

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN



INTEGRACIÓN DE SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DIGITAL
DE IMÁGENES MÉDICAS, DISEÑADO PARA EL HOSPITAL UNIVERSI-
TARIO DE LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

TESIS PROFESIONAL

QUÉ PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA
JOSÉ LUNA PÉREZ

ASESORES
DR. MANUEL I. MARTÍN ORTÍZ
DR. JOSÉ G. VÁZQUEZ LUNA

PUEBLA, PUE.

2008

**ESTA TESIS ES DEDICADA A MIS PADRES, A QUIENES AGRADEZCO DE TODO CORAZÓN POR SU AMOR,
CARIÑO Y COMPENSIÓN. EN TODO MOMENTO LOS LLEVO CONMIGO.**

**AGRADEZCO A MIS HERMANOS POR LA COMPAÑÍA Y EL APOYO QUE ME BRINDAN. SÉ QUE CUENTO CON ELLOS
SIEMPRE.**

AGRADEZCO A DIOS POR LLENAR MI VIDA DE DICHA Y BENDICIONES

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS	
RESULTADOS ESPERADOS	
ESTRUCTURA DE LA TESIS	

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.	1
1.2 IMAGEN.	1
1.3 REPRESENTACIÓN DIGITAL DE UNA IMAGEN.	2
1.4 ADQUISICIÓN DE UNA IMAGEN DIGITAL.	2
1.5 RELACIONES BÁSICAS ENTRE PÍXELES.	3
1.5.1 VECINOS DE UN PÍXEL.	3
1.5.2 CONECTIVIDAD Y ADYACENCIA.	4
1.5.3 MEDIDAS DE DISTANCIA.	4
1.6 REPRESENTACIÓN DEL COLOR EN IMÁGENES DIGITALES.	5
1.6.1 MODELOS DE COLOR.	5
1.6.2 FORMACIÓN DE IMÁGENES DIGITALES CON COLOR.	5
1.7 MEJORAMIENTO DE UNA IMAGEN DIGITAL.	7
1.8 CONCEPTO DE FILTRO.	8
1.9 FILTRO COMPUTACIONAL.	8
1.10 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL PARA IMÁGENES MÉDICAS.	9
1.10.1 TÉCNICAS DE REALCE.	10
1.10.1.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES PRELIMINARES.	10
1.10.1.2 NEGATIVO.	11
1.10.1.3 TRANSFORMACIÓN LOGARITMO.	11
1.10.1.4 TRANSFORMACIÓN “LEY DE POTENCIA”.	12
1.10.1.5 SUPRESIÓN DEL RUIDO CON FILTRO MEDIA.	13
1.10.1.6 SUPRESIÓN DEL RUIDO CON FILTRO MEDIANA.	14
1.10.1.7 REALCE DE BORDES.	14
1.10.2 TÉCNICAS DE SEGMENTACIÓN.	15
1.10.2.1 UMBRALES.	15
1.10.2.2 UMBRAL GLOBAL.	16
1.10.2.3 UMBRAL LOCAL (ADAPTIVO).	17
1.10.2.4 PRE PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN EN LA TÉCNICA DE	
UMBRALES	17
1.10.3 CUANTIFICACIÓN.	18
1.10.4 PSEUDO-COLOR.	18

1.10.4.1 MÉTODO DE DIVISIÓN DE INTENSIDAD.	19
1.11 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN JAVA.	19
1.11.1 CARACTERÍSTICAS DE JAVA.	20
1.12 ENTORNO INTEGRADO DE CUIDADOS DE LA SALUD: CARE2X.	20
CAPITULO 2. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.	23
2.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.	23
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.	23
CAPITULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA	30
3.1 REQUERIMIENTOS DE DESARROLLO.	30
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA.	31
3.2.1 DISEÑO JERÁRQUICO.	32
3.2.2 DISEÑO DE LAS CLASES PRINCIPALES DEL SISTEMA.	32
3.2.2.1 DISEÑO DE LA CLASE FILTROS DE PROCESAMIENTO.	32
3.2.2.2 DISEÑO DE LA CLASE ÁREA DE TRABAJO.	33
CAPITULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.	35
4.1 ACCESO AL SISTEMA.	35
4.2 INTERFACES Y FUNCIONES PRINCIPALES.	36
4.2.1 INTERFAZ PRINCIPAL.	37
4.2.2 MODIFICAR BRILLO Y CONTRASTE.	37
4.2.3 HERRAMIENTA PARA REDUCCIÓN DE RUIDO.	38
4.2.4 HERRAMIENTA PARA DIFUMINAR Y AGUDIZAR BORDES.	38
4.2.5 HERRAMIENTA FILTRO TRIGONOMÉTRICO.	39
4.2.6 HERRAMIENTA DE EXTRACCIÓN DE BORDES.	39
4.2.7 USO DE BATERÍAS.	40
4.2.8 DISEÑADOR DE FALSO COLOR.	40
CONCLUSIONES	41
LIMITACIONES.	
PERSPECTIVAS DE DESARROLLO.	
APÉNDICE A. MANUAL DE USUARIO	43
BIBLIOGRAFÍA	46

INTRODUCCIÓN

Como parte de las ciencias naturales, la medicina es la búsqueda del entendimiento de un objeto en particular, el cuerpo humano, su estructura y funciones bajo todas las condiciones de salud, enfermedad o lesiones. Esta búsqueda ha producido modelos de salud y enfermedad los cuales son inmensamente útiles para la prevención de padecimientos e incapacidades, detección y diagnóstico de enfermedades o lesiones, y por último en el diseño de terapias que alivian el dolor y regresan al cuerpo humano a un estado de buena salud o, al menos, en su estructura y capacidades funcionales. El éxito de este esfuerzo depende de (a) la profundidad de nuestro conocimiento sobre el cuerpo humano y (b) la delineación de procedimientos que intervengan exitosamente en la progresión de enfermedades y/o los efectos causados por lesiones. [1]

El cuerpo humano es un sistema increíblemente complejo. Uno de los retos principales para los investigadores y clínicos es la cuestión de cómo adquirir, procesar y desplegar vastas cantidades de información acerca del cuerpo a fin de que esta información pueda ser asimilada, interpretada, y utilizada para producir mejores métodos para el diagnóstico y procedimientos terapéuticos. En muchos casos la presentación de la información en forma de imágenes es la aproximación más accesible para resolver el reto anterior. [1]

El uso de imágenes para manejar e interpretar información acerca de procesos biológicos y médicos se encuentra en constante expansión y mejora. La comunidad de imágenes médicas es ahora capaz de indagar en la estructura, función y patología del cuerpo humano con una diversidad de sistemas de imágenes. Estos sistemas proveen conjuntos de datos en dos, tres o más dimensiones, los cuales nos ofrecen información detallada para aplicaciones clínicas y de investigación. Esta información debe ser interpretada de manera temprana y exacta para beneficiar al cuidado de la salud. La exanimación es cualitativa en algunos casos, cuantitativa en otros; algunas imágenes necesitan ser comparadas con otras o con plantillas, muchas deben ser comprimidas y archivadas. Para poder asistir a la interpretación visual de imágenes médicas, la comunidad internacional de imagen ha desarrollado numerosas y automatizadas técnicas las cuales tienen su mérito, limitaciones y dominio de aplicación. [2]

El Hospital Universitario de Puebla (HUP) requiere de un sistema de apoyo para el diagnóstico por imagen en el servicio de radiología. Se propone desarrollar una herramienta de software la cual intenta cubrir las necesidades básicas de visualización y procesamiento de imágenes médicas, esta herramienta será habilitada para la Web lo que posibilita su ejecución en cualquier tipo de computadores que cuenten con un navegador y conexión a Internet y la disponibilidad de la aplicación estará dada por el Sistema de Información Hospitalario (HIS) Care2x, de esta forma se cubre la interoperabilidad con otros sistemas.

De acuerdo a las características del HIS Care2x los usuarios (médicos, enfermeras, etc.) registrados, podrán efectuar en línea los estudios requeridos, y cuando los mismos estén disponibles, bajarlos a su equipo para su posterior análisis.

OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL**

Este trabajo de tesis utiliza al sistema Care2x como base para el desarrollo de un Sistema de Información Hospitalario que satisfaga los requerimientos del HUP en los distintos servicios que ofrece. Para el servicio de Radiología se implementará un software como herramienta para la visualización de estudios médicos por imagen que se realizan en dicho servicio, considerando las necesidades de mayor uso para llevar a cabo una observación más amplia en el diagnóstico médico.

- **OBJETIVOS PARTICULARES**

Este sistema debe procurar la compatibilidad con los resultados que arrojan los equipos de radiología, tales como imágenes almacenadas en formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine), consideradas el formato más utilizado.

Este sistema debe estar disponible para los diferentes departamentos del Care2x que utilicen los estudios de radiología.

RESULTADOS ESPERADOS

- Con base a la idea de sectorización de imágenes digitales, y mediante la implementación de algoritmos que permitan la administración más óptima de cada sector de la imagen durante el tiempo de procesamiento y de visualización, se pretende que este sistema incremente significativamente la velocidad de procesamiento para obtener un mejor rendimiento en equipos con recursos moderados.
- El sistema deberá tener la capacidad de trabajar con el estándar DICOM en cuanto al formato de imagen se refiere, esto permite la interoperabilidad de diversos sistemas orientados al manejo y transmisión de imágenes médicas.
- El acceso al sistema de archivos de imágenes médicas que están físicamente alejadas con respecto al sitio de visualización, será por medio de la red Internet o Intranets, mediante el uso de un sistema web orientado a la administración de información hospitalaria.
- El sistema de información hospitalaria Care2x realiza entre otras tareas la administración de los estudios por imagen que cada paciente ha experimentado. El desarrollo de este trabajo de tesis deberá contemplar la interacción con el sistema Care2x.

LOS PRINCIPALES RESULTADOS DE ESTE TRABAJO DE TESIS SON

1. Gracias a las herramientas proporcionadas por el lenguaje de programación Java, y a la implementación de algoritmos de optimización, el rendimiento del sistema desarrollado es satisfactorio.
2. La compatibilidad con los resultados que se obtienen de las diferentes modalidades de estudio mediante imagen que se realizan dentro del HUP se obtuvo mediante la implementación del formato de imagen digital DICOM.

3. Este sistema se basa en la tecnología Java Web Start y ha sido diseñado específicamente para ser integrado en aplicaciones Web de terceros. Específicamente cumple con la interacción del sistema Care2x.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

Este trabajo está organizado de la siguiente manera:

INTRODUCCIÓN. Se presenta la introducción, los objetivos, los resultados esperados, y la estructura del presente trabajo de tesis.

CAPITULO 1. Se expone la teoría más general sobre los temas relacionados con la Imagenología Medica, el Procesamiento Digital de Imágenes Médicas, y un breve estudio del lenguaje de programación Java.

CAPITULO 2. Se puntualizan los requerimientos para el desarrollo del sistema de procesamiento digital de imágenes médicas.

CAPITULO 3. Se describe la fase de diseño, presentando el diseño de los componentes más esenciales del sistema.

CAPITULO 4. Se describe la fase de implementación que presenta este desarrollo de tesis.

CONCLUSIONES. Se exponen las conclusiones, limitaciones y las perspectivas del presente trabajo de tesis.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El procesamiento digital de imágenes, incluye un conjunto de técnicas que operan sobre la representación digital de una imagen, con el fin de destacar de algunos elementos que conforman la escena, de modo que se facilite su posterior análisis, bien sea por parte del usuario (humano) o un sistema de visión artificial. En general, las técnicas de procesamiento de imágenes son aplicadas cuando resulta necesario realzar o modificar una imagen para mejorar su apariencia o para destacar un aspecto de la información contenida en la misma, o cuando se requiere, medir, contrastar o clasificar algún elemento contenido en la misma. También se utilizan técnicas de procesamiento, cuando se requiere combinar imágenes o porciones de las mismas o reorganizar su contenido. [3]

Este capítulo pretende dar a conocer la teoría y conceptos básicos sobre el procesamiento digital de imágenes y el lenguaje de programación Java, los cuales establecen las bases para poder continuar con las diferentes técnicas de procesamiento digital de imágenes, dentro de este trabajo de tesis estas técnicas están enfocadas hacia las aplicaciones médicas, pero, no por ello dejan de ser validas en imágenes provenientes de otras áreas del conocimiento.

1.2 IMAGEN

Todos los elementos de la corteza terrestre, rocas, suelos, vegetación y agua, así como también los objetos que la recubren, absorben, reflejan o emiten una cantidad de energía que depende de la longitud de onda, de la intensidad y del tipo de radiación incidente, así como también de las características de absorción de los objetos y de la orientación de estos respecto al sol o fuente de iluminación. [3]

El párrafo anterior introduce al concepto de imagen (no digitalizada) siguiente:

Una imagen es la reproducción de un objeto formado por la combinación de los rayos de luz que proceden del mismo y que inciden en un sistema óptico. [10]

1.3 REPRESENTACION DIGITAL DE UNA IMAGEN

Una imagen digital es una imagen $f(x, y)$ que se ha discretizado tanto en coordenadas espaciales como en el brillo. Una imagen digital puede considerarse como una matriz cuyos índices de fila y columna identifican un punto de la imagen y el valor del correspondiente elemento de la matriz indica el nivel de gris en ese punto. Los elementos de una distribución digital de este tipo se denominan elementos de la imagen, o más comúnmente *pixels* o *pels*, abreviaturas de su denominación inglesa *picture elements*.

1.4 ADQUISICIÓN DE UNA IMAGEN DIGITAL

Existen diferentes medios para la obtención de una imagen digital, los más comunes son: los scanners de cama plana y las cámaras digitales. Ambos se basan en un dispositivo llamado CCD (Coupled Charge Device), este recibe la luz de la imagen, ya sea por reflexión o por transmisión e integra en un tiempo definido la cantidad de luz que llega a él. Formando un arreglo de CCD's es posible realizar la digitalización de la imagen por renglones o bien entera. [7]

Una imagen $f(x, y)$ puede ser continua con respecto a los ejes coordenados x e y , así también en amplitud. Para convertirla a una imagen digital por medio de uno de los dispositivos mencionados anteriormente, requiere que tanto las coordenadas como la amplitud sean digitalizadas. Digitalizar los valores de las coordenadas es llamado *muestreo*; digitalizar la amplitud de los valores es llamado *cuantificación*. Se dice que cuando los valores de x , y , y amplitud de f son todos finitos, en cantidades discretas, se puede decir que es una imagen digital.

