agregados celulares conocidos como perlas de Elsching. En la OCP fibrótica las células epiteliales residuales del cristalino experimentan la transformación a miofibroblastos, lo que ocasiona fibrosis y contracción de la bolsa capsular (Findl O, y otros. 2008). Esta transformación fibroproliferativa es inducida por la liberación de mediadores inflamatorios y citoquinas, particularmente el TGF-  $\beta$  (Transforming growth factor beta) que está contenido en una matriz extracelular secretada por los propios agregados celulares (Yuen C y otros, 2006, Wormstone IM, 2002).

### 1.3. Incidencia y prevención de la Opacidad de la Cápsula Posterior

La incidencia de la OCP en pacientes operados de catarata, en la actualidad se encuentra entre 0,7% y 47,6 % en los primeros cinco años de la cirugía, según un análisis de 90 estudios publicados (Hernández López I y otros, 2009). Diferentes investigaciones han sido dirigidas a identificar los principales factores que influyen en la aparición de esta complicación posoperatoria para su posible prevención, entre estos se encuentran los relacionados con el diseño de los lentes intraoculares (LIOs), como se describe en el estudio de Findl O y otros (2008), en el cual se muestran datos referentes a la geometría de los LIOs y como esta puede influir de manera determinante en la formación de la OCP; en (Amon M, 2001) podemos observar cómo influye la biocompatibilidad de la LIO en relación con el saco capsular, ello se define basándose en la propiedad que tiene el material con el que está confeccionado, para inhibir la estimulación de la proliferación de las LEC.

Las modificaciones de las técnicas quirúrgicas son otro de los factores determinantes, estas incluyen el pulido del saco capsular y el control del tamaño de la capsulorrexia, ello se puede constatar en una serie de estudios realizados por diversos investigadores (Menapace R y otros, 2004, Bolz M y otros, 2006, Menapace R y otros, 2005); otro factor influyente son los implantes adicionales como los anillos de tensión capsular (Capsular Tension Ring: CTR), a pesar de su eficacia demostrada para la reducción significativa de la OCP, no logran eliminarla totalmente; este efecto limitado y el costo adicional de la cirugía han dificultado que se generalice su uso (Hernández López I y otros, 2009); un profundo estudio sobre este tema ha sido realizado por Hehn F, (2004). Las intervenciones farmacológicas han contribuido a interrumpir o inhibir la regeneración de las células epiteliales cristalinas, antimetabolitos (Hernández López I, y otros. 2009), inmunotoxinas (Clark DS y otros, 1998, Meacock WR y otros, 2000, Tenten Y y otros, 2001), antiinflamatorios (Chandler HL y otros, 2007, Cortina P y otros, 1997) y *trypanblue* (Portes ALF y otros, 2010).



La aplicación de las nuevas tecnologías, ha sido otra gama de estudios en este campo, el uso de técnicas como *Cleanbagjet* (Dewey S. 2006), la fotólisis láser (Pollhammer M, y otros. 2007) y la pieza de mano láser (Henderson BA. 2009), las cuales se encuentran actualmente en estudio para definir su utilidad en la reducción de la opacificación de la cápsula posterior; por último, se menciona la terapia genética, en el campo de la genética se realizaron estudios con planteamientos revolucionarios, evitando la diferenciación de las LEC en células fibroblásticas que resultan en OCP (Gwon AE, y otros. 1992) (Malecaze F, y otros. 1999), no obstante, hasta el presente estas estrategias no han logrado eliminar la aparición de la OCP de manera definitiva.

#### **1.4. Herramientas para la cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior**

La herramienta habitualmente usada por el oftalmólogo que le permite visualizar la OCP es la lámpara de hendidura, también conocida como biomicroscopio. Es un instrumento de visualización directa de esta estructura pero su limitación radica en que la evaluación del grado de opacidad de la cápsula posterior la hace el médico de manera subjetiva según su apreciación visual, lo que puede variar según la experiencia del cirujano.

Es por ello que algunos autores han desarrollado diferentes soluciones informáticas para reducir la subjetividad y lograr una evaluación objetiva y reproducible de esta complicación. A continuación se describen algunos de estos sistemas y sus principales deficiencias, así como la influencia de la calidad de las imágenes en la obtención de resultados investigativos con elevada calidad. Terminando el apartado, se presenta la utilización de las imágenes de la cámara Scheimpflug del Pentacam, las cuales han brindado mejores resultados según Hernández López I y otros (2011).

##### **1.4.1 POCO**

POCO (*Posterior Capsule Opacity*): En este sistema también deben obtenerse imágenes por retroiluminación que son evaluadas usando un análisis de los píxeles basado en la diferencia de texturas. Esta evaluación, al igual que en el sistema EPCO, es semiobjetiva, ya que el examinador debe elegir el área afectada y clasificarla según su severidad: el programa divide la zona dentro de la capsulorrexis en 56 pequeños segmentos de igual área, el examinador debe marcar los segmentos que estén opacificados en más del 50% de su área y luego asignar a éstos un nivel de severidad (leve, moderado o severo). El resultado

viene dado en forma de porcentaje de opacificación de 0 a 100%. Se calcula la severidad de la opacificación mediante la fórmula:

$$[(\text{área de grado 1} \times 1) + (\text{área de grado 2} \times 2) + (\text{área de grado 3} \times 3)] / \text{área total}.$$

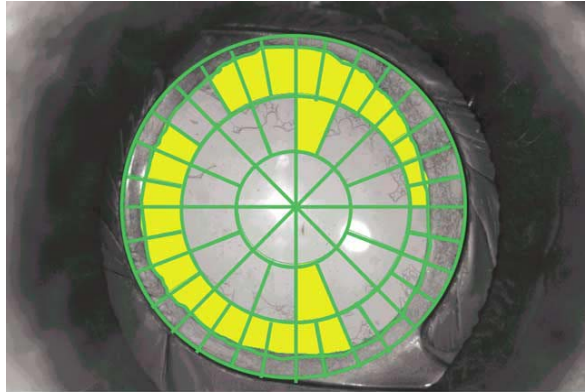


Figura 1: Software POCO.

#### 1.4.2 AQUA

AQUA (*Automated Quantification of After-Cataract*): Se obtienen imágenes con retroiluminación y se importan al programa. Se selecciona y analiza el área dentro de la capsulorrexis. Este programa está basado en texturas. Para calcular la no homogeneidad de la imagen se calcula la entropía (grado de desorden) de un mapa de bits. Es totalmente automático y no tiene pasos subjetivos. El resultado que se obtiene es un índice de 0 a 10.

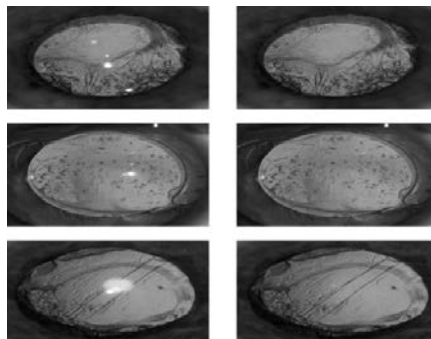


Figura 2: Software AQUA.

### 1.4.3 EPCO

EPCO (Evaluación de la opacidad de la cápsula posterior) desarrollado por Tetz y col, en 1997. Se obtienen imágenes de la lente por retroiluminación, se transfieren al programa, se marca el área a estudio (algunos autores analizan el área tras la óptica, otros el área dentro de la capsulorrexis anterior y también es posible examinar la zona central comprendida por 3-4 mm), luego se remarcan las zonas opacificadas con el ratón y se clasifican subjetivamente en 4 grupos: mínimo, leve, moderado y severo. El índice de OCP viene dado al multiplicar el grado de opacificación por el área seleccionada. El resultado obtenido es un índice de 0 a 4. Al igual que el software POCO calcula la severidad de la opacificación mediante la fórmula  $[(\text{área de grado 1} \times 1) + (\text{área de grado 2} \times 2) + (\text{área de grado 3} \times 3)] / \text{área total}$ .



Figura 3: Software EPCO.

### 1.4.4 OSCA

OSCA (*Open-Access Systematic Capsule Assessment*): Importa en el software dos imágenes digitales de la OCP, una base y otra de referencia que es registrada en relación a la primera. Se escogen 8 puntos de concordancia entre las imágenes para eliminar los flashes. Delineado del área de interés a medir manualmente o con tamaños predeterminados. Eliminación del fondo (*Background Remove*) e intercambio de aéreas brillantes. Se presiona el botón de cálculo y se muestra el índice de OCP en un rango de 0 a 15.

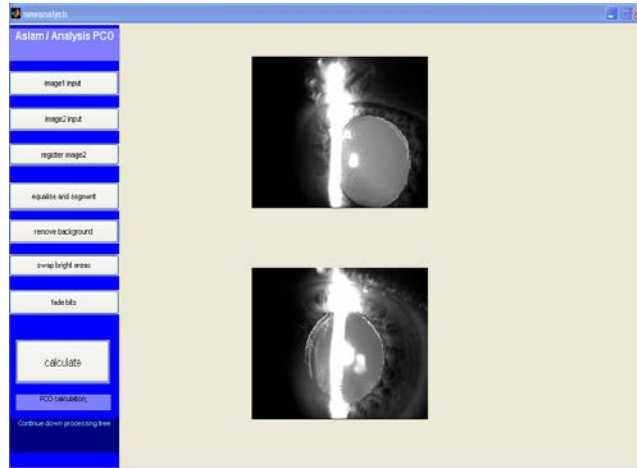


Figura 4: Software OSCA.

### 1.4.5 AA

Este sistema fue diseñado y programado utilizando la plataforma de programación MatLab. Todo el diseño de la programación y la escritura de código fueron por TM Aslam (2005) y para mayor claridad el sistema se conoce por lo tanto como el análisis Aslam (AA). El primer problema encontrado fue uno de iluminación desigual en las imágenes. Incluso con las grandes áreas de reflejos de luz aberrantes retirados, utilizando la fusión con imágenes similares, pero vírgenes, una iluminación de fondo generalmente variables de toda la imagen puede causar errores en el análisis de imágenes. Aunque un sistema para la eliminación de registro basado de imágenes de luz está siendo probado y desarrollado por TM Aslam, todavía se necesita una curva de aprendizaje larga y sigue influyendo el efecto negativo de la iluminación de fondo.

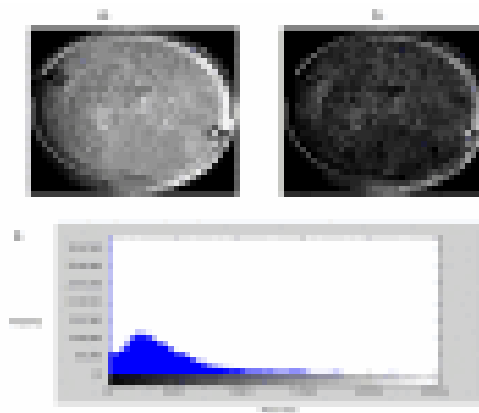


Figura 5: Software AA.

### 1.4.6 IMAGE J

Desarrollado por el *National Institute of Health* de Estados Unidos. Está basado en los cálculos realizados por Grewal y otros (2008) quienes determinaron que para los tomogramas del Pentacam un área de 4 mm corresponde a 16 752 píxeles en la imagen. Se utilizan las herramientas *Find Edges* (hallar bordes) y *Measure* (medición) para calcular el valor promedio de la intensidad de píxeles del área seleccionada en los tomogramas Scheimpflug, como indicador de la opacidad capsular posterior, expresado en unidades (U). Esta herramienta es creada con otros fines, lo que hace que la curva de aprendizaje sea larga, además de que no diferencia los píxeles de fondo a la hora de dar el resultado.

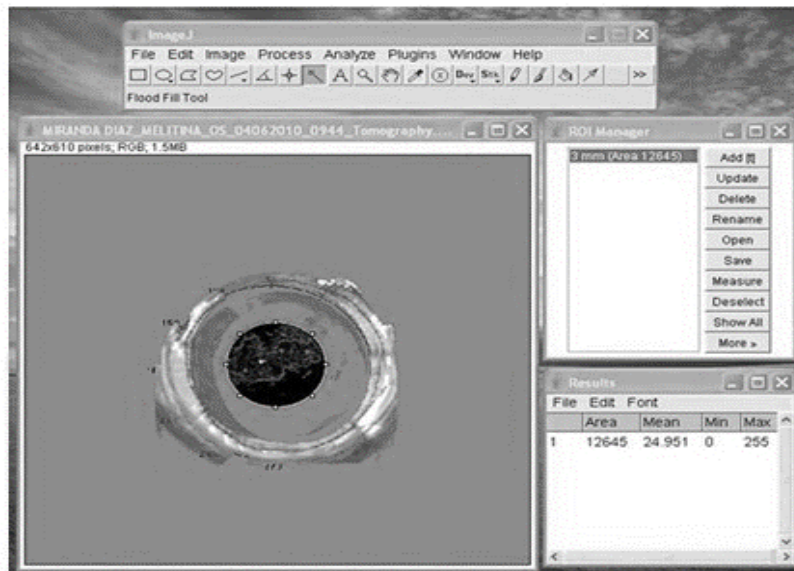


Figura 6: Software Image J.