El sistema más simple de digitalización corresponde al llamado *tono de gris*, este indica la cantidad o intensidad de la luz registrada. Este sistema es usado por la mayoría de modalidades para la obtención de imágenes diagnósticas. Una imagen digital se puede representar por medio de una matriz bidimensional con M filas y N columnas y el valor de cada uno de los puntos se encuentra dentro de un rango del *tono de gris*.

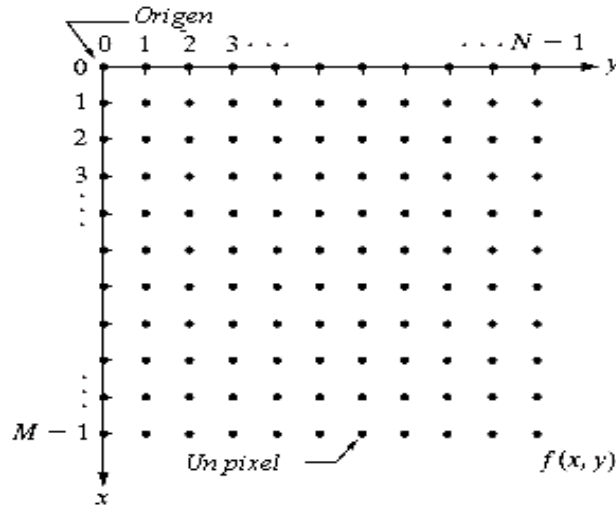


Figura 1.1 Representación Matricial de una imagen digital, cada punto representa un pixel, y los valores de N y M representan el ancho y el alto de la imagen.

1.5 RELACIONES BASICAS ENTRE PÍXELES

En esta sección, se consideraran algunas relaciones importantes entre pixeles dentro de las imágenes digitales. Como se menciono anteriormente, una imagen es denotada por $f(x, y)$. Cuando se refiera dentro de esta sección a un pixel en particular, se hará con letras minúsculas, tales como p y q .

1.5.1 VECINOS DE UN PIXEL

Un pixel p dentro de las coordenadas (x, y) tiene cuatro vecinos horizontales y verticales, de los cuales sus coordenadas están dadas por

$$(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)$$

Este conjunto de pixeles es llamado como, los 4 vecinos de p , es denotado por $N_4(p)$. Cada pixel se encuentra a una unidad de distancia de si (x, y) , y algunos de los vecinos de p se encuentran fuera de la imagen digital si (x, y) esta sobre el límite de la imagen.

Los cuatro vecinos diagonales de p poseen las siguientes coordenadas:

$$(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)$$

y se denotan por $N_D(p)$. Estos puntos, en conjunto con los cuatro vecinos, son llamados los ocho vecinos de p , denotados por $N_8(p)$. Como se menciono antes, algunos de los puntos $N_8(p)$ caen fuera de la imagen si (x, y) se encuentra sobre el límite de la imagen. [4]

1.5.2 CONECTIVIDAD Y ADYACENCIA

La conectividad entre píxeles es un concepto fundamental que simplifica la definición de algunos conceptos en imágenes digitales, como las regiones y límites. Para establecer si dos píxeles están conectados, se debe determinar si los píxeles son vecinos y si sus niveles de gris satisfacen un criterio específico de similitud. [4]

Sea V el conjunto de valores de niveles de gris usados para definir la adyacencia. En una imagen binaria, $V = \{1\}$ si nos referimos a la adyacencia de píxeles con valor de 1. En las imágenes en escala de grises, la idea es la misma, pero V típicamente contiene más elementos. Por ejemplo la adyacencia de píxeles con posibles valores de nivel de gris de 0 a 255, V puede tener un subconjunto de 256 valores. Se consideran tres tipos de adyacencia:

- a) Adyacencia 4. Dos píxeles p y q con valores de V son 4-adyacentes si q se encuentra en el conjunto $N_4(p)$.
- b) Adyacencia 8. Dos píxeles p y q con valores de V son 8-adyacentes si q está en el conjunto $N_8(p)$.
- c) Adyacencia m (adyacencia mixta). Dos píxeles p y q con valores de V son m -adyacentes si
 - i. q está dentro de $N_4(p)$, o
 - ii. q está dentro de $N_D(p)$ y el conjunto $N_4(p) \cap N_4(q)$ no posee píxeles con valores de V .

1.5.3 MEDIDAS DE DISTANCIA

Para píxeles p, q y z , con coordenadas (x, y) , (s, t) y (v, w) , respectivamente, D es una función de distancia si

- a) $D(p, q) \geq 0$ ($D(p, q) = 0$ si $p = q$),
- b) $D(p, q) = D(q, p)$, y
- c) $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$.

La distancia Euclidiana entre p y q está definida como

$$D_e(p, q) = [(x - s)^2 + (y - t)^2]^{\frac{1}{2}}$$

La distancia D_4 entre p y q está definida por

$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t|$$

La distancia D_8 entre p y q está dada por

$$D_8(P, Q) = \max(|x - s|, |y - t|)$$

1.6 REPRESENTACION DEL COLOR EN IMÁGENES DIGITALES

Básicamente, los colores que los seres humanos percibimos en un objeto están determinados por la naturaleza de la luz reflejada por el objeto. Como ilustra la figura 1.2 la luz visible está formada por una banda de frecuencias relativamente estrecha del espectro electromagnético. Un cuerpo que refleje luz y que este equilibrada en todas las longitudes de onda aparece como blanco para el observador. Sin embargo, un cuerpo que tiene una mayor referencia en una determinada banda del espectro visible aparece como coloreado. [5]

La caracterización de la luz es un aspecto central de la ciencia del color. Si la luz es acromática (sin color), su único atributo es la intensidad, o cantidad de luz. Como se vio en secciones anteriores el nivel de gris se refiere a una medida escalar de la intensidad que va del negro al blanco, pasando por los grises.

La luz visible abarca la región del espectro electromagnético comprendida entre los 400 y los 700 nm, aproximadamente. Para describir las características de una fuente cromática de luz se emplean tres magnitudes básicas: la radiancia, la luminancia y el brillo. La *radiancia* es la cantidad total de energía que sale de la fuente luminosa, y habitualmente se mide en vatios (W). La *luminancia* medida en lúmenes (lm), proporciona una medida de la cantidad de energía que el observador percibe de la fuente luminosa. Finalmente, el *brillo* es un descriptor subjetivo que resulta muy difícil de medir. Incluye la noción acromática de la intensidad y es uno de los factores fundamentales para describir las sensaciones del color. [5]

1.6.1 MODELOS DE COLOR

El objetivo de un modelo de color es el facilitar la especificación de los colores de una forma normalizada y aceptada genéricamente. En esencia, un modelo de color es la especificación de un sistema de coordenadas tridimensional y de un subespacio de este sistema en el que cada color quede representado por un único punto.

La mayoría de los modelos de color empleados en la actualidad están orientados bien hacia el hardware (como para monitores en color e impresoras) o bien hacia aplicaciones donde manipular el color (como la creación de gráficos en color para la animación). Los modelos orientados hacia el hardware utilizados comúnmente en la práctica son el RGB (iniciales de *red*-rojo, *green*-verde y *blue*-azul) para monitores en color y una amplia categoría de cámaras digitales en color; el CMY (de *cyan*-cian, *magenta*-magenta y *yellow*-amarillo) para impresoras en color y el YIQ, que es el estándar de las emisiones de televisión en color. En este tercer modelo, la Y corresponde a la luminancia, y la I y la Q son dos componentes cromáticas denominadas fase y cuadratura.

1.6.2 FORMACION DE IMÁGENES DIGITALES CON COLOR

Debido a la estructura del ojo humano, todos los colores se ven como combinaciones variables de los denominados tres colores primarios, rojo, verde y azul. De esta manera y

con fines de simplicidad para este trabajo de tesis la representación del color en una imagen digital está formada por la combinación de imágenes individuales de dos dimensiones. Esto es, si tomamos el modelo de color RGB, las imágenes individuales que se combinarán, estarán formadas como una función $f(x, y)$ donde el valor de f sea una intensidad de color ya sea Rojo, Verde, o Azul.

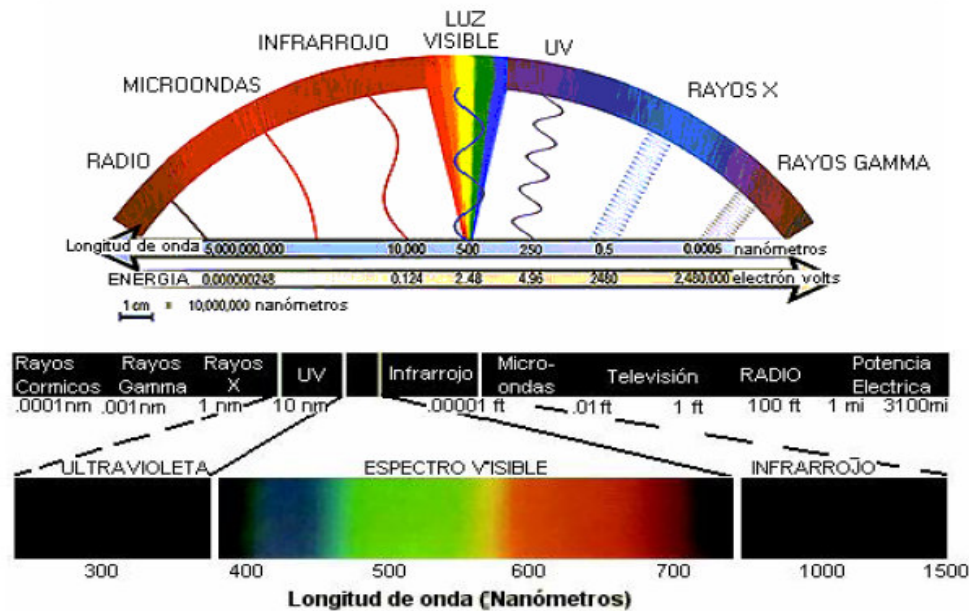


Figura 1.2 Longitudes de onda del espectro visible para el ojo humano.

En los principios de la computación y debido a que la tecnología, el color en los sistemas de visualización no era alta calidad, las imágenes generalmente se encontraban en escalas de grises. Por lo cual era suficiente representar a un determinado tono de gris con un número. [8]

En un principio se contaba solo con 16 tonos de gris para representar a las escenas digitalizadas y es que el ojo es capaz de reconocer o discriminar lo más este mismo número de tonalidades en gris. Con el tiempo esta cantidad se incremento y actual mente es posible representar desde 256 tonos de gris en la computadora y hasta muchos más dependiendo del equipo de trabajo utilizado; por supuesto con 256 tonos de gris se cuenta ya con una cantidad bastante amplia tomando en cuenta la limitación del ojo. De este modo, la matriz de datos correspondiente a la imagen digital en grises contenía un numero del 0 a un numero L-1, en donde L es el numero de tonos de gris posibles. Sin embargo el problema comenzó cuando surgió la necesidad de trabajar con imágenes en color. [8]

Una manera sencilla de resolver el problema, y que hoy se sigue usando en algunos formatos de imagen digital es almacenar junto con la matriz de datos una lista de colores que son utilizados en la imagen. Esto es comúnmente conocido como paleta de colores. Así, las imágenes pueden contener color, y en cada celda de la matriz de datos se almacena un número que indica el número en la lista o paleta del color utilizado.

Una limitante de este método es por supuesto la representación de más colores ya que el espacio cromático existente es muy amplio y los distintos tipos de colores existentes en la naturaleza pueden llegar a millones.

Es de conocimiento común que cualquier color puede ser obtenido de la combinación de otros. En general se sabe que existen tres colores primarios con los cuales se pueden generar cualquier color que se desee.

Un modelo de color es aquel que identifica colores que se denominarían primarios y con los que se produce cualquier color. En las computadoras, los monitores a color utilizan un modelo de color para poder producirlo. La matriz de datos de una imagen digital a color, que no hace uso de una paleta, contiene un número entero que le indica a la máquina que proporción de cada color primario se requiere para generar el color en ese punto.

A esto se le conoce como profundidad de color o del píxel y está relacionada con número de tonos que se pueden distinguir por cada color primario y cuántos colores primarios se utilizan en la imagen. De forma más técnica se necesitaría un número de bits para indicar el color de cada píxel.

Si quisiéramos saber el color de un píxel en una imagen de 16 colores necesitaríamos $(2^4) = 16$ combinaciones diferentes, esto es 4 bits, lo mismo para 256 colores, necesitaríamos $(2^8) = 256$ combinaciones diferentes, esto es 8 bits, y así sucesivamente como se muestra en la Tabla 2.1.

Numero de bits	Combinaciones posibles	Numero de Colores
4	2^4	16
8	2^8	256
16	2^{16}	Aprox. 65000
24	2^{24}	Aprox. 16.7 millones

Tabla 1.1 Profundidad de color o de píxel.

La importancia de esta progresión reside en que, al aumentar el número de colores posibles en la imagen estamos incrementando inevitablemente el espacio necesario para almacenarla.

Existen imágenes que usan más de tres colores primarios e incluso en los monitores modernos se utiliza un cuarto dato que no es precisamente un color primario sino que tiene que ver con el efecto de transparencia del color.

1.7 MEJORAMIENTO DE UNA IMAGEN DIGITAL

El principal objetivo de las técnicas de mejora es procesar una imagen de forma que resulte más adecuada que la original para una aplicación específica.