### 1.5. Sistemas Basados en el conocimiento

Los Sistemas basados en Conocimiento representan un paso delante de los sistemas de información convencionales al pretender representar funciones cognitivas del ser humano como el aprendizaje y el razonamiento (Peña Ayala A, 2006). Se pueden definir como aquel programa de ordenador que contiene la erudición de un especialista humano versado en un determinado campo de aplicación (Pino Diez R y otros, 2001).

Estos sistemas tienen notables ventajas sobre los expertos humanos. Por una parte, el conocimiento contenido en ellos es más fácil de documentar y de transferir que el de los expertos humanos. Por otra parte, dicho conocimiento es remanente, es decir, permanece tras la desaparición de los expertos, por lo que constituye lo que se ha dado en llamar la memoria institucional del organismo o empresa que lo ha desarrollado. Ahora bien, presentan claras limitaciones al compararlos con los expertos humanos. Ante todo carecen por completo de creatividad y sentido común. Además solo sirven para parcelas bien acotadas de conocimiento frente a la mayor universalidad del conocimiento humano (Pino Diez R y otros, 2001).

### 1.5.1 Composición de los Sistemas Basados en Casos

Estos sistemas emplean una amplia variedad de arquitecturas. Estas son específicas según su aplicación, sin embargo, se puede generalizar un módulo de componentes que normalmente se deben integrar en cualquier ámbito, cuyos elementos se ilustran en la Figura 7:

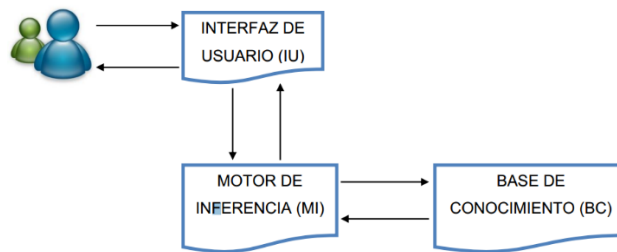


Figura 7: Arquitectura de un sistema basado en casos.

Una característica distintiva de los sistemas basados en casos (SBC) es la separación del conocimiento (base de conocimiento) del método de solución del problema (máquina de inferencia). La construcción de la base de conocimiento lleva implícito un arduo proceso de adquisición del conocimiento y es particular para cada sistema, por lo que será necesario construirla para cada aplicación. Sin embargo, la máquina de inferencia puede reutilizarse en la construcción de varios SBC siempre que el tipo de conocimiento y el tipo de razonamiento sea similar. La máquina de inferencia es el método implementado que utiliza el conocimiento de la base para resolver los problemas de su dominio (Soria Francis S, 2010).

El conocimiento que se almacena en la Base de Conocimientos es de diferentes tipos (Hernández Orallo J y otros, 2004):

- Simbólico, sobre cómo resolver los problemas del dominio.
- Probabilidades o frecuencias que modelan como se relacionan los valores de los diferentes rasgos que caracterizan el dominio.
- Pesos de una red neuronal.
- Casos o ejemplos de problemas del dominio.

Estos diferentes tipos de conocimiento dan lugar a diferentes tipos de SBC (Hernández Orallo J y otros, 2004):

- Sistemas Basados en Reglas.
- Sistemas Basados en Probabilidades.
- Sistemas Expertos Conexionistas o Redes Expertas.
- Sistemas Basados en Casos.

### 1.5.2 Sistemas Basados en Reglas

En general los primeros sistemas expertos pertenecían a este tipo de sistemas (Gámez Marín J. A. y otros, 1998). El proceso de solución de problemas en un sistema basado en reglas (SBR) es crear una cadena de inferencias que constituye un camino entre la definición del problema y su solución. Estos se definen a partir de un conjunto de objetos, que representen las variables del modelo considerado, ligadas mediante un conjunto de reglas, que representarán las relaciones entre las variables (Sánchez Ortiz S, 2011).

Las reglas nos permiten representar el conocimiento del siguiente tipo (Gámez Marín J. A. y otros, 1998):

**SI** *la temperatura es superior a 37°C* **ENTONCES** *el paciente tiene fiebre.*

**SI** *un libro es anterior al siglo XVII Y es raro* **ENTONCES** *es un libro caro.*

En general las reglas son del tipo:

**SI** condición **ENTONCES** acción

Siendo la parte del **SI** de la regla (también llamada premisa o antecedente) evaluada y en caso de ser cierta, la parte **ENTONCES** (también llamada acción o consecuente) se activa, dando como resultado un nuevo conjunto de hechos.

A pesar de las múltiples ventajas de este tipo de sistemas y que la expresión del conocimiento basado en reglas se aproxima a la forma natural de razonar de los expertos humanos, también presentan inconvenientes, como por ejemplo:

1. Mantenimiento de la coherencia entre las reglas de la base de conocimiento (Gámez Marín J. A. y otros, 1998):
  - Un encadenamiento infinito, que aparece cuando en la base de conocimiento encontramos reglas del tipo:

**SI A ENTONCES B**

...

**SI B ENTONCES A**

- Problemas de ampliación de la base de conocimiento:

En algunas situaciones es necesario realizar una actualización del conocimiento, por ejemplo añadiendo excepciones para un determinado conjunto de reglas o bien incorporando un nuevo conocimiento. En estos casos, y con la finalidad de mantener la coherencia entre las reglas, puede ser necesario incluir un elevado número de reglas, provocando que la base de conocimiento se haga innecesariamente grande. En estas situaciones, puede ser preferible reconstruir la base de conocimiento con el coste que esto implica.
2. Dificultades para retractarse de conclusiones anteriores (Gámez Marín J. A. y otros, 1998):
    - Este problema viene provocado por el carácter modular y monótono de este tipo de sistemas. Así cuando se cumple la premisa de una regla, nos da licencia para actuar sin tener en cuenta el resto del conocimiento.
  3. Opacidad (Gámez Marín J. A. y otros, 1998):



- La división de la base de conocimiento en pequeñas reglas tiene como ventaja que cada una de ellas es fácil de usar individualmente, ganando el sistema en modularidad. Sin embargo se tiene que pagar un precio por ello (que en muchos casos es muy elevado) consiste en una pérdida de una perspectiva global sobre el problema que estamos considerando.
4. Ineficiencia (Gámez Marín J. A. y otros, 1998):
- Durante el proceso de inferencia, en cada iteración es necesario chequear cada regla para ver si es aplicable. Este proceso, aun cuando se han hecho avances para tratar de solucionarlo, es altamente costoso.

### 1.5.3 Sistemas Basados en Probabilidades

Desde un punto de vista general, en un sistema experto probabilístico la base de conocimiento está formada por un conjunto de variables  $X_1, \dots, X_n$  y una distribución de probabilidad conjunta sobre ellas  $P(X_1, \dots, X_n)$ . Por otro lado un motor de inferencia será aquel que nos permita actualizar nuestra información sobre determinada variable (o conjunto de ellas)  $X$ , ante la presencia de un conjunto de hechos, evidencias o síntomas determinados  $E$ . En teoría de la probabilidad este motor de inferencia no es más que el cálculo de la probabilidad condicional  $P(X|E)$  (Gámez Marín J. A. y otros, 1998).

En este tipo de sistemas la adquisición del conocimiento consiste en coleccionar muestras y realizar un procesamiento estadístico que produzca las probabilidades o frecuencias que forman la base de conocimiento. Dentro de sus principales dificultades encontramos:

- No son viables para explicar el razonamiento, ya que los métodos y modelos que utiliza están aún lejos de ofrecer explicaciones comprensibles (Soria Francis S y otros, 2010).
- No son factibles para todo tipo de dominio, pues se dificulta construir las redes con ayuda de expertos humanos cuando existen carencias de conocimiento (Soria Francis S y otros, 2010).
- El alto número de parámetros que manejan, lo que hace que sea difícil su especificación y definición (Pérez Lara A y otros, 2011).
- La implementación del motor de inferencia es más complicada y se vuelve costosa computacionalmente en la mayoría de los casos (Pérez Lara A y otros, 2011).

#### **1.5.4 Razonamiento Basado en Casos**

El enfoque de razonamiento basado en casos (RBC) se basa en dos principios sobre la naturaleza del mundo. El primer principio es que el mundo es regular: problemas similares tienen soluciones similares. En consecuencia, las soluciones para problemas similares anteriores son un buen punto de partida para la nueva resolución de problemas. El segundo principio es que los tipos de problemas de un agente de encuentros tienden a repetirse. En consecuencia, problemas en el futuro es probable que sean similares a los problemas actuales. El RBC es una estrategia de razonamiento efectivo (Leake D, 1996).

Este sistema de razonamiento se basa en una unidad mínima llamada caso, el cual tiene dos componentes: rasgos predictores (descripción del problema) y rasgos objetivos (solución del problema). Un caso es una pieza contextualizada de conocimiento, la cual representa una experiencia que enseña una lección fundamental para el logro de los objetivos del razonador (Kolodner J, 1993).

El RBC es un paradigma para la resolución de problemas nuevos partiendo del análisis y adaptación de soluciones que fueron dadas a problemas previos, que se encuentran almacenados y organizados en una biblioteca o base de casos. Cuando un nuevo problema es encontrado, el RBC recuerda casos similares y adapta las soluciones que funcionaron en el pasado al problema actual (Soria Francis S y otros, 2010). Si encuentra un caso similar, retorna la solución acompañando a ese caso. Sino encuentra ningún caso idéntico, el razonador buscará casos de entrenamiento que tienen componentes similares a aquellas del nuevo caso. El sistema es capaz de aprender a través de la agregación de nuevos casos (Bello Pérez R. E, 2002).

Problemas cuya solución posea forma similar presentan soluciones similares. En consecuencia con lo anterior, soluciones de problemas previos similares al actual son un punto de partida útil para las soluciones de un nuevo problema (Soria Francis S y otros, 2010). Además, incrementa el conocimiento almacenando el nuevo caso para ser aplicado en situaciones futuras. Esto permite que el conocimiento se mantenga actualizado en todo momento (Febles Rodríguez J. P. y otros, 2002).

### 1.5.5 Componentes del Razonamiento Basado en Casos



Figura 8: Componentes del RBC, tomado de (Gómez Y y otros, 2012).

En la Base de Casos (BC), se almacena el conocimiento necesario para resolver los problemas del dominio de aplicación, puede ser representada a través de una tabla en la cual las columnas son etiquetadas por variables que representan los rasgos predictores y los rasgos objetivos (decisiones) y las filas representan casos. El motor de Inferencia (MI), es un procedimiento basado en un esquema de razonamiento o método de solución de problemas, que utiliza el conocimiento para resolver los problemas de ese dominio y la Interfaz de Usuario (IU) permite la comunicación entre el usuario y el ordenador (Bello Pérez R. E, 2002). La interfaz visual posibilita a los expertos, de una forma interactiva y amigable, introducir en la BC todo el conocimiento sobre el tema en cuestión. También es el componente a través del cual el usuario solicita al razonador que haga la búsqueda que requiere (Rodríguez K, 2010).

Por las utilidades del RBC ha sido utilizado en diversos dominios de aplicación, como el campo jurídico, la medicina, el diseño, tareas de planificación, etc. Su uso ha brindado muchas ventajas, como las siguientes:

1. El esfuerzo en la solución de problemas puede ser capturado para ahorrar trabajo en el futuro.
2. Experiencias previas que hayan sido exitosas pueden ser utilizadas para justificar nuevas soluciones.

3. Experiencias previas que no hayan sido exitosas se pueden utilizar para anticipar problemas.
4. La comunicación entre el sistema y los expertos se realiza en base a ejemplos concretos, es decir, el sistema explica sus decisiones citando precedentes.
5. Trabaja a partir de casos existentes por lo que no se requieren demasiadas entrevistas con los expertos, simplificándose la adquisición del conocimiento.
6. Es un algoritmo de aprendizaje acumulativo, el aprendizaje tiene lugar tan pronto como un nuevo ejemplo está disponible, sin excesivo costo computacional.
7. Permite proponer soluciones para los problemas rápidamente, evitando el tiempo necesario para derivar respuestas desde el estado inicial de un proceso de búsqueda de soluciones.
8. Permite proponer soluciones en dominios que no se comprenden completamente.
9. Los casos ayudan a focalizar el razonamiento sobre las partes importantes de un problema señalando qué rasgos del problema son importantes.

A pesar de las numerosas ventajas del RBC existen elementos que lo hacen inconveniente para algunos dominios de aplicación como los siguientes:

1. El sistema no explora todo el espacio de soluciones, por lo que no siempre encuentra la solución óptima.
2. Requiere de una base de datos considerablemente grande y bien seleccionada.
3. La consistencia entre varios casos es difícil de mantener. Depende de una adecuada función de semejanza la cual no es fácil de encontrar para cada aplicación.

### **1.5.6 Valoración del estudio de los Sistemas Basados en Casos**

Se concluye que no todos los paradigmas para crear sistemas basados en el conocimiento facilitan la identificación de opacidad en imágenes del Pentacam. Se escoge el uso del Razonamiento Basado en Casos, dado que el conocimiento puede expresarse en función de casos o vivencias, además representan experiencias anteriores, cada caso constituye una solución, sin necesitar una interrelación entre ellos para obtener una solución al problema. Los sistemas anteriormente expuestos presentan deficiencias como la

falta de viabilidad para explicar el razonamiento, la posibilidad de encadenamiento infinito al insertar una nueva regla y el uso de la probabilidad no es una teoría aceptada en un diagnóstico médico, sobre el dominio de aplicación de la presente investigación.

### **1.5.7 Tipos de Búsqueda en los Sistemas Basados en Casos**

Durante la recuperación de los casos, se necesita realizar un proceso de búsqueda, el cual brindará como resultados el o los casos que podrán ser tomados como solución al problema. A continuación se expone una breve explicación de los tipos de búsqueda que se pueden utilizar durante el proceso antes mencionado.

#### **Búsqueda por analogía**

La búsqueda por analogía, significa determinar si la descripción del problema es equivalente a la descripción de alguno de los casos almacenados, es decir, probar la equivalencia entre los valores de los rasgos predictores, aunque sean diferentes, comprobando si semánticamente tienen igual significado (Corona Prendes F. D y otros, 2013).

Para este análisis se utiliza una red semántica, en la cual los nodos representan valores y rasgos. Además los enlaces indican el grado de relación entre ellos. Dos valores son equivalentes si están enlazados con el mismo concepto por el mismo tipo de relación, a partir del mismo punto de vista (Agudo B, 2001).

#### **Búsqueda por semejanzas**

La búsqueda por semejanzas, tiene como objetivo obtener el caso almacenado que más se parece al nuevo problema. Existen diversas formas de medir el grado de semejanza, estas pueden ser, desde expresiones analíticas de distancia hasta la descripción de algoritmos para obtener el grado de parecido entre dos objetos. Esto depende del tipo de información que se presente (Rodríguez Y, 2003).

Considerando que un caso está descrito por un número de características, una aproximación sencilla sería contabilizar los atributos comunes entre el caso almacenado y el nuevo problema. Se suele distinguir entre medidas de semejanzas locales y globales, las primeras calculan la semejanza entre valores de un mismo atributo en los dos casos y la segunda combina los resultados de aplicar la similitud local a cada uno de los atributos de los casos que se están comparando. Una estrategia para definir semejanza entre atributos

simbólicos, consiste en utilizar una tabla de semejanzas, donde se obtiene explícitamente la similitud entre cada par de valores (Rodríguez Y, 2003).

### **1.5.8 Justificación de la selección de Búsqueda por Semejanza**

Para la identificación de regiones con opacidad en imágenes médicas tomadas con el PENTACAM, se propone usar una búsqueda por semejanza. Al existir un caso nuevo se buscarán los más semejantes en la BC para realizar así la recuperación de los casos, usando las funciones de semejanza de Rasgos y Casos propuestas por (Ruíz Shulcloper J y otros, 1995).

### **1.5.9 Base de Conocimientos**

En las últimas décadas la forma de enfrentarnos a la obtención y gestión de conocimientos ha conocido un desarrollo notable gracias a los avances registrados en el campo de la Inteligencia Artificial. Pero quizás uno de los factores que más ha contribuido a este desarrollo es la introducción de la distinción entre bases de datos y bases de conocimiento (Borja A, 2005).

El autor Moreno Ortiz (2000) define el concepto de “base de conocimientos” como el sistema que contiene una representación simbólica de ciertas entidades, objetos, relaciones y hechos que constituyen el acervo de conocimientos involucrados en el desempeño de una tarea.

La base de conocimientos contiene representaciones simbólicas del conocimiento de los expertos, definiciones de los términos, interconexiones y relaciones causa-efecto entre los componentes (Borja A, 2005).

## **1.6. Herramientas usadas en el desarrollo**

A la hora de desarrollar un producto de software es necesario aplicar una metodología que guíe el proceso de desarrollo de dicho software para que reúna todos los requisitos y calidad esperados por el cliente.

### **Metodología de software**

Según Mario Piattini una metodología de desarrollo de software es “un conjunto de procedimientos, técnicas, herramientas y un soporte documental que ayuda a los desarrolladores a realizar un nuevo software” (Piattini, 2007). Una metodología es la que define Quién debe hacer Qué, Cuándo y Cómo.

Seleccionar una metodología apropiada, resulta en ocasiones un factor esencial para obtener un software con la calidad esperada. Actualmente no existe una metodología global que se le pueda aplicar a todos los proyectos y su selección depende de las características del mismo.

Existen dos grandes grupos o corrientes que agrupan las metodologías de desarrollo del software, las metodologías tradicionales o pesadas y las metodologías ágiles o ligeras. “Las primeras están pensadas para el uso exhaustivo de documentación durante todo el ciclo del proyecto mientras que las segundas ponen vital importancia en la capacidad de respuesta a los cambios, la confianza en las habilidades del equipo y al mantener una buena relación con el cliente” (Figueroa, y otros, 2009).

Se determina utilizar una metodología ágil, debido a:

- El equipo de desarrollo, es de solo una persona.
- Se necesitan versiones funcionales de la solución a corto plazo.
- La dificultad para un equipo de desarrollo pequeño para adoptar una metodología robusta a causa de la cantidad de documentación generada y la alta resistencia a los cambios durante el desarrollo.
- La existencia de la presencia constante del cliente en el proceso de desarrollo.

Por lo que durante la elaboración de la aplicación se utiliza para establecer el control y utilizar un marco de trabajo definido y de probada eficiencia, la metodología de software XP, programación extrema, la cual está comprendida dentro de las metodologías de desarrollo de software ágiles y como tal trata de reducir la complejidad de software orientando el trabajo directamente al objetivo, basado en las relaciones interpersonales y la velocidad de reacción, teniendo como principal peculiaridad la presencia, a tiempo completo en el desarrollo, de un representante del cliente. Esta metodología se basa en la comunicación, la claridad y la reutilización continua de código. Tiene como objetivo fundamental la satisfacción del cliente.

De manera general se puede expresar que es recomendable usar XP debido a que los requisitos tienen altas probabilidades de cambiar con el tiempo (porque el cliente no tiene claro lo que quiere, o porque el cambio de requisitos está ligado al dominio del problema a resolver), el proyecto cuenta con un grupo pequeño de programadores.

Características de XP (Beck, 1999):

- XP es una metodología “liviana” que no tiene en cuenta la utilización de elaborados casos de uso, la exhaustiva definición de requerimientos y la generación de una extensa documentación.
- XP tiene asociado un ciclo de vida y es considerado a su vez un proceso.
- La tendencia de entregar software en espacios de tiempo cada vez más pequeños con exigencias de costos reducidos y altos estándares de calidad.
- XP define Historias de Usuario como base del software a desarrollar, estas historias las escribe el cliente y describen escenarios sobre el funcionamiento del programa, a partir de las historias de usuario y de la arquitectura perseguida se crea un plan de liberaciones entre el equipo de desarrollo y el cliente.

XP consta de cuatro fases:

- Planificación.
- Diseño.
- Desarrollo.
- Pruebas.

### Lenguaje de programación

Muchas veces la elección de un lenguaje de programación para resolver un problema del mundo real se hace por facilidad, experiencia o simplemente por actualidad, que aunque son razones válidas no garantizan la solución más eficiente ni mucho menos la más barata (recursos). Es importante saber elegir el lenguaje en función de compatibilidad, portabilidad y facilidad para resolver una tarea determinada.

Para el desarrollo de esta aplicación se escogió como lenguaje de programación a Java, por ser un lenguaje puro Orientado a Objetos, lo que le propina una gran reusabilidad; independencia de la plataforma, significa que programas escritos en el lenguaje Java pueden ejecutarse igualmente en cualquier tipo de hardware. Además posee un recolector automático de basura (*garbage collector*) lo cual independiza al programador de tener que administrar memoria solicitada dinámicamente de forma manual (García JJ, 2000).

Dentro de las características fundamentales de Java se encuentran (Oracle Corporation, 2010):

- **Simple:** elimina la complejidad de otros lenguajes como C y se enfoca en el contexto de los lenguajes orientados a objetos.



- **Robusto:** maneja la memoria de la computadora para que el programador no se tenga que preocupar por ello, además de realizar verificaciones en busca de errores lo mismo en tiempo de compilación que en tiempo de ejecución.
- **Portable:** un programa compilado de Java puede ser utilizado por cualquier computadora que tenga implementado el intérprete de Java, ya que su código compilado es interpretado.
- **Multiproceso:** puede ejecutar diferentes líneas de código al mismo tiempo.
- **Dinámico:** no es necesario que compile todas las clases de un programa para que este funcione. Al efectuar al menos un cambio en alguna de las clases, Java se encarga de realizar un enlace dinámico o una carga dinámica para encontrar las clases.
- **Interpretado:** corre en máquina virtual.

### Entorno integrado de desarrollo

Como entorno integrado de desarrollo (IDE) se utilizó Netbeans, ya que es una herramienta para programadores pensada para escribir, compilar, depurar y ejecutar programas. Está escrito en Java, pero puede servir para cualquier otro lenguaje de programación. Existe además un número importante de módulos para extender el IDE Netbeans. Es un producto libre y gratuito sin restricciones de uso.

Además es un entorno de desarrollo disponible para varios sistemas operativos como Windows, Mac, Linux y Solaris (Oracle Corporation, 2010). NetBeans consta de un IDE de código abierto con gran diversidad de funciones escrito con el lenguaje de programación Java y una plataforma para aplicaciones de cliente enriquecido que se puede utilizar como marco genérico para crear cualquier tipo de aplicación, tanto empresariales como de escritorio y móviles. Para el desarrollo se utilizó NetBeans IDE en su versión 7.4.

### Sistema gestor de base de datos

Como sistema gestor de base de datos (SGBD) se usó SQLite, el cual está contenido en una relativamente pequeña (~500kb) biblioteca en C y es un proyecto público. A diferencia de los SGBD cliente-servidor, el motor de SQLite no es un proceso independiente con el que el programa principal se comunica. En lugar de eso, la biblioteca SQLite se enlaza con el programa pasando a ser parte integral del mismo. El programa utiliza la funcionalidad de SQLite a través de llamadas simples a subrutinas y funciones. Esto reduce la latencia en el acceso a la base de datos (BD), debido a que las llamadas a funciones son más eficientes que la comunicación entre procesos (SQLite, 2010).

El conjunto de la BD (definiciones, tablas, índices, y los propios datos), son guardados como un sólo fichero estándar en la máquina host. Este diseño simple se logra bloqueando todo el fichero de BD al principio de cada transacción. El autor de SQLite ofrece formación, contratos de soporte técnico y características adicionales como compresión y cifrado. Este SGBD dispone de una completa interfaz orientada a objetos, con distintas funciones que facilitan la manipulación de datos. Funciones muy similares a las que se pueden manejar con MySQL (SQLite, 2010).

La potencia de SQLite se basa fundamentalmente en la simplicidad, lo que hace que no sea una buena solución en entornos de tráfico muy elevado y/o alto acceso concurrente a datos, además encapsula toda la BD en un único fichero. El hecho de almacenar toda la BD en un único archivo, facilita la portabilidad de los datos, y solamente tiene la restricción del espacio de disco asignado. La versión de SQLite utilizada fue la versión 3, la cual se usó en el desarrollo de la base de conocimientos.

Se puede utilizar SQLite de dos formas:

- Como gestor de base de datos local en un computador. De esta forma, se pueden gestionar BD con SQLite igual que si se estuviese trabajando con un sistema gestor de base de datos como MySQL, sin necesidad de instalar nada, ya que SQLite se compone de un único archivo ejecutable.
- Como una extensión más de PHP, utilizando las funcionalidades de SQLite configuradas, o bien como módulo de PHP, o como biblioteca; sin necesidad de tener instalado o conectar con un servidor de base de datos. Ofrece una rápida interfaz de la BD almacenada en el archivo de texto plano.

SQLite Admin es un administrador de bases de datos SQLite que básicamente permite (SQLiteAdmin, 2010):

- Abrir, crear, compactar bases de datos.
- Crear, renombrar y eliminar tablas vacías.
- Crear, renombrar y eliminar columnas.
- Crear, modificar y eliminar registros.
- Encriptar o reemplazar bases de datos
- Correr sentencias SQL personalizadas.
- Crear y eliminar índices, Triggers y Cursores.

## **1.7. Conclusiones del capítulo**

En el presente capítulo se realizó un estudio de la complicación postoperatoria más frecuente tras una cirugía exitosa de catarata, en el cual se puede apreciar la necesidad de hacer un análisis lo más exacto posible de la OCP para poder evaluar objetivamente, el efecto de las diferentes intervenciones que actualmente se realizan para reducir su aparición. Se realizó un estudio de las técnicas posibles a utilizar para la identificación automática de las regiones con opacidad en tomogramas del Pentacam, para la cuantificación objetiva, estandarizada, confiable y reproducible la OCP. Por lo que se determinó utilizar un sistema basado en casos, que una vez desarrollado permita evaluar la eficacia de las múltiples intervenciones que actualmente se investigan para reducir su incidencia.