El mejoramiento se puede entender como un proceso que transforma la imagen en algún aspecto, haciéndola más adecuada para la tarea en la que la imagen modificada es requerida.

Se debe tener claro que un proceso de mejoramiento es funcional para cierto tipo de imágenes pero no para otras. Así, por ejemplo, un método que sea muy útil para mejorar imágenes en rayos X puede no ser necesariamente el ideal para mejorar las imágenes de Marte transmitidas por una sonda espacial. [8]

1.8 CONCEPTO DE FILTRO

En el caso de la fotografía se han implementado distintas técnicas cuya meta es dar mayor calidad de visión o resalte a la imagen. Un primer intento son los tipos de película que se utilizan para la captura. Con ellos se logran adquirir tonos de color que para los ojos son claros pero para las preparaciones fotográficas no. En el caso de las radiaciones azules y violeta, que aparecen oscuras al ojo, actúan enérgicamente sobre la preparación, por el contrario los colores rojo y anaranjado tienen un efecto nulo. Por tal motivo se crean películas especializadas y sin embargo el resultado no es del todo satisfactorio.

Lo anterior motivo al uso de lo que se conoce como filtros de luz constituidos por cristales coloreados, de caras planas y paralelas que se colocan delante del objetivo. Un filtro de determinado color favorece al paso de la radiación del mismo color y atenúa el color complementario. El filtro amarillo tiene el efecto de oscurecer el cielo al debilitar las radiaciones azules y esto es de gran utilidad cuando la imagen por capturar es un monumento, logrando un resalte del mismo. Por otra parte el filtro rojo logra efectos interesantes cuando se trata de una imagen panorámica logrando la disminución de la niebla en paisajes nublados y el resalte de detalles muy diminutos que no se logran percibir con una simple cámara.

Un claro ejemplo cotidiano de filtro es el utilizado en los autos y que se conoce como polarizado o el similar en las gafas de sol. Como se puede observar, el filtro inicialmente surgido del intento de mejorar la imagen también cumple con el objetivo de resaltar información. [8]

1.9 FILTRO COMPUTACIONAL

Al igual que en la fotografía, los procesos de digitalización y almacenamiento no son suficientes para un estudio específico de una imagen digital, se necesita la manipulación de esta imagen para obtener un mejoramiento concreto, como, la aplicación de filtros que resaltan, y eliminan información. Una vez que las primeras imágenes de Marte fueron obtenidas, mediante la computadora se diseñaron filtros semejantes a los cristales coloreados de las cámaras con los cuales lograron tinter una imagen que se encontraba completamente en

tonos de gris. Fue así como se consiguieron también las primeras tomas a color de las galaxias y de los planetas. [8]

Es claro que la superposición de los cristales de color o alguna otra especie de filtro sobre los dispositivos de captura era algo difícil. Por lo tanto, se tuvo que acudir a la teoría, y en vez de rediseñar los dispositivos de captura para la aplicación de filtros se optó por el desarrollo de operaciones matemáticas capaces de imitar a los efectos de los filtros físicos ya que el crear nuevos sensores con tales características era una idea muy poco exitosa pues por cada filtro se debería idear un sensor especializado o muy complejo si se quisiera la aplicación varios y por tal motivo en algunos casos como los monitores se implemento un juego básico de filtros para mejoramiento de la imagen como lo era el manejo del brillo, la saturación y el contraste.

El factor que influyó notablemente para el uso de las matemáticas y que sigue siendo la clave actualmente es la matriz de datos que representa internamente a la imagen digital en la computadora. Toda imagen almacenada en la computadora está asociada con una matriz numérica que representa la información cromática de cada punto o píxel. De esta manera, es posible entonces ver a la imagen digital como una entidad matemática pura capaz de ser manipulada y analizada en sus propiedades matemáticas. Por supuesto, ateniéndose a la definición; una imagen digital es una función de dos dimensiones.

Siguiendo esta línea, un filtro es un operador matemático que es aplicado a la función $f(x, y)$ respectiva a la imagen digital y cuyo resultado será una nueva función $g(x, y)$ que corresponderá a una imagen digital también.

La definición del operador dependerá del tipo de proceso matemático a utilizar y se ha expresado de esta manera para no limitarlo ya que el operador se puede tratar desde una simple derivada hasta una transformada. Por supuesto el dominio del operador es variable y dependiente de la información contenida en la imagen. [8]

1.10 TECNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAN PARA IMÁGENES MEDICAS

La radiología toma ahora un papel importante en la práctica de la medicina moderna. Las decisiones clínicas se hacen dependiendo de una oportuna y acertada interpretación de los estudios de imagen particularmente en situaciones intensas. La importancia de esta práctica clínica diaria se refleja en el hecho de que casi no existen pacientes que dejen el hospital sin experimentar un Estudio de imagen. Muchos médicos necesitan ahora interpretar imágenes ellos mismos y la información provista es particularmente útil para minimizar un tratamiento invasor. Es por este hecho que el estudio de imagen toma un lugar muy importante dentro de la comunidad médica. [3]

1.10.1 TECNICAS DE REALCE

Las imágenes médicas son a menudo deterioradas por el ruido debido a varias fuentes de interferencia y otros fenómenos que afectan el proceso de medida en la imagen y en los sistemas de adquisición. La naturaleza del sistema fisiológico bajo investigación y los procedimientos usados para realizar los estudios de imagen también disminuyen el contraste y la visibilidad de detalles.

Un ejemplo primordial para este trabajo de tesis son los estudios de mamografía (imágenes de rayos X del área del pecho), a pesar de que estos estudios no son afectados por el ruido, tienen un contraste limitado a causa de la naturaleza y la superposición de tejidos suaves del pecho, el cual es comprimido durante este procedimiento de imagen. Las pequeñas diferencias que pueden existir entre tejidos normales y anormales son confundidas con las formaciones llamadas artefactos que se producen al comprimir el pecho, lo que hace que a menudo un análisis directo de la imagen adquirida sea muy difícil de realizar. [2]

Las técnicas de realce son técnicas matemáticas que tienen como meta realizar mejoras significativas en la calidad de la imagen dada. El resultado es otra imagen que demuestra ciertas características que nos permiten tener una mejor apreciación visual comparada con la apariencia de la imagen original.

1.10.1.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES PRELIMINARES

Como se ha mencionado secciones anteriores, una imagen digital se define como un arreglo de dos dimensiones de números que representan la distribución de intensidad continua de una señal espacial real. La señal espacial continua es muestreada en intervalos regulares y la intensidad es cuantificada a un número finito de niveles. Cada elemento del arreglo representa a un elemento de la imagen o pixel. La imagen digital está definida como una distribución espacial de la señal de intensidad $f(m, n)$, donde f es la intensidad del pixel, y m y n definen la posición del pixel a lo largo de un par de ejes ortogonales usualmente definidos como vertical y horizontal. Se asume que la imagen posee M filas y N columnas y que la imagen digital tiene P niveles cuantizados de intensidad (niveles de gris) con valores que están en el rango de 0 a $P - 1$.

El histograma de una imagen, es comúnmente usado dentro de las técnicas de realce, está definido como un vector que contiene la cuenta del número de píxeles dentro de la imagen en cada nivel de gris. El histograma, $h(i)$ puede ser definido como

$$h(i) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \delta(f(m, n) - i), \quad i = 0, 1, \dots, P - 1,$$

donde

$$\delta(w) = \begin{cases} 1 & w = 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Una operación útil para realizar la mejora o realce de una imagen es la convolución, usando operadores locales, también conocidos como *kernel* o *maskaras*.

Se considera a un kernel $w(k, l)$ como un arreglo de $(2K + 1 \times 2L + 1)$ coeficientes, donde el punto $(k, l) = (0, 0)$ es el centro del kernel, la convolución de una imagen mediante un kernel se define por:

$$g(m, n) = w(k, l) * f(m, n) = \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L w(k, l) \cdot f(m - k, n - l)$$

donde $g(m, n)$ es el resultado de la convolución o la imagen de salida. Para realizar la convolución de una imagen con un kernel, este es centrado sobre un pixel (m, n) , el producto punto de los coeficientes del kernel y el correspondiente pixel de la imagen es obtenido, y la suma subsecuente de estos productos es usada como el nuevo valor del pixel para la imagen de salida en (m, n) . La imagen resultado completa $g(m, n)$ es obtenida realizando la misma operación sobre todos los pixeles de la imagen original.

1.10.1.2 NEGATIVO

El negativo de una imagen con niveles de gris dentro del rango $[0, P - 1]$ es obtenido usando la transformación a negativo mostrada en la figura 3.1, la cual está dada por la expresión

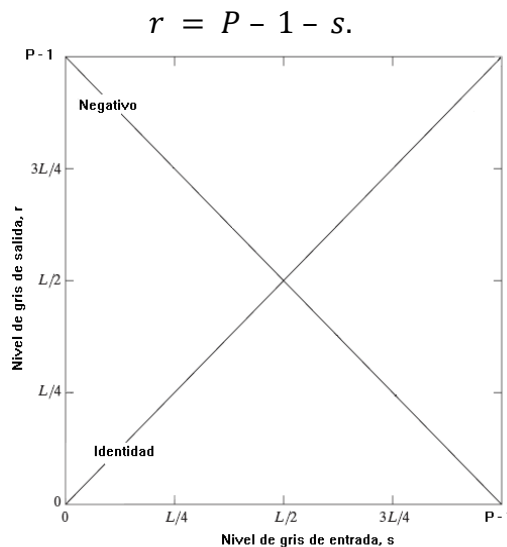


Figura 1.3 Transformación negativo en forma de diagrama.

1.10.1.3 TRANSFORMACIÓN LOGARITMO

La forma general de la transformación logaritmo se muestra en la figura 1.4 y es dada por

$$r = c \log (1 + s)$$

donde c es una constante, y se asume que $s \leq 0$. La forma de la curva del logaritmo en la Figura 11, muestra que esta transformación mapea un estrecho rango de valores bajos de niveles de gris de la imagen de entrada dentro de un más amplio rango de niveles de salida.

Se usa una transformación de este tipo para expandir los valores de pixeles oscuros de la imagen mientras comprimimos los valores de más alto nivel.

La función logaritmo tiene la característica importante, que esta comprime el rango dinámico de imágenes con variaciones largas en los valores de los pixeles.

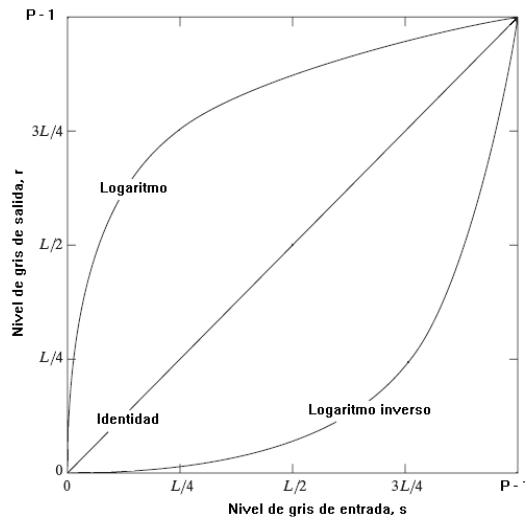


Figura 1.4 Grafica de la ecuación $r = c \log(1 + s)$.

1.10.1.4 TRANSFORMACIÓN “LEY DE POTENCIA”

La transformación de ley de potencia tiene la forma básica

$$r = cs^\gamma$$

donde c y γ son constantes positivas. Algunas veces se escribe como $r = c(s + \epsilon)^\gamma$ para tomar en cuenta el desbalance o no linealidad (que es una salida medible cuando la entrada es igual a cero).

Graficas de r contra s con varios valores de γ se muestran en la figura 1.5. Como en el caso de la transformación logarítmica, las curvas de la transformación Ley de Potencia con valores fraccionarios de γ mapean un rango estrecho de valores de entrada oscuros dentro de un rango amplio de valores de salida. [6]

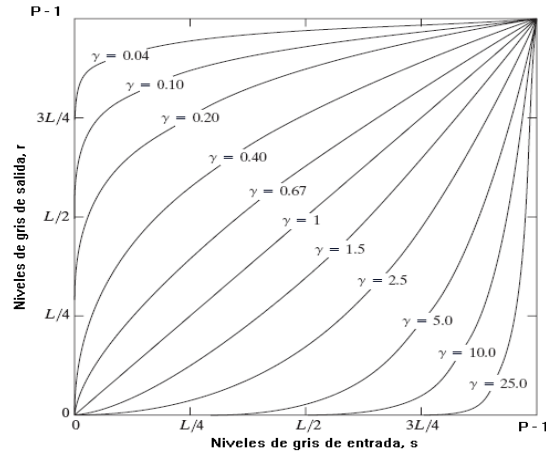


Figura 1.5 Gráfica de la ecuación $r = cs^\gamma$ con varios valores de γ ($c = 1$ en todos los casos).

Diferente de la función logaritmo, se puede notar que existe una familia de posibles curvas obtenidas simplemente variando el valor de γ . Como era de esperarse vemos que en la Figura 12 las curvas generadas con valores de $\gamma > 1$ tienen exactamente el efecto opuesto que las generadas con valores de $\gamma < 1$.

Una variedad de dispositivos de despliegue de imágenes, impresoras y de captura de imágenes usan la Ley de Potencia. Los procesos usados para corregir la ley de potencia se refieren al fenómeno que es llamado *corrección de gamma*.

Por ejemplo, los dispositivos con tubo de rayos catódicos tienen una intensidad hacia el voltaje que responde a la función potencia, con una variación de exponentes de aproximadamente 1.8 a 2.5. Con la referencia a la curva con $\gamma = 2.5$ en la Figura 12, podemos observar que los sistemas de despliegue de imágenes tienen tendencia a producir imágenes que son más oscuras de lo deseado.