## **CAPÍTULO 2. Sistema basado en casos para la cuantificación objetiva de la opacidad capsular de un paciente operado de catarata**

A continuación se realiza una descripción detallada de la solución propuesta, se describe el diseño del software con todas las herramientas y tecnologías a utilizar; y el modelado completo de la solución. Se profundiza en el RBC, las funciones de semejanza que se utilizan en el motor de inferencia para la recuperación de los casos, el umbral usado para seleccionar los casos recuperados más semejantes al nuevo caso sin resolver, además de una función final para determinar el grado de validez del resultado y el cálculo de un valor que nos permite agrupar y seleccionar los casos en la BC.

### **2.1. Fase de Planificación**

La metodología XP define como fase inicial la planificación. Durante esta etapa se lleva a cabo el proceso de identificación y confección de las historias de usuario, así como la familiarización del equipo de trabajo con las tecnologías y herramientas seleccionadas para el desarrollo del software. También el cliente especifica la prioridad en que se deben implementar las historias de usuario, así como una estimación del esfuerzo que costará implementar todas las historias de usuario. El resultado de la fase es un plan de entregas donde se realiza una estimación de las versiones que tendrá el producto en su realización, de manera tal que guíe el desarrollo del mismo (Beck, 2002).

#### **2.1.1 Historias de Usuario**

XP se basa fundamentalmente en las historias de usuario (HU) para representar los requerimientos del sistema. Las HU son escritas por el cliente, en su propio lenguaje, se realiza una por cada característica principal del sistema, se emplean para hacer estimaciones de tiempo y para el plan de lanzamientos, reemplazan un gran cúmulo de documentos de requisitos y presiden la creación de las pruebas de aceptación. Buscando sencillez y la satisfacción del cliente (Beck, 2002). De acuerdo a la prioridad asignada por el cliente a cada HU y teniendo en cuenta la complejidad y riesgo determinado por el programador, se realiza la estimación de cada una de las identificadas. La unidad de estimación es el punto, un punto equivale a una semana ideal de programación.

Tabla 1: Estimación de esfuerzo por HU.

| Historias de Usuario                        | Puntos de Estimación |
|---|----------------------|
| Cargar imagen de tomograma                  | 1                    |
| Reconocer imagen de tomograma               | 2                    |
| Reconocer el centro de la estructura ocular | 2                    |
| Obtener el nuevo caso                       | 2                    |
| Cargar Casos similares de la BC             | 2                    |
| Calcular similitud de rasgos                | 2                    |
| Calcular similitud de casos                 | 2                    |
| Calcular certeza de solución                | 2                    |
| Calcular OCP en áreas definidas             | 3                    |
| Brindar datos al usuario                    | 2                    |
| Indexar el nuevo caso a la BC               | 1                    |

### 2.1.2 Plan de Iteración

Luego de identificar y definir las HU y estimar el esfuerzo propuesto para la realización de cada una, se pasa a la planificación de la etapa de implementación del sistema. Se seleccionan las HU que se implementan en cada iteración, de acuerdo al nivel de prioridad de las mismas, así como las posibles fechas de sus entregas.

Tabla 2: Plan de duración de las iteraciones.

| Iteración | HU a implementar                            | Duración |
|-----------|---|----------|
| 1         | Cargar imagen de tomograma                  | 7        |
|           | Reconocer imagen de tomograma               |          |
|           | Reconocer el centro de la estructura ocular |          |
|           | Obtener el nuevo caso                       |          |
| 2         | Cargar Casos similares de la BC             | 8        |
|           | Calcular similitud de rasgos                |          |
|           | Calcular similitud de casos                 |          |
|           | Calcular certeza de solución                |          |
| 3         | Calcular OCP en áreas definidas             | 6        |
|           | Brindar datos al usuario                    |          |
|           | Indexar el nuevo caso a la BC               |          |

### 2.1.3 Plan de Entrega

El plan de entregas es el cronograma que establece cuáles historias de usuario serán agrupadas para conformar una entrega, y el orden de las mismas (Joskowicz, 2008). Tiene como objetivo definir el número de liberaciones que se realizarán en el transcurso del proyecto y las iteraciones que se requieren para desarrollar cada una.

Tabla 3: Plan de entrega.

|                         | Iteración 1 | Iteración 2 | Iteración 3 |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Cantidad de HU</b>   | 4           | 4           | 3           |
| <b>Fecha de entrega</b> | 20/01/2014  | 20/03/2014  | 05/05/2014  |

### 2.1.4 Implementación de la propuesta de solución

En el presente acápite se hace referencia a los elementos que conforman el diseño del sistema a construir, que acorde a lo planteado por la metodología XP debe ser un diseño simple, sencillo y de fácil interacción, basado principalmente en el desarrollo de las tarjetas Clases, Responsabilidad y Colaboración (CRC). En este acápite también se realiza un acercamiento a los elementos de la implementación, se de-

tallan las tres iteraciones llevadas a cabo durante la construcción de la herramienta, así como las tareas generadas por cada HU.

### 2.1.5 Tarjetas CRC

En XP a diferencia de otras metodologías de desarrollo de software no es necesario definir un modelo de dominio, en su lugar se propone el uso de tarjetas Clase-Responsabilidad-Colaboración (CRC), técnica que ayuda a evitar el enfoque procedimental destacando la orientación a objetos (Beck K y otros, 1989).

Las tarjetas CRC (Clase, Responsabilidad y Colaboración) son utilizadas para representar las responsabilidades de las clases y sus interacciones. Estas tarjetas permiten trabajar con una metodología basada en objetos, permitiendo que el equipo de desarrollo completo contribuya en la tarea del diseño. El nombre de la clase se coloca a modo de título en la tarjeta, las responsabilidades se colocan a la izquierda y las clases que se implican en cada responsabilidad a la derecha, en la misma línea que su requerimiento correspondiente. Las tarjetas determinan el comportamiento de cada actividad.

Tabla 4: Tarjeta CRC para la clase Editor.

| Clase : Editor   |   |
|--|---|
| Responsabilidades  | Colaboradores   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permite realizar las operaciones con la base de conocimientos.</li> <li>2. Cambiar la configuración.</li> <li>3. Realizar el escaneo automático.</li> <li>4. Realizar el cálculo de la OCP.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conexión</li> <li>2. Configuración.</li> <li>3. Píxel</li> <li>4. Lienzo</li> </ol> |

### 2.2. Visor de OCP

Con el visor de OCP es posible extraer de manera automática la porción relevante de las imágenes brindadas por los tomogramas del Pentacam, abstrayendo al especialista de realizar dicha operación. Este

contiene funcionalidades para el cálculo de la OCP, pero esta vez sin incluir los píxeles del fondo, los cuales influían de forma negativa en la obtención de la intensidad media de los píxeles. También permite la extracción de la intensidad media de píxeles de áreas irregulares de la imagen, lo cual amplía la flexibilidad de la aplicación y le da una mayor maniobrabilidad al usuario a la hora de extraer la información que es relevante al especialista. Como requisitos en el proceso de análisis también surgió la necesidad de implementarle funcionalidades como mostrarle al usuario el porcentaje del área que fue seleccionada que presenta variación del color de fondo, considerándose este como opacidad. Calcular el valor de la OCP como la intensidad de píxeles de esa área por el porcentaje de la opacidad que esta tiene. Además contiene una herramienta de corte rectangular para seccionar la imagen si es de interés del especialista extraer porciones más específicas de la misma. PANDOC también contiene una funcionalidad de zoom, para amplificar detalles, lo cual le puede resultar interesante al oftalmólogo que analiza la información contenida en estas imágenes.

### 2.2.1 Interfaz gráfica de usuario

A continuación se describen los principales elementos que componen la interfaz visual del software PANDOC y las funcionalidades de los mismos, mostrados en la Figura 9. Para ello se enumeraron los principales componentes que conforman la Interfaz de la aplicación.

1. (Botón abrir)- Utilizado para explorar los archivos y cargar la imagen médica resultante del tomograma de Scheimpflug del PENTACAM.
2. (Botón guardar)- Usado para guardar esta imagen médica después de haber sido tratada por el programa, obteniendo solo el área de interés.
3. (Botón recortar)-Usado para obtener un segmento de la imagen después de haber sido seleccionado con la herramienta rectángulo.
4. (Herramienta lupa)- Utilizada para seleccionar la dimensión del área circular que será utilizada para el cálculo de la OCP.
5. (Herramienta zoom)- Utilizada para magnificar la imagen en la proporción seleccionada por el usuario.
6. (Botón normal)- Utilizado para llevar a la imagen a su tamaño original.
7. (Botón calcular)- Utilizado para realizar el cálculo de la OCP en el área de la imagen seleccionada por el usuario previamente.



8. (Botón color)- Utilizado para cambiar el color de las líneas de selección de área.
9. (Botón ayuda)- Utilizado para mostrar la ayuda del software.
10. (Panel resultados)- Utilizado para mostrar al usuario los cálculos realizados sobre la imagen cargada.
11. (Botón rectángulo)- Utilizado para realizar una selección rectangular de la imagen cargada.
12. (Botón borrar pts)- Utilizado para borrar el último punto marcado por el usuario en una selección de área poligonal tras marcar el botón polígono.
13. (Botón polígono)- Utilizado para realizar una selección de área poligonal, uniendo los puntos de las referencias marcadas por el usuario mediante clics en la imagen.
14. (Botón elipse)- Utilizado para realizar una selección de área circular, mediante un área predefinida por el tamaño seleccionado en la herramienta lupa.
15. (Botón mano)- Utilizado para mover la imagen a través del panel imagen.
16. (Panel imagen)- Utilizado para mostrar la imagen y la selección de área realizada sobre esta.

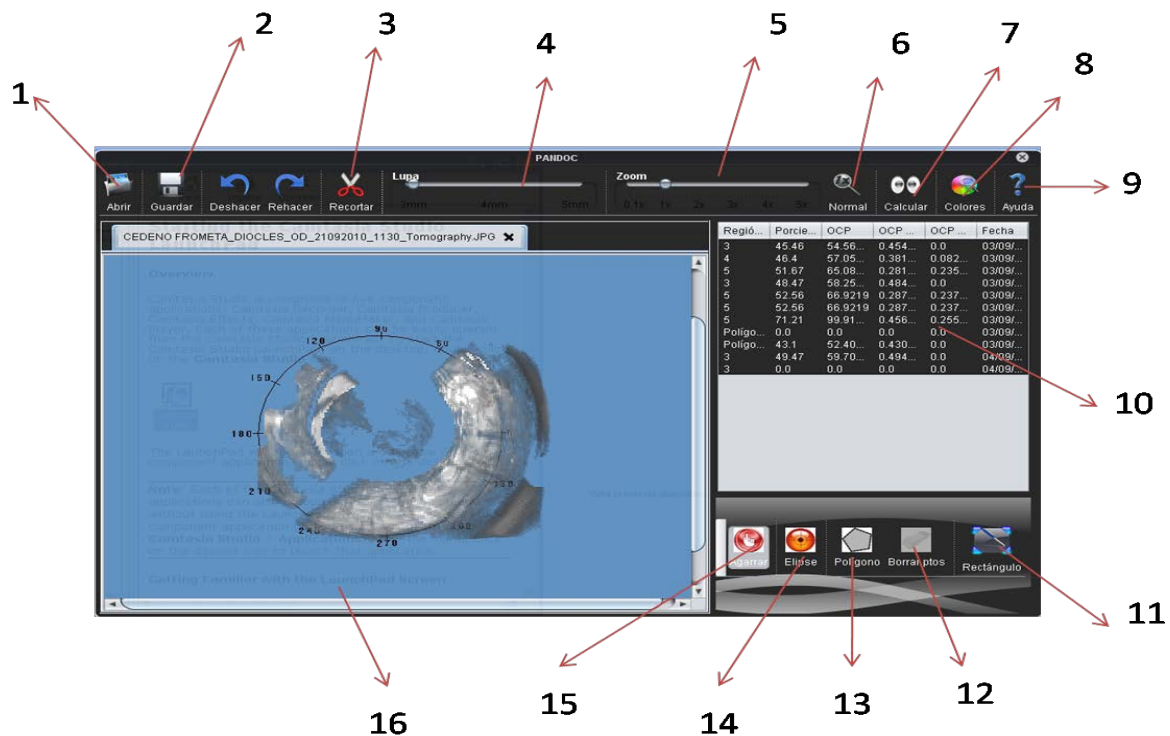


Figura 9: Interfaz de PANDOC.

### 2.3. Reconocimiento de la OCP

Un SBC, es una de las técnicas de Inteligencia Artificial (IA) más empleadas en la actualidad en los procesos de toma de decisiones, es un tipo de sistema experto que utiliza los casos como forma de representación del conocimiento y emplean el RBC como mecanismo de inferencia (Gutiérrez Iliana P, 2002).

El RBC consiste en utilizar experiencias pasadas para comprender y resolver nuevos problemas (AAMODT E y otros, 1994). Este tipo de razonamiento no sólo es un método para el razonamiento de computadoras, sino que es usado por las personas para solucionar problemas cotidianos. Más radicalmente se ha sostenido que todo razonamiento es basado en casos porque está basado en la experiencia previa (KOLODNER J, 1992).