1.10.1.5 SUPRESIÓN DE RUIDO CON FILTRO MEDIA

El filtro media puede ser realizado mediante la convolución de una imagen con un kernel del tipo $(2K + 1 \times 2L + 1)$ de cada coeficiente tiene un valor igual al número recíproco de coeficientes dentro del kernel. Por ejemplo, cuando $L = K = 1$, se obtiene

$$w(k, l) = \begin{pmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{pmatrix},$$

lo cual se refiere a un kernel o máscara de promedio con dimensiones de 3×3 . Típicamente este tipo de alisamiento reduce el ruido en la imagen, pero a expensas de la agudización de los bordes. Se debe tener en cuenta que el tamaño del kernel es un factor crítico para la correcta aplicación de este tipo de realce. Los detalles de la imagen que son relativamente pequeños al tamaño del kernel son significativamente suprimidos, mientras que los

detalles de la imagen que son significativamente más grandes que el kernel son afectados moderadamente. [2]

1.10.1.6 SUPRESIÓN DE RUIDO CON FILTRO MEDIANA

El filtro mediana es un método no lineal comúnmente usado para la supresión del ruido el cual posee características únicas. Este método no usa la convolución para procesar la imagen con un kernel de coeficientes. Más bien, en cada posición del marco del kernel, un pixel de la imagen contenida en el marco es seleccionado para ser el pixel de salida de las coordenadas del centro del kernel. El marco del kernel es centrado en cada pixel (m, n) de la imagen original, y el valor de la mediana de los pixeles del kernel es calculado. Al pixel en las coordenadas (m, n) de la imagen de salida se le asigna el valor de la mediana. En general, los filtros de mediana no tienen los mismos atributos de alisamiento que el filtro media. Las características con dimensiones mayores a la mitad del tamaño del kernel son completamente removidas por el filtro. Grandes discontinuidades como son los bordes y grandes cambios de la intensidad de la imagen no son afectados en términos de la intensidad en niveles de gris, aun que su posición puede ser alternada por unos pocos pixeles. [2]

Esta operación no lineal permite la reducción significativa de tipos específicos de ruido. Por ejemplo el “ruido fotográfico” puede ser removido completamente de una imagen sin la atenuación de los bordes o de las características principales de la imagen.

1.10.1.7 REALCE DE BORDES

El realce de bordes de una imagen contiene una importancia única porque el sistema visual humano usa los bordes como un factor clave en la comprensión del contenido de la imagen. Los bordes en diferentes orientaciones pueden ser selectivamente identificados y realzados. El realce de bordes de una imagen se puede combinar con la imagen original con el fin de preservar el contexto.

Los bordes y líneas horizontales son realzados con

$$w_{H1}(k, l) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \text{ o } w_{H2}(k, l) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

y las líneas y bordes verticales son realzados con

$$w_{V1}(k, l) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \text{ o } w_{V2}(k, l) = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

El kernel omnidireccional realza los bordes en todas direcciones:

$$K_{HP}(k, l) = \begin{pmatrix} -1/8 & -1/8 & -1/8 \\ -1/8 & 1 & -1/8 \\ -1/8 & -1/8 & -1/8 \end{pmatrix}.$$

Se hace noción que la aplicación de este tipo de kernel a un valor positivo de imagen puede dar como resultado una imagen con valores positivos y negativos. Para obtener el realce de una imagen con solo valores positivos, se puede tomar el valor absoluto de cada pixel en la imagen de salida. Si el objetivo es presentar solo información de los bordes, este método puede ser una buena aproximación. En otro caso si se pretende realzar los bordes que son coherentes con el kernel y suprimir los que no lo son, la imagen de salida puede ser sumada a la imagen original.

1.10.2 TÉCNICAS DE SEGMENTACIÓN

La segmentación, se refiere a la separación de estructuras de interés de el fondo y de cada una de estas estructuras dentro de la imagen, esta es una función esencial del análisis por lo cual numerosos algoritmos han sido desarrollados dentro del campo del procesamiento de imágenes. Dentro de las imágenes medicas, la delineación automática de diferentes componentes de la imagen es usada para analizar la estructura anatómica y los tipos de tejidos. La segmentación puede ser usada también como un paso inicial dentro de las técnicas de visualización y compresión de imágenes medicas. Típicamente, la segmentación de un objeto es conseguida identificando a todos los pixeles que pertenezcan al objeto o por medio de la localización de sus límites. Lo anterior está basado primordialmente en la intensidad de los pixeles, pero otros atributos como textura, que puede ser asociado con cada pixel, pueden también ser usados por la segmentación.

Dentro del campo de las imágenes médicas la segmentación es importante para la extracción de características, medición de imágenes, y la visualización de la imagen. En algunos casos esta puede ser de utilidad para hacer una clasificación de los pixeles dentro de regiones anatómicas, tales como huesos, músculos, y vasos sanguíneos, también se pueden delimitar regiones patológicas, como el cáncer, deformidad de tejidos, y múltiples lesiones de esclerosis. En algunos estudios el objetivo es dividir la imagen entera en subregiones como lo son la materia blanca, la materia gris, y el espacio del fluido cerebroespinal que se encuentran en el cerebro, mientras que otras estructuras específicas son extraídas, por ejemplo los tumores del pecho en resonancias magnéticas. [2]

1.10.2.1 UMBRALES

La técnica de umbrales es muy común dentro de los métodos de segmentación. En esta técnica se selecciona un umbral y la imagen es dividida en grupos de pixeles con valores menores al umbral y grupos de pixeles con valores más grandes o iguales al umbral. Existen muchos métodos para umbrales: métodos globales basados en el nivel de gris del histograma, métodos globales basados en propiedades locales, selección de umbrales locales, y umbrales dinámicos. [2]

Cuando un solo umbral es seleccionado para la imagen entera, basándose en su histograma, el método de umbral se dice que es *global*. Si el umbral depende de propiedades locales de alguna región de la imagen, por ejemplo el promedio del nivel de gris local, la técnica de umbral es llamada *local*. Si los umbrales son seleccionados independientemente para cada pixel o grupos de pixeles, la técnica es llamada *dinámica* o *adaptativa*.

1.10.2.2 UMBRAL GLOBAL

La técnica de un umbral global está basada en la suposición de que la imagen posee un histograma bimodal y, por consiguiente el objeto puede ser extraído del fondo de la imagen mediante una operación simple que compare los valores de la imagen con el valor de un umbral T . Por ejemplo, se tiene una imagen $f(x,y)$ con el histograma mostrado en la **Figura 1.6**.

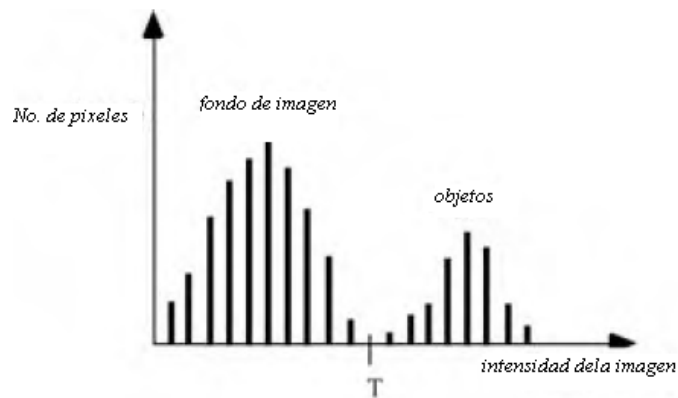


Figura 1.6 Histograma de tipo bimodal, el cual es perfecto para usar la técnica de umbral global.

Los objetos y el fondo de la imagen poseen pixeles con niveles de gris agrupados en dos modos dominantes. Una forma obvia para extraer a los objetos del fondo de la imagen es seleccionar un umbral T que se pare estos modos.

El umbral de la imagen $g(x, y)$ es definido como

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{si } i(x, y) > T \\ 0 & \text{si } i(x, y) \leq T \end{cases}$$

El resultado de esta técnica de umbral es una imagen binaria, donde los pixeles con valor de intensidad 1 corresponden a los objetos, y los pixeles con valor de intensidad 0 corresponden al fondo de la imagen.

1.10.2.3 UMBRAL LOCAL (ADAPTIVO)

En muchas aplicaciones, un umbral global no podrá ser encontrado en el histograma o un solo umbral no ofrece buenos resultados de segmentación sobre la imagen entera. Por ejemplo cuando el fondo de la imagen no es constante y el contraste de los objetos varia a través de la imagen, los umbrales trabajarán bien solo en una parte de la imagen, y producirá un resultado poco satisfactorio en otras áreas de la imagen. [2]

Si las variaciones del fondo pueden ser descritas mediante alguna función conocida de posición en la imagen, se puede intentar corregir esto usando técnicas de corrección del nivel de gris, después se puede usar un solo umbral y aplicarlo a toda la imagen.

Los umbrales locales pueden determinarse por (1) dividiendo la imagen en subimágenes y calcular el umbral para cada subimagen, o (2) examinando las intensidades de la imagen en la vecindad de cada pixel.

1.10.2.4 PRE PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN Y LA TÉCNICA DE UMBRALES

Muchas de las imágenes médicas contienen bajo contraste y contornos difusos. Los modos en el histograma corresponden a diferentes tipos de regiones esto hace que la técnica de segmentación por umbrales comience a dificultarse. Las técnicas de pre procesamiento de la imagen pueden ayudar en algunas ocasiones a mejorar la forma del histograma, por ejemplo haciéndolo lo más bimodal posible. Una de estas técnicas es el alisamiento usando filtros de media (promedio) o mediana los cuales han sido discutidos en secciones anteriores. [2]

El filtro media reemplaza el valor de cada pixel por un promedio de todos los valores de los pixeles dentro de una vecindad local. En el filtro mediana, los valores de cada pixel son reemplazados por el valor de la mediana dentro de una vecindad local. El alisamiento con mediana, a diferencia del filtro media no difumina los bordes de regiones más grandes que el kernel usado.

El filtro de la mediana agudiza los picos del histograma y permite la selección de umbrales para la segmentación.

Un filtro común de alisamiento es el filtro Gaussiano, donde para cada pixel $[i, j]$ los coeficientes de la máscara de convolución $g[i, j]$ están basados en la función Gaussiana:

$$g[i, j] = \exp \left[\frac{-(i^2 + j^2)}{2\sigma^2} \right]$$

donde σ es el parámetro de dispersión (desviación estándar) el cual define el grado de alisamiento en el filtro Gaussiano. Se ha reportado que el filtro Gaussiano reduce el ruido y ayuda en la selección de umbrales para imágenes de tipo endocardial obtenidas con resonancias magnéticas. [2]

1.10.3 CUANTIFICACIÓN

El análisis de imágenes médicas se beneficia significativamente de precisas, rápidas, repetidas, y objetivas mediciones hechas por recursos computacionales. Estas mediciones cuantitativas contribuyen al análisis de la estructura y función normal y anormal causada por direccionar muchos aspectos de los datos, como la forma de los tejidos, su tamaño, textura, y densidad. La forma de la estructura de los órganos o tejidos es de particular interés dentro de la interpretación visual de las imágenes. [2]

Medidas cuantitativas obtenidas de imágenes médicas son típicamente usadas para hacer decisiones relativas a la estructura y función del tejido. Técnicas automatizadas de cuantificación se usan, mediante un apartado de toma de decisiones el cual es impuesto como criterio de cuantificación. El usuario debe seleccionar imágenes para entrenar a los algoritmos de reconocimiento de patrones y determinar las dimensiones, a menudo llamadas características, que poseen un poder de discriminación apropiado.

La interpretación de mamografías es un área donde el análisis de formas y texturas es de un particular interés. El riesgo de cáncer mama, debe ser correlacionado a la densidad de las mamografías, cuantificado con el brillo. [2]

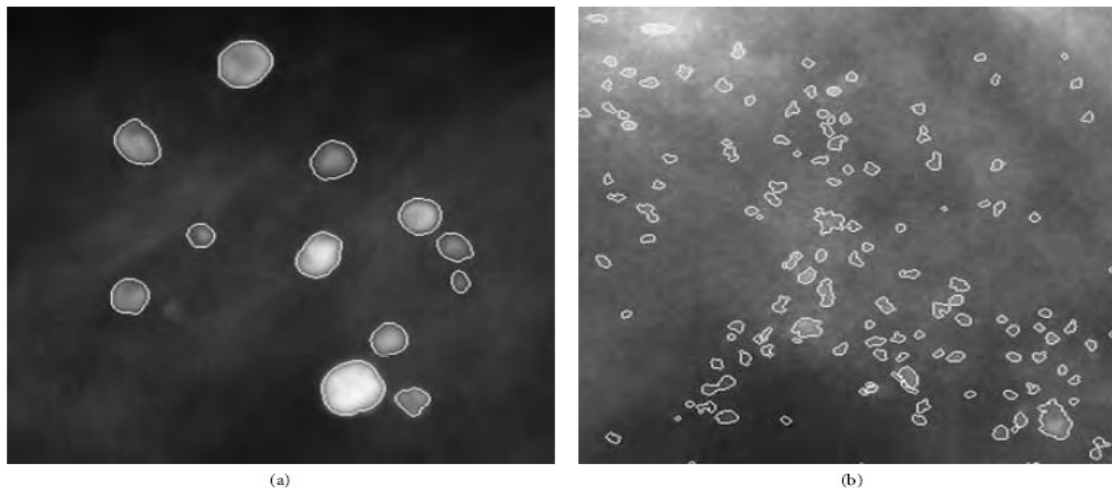


Figura 1.7 Ejemplo de micro calcificaciones benignas(a) y malignas (b) dentro de las mamografías.

1.10.4 PSEUDO-COLOR

Dentro del campo de las imágenes médicas, la mayoría de sus modalidades da como resultado imágenes en tonos de grises, si existe la necesidad de resaltar datos con niveles de intensidad los cuales no podemos diferenciar a simple vista, se pueden usar técnicas de incremento de intensidad o ecualización del histograma, pero en algunos casos la apreciación de la imagen se mejora en gran cantidad, si las imágenes se presentaran en color. Para este fin se recurrió a operaciones con Pseudo-color. Una imagen en Pseudo-color se deriva de una en tonos de grises, este resultado se logra mapeando cada valor de pixel a un color de acuerdo con una tabla (lookup table) o función las cuales nos llevan a algún tono de color

especifico. Algunas de las técnicas de Pseudo-color se utilizan en modalidades como ultrasonido y los estudios de termografía médica.

1.10.4.1 MÉTODO DE DIVISION DE INTENSIDAD

La técnica de división de intensidad, es uno de los ejemplos más sencillos del procesamiento de imágenes con Pseudo-color. Si representamos a una imagen como una función bidimensional de la intensidad, el método se interpretaría como la coloración de planos paralelos a las coordenadas de la imagen. La Figura muestra la utilización de un plano en $f(x, y) = I_i$ que divide la función en dos niveles.

Asignando un color distinto a cada lado del plano que se muestra en la Figura, cualquier pixel cuyo nivel de gris este por encima del plano se codificara con un color, y cualquier nivel de gris que esté por debajo del plano se codificara con otro.

En general esta técnica se puede resumir de la siguiente forma. Suponiendo que se desea dividir la intensidad de la imagen en M planos correspondientes a los niveles I_1, I_{i2}, \dots, I_M y se hace que I_0 represente al color negro como sigue $[f(x, y) = 0]$ y I_L represente al color blanco $[f(x, y) = L]$. Entonces suponiendo que $0 < M < L$, los M planos dividen la escala de grises en $M + 1$ regiones y las asignaciones de color se hacen de acuerdo con la relación:

$$F(x, y) = C_k \text{ si } F(x, y) \in R_k,$$

donde C_k es el color asociado con la región k -ésima R_k definida por los planos de partición.

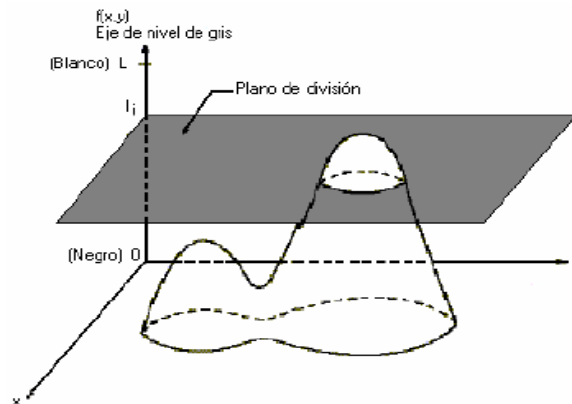


Figura 1.8 Interpretación geométrica de la técnica de división de intensidad. [3]

1.11 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN JAVA

Java es la plataforma ideal para las soluciones de computación en red. Ejecutable sobre las más diversas plataformas, desde servidores a teléfonos móviles y tarjetas inteligentes, Java ofrece una infraestructura única para crear soluciones en red.

1.11.1 CARACTERISTICAS DE JAVA

Pueden mencionarse muchas características de Java, sin embargo para los propósitos del presente proyecto mencionaremos sólo las más significativas para la implementación del mismo:

- Orientado a Objetos.
- Robusto.
- Independiente de plataforma.
- Multitarea.

Orientado a Objetos. Java soporta las características esenciales del paradigma de la programación a objetos: encapsulación, herencia y polimorfismo. Java hace uso de la definición de entidades formadas por métodos y variables que reciben el nombre de clases, la instancia de alguna clase cualquiera en Java recibe el nombre de objeto.

Robusto. Java elimina el uso de apuntadores para referenciar localidades de memoria, Java además libera al desarrollador de la necesidad de desalojar la memoria que la aplicación ya no usa, aunado a esto Java requiere la declaración explícita tanto de los tipos de datos como de métodos. Estos factores que acabamos de mencionar, destacan como causas comunes de errores lo que resulta en aplicaciones poco fiables. Al implementar una aplicación en Java se reduce el porcentaje de errores ocasionados por las causas antes mencionadas lo que da como consecuencia programas más robustos y confiables. Es importante mencionar que Java verifica que no haya problemas tanto en tiempo de ejecución como en tiempo de compilación. Finalmente Java hace uso de excepciones para notificar al usuario acerca de las fallas que puedan encontrarse en el sistema y recuperar dicho sistema.

Independiente de plataforma. Mientras que en lenguajes de programación como C++ existe la necesidad de recompilar el código fuente cada vez que se cambia de plataforma, Java ofrece la posibilidad de que los archivos que son generados para una aplicación sean independientes de plataforma, es decir, que se compilen una vez y se ejecuten en cualquier plataforma. Esto es posible gracias a que las aplicaciones hechas en Java generan archivos conocidos como bytecode. Estos archivos no corresponden a algún procesador o sistema operativo en particular, digamos Intel o Motorola, Unix o Windows, sino que al momento de ser ejecutados un intérprete propio de cada plataforma interpreta el bytecode al correspondiente sistema y procesador en el cual se está ejecutando. Cada plataforma (Macintosh, Windows, Linux, etc) tiene su propio intérprete de Java, pero el archivo bytecode es el mismo para todas las plataformas.

Multitarea. A pesar de que las capacidades de multitarea que pueden ser implementadas en Java dependen en gran parte del sistema operativo en el cual se ejecuten, digamos Windows o Unix, dichas capacidades superan en gran manera a los entornos de flujo único (single-thread) que ofrecen otros lenguajes de programación. Al ser multitarea Java permite la ejecución concurrente de varios procesos ligeros o hilos de ejecución.

1.12 ENTORNO INTEGRADO DE CUIDADOS DE LA SALUD: CARE2X

Es un sistema de información para hospitales, modular, escalable y de código abierto. Basado en LAMP. Funciona tanto con MySQL como con Postgre-SQL. Care2x sirve para consultorios y hospitales, pero ha sido pensado también para centros de alta complejidad. Se monta en un servidor Apache y se usa mediante una intranet. También sirve para policlínicas y entidades privadas.

Todos los módulos de programa son procesados en el servidor, no hay pérdida de tiempo durante las actualizaciones y extensiones de los módulos. Soluciona la complejidad de aprender a manejar múltiples programas. El usuario necesita aprender únicamente como manejar CARE2X, el tiempo de entrenamiento es corto y la ausencia del trabajo actual del personal entrenado es corta.

Todas las funciones y módulos de programa siguen la misma filosofía de diseño y principios de navegación de usuario. El diseño GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) es consistente a través de la red.

El HIS (Sistema de Información Hospitalaria/Servicios de la Salud) del sistema Care2x puede trabajarse de manera independiente al igual que los otros módulos que lo componen. Este módulo está implementado por funcionalidades de acuerdo a los distintos departamentos que posee:

- Inicio: Páginas de la intranet para presentar la información del hospital, noticias, etc.
- Personal: Datos del personal.
- Citas: Calendario de citas por fechas, departamento o entorno clínico.
- Admisión: Admisión de paciente nuevo, búsqueda de paciente ingresado, búsqueda de casos archivados. Permite la etiquetación con los datos del paciente y la impresión de códigos de barras.
- Ambulatorio: Módulo del paciente no internado con la lista que espera, hasta que finalice procesado de petición y lista de admisión.
- MEDOCS: (documentación clínica del paciente) Sistema de registro de historia clínica tanto para los departamentos de hospitalización como de consulta externa.
- Doctores: Planificador de las tareas para médicos y cirujanos, entre otros.
- Enfermería: Planificador de las tareas para enfermeras.
- Quirófanos: Médico de quirófanos, Enfermera de quirófanos, Anestesia en quirófanos, Sistemas para documentar los procedimientos quirúrgicos (cirugía, anestesia, enfermería, materiales, medicinas, etc.).
- Soporte técnico y mantenimiento: Reporte de daños y solicitud de reparación al Depto. de mantenimiento.
- Laboratorios: Laboratorio clínico, Laboratorio de patología, Laboratorio de bacteriología, Ingreso de datos nuevos, Parámetros normales y prioritarios, Resultados de laboratorio, Opciones, Libreta de apuntes.
- Radiología: Búsqueda y muestra de placas de rayos X con editor integrado y lector de resultados diagnósticos.

- Farmacia: Administración de bases de datos farmacéuticas, recepción de pedidos de los productos farmacéuticos, organización rápida de catálogos de órdenes.
- Consumos médicos: Depósito central para insumos médicos y otros materiales.
- Directorio: Teléfonos del hospital con funciones de búsqueda y entrada de nuevos datos.
- Departamento de Sistemas: Acceso autorizado a personas registradas como Administrador de Sistemas con funciones de configuración de todo el sistema.
- Correo electrónico de intranet y correo electrónico de Internet

Herramientas y funciones especiales: Facturación, Administración de Recursos Humanos, Organizador de plan de actividades, Módulos de edición de documentos y noticias, Módulo de reloj que registra y controla las horas laboradas por los empleados, Planificador de actividades, Editor de noticias y sistemas de misiones secundarias, Administración de claves de acceso, Video seguridad, Laboratorio fotográfico, Estadísticas (por ej., de cirugía de mano), Calendario, Libreta de apuntes, Pizarra electrónica, Foros de discusión, Calculadora, Reloj, Configuración de colores, tipos de letra, etc.

Login: Permite el ingreso automático de las preferencias del usuario personal o de la configuración particular del computador. El login da al computador una identidad que facilita muchas funciones de automatización que de otro modo el servidor asume con valores predeterminados.

Selector de idiomas: Disponible en múltiples idiomas.

Es importante subrayar que el Sistema de Información Hospitalaria del Care2x, tiene características generales y su uso no es directo para adoptarse como sistema base de algún hospital específico, debido a que en cada Sistema Hospitalario existen reglas que debe contemplar el Sistema Concreto. Por lo cual un camino viable es crear módulos específicos que contemplen dichas reglas para la explotación de sistemas abiertos como es el caso de Care2X.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

El desarrollo del software que se ha propuesto para dar solución a la problemática ya planteada gira en torno al manejo, manipulación y análisis de una imagen digital. Cada uno de los objetivos particulares especificados anteriormente debe ser alcanzado mediante la manipulación discreta de la información proporcionada por los estudios de imagen.

1.11 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

De acuerdo a charlas y entrevistas establecidas con médicos radiólogos y generales, para un diagnóstico con ayuda de imágenes en una consulta normal, las necesidades que consideran de mayor uso y que deben de tomarse en cuenta para una solución son las siguientes:

1. Vista inmediata de una o más imágenes sin importar la naturaleza del estudio.
2. Ampliación o redimensionamiento de la imagen.
3. Ajuste de brillo, contraste e intensidad de luz.
4. Poder realizar anotaciones sobre la imagen y guardar sus cambios.

Algunas herramientas extras sugeridas por nosotros, y con las que les gustaría contar son:

1. Aplicación de falso color en imágenes en tonos de gris.
2. Aplicación de baterías para la obtención de mejoramiento visual.
3. Extracción de bordes
4. Operaciones entre imágenes.

Tanto las necesidades básicas, como las sugeridas, fungieron como base para la elaboración de los objetivos y a su vez para acotar las propiedades y características de la solución.

1.12 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

La estrategia de solución propuesta fue el desarrollo de un software con la capacidad de abrir y visualizar imágenes digitales de estudios de radiología. Este sistema estará integrado por módulos que ofrecerán resolver cada una de las necesidades enunciadas en la sección anterior. La funcionalidad del sistema se basará en el cumplimiento de los objetivos, lo cual

brindara al médico una forma eficaz de analizar sus imágenes. Esta estrategia asume el hecho de contar con un archivo de naturaleza digital de una imagen médica en formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine), o en su defecto, de contar con la digitalización de una placa médica obtenida de algún modo. El sistema deberá actuar como una caja negra sobre la cual el médico realiza la apertura de sus imágenes, las visualizara, realiza operaciones sobre ella y almacenará cambios sin tener que preocuparse por el funcionamiento interno o alguna otra situación que influyan en el correcto desempeño.

En la figura 2.1 se muestra el diagrama de contexto de arquitectura. Este diagrama representa el contexto en el que se desenvuelve el sistema así como un flujo muy general de los datos que recibe y la forma despliega sus resultados.

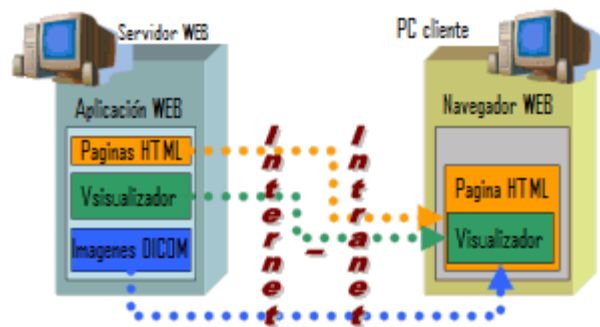


Figura 2.1 Arquitectura General del Sistema.

Como se puede apreciar en el diagrama anterior, este software es un visor de imágenes DICOM basado en web, que permite visualizar las imágenes DICOM y series que están físicamente distantes con respecto al sitio de visualización y que son accesibles a través de Internet o redes Intranet. Permite la recuperación de imágenes médicas creadas por las modalidades del hospital y se almacenan en archivos remotos, mostrándolas en diferentes formas avanzadas y con la opción de realizar operaciones de procesamiento de imagen en ellas.

A continuación se explicaran con detalle la el significado y la función de cada uno de los elementos que conforman el diagrama de la figura 3.1.

1. **Servidor WEB.** Un servidor web es un programa que implementa el *protocolo HTTP (hypertext transfer protocol)*. Este protocolo pertenece a la capa de aplicación del modelo OSI y está diseñado para transferir lo que llamamos hipertextos, páginas web o páginas HTML (hypertext markup language): textos complejos con enlaces, figuras, formularios, botones y objetos incrustados como animaciones o reproductores de música.

Es un programa que se ejecuta continuamente en un ordenador (también se emplea el término para referirse al ordenador que lo ejecuta), manteniéndose a la espera de peticiones por parte de un cliente (un navegador web) y que responde a estas peticiones adecuadamente, mediante una *página web* que se exhibirá en el navegador o mostrando el respectivo mensaje si se detectó algún error.