El RBC se basa en una unidad mínima llamada caso, el cual tiene dos componentes: rasgos predictores (descripción del problema) y rasgos objetivos (solución del problema). Un caso es una pieza contextualizada de conocimiento, la cual representa una experiencia que enseña una lección fundamental para el logro de los objetivos del razonador. La BC contiene las descripciones de los problemas resueltos previamente. Cada caso puede describir un episodio particular o una generalización de un conjunto de episodios relacionados. En el estilo de solución de problemas se recupera un caso semejante al nuevo y la solución del problema recuperado se propone como solución potencial del nuevo problema. Esto se deriva de un proceso de adaptación en el cual se adecua la vieja solución a la nueva situación (KOLODNER J, 1992). Considerando que un caso está descrito por un número de características, una aproximación sencilla sería contabilizar los atributos comunes entre el caso almacenado y el nuevo problema. Se suele distinguir entre medidas de semejanzas locales y globales, las primeras calculan la semejanza entre valores de un mismo atributo en los dos casos y la segunda combina los resultados de aplicar la similitud local a cada uno de los atributos de los casos que se están comparando (Rodríguez Y, 2003).

Para aplicar un Sistema Basado en Casos para la identificación automática de opacidad tras cirugía de catarata, primeramente se procedió a realizar una base de conocimientos donde se declararon explícitamente los elementos, dominios y procedimientos de cálculo que intervienen en la solución del problema. Esta base de conocimientos depende precisamente del conocimiento de sus creadores y permite resolver en medida de los valores que la componen el espectro de situaciones dentro de un tomograma SCHEIMPFLUG del PENTACAM.

Un sistema basado en casos tiene tres componentes principales: una BC, un analizador de problemas y un recuperador de casos (KOLODNER J, 1992). A partir de estos componentes se enuncian un conjunto de pasos para el desarrollo del SBC con el objetivo de la identificación automática de opacidad en pacientes operados de cataratas.

Secuencia de pasos para el desarrollo del SBC:

1. Definir los rasgos predictores y los rasgos objetivos.
2. Determinar el dominio de definición de cada rasgo.
3. Determinar el peso informacional de cada rasgo.
4. Definir las funciones de comparación de rasgos.
5. Definir las funciones de comparación de casos.
6. Representar los casos.
7. Obtener el nuevo caso a resolver.
8. Comparar el nuevo caso con la Base de Casos.
9. Obtener los 'k' casos más semejantes.
10. Seleccionar el rasgo objetivo, siendo este el paso fundamental para nuestra solución.

### 2.3.1 Definición de los rasgos predictores y los rasgos objetivos

Para definir los rasgos predictores, nos basamos en los conocimientos brindados por los especialistas en cuanto a su criterio de evaluación de la opacidad.

Los cuales comienzan por expresar la importancia de la cercanía del objeto al centro de la estructura ocular. Obteniéndose el rasgo: **Cercanía al centro**. El valor de este rasgo está dado por el resultado del cálculo de la distancia euclidiana entre el punto y el centro de la estructura ocular a analizar.

Cada píxel será tratado como un objeto o caso. Siendo importante la composición de colores Rojo, Verde y Azul de cada objeto, dado que es otro dato comparable con significatividad para el problema en cuestión. Surgiendo el rasgo: **RGB**. Denotado RGB dado sus siglas en ingles Red-Green-Blue. Este resultado está dado por el promedio de la intensidad de los colores primarios que componen el píxel.

También resalta en la descripción el comportamiento de los píxeles vecinos dentro de la imagen. Por lo que conocer si se encuentra aislado o si se encuentra dentro de una nube de opacidad, es significativo para la evaluación de si corresponde con un píxel opaco, parte de la estructura ocular o es simplemente un píxel azul de fondo. Siendo necesarios adquirir los rasgos: **Ubicación de vecinos con variación** y **Variación de la intensidad de los vecinos**. El primero es analizado como un número binario de 8 cifras,

representando cada elemento los 8 pixeles vecinos a analizar (1-Si presenta variación el pixel y 0- en caso que sea un pixel de fondo o parte de la estructura ocular).

|   |   |   |
|---|---|---|
| A | B | C |
| D | X | E |
| F | G | H |

Figura 4: Representación del rasgo “Ubicación de vecinos con variación”.

Como se muestra en la Figura 4, el número binario es representado así: ABCDEFGH, siendo X el pixel analizado y el resto los pixeles vecinos. El segundo rasgo resultante está dado por el promedio de la intensidad de la composición de los colores primarios que componen los pixeles vecinos.

Después de definidos los rasgos predictores se define el rasgo objetivo: **Opacidad**. Siendo este el resultado del análisis final de si el objeto (pixel) representa opacidad dentro de la estructura ocular o no.

### 2.3.2 Dominio de definición de cada rasgo

En este paso se procede a determinar el dominio de definición de cada rasgo, expresados en la siguiente tabla:

Tabla 5: Dominio de definición de cada rasgo seleccionado.

| Rasgo                                      | Tipo de Valor | Dominio                 |
|--|---------------|-------------------------|
| Cercanía al centro                         | Entero        | [0,...,100]             |
| RGB  | Decimal       | [0,...,255]             |
| Ubicación de vecinos con variación         | Binario       | [00000000,...,11111111] |
| Variación de la intensidad de los vecinos. | Entero        | [0,...,255]             |
| Opacidad                                   | Binario       | [0,1]                   |

### 2.3.3 Peso informacional de cada rasgo

Después de tener los rasgos y su dominio de definición se hace importante definir el peso informacional que posee cada uno de estos rasgos para nuestro problema, siendo algunos más significativos que otros.

Quedado cada uno confeccionado según el estudio de comportamiento y el criterio de los especialistas en oftalmología de la siguiente forma:

Tabla 6: Peso informacional de cada rasgo seleccionado.

| Rasgo   | Peso Informacional (1,...,10) |
|---|-------------------------------|
| 1.Cercanía al centro                          | 8                             |
| 2.RGB   | 6                             |
| 3.Ubicación de vecinos con variación          | 3                             |
| 4. Variación de la intensidad de los vecinos. | 3                             |

### 2.3.4 Selección de las funciones de comparación de rasgos

Se definen las funciones para evaluar la semejanza de los rasgos extraídos del nuevo caso con los rasgos de los casos existentes en la base de conocimientos.

Siendo la función  $C_s(X_s(O_i), X_s(O_j)) = \begin{cases} 1 & \text{Si } X_s(O_i) = X_s(O_j) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$  un concepto de igualdad, donde  $X_s(O_i)$  es el valor del rasgo  $X_s$  en el objeto  $O_i$ . Aplicable al rasgo: Ubicación de vecinos con variación.

La función  $C_s(X_s(O_i), X_s(O_j)) = \begin{cases} 1 & \text{Si } X_s(O_i), X_s(O_j) \in [A_p, A_k] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$  es un concepto de intervalo, donde  $X_s(O_i)$  es el valor del rasgo  $X_s$  en el objeto  $O_i$  y  $A_p, A_k$  son los valores iniciales y finales del intervalo. Siendo esta aplicable al rasgo: RGB.

es el valor del rasgo  $X_s$  en el objeto  $O_i$  y  $A_p, A_k$  son los valores iniciales y finales del intervalo. Siendo esta aplicable al rasgo: RGB.

Y la función  $C_s(X_s(O_i), X_s(O_j)) = \begin{cases} 1 & \text{Si } (X_s(O_i) - X_s(O_j)) < \varepsilon_s \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$  es un concepto de semejanza asociado a un umbral, donde  $X_s(O_i)$  es el valor del rasgo  $X_s$  en el objeto  $O_i$  y  $\varepsilon_s$  es el umbral asociado al rasgo  $X_s$ . Es aplicable a los rasgos: Variación de la intensidad de los vecinos y Cercanía al centro.

un umbral, donde  $X_s(O_i)$  es el valor del rasgo  $X_s$  en el objeto  $O_i$  y  $\varepsilon_s$  es el umbral asociado al rasgo  $X_s$ . Es aplicable a los rasgos: Variación de la intensidad de los vecinos y Cercanía al centro.

### 2.3.5 Selección de la función de comparación de casos

Después de definidas las funciones de comparación de rasgos se procede a comparar el objeto (caso) nuevo con los existentes en la BC mediante fórmula:

$$\beta(\Omega(O_i), \Omega(O_j)) = \left( \frac{\sum_{X_i \in S} P(X_i)}{\sum_{X_i \in \Omega} P(X_i)} \right)$$

Donde  $P(X_i)$  es una magnitud asociada a cada rasgo  $X_i$  que refleja su relevancia (Peso Informacional),  $S$  es el conjunto de rasgos coincidentes entre los objetos ( $O_i, O_j$ ),  $\Omega$  es el conjunto total de rasgos que se consideran y  $\Omega(O_i)$  es el conjunto de rasgos del objeto  $O_i$ .

### 2.3.6 Representación de los casos

Esta etapa de almacenamiento consiste en registrar en la base de conocimiento la información derivada del nuevo caso.

El almacenamiento de los casos se realiza en una base de casos, la cual se nutre de los casos nuevos proporcionados por el sistema y los casos previamente almacenados en ella. Coexistiendo entonces los conocimientos, las experiencias brindadas por los especialistas y las recreadas por el sistema. En esta base de conocimiento se almacena el conocimiento necesario para resolver los problemas del dominio de aplicación.

El conocimiento se representa a través de una tabla en la cual las columnas son etiquetadas por variables que representan los rasgos predictores y el rasgo objetivo (decisión) y las filas representan los casos. Para la representación de los casos, además de las columnas descritas existirá una columna con una variable (Valor Global) que mediante un valor numérico hace énfasis en la descripción general de cada uno de los rasgos predictores del caso en cuestión. Esta variable nos beneficia en la organización de la base de casos en función de su valor.

### 2.3.7 Obtener el nuevo caso a resolver

La obtención del nuevo caso a resolver se desencadena cuando el usuario del sistema carga la imagen médica resultante de un tomograma SCHEIMPFLUG del PENTACAM. Los casos están vinculados a cada pixel cuya variación de colores sea distinta a la del fondo y se encuentre entre los 3 y 6 mm de radio (área de interés donde se encuentra la opacidad) con respecto al centro de la estructura ocular, siendo cada uno de estos un nuevo caso a dar solución.

### 2.3.8 Comparación del nuevo caso con la Base de Casos

En la base de casos todos los datos estarán organizados de menor a mayor por el valor de la variable "Valor Global", de forma que para comparar el nuevo caso con los existentes en la base de casos, se seleccionan de la base de conocimiento aquellos valores cuya descripción se ajusta más a la información presentada en el nuevo caso. A estos casos más cercanos al valor del nuevo se le aplican las funciones de comparación de rasgos para comparar cada uno de los rasgos de los mismos, y después se utiliza la función de comparación de casos para comparar finalmente los casos, definiendo posteriormente el valor del rasgo objetivo de este nuevo caso.

### 2.3.9 Obtención de los 'k' casos más semejantes

Después de la selección de los casos más semejantes de la base de casos y la comparación cada uno de estos con el nuevo caso, se procede a escoger los "k" casos más semejantes, para lo que se propone usar (k=5) siendo la comparación en un espectro de casos más amplio demasiado costosa computacionalmente.

### 2.3.10 Selección del rasgo objetivo

Para la selección del resultado del rasgo objetivo, revisaremos los k más semejantes ordenándolos de menor a mayor según su valor de semejanza. Después aplicamos la siguiente fórmula para obtener el resultado:

$$\theta(Ck) = \begin{cases} 1 \text{ Si } \left( \sum_{x=1}^k (Vn(Cx) * x) * V \right) > 0 \\ 0 \text{ en otro caso} \end{cases}$$

Donde  $Vn(Cx)$  es una magnitud asociada a cada caso  $C_x$  derivada por el resultado de su función de comparación  $\beta(\Omega I(O_i), \Omega I(O_j))$  con el nuevo caso,  $K$  es el conjunto de los casos con mayor valor de coincidencia,  $V$  es un valor que denota la presencia de opacidad en el caso dado por el rasgo objetivo Opacidad del caso almacenado, el cual toma valor 1 si es opacidad y -1 en caso de ausencia de la misma, y el valor de  $\theta(Ck)$  nos representa la presencia o la ausencia de opacidad en el caso en cuestión, representando este el resultado del rasgo objetivo.

## **2.4. Conclusiones del Capítulo**

En este capítulo se ha descrito el ciclo de vida de la solución propuesta según la metodología XP, generando las HU que caracterizan al sistema, así como la estimación del esfuerzo necesario para la implementación de las mismas. Además se construyó el plan de iteraciones, se realizó la estimación del tiempo que requiere la implementación de cada una y se llevó a cabo el plan de entregas en el cual se define qué historias de usuario formarían parte de cada entrega.

Se describe el funcionamiento del visor de OCP y cada una de sus funcionalidades. Se presenta el diseño del sistema basado en caso, detallando cada uno de los 10 pasos definidos para la realización del mismo. Definiéndose las funciones de semejanza entre los rasgos y casos y quedando determinado el mecanismo de recuperación y la selección del resultado en el rasgo objetivo del nuevo caso a analizar.