De esta forma el servidor web estará en cargado de alojar al sistema de información Hospitalario Care2x y también de administrar y responder a sus peticiones por parte de los navegadores web, que se encuentren en las PC's clientes de cada médico.

- 2. Aplicación WEB y paginas HTML.** En la ingeniería software se denomina **aplicación web** a aquellas aplicaciones que los usuarios pueden utilizar accediendo a un servidor web a través de Internet o de una intranet mediante un navegador. En otras palabras, es una aplicación software que se codifica en un lenguaje soportado por los navegadores web (HTML, JavaScript, Java, etc.) en la que se confía la ejecución al navegador.

Es importante mencionar que una página Web puede contener elementos que permiten una comunicación activa entre el usuario y la información. Esto permite que el usuario acceda a los datos de modo interactivo, gracias a que la página responderá a cada una de sus acciones, como por ejemplo rellenar y enviar formularios, participar en juegos diversos y acceder a gestores de base de datos de todo tipo

En este caso la aplicación web que alojara a el software Visualizador de imágenes medicas, será el sistema de información hospitalario Care2x, por medio de sus diferentes módulos, el presente trabajo de tesis será distribuido como una aplicación Java, gracias a las facilidades que proporciona la tecnología Java Web Start.

- 3. Visualizador.** Es la aplicación principal del presente desarrollo de tesis, esta aplicación se distribuye y ejecuta, como un programa de Java el cual después de bajarse en la maquina cliente se instalara y ejecutara, recibiendo como parámetros de ejecución los estudios de imagen elegidos mediante la aplicación Web.
- 4. Imágenes DICOM.** Es el estándar reconocido mundialmente para el intercambio de imágenes médicas, pensado para el manejo, almacenamiento, impresión y transmisión de imágenes médicas. Incluye la definición de un formato de fichero y de un protocolo de comunicación de red. El protocolo de comunicación es un protocolo de aplicación que usa TCP/IP para la comunicación entre sistemas. Los ficheros DICOM pueden intercambiarse entre dos entidades que tengan capacidad de recibir imágenes y datos de pacientes en formato DICOM.

Los ficheros DICOM consisten en una cabecera con campos estandarizados y de forma libre, y un cuerpo con datos de imagen. Un objeto DICOM simple puede contener solamente una imagen, pero esta imagen puede tener múltiples "fotogramas" (frames), permitiendo el almacenamiento de bloques de cine o cualquier otros datos con varios fotogramas. Los datos de imagen puede estar comprimidos usando gran variedad de estándares, incluidos JPEG (Joint Photographic Experts Group), JPEG Lossless, JPEG 2000, LZW y Run-length encoding (RLE).

El uso de ficheros y de red. DICOM se diferencia de otros ficheros de datos porque, agrupa la información dentro de un conjunto de datos. Es decir, una radiografía de pecho actualmente contiene el ID de paciente junto con ella, de manera que la imagen no puede ser separada por error de su información.

5. **PC Cliente.** El **cliente** es una aplicación informática que se utiliza para acceder a los servicios que ofrece un servidor, normalmente a través de una red de telecomunicaciones.

De esta forma las PC que se encuentran en los consultorios de los médicos actúan como un Cliente liviano que no tiene capacidad de procesamiento de datos y su única función es recoger los datos del usuario, dárselos al servidor, y mostrar su respuesta.

En este caso por medio de un navegador web los médicos interesados en consultar los estudios clínicos de los pacientes, podrán acceder a la aplicación web Care2x, y mediante sus diferentes módulos, principalmente el modulo de radiología, podrán hacer búsquedas de los estudios de imagen que se encuentran en la historia clínica de los pacientes.

6. **Navegador WEB.** Un **navegador web** (del inglés, *web browser*) es una aplicación software que permite al usuario recuperar y visualizar documentos de hipertexto, comúnmente descritos en HTML, desde servidores web de todo el mundo a través de Internet. Esta red de documentos es denominada World Wide Web (WWW). Cualquier navegador actual permite mostrar o ejecutar gráficos, secuencias de vídeo, sonido, animaciones y programas diversos además del texto y los hipervínculos o enlaces

La funcionalidad básica de un navegador web es permitir la visualización de documentos de texto, posiblemente con recursos multimedia incrustados. Los documentos pueden estar ubicados en la computadora en donde está el usuario, pero también pueden estar en cualquier otro dispositivo que esté conectado a la computadora del usuario o a través de Internet, y que tenga los recursos necesarios para la transmisión de los documentos (un software servidor web). Tales documentos, comúnmente denominados *páginas web*, poseen *hipervínculos* que enlazan una porción de texto o una imagen a otro documento, normalmente relacionado con el texto o la imagen.

En la figura 2.2 muestra el diagrama de la arquitectura interna de la aplicación. Este diagrama representa de forma general, el flujo de los datos que recibe y arroja.

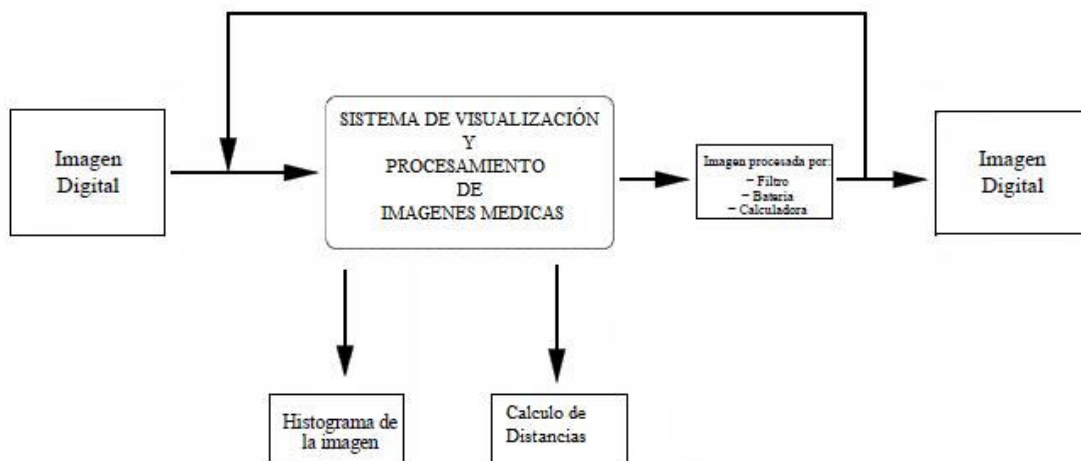


Figura 2.2 Diagrama de arquitectura interna del sistema.

Para cubrir las expectativas de la solución, primero se deben de analizar las especificaciones de los procesos que se involucran en el sistema. Para ello se llevará a cabo un análisis de la problemática a través del uso de objetos ya que es la forma más cercana a la realidad de poder reconocer el comportamiento del sistema. Los objetos poseen atributos y métodos que rigen un comportamiento y que los comunican con otros brindando así, un ambiente de trabajo colaborativo y plenamente orientado al encapsulamiento de ciertas actividades en un objeto.

Para poder hacer una planeación de los objetos que conformaran al sistema es necesario identificar a las clases de objetos que existen en éste. Las clases de objetos que a continuación se describirán se extrajeron de estudiar el comportamiento y las necesidades de los procesos del sistema. De acuerdo a esto último, se encontraron siete clases principales cuyo diagrama se puede observar en la figura 2.3.

- 1. Imagen Digital.** Es la clase principal del sistema, En torno a esta clase y los objetos que la instancien, gira el funcionamiento de cada uno de los objetos que se describen a continuación. En un objeto de esta clase se depositara la imagen médica digital cuyas características como alto, ancho y matriz de datos, conforman los atributos del mismo.

Otro atributo muy importante es la lista de los filtros de procesamiento que se van aplicando a la imagen. Cada filtro se registra con un nombre y sus correspondientes parámetros (ya que algunos filtros se parametrizan). De igual importancia son los atributos que señalan la zona de trabajo establecida por el usuario en donde se aplican los distintos procesos. La imagen digital contenida en el objeto, podrá ser modificada a través de los filtros de procesamiento, por una batería o utilizada como entrada de datos para los objetos que así lo requieran. Todos los cambios en la matriz de datos podrán ser almacenados en cualquier unidad de almacenamiento. También será posible almacenar la lista de filtros aplicados asignándole un nombre. Esto permitirá la creación de baterías por el usuario y posteriormente podrán ser aplicadas con el objeto Baterías que se define más adelante. Este objeto invocara al objeto Filtros de procesamiento para aplicar algún filtro o para aplicar una serie de filtros definidos por alguna batería seleccionada cuyo nombre y lista de filtros le será proporcionada por el objeto Baterías.

- 2. Imagen DICOM.** Esta clase herede de la clase Imagen Digital, y representa los a una imagen medica que ha sido obtenida directamente de alguna de las modalidades que se encuentran en el hospital (resonancia magnética, Tomografía Axial, entre otras), esta clase representa el formato de almacenamiento DICOM, el cual posee entre sus características información del paciente, el tipo de modalidad usada para obtener la imagen, medidas del paciente, clave del paciente, entre otras que ayudan a una mejor organización y estandarización de las imágenes para poder compartirlas a diferentes dispositivos y organizaciones.
- 3. Filtro de Procesamiento.** Es la clase mediante la cual un objeto podrá realizar la aplicación de filtros de procesamiento sobre una imagen digital. Recibirá como parámetro la matriz de datos de alguna imagen digital contenida en un objeto de la clase Imagen digital y las coordenadas de la zona de trabajo establecidas por el mismo objeto. Los procesos que podrá llevar a cabo serán la de aplicar a la matriz

de entrada un filtro de procesamiento produciendo la matriz de salida misma que será transmitida a la instancia de Imagen digital. Dentro de esta clase se encontrarán encapsulados todos los procedimientos correspondientes a los filtros de procesamiento. Contendrá un evaluador que recibirá como parámetro el nombre del filtro que se desea aplicar e invocará al procedimiento correspondiente para llevar a cabo el procesamiento. Por lo tanto, por cada filtro se diseñará un procedimiento que tome a la matriz de entrada, la procese y obtenga una matriz de salida. De este modo, si se requiere integrar nuevos filtros de procesamiento en versiones posteriores del sistema, únicamente se tendrá que incluir el procedimiento a la clase. El método de aplicación de filtros de esta clase será invocado por un objeto instanciado de Imagen digital para la aplicación de un filtro sobre la matriz de datos contenida en el mismo.

- Histograma.** Esta clase recibirá como parámetro de su método principal una instancia de la clase imagen y por medio de cálculos estadísticos podrá mostrar el histograma de una imagen, si la imagen analizada cuenta con tres bandas de color, la interfaz grafica de esta clase mostrara un grafico representando las tres bandas con su color respectivo, si la imagen se encuentra compuesta con solo niveles de gris, solo mostrara el grafico correspondiente a las apariciones de cada nivel de gris.

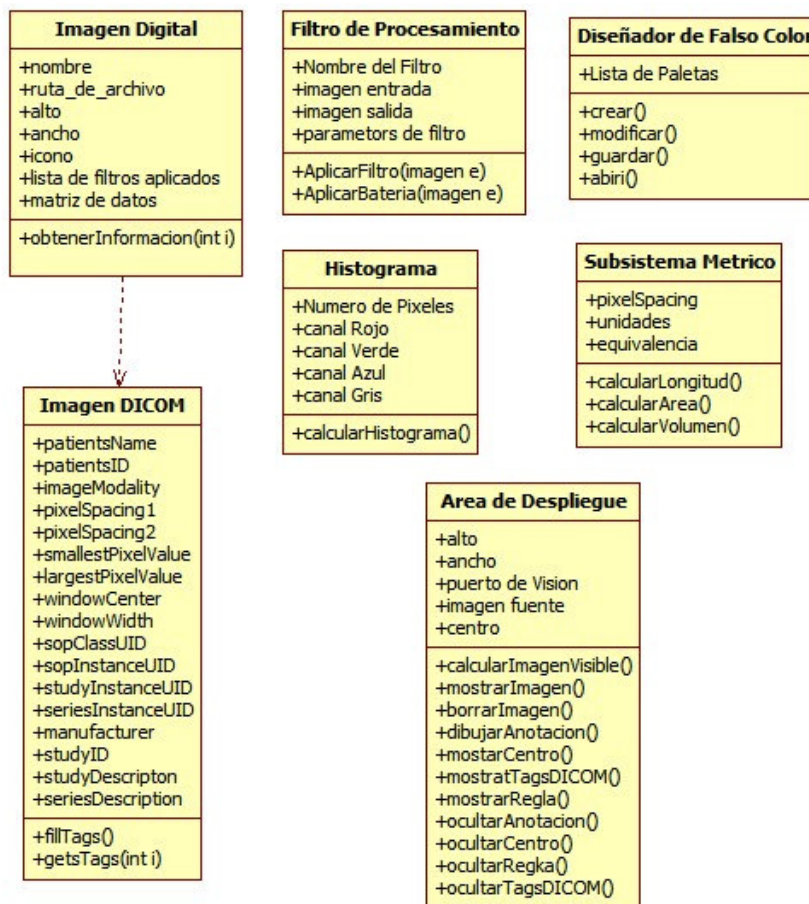


Figura 2.3 Bosquejo de las clases identificadas, para el desarrollo del sistema.

5. **Diseñador de Falso Color.** Un objeto de esta clase permitirá la creación de paletas de color las cuales podrán ser almacenadas para posteriormente ser aplicadas mediante el objeto Filtros de procesamiento a la matriz de datos contenida en una instancia de Imagen digital. El único atributo será la lista de paletas creadas. Su independencia hacia los demás objetos evita la interferencia con la ejecución de otros procesos sobre una instancia de Imagen digital.
6. **Subsistema Métrico.** Esta clase será encargada de hacer los cálculos de distancias, áreas y volúmenes, permitiendo dibujar las líneas, recuadros, óvalos, círculos, y algunas anotaciones de texto sobre la imagen que se encuentra en análisis. Esta clase depende directamente de la clase Área de Despliegue, ya que será donde se dibujen estas figuras. Esta clase también depende de un atributo de la clase imagen DICOM, el llamado pixel Spacing, representa el espaciado que existe entre cada pixel de la imagen DICOM, esto es una referencia de equivalencia entre las medidas naturales del área del cuerpo estudiada y de la representación digitalizada. Con este atributo se podrán realizar cálculos más aproximados a las medidas reales de la parte del cuerpo enfocada a su estudio.
7. **Área de Despliegue.** Esta clase es la más importante para la interfaz gráfica de la aplicación, ya que con una instancia de esta clase se podrán mostrar las imágenes que requieren análisis. Esta clase tendrá la capacidad de mostrar imágenes con dimensiones grandes específicamente a estudios de mamografía, y algunos tipos de radiografía que requieren de un espacio considerable como radiografía del tórax, piernas, y otras partes del cuerpo que necesiten espacio suficiente para ser representadas.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 REQUERIMIENTOS DE DESARROLLO

Los recursos de hardware y software para el desarrollo del sistema Web y la base de datos que se requiere para el mismo son:

Hardware:

- Computadora Pentium IV. Procesador a 2.66 GHz 512 en Memoria RAM.
- 1 Servidor, 2 Procesadores Intel Xeon a 1.5Ghz y 1 Gb de memoria RAM. Disco duro primario de 200 Gb y disco duro SCSI de 70 Gb.
- Monitor CRT, LCD, con capacidad de desplegar como mínimo 24 bits de color, con 17", o superior (opcional para mejor apreciación visual).

Software:

- Programación y pruebas en un sistema operativo Windows XP. Implementación en un servidor con sistema operativo Ubuntu 8 HardyHeron.
- Herramientas de programación y librerías como Java SDK 1.6.0, Java Advanced Imaging JAI, JCreator 4.50, Netbeans 6.1.

Para el acceso al sistema simplemente se requiere de una conexión a internet de preferencia mayor a los 256 Kbps y un Navegador Web comercial, son recomendados Internet Explorer, Mozilla Firefox o Netscape pero puede ser cualquier otro existente.

Los requerimientos del procesador y memoria RAM de la computadora en la que se use el sistema están determinados por la velocidad deseada de procesamiento, es posible acelerar la velocidad de procesamiento con recursos de hardware más elevados como, aumentar la cantidad de memoria principal del sistema y obtener un procesador más veloz, pero en conjunto todo un CPU actualizado puede muy bien soportar los requerimientos del sistema.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA

Se eligió el modelo de prototipos para el diseño del sistema. El modelo de prototipos permite el diseño de una primera interfaz que no trabaja completamente pero que permite ilustrar al usuario/cliente la forma en cómo sería moldeando el sistema. Conforme los deseos del usuario, sus especificaciones, y la experiencia en el desarrollo de sistemas para guiarlo, poco a poco se van mejorando o desechando partes del prototipo hasta concluir con el sistema final.

Este es un modelo informal de desarrollo pero permite una alta interactividad con el usuario además de brindarle una orientación cuando no está muy familiarizado con el área. Esto es, hoy en día el personal médico se encuentra inmerso en el uso de computadoras y software pero para ellos, no es más que una simple herramienta que muestra resultados. Esta cercanía no es suficiente para poder describir los deseos de un diseño ya que una cosa es ver y otra proponer.

Por lo tanto, es posible entablar charlas en las que se recogen los datos más significativos y se identifican los procesos de mayor importancia (proceso de análisis) y se implantan en una interfaz inicial sobre la cual se puede observar la eficiencia o deficiencia de los procesos, para después proponer mejoras en el diseño.

Este modelo además tienen la ventaja de acelerar algunas fases de otros modelos de diseño dentro del análisis, el diseño y la implementación al permitir llevar sobre la marcha los diseños y a su vez las implementaciones del sistema. En otros modelos, el usuario tiene que esperar hasta que se han reunido y establecido todos los puntos necesarios, procesos, datos, interfaces, condiciones, tiempo de diseño y tiempo de implementación; para poder mirar una primera interfaz que seguramente tendrá algo que no le guste aunque este algo sea meramente estético.

El análisis hecho en este trabajo y las juntas constantes con el personal médico permitieron concluir que los procesos solicitados requerían de una interfaz que se asemejara a la forma en cómo se opera con la radiografía convencional, por lo que era posible implementar herramientas que resolvieran las tareas por separado y después integrarlas a una interfaz sencilla la cual les fuera presentada en una entrevista para poder reciclar nuevas dudas, peticiones y sugerencias.

Por tanto, en las siguientes secciones se describirá de forma general el diseño y la implementación del sistema final se revisará en el capítulo 4.

3.2.1 DISEÑO JERARQUICO

Con este diseño se pretenden describir las partes que componen al sistema de manera general basado en un modelo jerárquico que muestra de forma global el comportamiento del sistema. Esta organización se muestra en la figura 4.1.

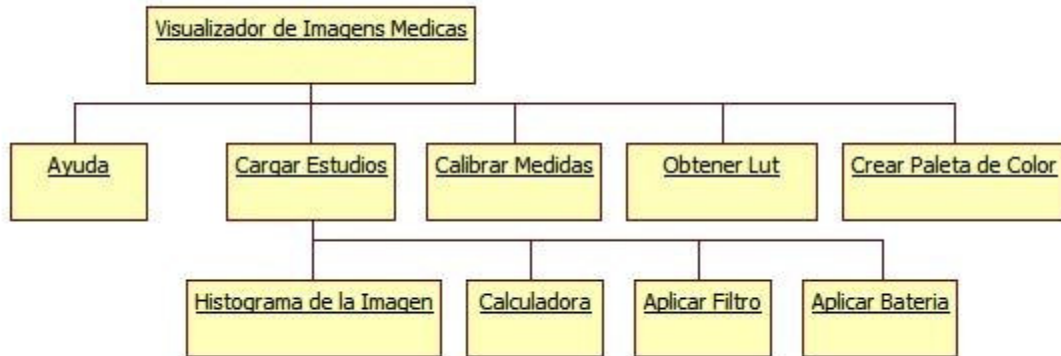


Figura 3.1 Diagrama jerárquico de los componentes del sistema.

De la figura 3.1 se observa que los objetos son independientes entre sí, ya que realizan sus propios procesos con la imagen, también se observa que de lo único que dependen es de la clase imagen digital. Con este diagrama es posible modelar un sistema cuyo funcionamiento total depende de la apertura de una imagen digital. Una vez que la imagen es cargada en el sistema, se puede acceder a los distintos módulos que representan a los diferentes procesos que se pueden realizar sobre la imagen.

3.2.2 DISEÑO DE LAS CLASES PRINCIPALES DEL SISTEMA

A continuación se describe de forma general el diseño de las clases que se consideran más importantes en el sistema, estas clases son de gran ayuda tanto en la lógica del programa como en la interfaz grafica que se presenta.

3.2.2.1 DISEÑO DE LA CLASE FILTROS DE PROCESAMIENTO

Esta clase es fundamental ya que con ella se realizan la mayoría de las operaciones en las imágenes, esta clase se ve beneficiada por las características que posee la librería Java Advaced Imaging, las cuales implementan algoritmos que mejoran el rendimiento del sistema, en el momento que se realiza las operaciones con las imágenes.

El funcionamiento diseño básico de la clase filtros de procesamiento se describe con el siguiente diagrama.

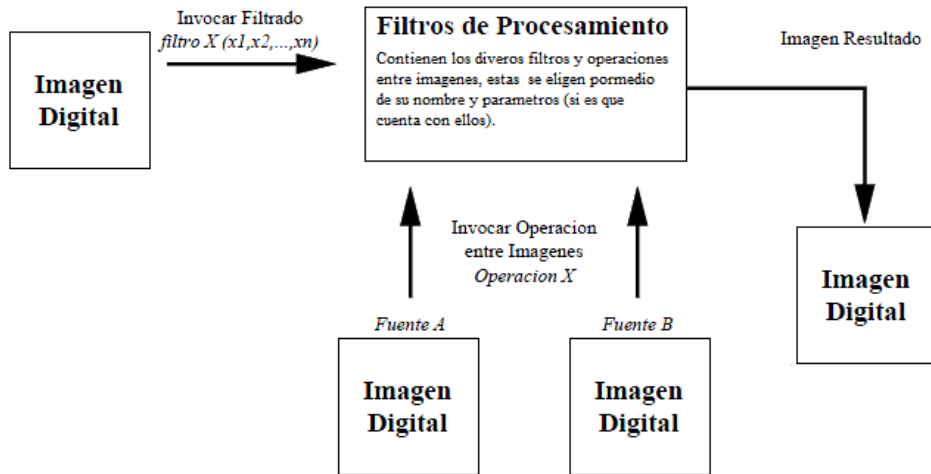


Figura 3.2 Diseño de la clase filtros de procesamiento.

3.2.2.2 DISEÑO DE LA CLASE AREA DE TRABAJO

El trabajo realizado en esta clase se centra al aumento del desempeño del sistema, cuando se requiere mostrar imágenes de un tamaño considerable (superior a los 1500 x 1500 pixeles).

Como se entiende este tipo de imágenes tan grandes no pueden ser mostradas en monitores cuya resolución se a más baja, comparado con las dimensiones de la imagen, en este caso si se dibuja la imagen completa, se está ocupando toda la memoria que necesite cargada y dibujada en esta clase/componente, esto se transforma en un desperdicio de recursos innecesario ya que las partes de la imagen que se encuentra fura de los alcances de la resolución del monitor serán dibujadas en el fondo pero no serán visibles a nuestros ojos.

Un método que se plantea ayude al desempeño de este sistema, se muestra en la figura 3.2.

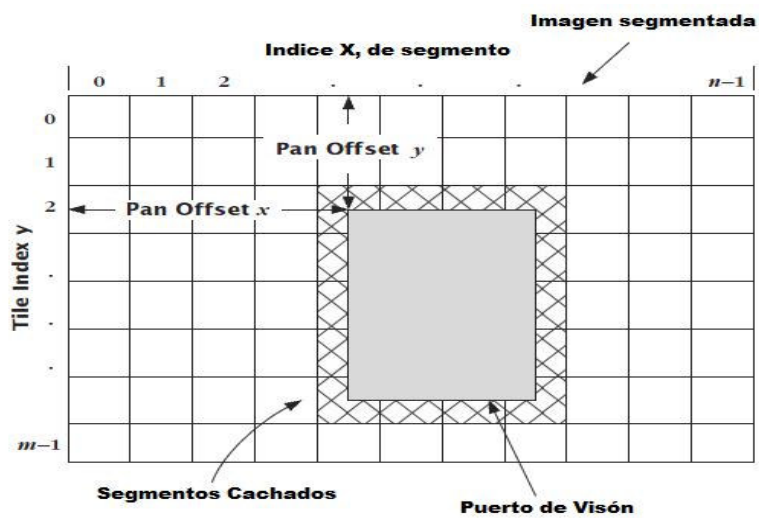


Figura 3.2 Diseño de la clase área de trabajo, plantea la segmentación de imágenes con dimensiones grandes.

Entre las funcionalidades de la librería Java Advanced Imagin, destaca la opción de poder operar con imágenes segmentadas, el tamaño de los segmentos se puede definir desde su función constructora, cada uno de estos segmentos puede ser operado con filtros de forma independiente identificándolos por medio de sus coordenadas espaciales con respecto al número de segmentos en los que se ha dividido la imagen fuente.

La idea que plantea la figura 3.2, propone el uso de imágenes segmentadas cuando las dimensiones de estas imágenes sobrepasan el tamaño del componente que las despliega, en este caso la clase área de trabajo.

El funcionamiento es sencillo, se obtiene una imagen segmentada de la original, se obtienen las dimensiones del componente que dibuja las imágenes, con estos datos se adquieren los segmentos que concuerdan con el tamaño del área de trabajo y estos segmentos se dibujan en pantalla, conforme el componente de dibujo se redimensione o dentro del componente se mueva la imagen, se debe de volver a realizar los cálculos para saber cuáles de los segmentos deben dibujarse y cuales liberarlos de memoria.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

4.1 ACCESO AL SISTEMA

Uno de los objetivos principales del actual trabajo de tesis fue que el sistema de imágenes medicas pudiese ser ejecutado mediante la web como una herramienta para el modulo de radiología que se encuentra en el sistema de información hospitalaria llamado care2x, dentro de este modulo se tienen operaciones básicas de almacenamiento, búsqueda, modificación y extracción de información referente a los diversos estudios de imagen que determinado paciente haya experimentado a lo largo de su historia clínica.

El proceso anterior se simplifica en la figura 4.1, esta figura nos muestra el esquema básico que se debe realizar para obtener acceso a los estudios de imagen de cada paciente.