### **CAPÍTULO 3. Resultados y validación del sistema**

Con la utilización de PANDOC se logra beneficiar a los especialistas del Instituto Cubano de Oftalmología “Ramón Pando Ferrer”, para los cuales fue desarrollado en primera instancia esta aplicación, aunque se espera que alcance resultados en la esfera internacional por su contribución a la detección acertada de la OCP. Con los nuevos resultados que brinda esta aplicación se pretende realizar análisis estadísticos que refute o reafirme lo ya evidenciado (Hernández López I y otros, 2011).

Este estudio demostró que mediante el análisis de tomogramas Scheimpflug del Pentacam utilizando PANDOC se obtuvo un indicador numérico, lo cual permitió determinar la cuantía de la opacidad manteniendo correspondencia con lo observado al examen biomicroscópico, pero eliminando la inexactitud de la gradación subjetiva de la OCP por medio de la lámpara de hendidura.

En cuanto al análisis por el programa PANDOC, la selección del área a analizar es el único paso que puede variar al tener el operador la libertad de colocarlo manualmente, aunque su diámetro sí puede ser pre-determinado. El alto grado de repetitividad obtenido al analizar más de una vez cada tomograma del estudio de (Hernández López I y otros, 2011) corrobora la fiabilidad del proceder y elimina la posibilidad de sesgos intraobservador.

#### **3.1. Pruebas de software**

La prueba del software es un elemento crítico para la garantía de la calidad del software y representa una revisión final de las especificaciones, del diseño y de la codificación (Yague A y otros, 2009).

Uno de los pilares de XP es el proceso de pruebas. XP exhorta a probar constantemente, tanto como sea posible. Esto permite aumentar la calidad de los sistemas reduciendo el número de errores no detectados. XP divide las pruebas del software en dos grupos: pruebas unitarias, encargadas de verificar el código y diseñada por los programadores, y pruebas de aceptación o pruebas funcionales destinadas a evaluar si al final de una iteración se consiguió la funcionalidad requerida diseñadas por el cliente final (Gutierrez J, 2010).

### 3.1.1 Pruebas de unidad

Seguidamente se describirá la realización de las pruebas unitarias realizadas, desglosándola en sus elementos fundamentales: confección del grafo de flujo, cálculo de la complejidad ciclomática, extracción de los caminos independientes, realización de los casos de pruebas y análisis de los resultados obtenidos.

Estas pruebas se aplican al código perteneciente al método "calcular" de la clase "Recortador", el cual nos retorna el valor del cálculo de la opacidad en el área definida. A este se le aplica la métrica de complejidad ciclomática debido a su relevancia para el sistema.

#### Grafo de flujo asociado

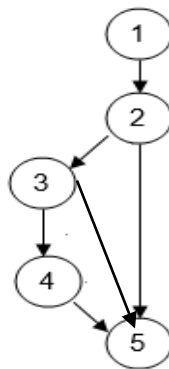


Figura 10: Grafo de flujo asociado al método "calcular" de la clase "Recortador".

Después de diseñado el grafo como se muestra en la Figura 10, se procede a calcular la complejidad ciclomática, la cual nos define el número de caminos independientes del conjunto básico del programa y nos da un límite inferior para el número de pruebas que se deben realizar para asegurar que se ejecuta cada sentencia al menos una vez.

#### Complejidad ciclomática

$$V(G) = \text{Regiones} = 3$$

$$V(G) = \text{Aristas} - \text{Nodos} + 2 = 6 - 5 + 2 = 3$$

$$V(G) = \text{Nodos Predicado} + 1 = 2 + 1 = 3$$

### Caminos independientes determinados

Con el objetivo de probarlos todos, se diseñó un caso de prueba por cada uno de ellos. Realizándose las pruebas por cada uno de los caminos independientes determinados, obteniendo resultados satisfactorios.

Camino 1: 1-2-3-4-5 (Se carga la imagen de manera satisfactoria y el usuario presiona el botón de aceptar los resultados; el sistema muestra y guarda los cálculos de manera correcta)

Camino 2: 1-2-3-5 (Se carga la imagen de manera satisfactoria y el usuario presiona el botón de rechazar los resultados; el sistema muestra los cálculos de manera correcta)

Camino 3: 1-2-5 (No se carga la imagen por decisión del usuario o por no pertenecer a un tomograma del Pentacam y vuelve a la pantalla principal de manera correcta)

Se realizaron un total de 20 pruebas, 18 de las cuales (para un 98%) resultaron satisfactorias. Fue evidenciada la estabilidad de la lógica del código empleado durante la implementación de la funcionalidad. En la segunda iteración el 100% de las pruebas fueron satisfactorias, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Iteraciones de las pruebas unitarias.

| Iteración | Satisfactoria | Insatisfactoria | Total |
|-----------|---------------|-----------------|-------|
| 1         | 18            | 2               | 20    |
| 2         | 20            | 0               | 20    |

Como parte de las pruebas de unidad se le aplicó también la métrica “Tamaño Operacional de Clase” (TOC), estas fueron aplicadas a las clases: *Editor*, *Conexión*, *Recortador*, *Configuración* y *Lienzo*. Cuya cantidad de procedimientos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Cantidad de procedimientos por clase.

| Clase                | Cantidad de Procedimientos |
|----------------------|----------------------------|
| <i>Editor</i>        | 12                         |
| <i>Conexion</i>      | 4                          |
| <i>Recortador</i>    | 8                          |
| <i>Lienzo</i>        | 5                          |
| <i>Configuración</i> | 3                          |

Para el caso de la clase Editor, según los umbrales definidos por los atributos de calidad: responsabilidad, complejidad de la implementación y reutilización se considera categoría Baja a valores inferiores a 6.3, categoría Media a resultados que se encuentran en el intervalo de 6.3 y 12.6 y categoría Alta en otro caso (Pressman, 1998). La Tabla 9 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de estos atributos en cada clase.

Tabla 9: Evaluación de atributos por clase.

| Clase                | Responsabilidad | Complejidad | Reutilización |
|----------------------|-----------------|-------------|---------------|
| <b>Editor</b>        | Alta            | Alta        | Baja          |
| <b>Conexion</b>      | Baja            | Baja        | Alta          |
| <b>Recortador</b>    | Alta            | Alta        | Baja          |
| <b>Lienzo</b>        | Media           | Media       | Media         |
| <b>Configuracion</b> | Baja            | Baja        | Alta          |

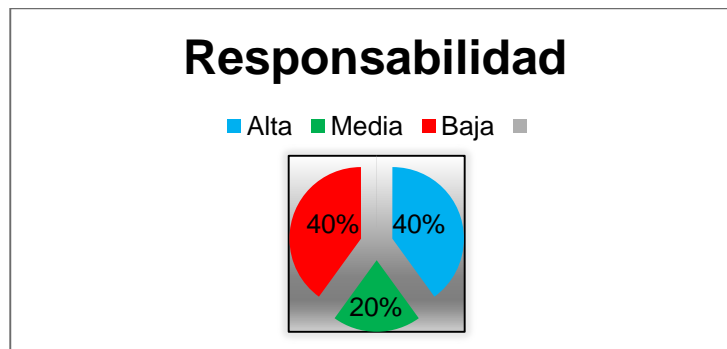


Figura 11: Responsabilidad de las clases.

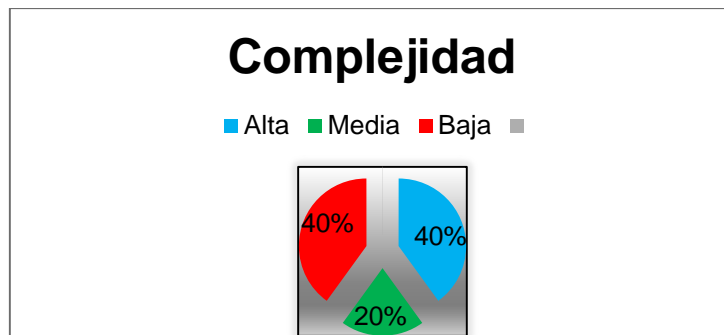


Figura 12: Complejidad de las clases.

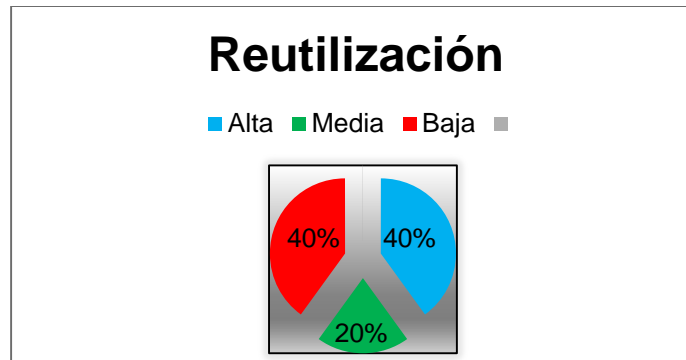


Figura 13: Reutilización de las clases.

Tomando de referencia la información contenida en las Figuras 11, 12, y 13 se puede demostrar el conjunto de clases mostradas poseen un grado de Responsabilidad baja equivalente al 40%, Complejidad baja al 40% y Reutilización alta al 40% respectivamente. Siendo el porcentaje de los resultados de alto y bajo de la métrica bajos. Lo anteriormente planteado demuestra entonces que PANDOC en general posee un nivel de tolerancia a los cambios y valores compactos en los resultados.

### 3.2. Pruebas de aceptación

Las pruebas de aceptación cumplen con el objetivo de indicarnos cuando las funcionalidades de una iteración han sido completadas exitosamente. La validación del software se consigue mediante una serie de pruebas de caja negra que demuestran la conformidad del cliente con los requisitos. Una vez que se procede con cada caso de prueba de validación, puede darse una de las siguientes condiciones:

1. Las características de funcionamiento o de rendimiento están de acuerdo con las especificaciones y son aceptables.
2. Se descubre una desviación de las especificaciones y se crea una lista de deficiencias.

Para la descripción de estas pruebas se presenta el diseño del caso de prueba correspondiente a la historia de usuario "Calcular OCP en áreas definidas" que incluye funcionalidades críticas para el sistema. La siguiente tabla muestra los resultados satisfactorios obtenidos en la prueba de aceptación "Calcular OCP en áreas definidas".

Tabla 10: Caso de prueba para la HU Calcular OCP en áreas definidas.

| Caso de prueba de aceptación   |                        |
|--|------------------------|
| Código: HU9  | Historia de Usuario: 9 |
| Nombre: Calcular OCP en áreas definidas.   |                        |
| Descripción: Prueba para la funcionalidad que calcula la opacidad en el área definida.   |                        |
| Condiciones de ejecución:<br>Se debe haber cargado una imagen resultante de un tomograma Scheimpflug del PENTACAM.<br>Se debe haber reconocido automáticamente el centro de la estructura ocular.<br>El usuario debe seleccionar la herramienta a utilizar.<br>El usuario debe ubicar el área deseada. |                        |
| Resultados esperados: El sistema guarda la configuración seleccionada y muestra un mensaje informando los resultados del cálculo.  |                        |
| Evaluación de la prueba: Prueba satisfactoria.   |                        |

Como parte de estas pruebas se procedió a la creación de 5 casos de estudio para verificar los resultados del software, en los mismos se tomaron imágenes de pacientes a los que llamaremos (paciente 1, Paciente 2,..., Paciente 5). Estas pruebas arrojaron los siguientes resultados:

- Caso de estudio perteneciente a la imagen resultante del tomograma Scheimpflug del ojo izquierdo del paciente “Paciente 1” tomado el 09/09/2010. Esta imagen fue cargada de manera satisfactoria y muestra al usuario las regiones con opacidad señalándolas en color blanco, siendo el resultado el siguiente:

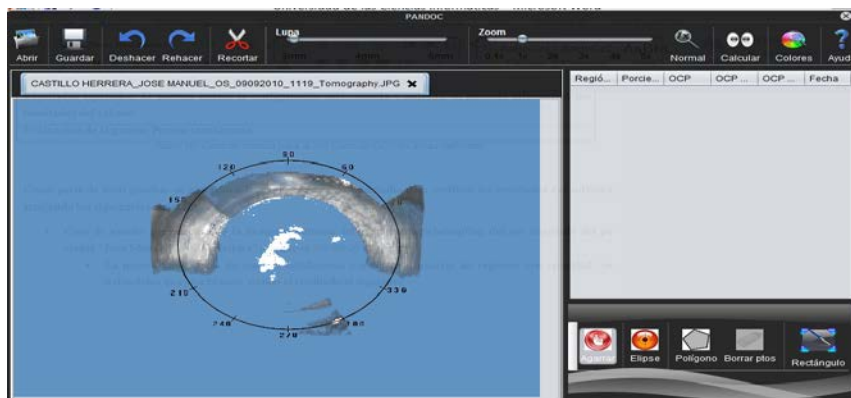


Figura 14: Resultado del análisis del tomograma del Paciente 1 por PANDOC.

El análisis por parte del especialista se muestra a continuación, siendo la región marcada en rojo la considerada por él como opacidad:

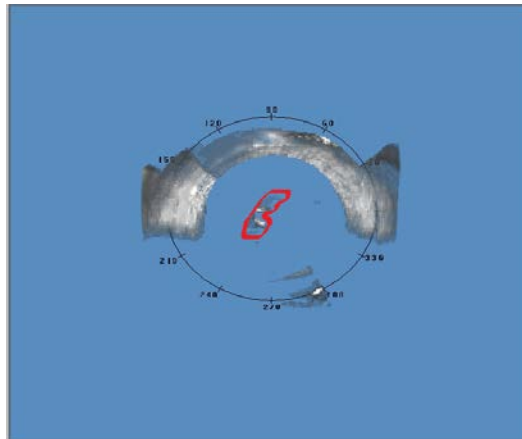


Figura 15: Región considerada por el especialista como opacidad según su percepción.

En la Figura 16 se puede apreciar los resultados obtenidos después de usar la herramienta “Polígono” en el tomograma analizado. Como se pudo apreciar anteriormente, en la Figura 14 la región con opacidad dentro de la estructura ocular observada es pequeña en correspondencia con el resultado obtenido con PANDOC de 8,4144. El análisis efectuado por el software también arrojó un valor pequeño de OCP coincidiendo con el criterio del especialista. También a simple vista se puede apreciar que la mayor acumulación de la opacidad está ubicada en las áreas del centro, tal como queda demostrado en el valor obtenido del software, el cual muestra una diferencia amplia en cuanto a los valores de opacidad del centro y la periferia.

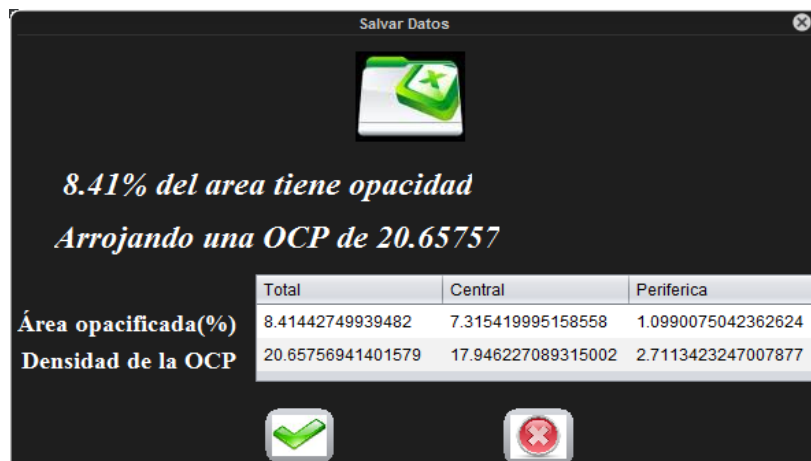


Figura 16: Resultado arrojado por PANDOC usando la herramienta Polígono.

Los resultados de las comparaciones se muestran en la tabla 8, donde se muestran los resultados de los 5 pacientes usados como casos de estudios y el resultado arrojado después de realizadas las comparaciones.

Tabla 11: Comparación de resultados.

|            | Estructura ocular | Área seleccionada con opacidad | Resultados del cálculo | Comparación de opacidad central | Comparación de opacidad periférica | Comparación de % de áreas opacificadas |
|------------|-------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| Paciente 1 | Ojo izquierdo     | Muy similares                  | Correctos              | Correcta                        | Correcta                           | Muy similares                          |
| Paciente 2 | Ojo izquierdo     | Muy similares                  | Correctos              | Correcta                        | Correcta                           | Muy similares                          |
| Paciente 3 | Ojo izquierdo     | Muy similares                  | Correctos              | Correcta                        | Correcta                           | Muy similares                          |
| Paciente 4 | Ojo derecho       | Idénticos                      | Correctos              | Correcta                        | Correcta                           | Muy similares                          |
| Paciente 5 | Ojo derecho       | Muy similares                  | Correctos              | Correcta                        | Correcta                           | Muy similares                          |

Beck (2000) recomienda la exhibición de los resultados que se obtienen al ejecutar las pruebas de aceptación, generando reportes y gráficas que desplieguen los porcentajes de efectividad obtenidos.

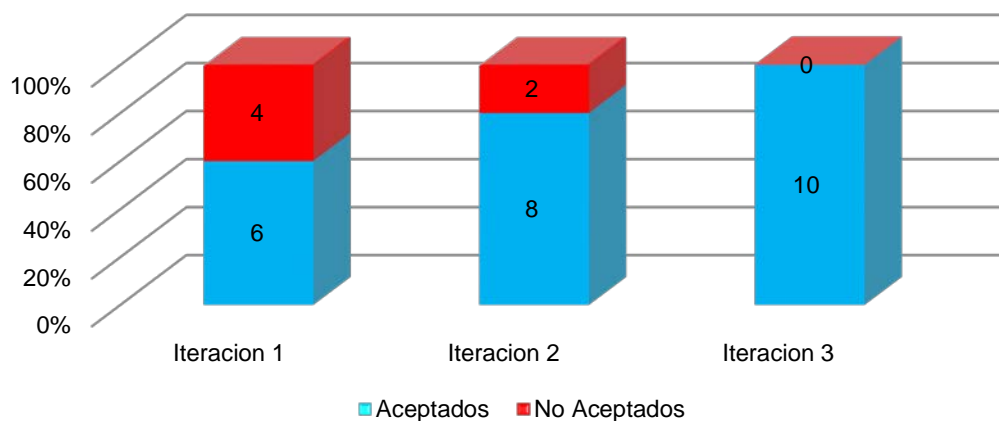


Figura 17: Resumen de resultados de pruebas de aceptación.



### **3.3. Conclusiones del capítulo**

En el presente capítulo se abordaron los temas referentes a la fase de pruebas. Se realizaron las pruebas de aceptación y las pruebas unitarias, presentándose los casos de prueba correspondientes y se realizó un análisis de los resultados obtenidos. Con la validación realizada a la solución propuesta a partir de pruebas de aceptación y de pruebas unitarias empleando los métodos de caja negra y caja blanca, se pudo constatar después de 3 iteraciones, que el sistema quedó libre de no conformidades, por lo que el cliente puede utilizarlo en un entorno real. Se logró una cobertura de pruebas elevada, garantizando así la calidad del sistema construido.

## CONCLUSIONES GENERALES

Al término de esta investigación se concluye lo siguiente:

- La obtención de un valor cuantitativo en el que la participación del observador no influya (independientemente de la experiencia de este) es más confiable y menos sesgada a la hora de expresar los resultados de una investigación sobre OCP.
- Los sistemas basados en casos constituyen una herramienta efectiva para la cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior.
- La identificación de las distintas regiones con opacidad dentro de la imagen médica, pueden ser utilizadas para expresar el valor de densidad de la opacidad de la cápsula posterior del paciente.
- El sistema diseñado facilita el análisis de tomogramas de la cámara Scheimpflug del Pentacam al personal menos experimentado.
- El software desarrollado puede ser utilizado como herramienta de apoyo en investigaciones médicas relacionadas con la opacidad de la cápsula posterior.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de la presente investigación están encaminadas a incrementar las funcionalidades que ya presenta la misma, por lo que se recomienda:

- Diseñar una base de datos para almacenar los resultados de los cálculos realizados por los especialistas, de manera que le puedan servir de ayuda para estudios y diagnósticos por parte de aquellos menos experimentados.
- Complementar los resultados con el uso de técnicas de minería de datos de inteligencia artificial que le atribuyan al software la capacidad de realizar técnicas de análisis estadístico apoyadas en un almacén de datos ampliando la gama de funcionalidades y aporte información para la toma de decisiones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aamodt Agnar and P. Enric (1994). "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches." *Artificial Intelligence Communications* 7(1): 39-52.
- Alejandro, P. A. (2006). *Sistemas basados en Conocimiento: Una Base para su Concepción y Desarrollo*, Dirección de Publicaciones del Instituto Politécnico Nacional
- Arean, R. Y. (2003). *Una Herramienta de búsqueda inteligente en bases de datos utilizando técnicas de RBC*. Habana, s.n.
- Aslam TM, Patton N, et al. (2005). "Assessment of systems of analyzing PCO." *Cataract Refract Surgery* 31(7): 1270-1271.
- Aslam TM, Patton N, et al. (2005). "A freely accessible, evidence based, objective system of analysis of posterior capsular opacification; evidence for its validity and reliability." *BMC Ophthalmology* 5(1): 1-10.
- BA, H. (2009). "New cataract instruments boost safety and visual, refractive outcomes." *Ocular Surgery New U.S.*
- Barman SA, Hollick EJ, et al. (2000). "Quantification of posterior capsular opacification in digital images after cataract surgery." *Invest Ophthalmol* 41(12): 3882-3892.
- BECK, K. (1999). "Embracing change with extreme programming." *Computer* 32(10): 70-77.
- Beck, K. (2000). *Extreme Programming Explained: Embrace Change*. Addison-Wesley. Massachusetts.
- BECK, K. (2002). *Una explicación de la programación extrema: aceptar el cambio*. , Addison Wesley.
- Bello Pérez, R. E. (2002). *Aplicaciones de la Inteligencia Artificial*. Guadalajara, Jalisco, Ediciones de la Noche.
- Bender L, Spalton DJ, et al. (2004). "POCOman: New system for quantifying posterior capsule opacification." *Cataract Refract Surgery* 30(10): 2058-2063.
- Buehl W, Findl O, et al. (1999). "Reproducibility of standardized retroillumination photography for quantification of posterior capsule opacification." *Cataract Refract Surgery* 28(2): 265-270.
- Cortina P, G. M., Navea A, Menezo J L, Terencio MC, Diaz M (1997). "Diclofenac sodium and cyclosporin A inhibit human lens epithelial cell proliferation in culture." *Graefes Arch Clin exp Ophthalmologic*(235): 180-185.

- Expósito Gallardo, M. d. C. and R. Ávila Ávila (2008). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Medicina: perspectivas y problemas. Imbiomed. [http://www.imbiomed.com.mx/1/1/articulos.php?method=showDetail&id\\_articulo=51320&id\\_seccion=2663&id\\_ejemplar=5205&id\\_revista=51](http://www.imbiomed.com.mx/1/1/articulos.php?method=showDetail&id_articulo=51320&id_seccion=2663&id_ejemplar=5205&id_revista=51).
- Findl O, Buehl W, et al. (2008). Intervenciones para la prevención de la opacificación de la cápsula posterior. Biblioteca Cochrane Plus.
- Findl O, Buehl W, et al. (2003). "Comparison of 4 methods for quantifying posterior capsule opacification." *Cataract Refract Surgery* 29(1): 106-111.
- Findl O, Buehl W, et al. (2003). "Removal of reflections in the photographic assessment of PCO by fusion of digital retroillumination images." *Invest Ophthalmol* 44(1): 275-280.
- Friedman DS, Duncan DD, et al. (1999). "Digital image capture and automated analysis of posterior capsular opacification." *Invest Ophthalmol* 40(8): 1715-1726.
- Gámez Marín, J. A. and J. M. Puerta Callejón (1998). *Sistemas Expertos Probabilísticos*.
- Grewal D, Jain R, et al. (2008). "Pentacam tomograms: A Novel Method for Quantification of Posterior Capsule Opacification." *IOVS* 49(5): 2004-2008.
- Gutierrez J, E. M., Mejias M, Torres J. (2010) "PRUEBAS DEL SISTEMA EN PROGRAMACIÓN EXTREMA."
- Gutiérrez Martínez Iliana, Pérez Bello Rafael E., et al. (2002). "Un SBC para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre." *Investigación Operacional* 23(2): 103-121.
- Gwon AE, J. R., Gruber LJ, Mantras C (1992). "Lens regeneration in juvenile and adult rabbits measured by image analysis." *Invest Ophthalmol* 33(7): 2279-2283.
- Hernandez Lopez, I. (2010). SISTEMAS DE ANÁLISIS DE LA OPACIDAD DE LA CÁPSULA POSTERIOR. JORNADA CIENTÍFICA POR EL XXII ANIVERSARIO DEL CENTRO DE MICRO CIRUGÍA OCULAR. Habana, ICO "RAMÓN PANDO FERRER".
- Hernández López, I., J. R. Hernández Silva, et al. (2010). "Estrategias de prevención de la opacidad de la cápsula posterior." *Revista Cubana de Oftalmología* 23: 608-623.
- Hernández López, I., Y. Nuñez Larín, et al. (2011). "Cuantificación objetiva de la opacidad de la cápsula posterior mediante tomogramas Scheimpflug del Pentacam." *Revista Cubana de Oftalmología* 24: 208-219.
- Kolodner Janet L (1992). "An introduction to case-based reasoning. ." *Artificial Intelligence Review* 6(1): 3-34.

- L, K. J. (1993). Case-Based Reasoning, Morgan Kaufmann Publishers.
- LEAKE, D. (1996). "CBR in Context: The Present and Future." AAAI Press/MIT Press.
- Malecaze F, C. B., de Neuville S, Serres B, Mallet J, Douin-Echinard V (1999). "Adenovirus-mediated suicide gene transduction: feasibility in lens epithelium and in prevention of posterior capsule opacification in rabbits." *Human Gene Therapy* 10(2): 208-219.
- Oracle. Java. *Java*. [En línea] [Citado el: 7 de 2 de 2012.] <http://www.java.com/es/about/>.
- Pérez Lara, A., Y. Almenares Alfonso, et al. (2011). Implementación de un sistema basado en el conocimiento para el diagnóstico y el tratamiento médico de pacientes con dislipidemias. Trabajos de Diploma, Universidad de las Ciencias Informáticas.
- Pino Diez, R., A. Gómez Gómez, et al. (2001). INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: Sistemas Expertos, Redes Neuronales Artificiales y Computación Evolutiva.
- Pollhammer M, M. R., Rummelt C, Thyzel R, Cursiefen C, Kruse FE (2007). "In situ ablation of lens epithelial cells in porcine eyes with the laser photolysis system." *Cataract Refract Surgery* 33(4): 697-701.
- Portes ALF, A. A., Allodi S, Monteiro MLR (2010). "Trypan blue staining for capsulorhexis: Ultrastructural effect on lens epithelial cells and capsules." *Cataract Refract Surgery* 36(4): 582-587.
- Piattini, Mario. 2007. *Análisis y diseño detallado de aplicaciones informáticas de gestión*. Madrid: RA-MA, 2007. 9788478977765.
- Revilla Mugarra, D. E., E. Sanchez Fernandez, et al. (2010). Implementacion de un sistema para el cálculo de riesgo de enfermedades geneticas Trabajos de Diploma, Universidad de las Ciencias Informáticas.
- Rodríguez Alonso, Y., Y. Fouces Gutiérrez, et al. (2012). "Caracterización de la cirugía de catarata en pacientes con retinopatía diabética." *Revista Cubana de Oftalmología* 25: 94-103.
- Rodríguez Alonso, Y., Y. Fouces Gutiérrez, et al. (2012). "Caracterización de la cirugía de catarata en pacientes con retinopatía diabética." *Revista Cubana de Oftalmología* 25: 94-103.
- Rodríguez Alonso, Y., Y. Fouces Gutiérrez, et al. (2012). "Caracterización de la cirugía de catarata en pacientes con retinopatía diabética." *Revista Cubana de Oftalmología* 25: 94-103.
- Rodríguez Fernández, R. A. and V. Rodríguez Fernández (2012). Herramienta de firma digital., Universidad de las Ciencias Informáticas.
- S, D. (2006). "Ultrasonic Polishing of the posterior capsule with the Dewey Radius Tip." *Techniques in Ophthalmology* 4(4): 139-148.

- Sánchez Ortiz, S., A. Pérez Benitez, et al. (2011). Sistema Experto para la gestión de la Base de Conocimientos de NovaDesk. , Universidad de las Ciencias Informáticas.
- Sommerville, I. (2005). Ingeniería del software. Madrid, Pearson Educación S.A.
- Soria Francis, S. and N. Martinez Sanchez (2010). Modelo para diseñar Mapas Conceptuales Inteligentes utilizando el Razonamiento Basado en Casos TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN CIENCIAS INFORMÁTICAS, Universidad de las Ciencias Informáticas.
- SQTLite. (2010) SQTLiteManagenet.org. [En línea] 2008. [Citado el: 8 de Febrero de 2010.], <http://www.sqlitemanager.org/>.
- 
- Tenten Y, Schuitmaker HJ, et al. (2001). "The effect of photodynamic therapy with bacteriochlorin a on lens epithelial cells in a capsular bag model." Exp Eye Res 72(1): 41-48.
- Tetz MR, Auffarth GU, et al. (1997). "Photographic image analysis system of posterior capsule opacification." Cataract Refract Surgery 23(10): 1515-1520.
- Yagüe, A. G., J. (2009). "Las pruebas en metodologías ágiles y convencionales: papeles diferentes." Actas de los Talleres de las Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos 3(4): 67-73.

## ANEXOS

**Anexo1. Historias de usuario**

Tabla 12: HU1 Cargar imagen de tomograma.

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Historia de Usuario  |                                    |
| Número: 1  | Nombre: Cargar imagen de tomograma |
| Prioridad en Negocio:Alta  | Riesgo en Desarrollo: Baja         |
| Puntos estimados: 1  | Iteración asignada:1               |
| Descripción: Permite al usuario cargar la imagen proveniente de un tomograma del Pentacam. |                                    |
| Observaciones:   |                                    |

Tabla 13:HU2 Reconocer imagen de tomograma.

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| Historia de Usuario  |                                       |
| Número: 2  | Nombre: Reconocer imagen de tomograma |
| Prioridad en Negocio: Muy Alta   | Riesgo en Desarrollo: Alto            |
| Puntos estimados: 2  | Iteración asignada:1                  |
| Descripción: El sistema obtiene de la imagen obtenida la parte correspondiente solo con el análisis de la OCP. |                                       |
| Observaciones:   |                                       |

Tabla 14:HU3 Reconocer el centro de la estructura ocular.

|   |   |
|---|---|
| Historia de Usuario   |   |
| Número: 3   | Nombre: Reconocer el centro de la estructura ocular |
| Prioridad en Negocio: Muy Alta  | Riesgo en Desarrollo: Muy Alto                      |
| Puntos estimados: 2   | Iteración asignada:1                                |
| Descripción: El sistema obtiene de la parte correspondiente con el análisis de la OCP el centro de la estructura ocular presente en la misma. |   |
| Observaciones:  |   |



Tabla 15: HU4 Obtener el nuevo caso.

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Historia de Usuario  |                               |
| Número: 4  | Nombre: Obtener el nuevo caso |
| Prioridad en Negocio: Alta   | Riesgo en Desarrollo: Bajo    |
| Puntos estimados: 2  | Iteración asignada:1          |
| Descripción: El sistema hace una explosión de pixeles y tomo cada uno de estos como un nuevo caso. |                               |
| Observaciones:   |                               |

Tabla 16:HU5 Cargar los casos similares de la BC.

|  |   |
|--|---|
| Historia de Usuario  |   |
| Número: 5  | Nombre: Cargar los casos similares de la BC |
| Prioridad en Negocio: Alta   | Riesgo en Desarrollo: Medio                 |
| Puntos estimados: 2  | Iteración asignada:2                        |
| Descripción: El sistema se conecta a la Base de conocimientos y extrae los casos más similares al nuevo dado un indicador. |   |
| Observaciones:   |   |

Tabla 17: HU6 Calcular similitud de rasgos.

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| Historia de Usuario   |                                       |
| Número: 6   | Nombre: Calcular similitud de rasgos. |
| Prioridad en Negocio: Alta  | Riesgo en Desarrollo: Alto            |
| Puntos estimados: 2   | Iteración asignada:2                  |
| Descripción: Dado los casos más similares extraídos, el sistema calcula la similitud de cada uno de sus rasgos. |                                       |
| Observaciones:  |                                       |

Tabla 18: HU7 Calcular similitud de casos.

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Historia de Usuario   |                                      |
| Número: 7   | Nombre: Calcular similitud de casos. |
| Prioridad en Negocio: Alta  | Riesgo en Desarrollo: Alto           |
| Puntos estimados: 2   | Iteración asignada:2                 |
| Descripción: Dado los casos más similares extraídos y la similitud de sus rasgos, el sistema calcula la similitud de cada uno de los casos. |                                      |
| Observaciones:  |                                      |

Tabla 19: HU8 Calcular certeza de solución.

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| Historia de Usuario   |                                       |
| Número: 8   | Nombre: Calcular certeza de solución. |
| Prioridad en Negocio: Alta  | Riesgo en Desarrollo: Alto            |
| Puntos estimados: 2   | Iteración asignada:2                  |
| Descripción: Dado los resultados obtenidos en las comparaciones y la suma de los porcentos de similitud, el sistema calcula un porcentaje de certeza. |                                       |
| Observaciones:  |                                       |

Tabla 20: HU9 Calcular OCP en áreas definidas.

|  |  |
|--|--|
| Historia de Usuario  |  |
| Número: 9  | Nombre: Calcular OCP en áreas definidas. |
| Prioridad en Negocio: Muy Alta   | Riesgo en Desarrollo: Muy Alto           |
| Puntos estimados: 3  | Iteración asignada:3                     |
| Descripción: Dada las áreas definidas calcula la densidad de OCP presente en las mismas. |  |
| Observaciones:   |  |

Tabla 21:HU10 Brindar datos al usuario.

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Historia de Usuario   |                                   |
| Número: 10  | Nombre: Brindar datos al usuario. |
| Prioridad en Negocio: Alta  | Riesgo en Desarrollo: Medio       |
| Puntos estimados: 2   | Iteración asignada:3              |
| Descripción: Dado los resultados del cálculo se le presentan los mismos al usuario para que decida. |                                   |
| Observaciones:  |                                   |

Tabla 22:HU11 Indexar nuevo caso.

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Historia de Usuario  |                             |
| Número: 11   | Nombre: indexar nuevo caso. |
| Prioridad en Negocio: Alta   | Riesgo en Desarrollo: Bajo  |
| Puntos estimados: 1  | Iteración asignada:3        |
| Descripción: Se indexa el nuevo caso en la BC y se le asigna un valor numérico para comparaciones posteriores. |                             |
| Observaciones:   |                             |

## Anexo2. Tarjetas CRC

Tabla 23: Tarjeta CRC de la clase Conexión.

| Clase : Conexión  |               |
|---|---------------|
| Responsabilidades   | Colaboradores |
| 1. Permite realizar consultas y operaciones con la base de conocimientos. | 1. Pixel      |

Tabla 24: tarjeta CRC de la clase Recortador.

| Clase : Recortador   |                               |
|--|-------------------------------|
| Responsabilidades  | Colaboradores                 |
| 1. Realiza las operaciones sobre la imagen cargada.<br>1. Realiza los cálculos de la imagen cargada.<br>1. Muestra el lienzo con la imagen en forma de BufferedImage y con un recorte de la misma.<br>2. Maneja la configuración de la aplicación. | 1. Lienzo<br>2. Configuración |

Tabla 25: tarjeta CRC de la clase Lienzo.

| Clase : Lienzo   |   |
|--|---|
| Responsabilidades  | Colaboradores   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realiza las operaciones de extracción de los nuevos casos.</li> <li>1. Realiza los cálculos sobre la opacidad señalada en la imagen.</li> <li>1. Realiza las operaciones de zoom y recortar sobre la imagen.</li> <li>2. Establece los nuevos casos a comparar.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Editor</li> <li>2. Pixel</li> </ol> |

Tabla 26: Tarjeta CRC de la clase Configuración.

| Clase : Configuración  |   |
|--|---|
| Responsabilidades  | Colaboradores   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realiza las operaciones de configuración sobre las herramientas.</li> <li>2. Realiza las operaciones de configuración sobre los resultados.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recortador</li> <li>2. Pixel</li> </ol> |

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

Antimetabolitos: Sustancias que inhiben el metabolismo celular.

Anillo de tensión capsular: Dispositivo de forma anular, que se coloca dentro de la cápsula del cristalino para mantener una tensión adecuada.

Biocompatibilidad: Es la capacidad del implante para coexistir con los tejidos sin ocasionarles daño.

Capsulorrexis: Maniobra realizada en la cirugía de catarata donde se crea una abertura circular continua en la cápsula anterior del cristalino.

Cleanbagjet: Técnica usada para disminuir la incidencia de la OCP tras cirugía de catarata.

Citoquinas: Mediadores químicos liberados por las células en el proceso de respuesta inflamatoria.

Células epiteliales cristalinas: Células que dan origen a las fibras del cristalino, que en su migración pierden los organelos tornándose transparentes.

Cristalino: Medio refringente del ojo con alto poder dióptrico encargado de la acomodación (Enfoque para visión cercana o lejana). Es una estructura biconvexa, avascular y transparente, incluida en una cápsula, una membrana basal secretada por el epitelio del cristalino.

Desprendimiento de retina: Es una separación de la retina sensorial del epitelio pigmentario retiniano por líquido subretiniano.

Edema macular cistoideo: Complicación postoperatoria en la cual se acumula líquido en el espacio subretiniano del área macular.

Fibrosis: Tejido cicatrizal formado por células fibroblásticas lo cuál produce opacidad.

Fotólisis láser: Ruptura del tejido de la cápsula posterior por acción térmica del láser.

Lente intraocular: Lente artificial que se coloca dentro del ojo para sustituir el cristalino extraído.

Miofibroblastos: Células con capacidad de contraerse lo cual produce pliegues en la cápsula posterior.

Patogenia: Génesis de las enfermedades (Causa de la enfermedad).

Pentacam: Equipo oftalmológico de alta tecnología capaz de reconstruir imágenes tridimensionales de alta resolución del polo anterior del ojo.

Perlas de Elsching: OCP con forma de perla descrita por Elsching.

Imágenes de Purkinje: Efecto producido por la reflexión de la luz en la córnea y las caras anterior y posterior del cristalino.

Región retrolental: Región ubicada en la zona posterior de la lente intraocular.

Saco capsular: Estructura que rodea el cristalino dándole soporte.

Sistema Sheimpflug: Sistema de cámaras de alta definición acopladas a diferentes equipo médicos como el Pentacam.

Trypanblue: Sustancia usada para teñir la cápsula anterior del cristalino en la cirugía de catarata.

Transformación fibroproliferativa: Transformación de las células epiteliales residuales en miofibroblastos.