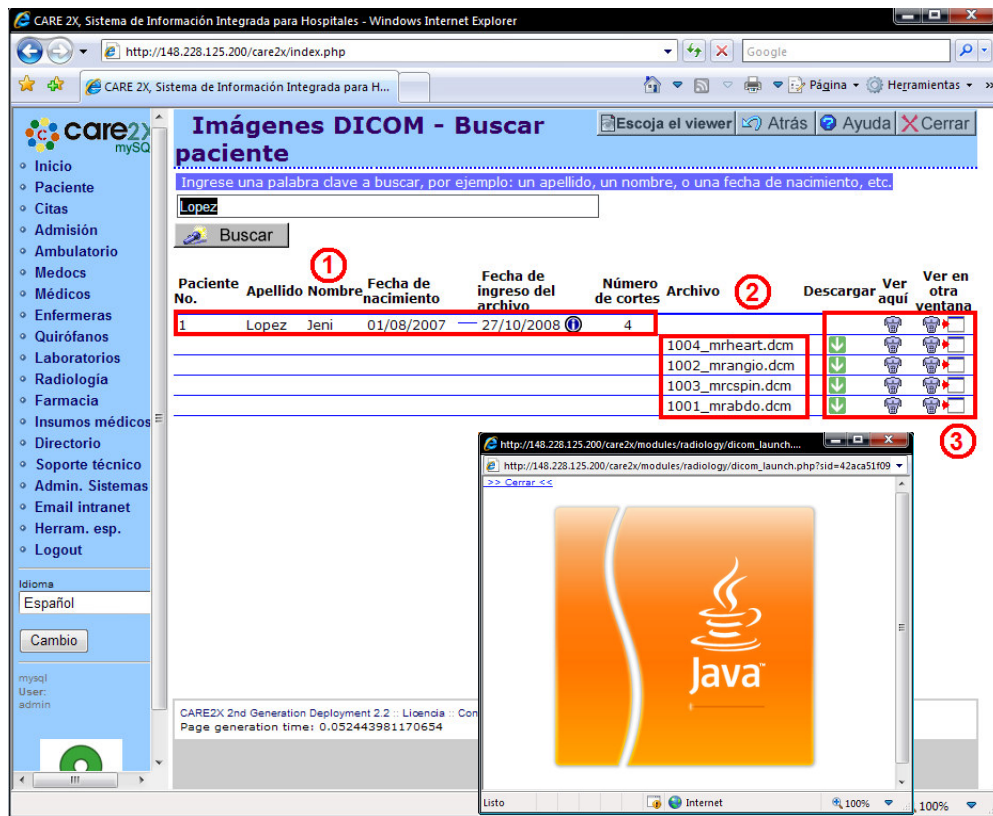


Figura 4.1 Conexión con el sistema Care2x. 1- Búsqueda de estudios por nombre de paciente, 2-El resultado de la búsqueda son imágenes DICOM, 3-Opciones de visualización y carga del sistema de imágenes.

La Figura 4.1 Área (2) muestra en pantalla todos los estudios que se han obtenido para el paciente seleccionado con anterioridad, estos se presentan en forma cronológica y a lado de cada estudio se ofrece la opción de poder visualizarlo. La conexión entre el care2X y el visualizador de imágenes médicas se logra por medio de los protocolos web de la llamada tecnología Java Web Start, esta propuesta permite que con un solo archivo de configuración, se envíe una petición al servidor principal del sistema de información hospitalaria, entonces el servidor procesa la petición, verifica criterios de seguridad y comienza la descarga del sistema de imágenes medicas al ordenador del cliente, al término de la descarga se muestran los estudios de imagen seleccionados con anterioridad.

Es importante mencionar que el tiempo de transferencia ocupado para descargar el sistema de imágenes es mínimo ya que está pensado transmitirse por medio de la red local del hospital y al termino de la descarga se instala y se ejecuta de forma automática, por lo cual no existe la necesidad de volverlo a descargar mientras nos se borre del sistema, esto hace que el proceso se agilice de manera significativa.

4.2 INTERFACES Y FUNCIONES PRINCIPALES

La sección anterior explico el procedimiento de acceso al sistema de imágenes hasta que se llega al punto de la ejecución de la aplicación. Esta aplicación se opera mediante menús, botones y eventos del puntero, la imagen inicial y sus respectivas transformaciones se despliegan en una misma área. La figura 4.2 muestra el diagrama de los comandos existentes.

Cabe mencionar que todos los filtros efectuados a la imagen seleccionada, se van almacenando dentro de un lista de operaciones realizadas, esta lista permite la opción de hacer y deshacer los cambios obtenidos en la imagen, también se puede guardar las listas en forma de baterías, para su uso posterior con otras imágenes.

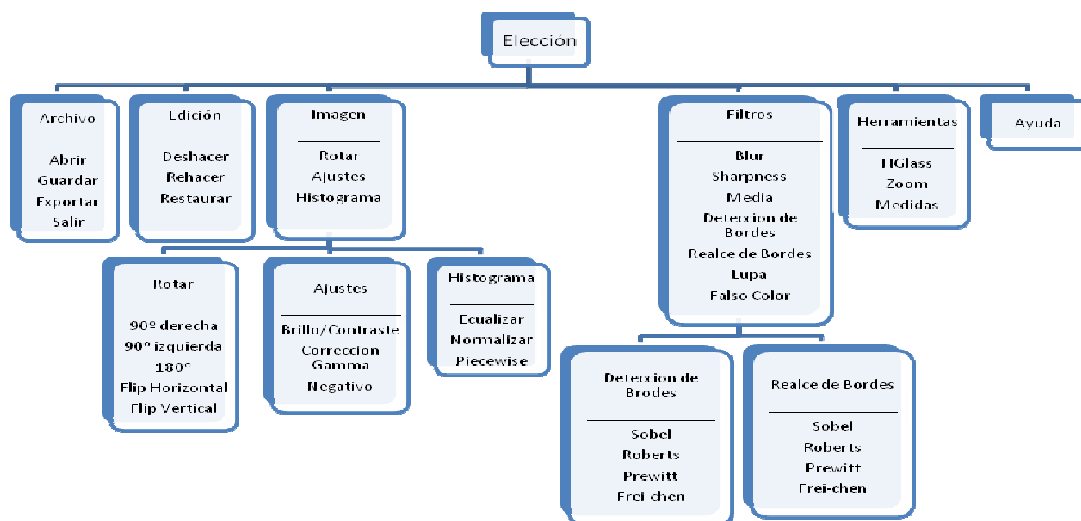


Figura 4.2 Diagrama de comandos en la interfaz principal del sistema.

4.2.1 INTERFAZ PRINCIPAL

La interfaz principal del sistema se muestra en la figura 5.4, es un lienzo que proporciona espacio para desplegar las imágenes médicas obtenidas, ya sea por petición web o utilizando el explorador de archivos locales del sistema.

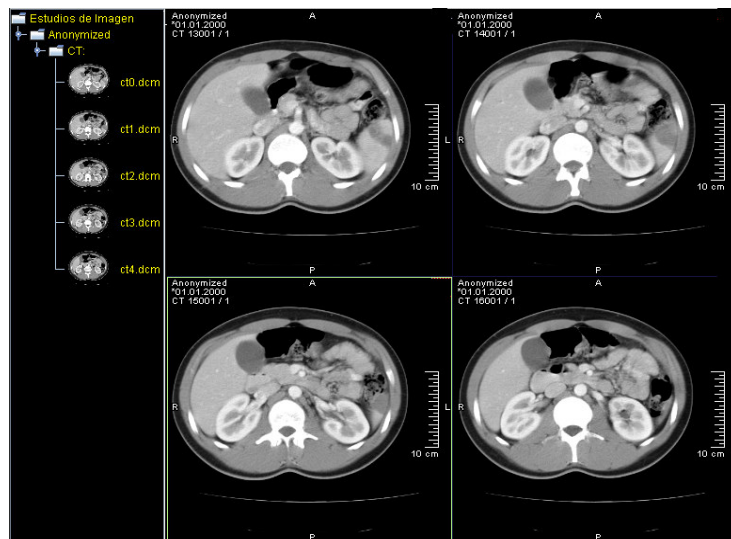


Figura 4.3 Pantalla principal del sistema.

4.2.2 MODIFICAR BRILLO Y CONTRASTE

Para modificar el brillo y/o contraste de la imagen seleccionada, basta con mover y presionar clic izquierdo del puntero del ratón, los cambios serán automáticos y se no taran inmediatamente.

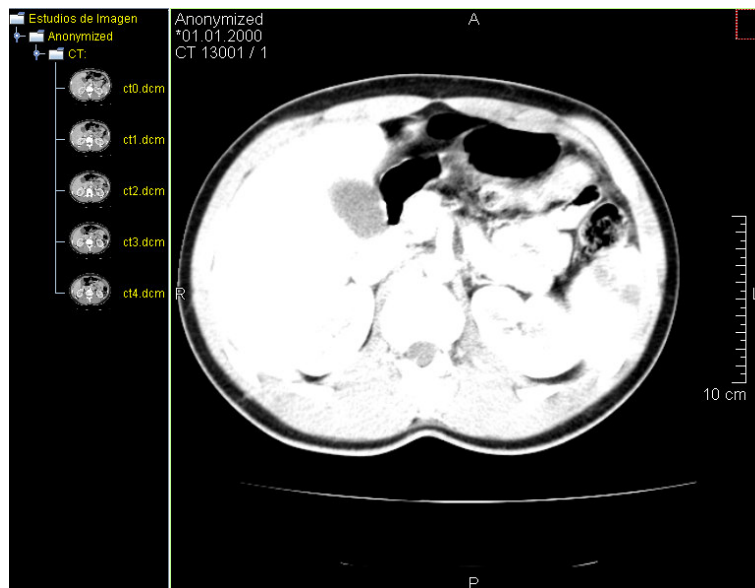


Figura 4.4 Modificación del brillo y contraste.

4.2.3 HERRAMIENTA PARA REDUCCION DE RUIDO

Como se logra ver en la figura 4.5, para aplicar este filtro se cuenta con una ventana de dialogo, que nos permite seleccionar el radio del filtro por medio de deslizadores.

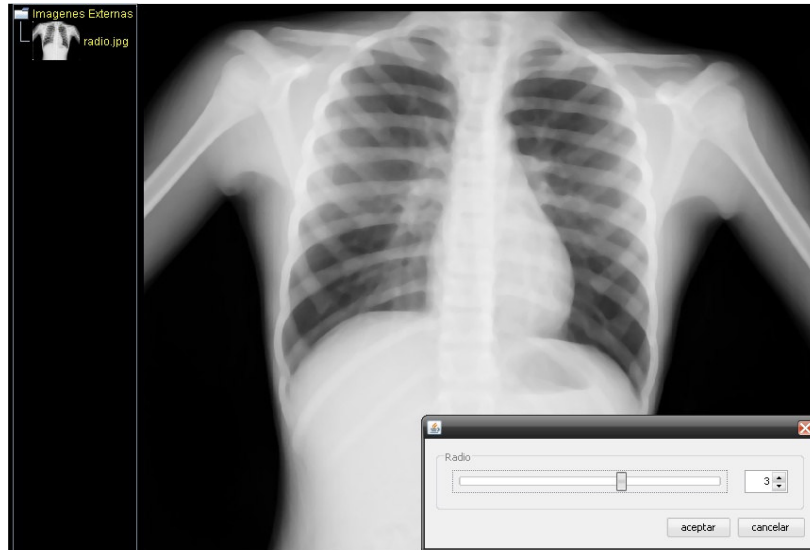


Figura 4.5 Herramienta para aplicar el filtro media aritmética.

4.2.4 HERRAMIENTA PARA DIFUMINAR Y AGUDIZAR BORDES

De igual forma que casi todas las herramientas de filtraje, esta también posee una ventana de dialogo, que por medio de un deslizador se puede seleccionar el nivel de agudeza o difuminado de bordes que se necesita.

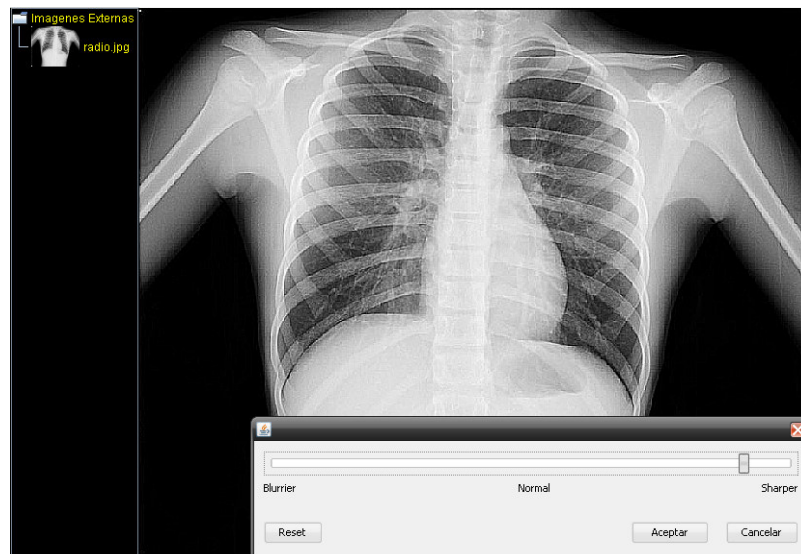


Figura 4.6 Herramienta para difuminar y agudizar bordes.

4.2.5 HERRAMIENTA FILTRO TRIGONOMETRICO

Esta herramienta permite el aumento y mejora de la percepción en ciertas características de la imagen, que se encuentran en regiones afectadas por el mal contraste de la imagen.

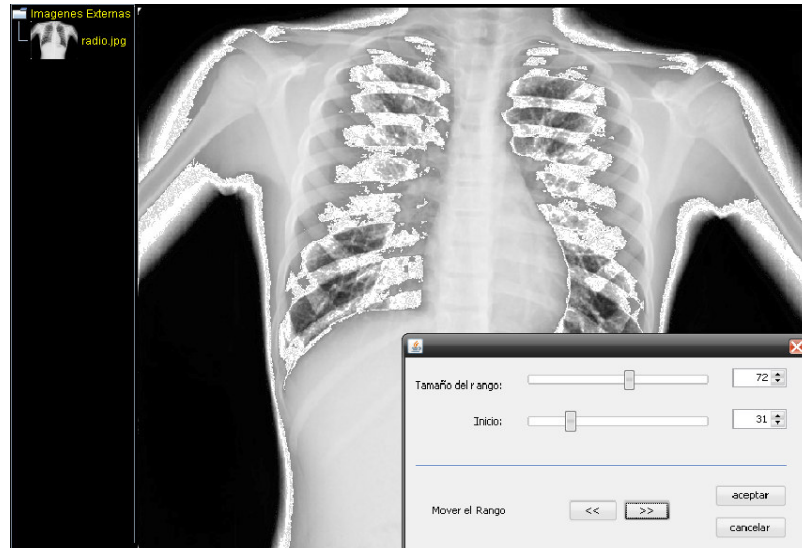


Figura 4.7 Dialogo para aplicar filtro trigonométrico.

4.2.6 HERRAMIENTA EXTRACCION DE BORDES

Dependiendo de la técnica de extracción de bordes seleccionada se mostraran los resultados en el lienzo de dibujo.

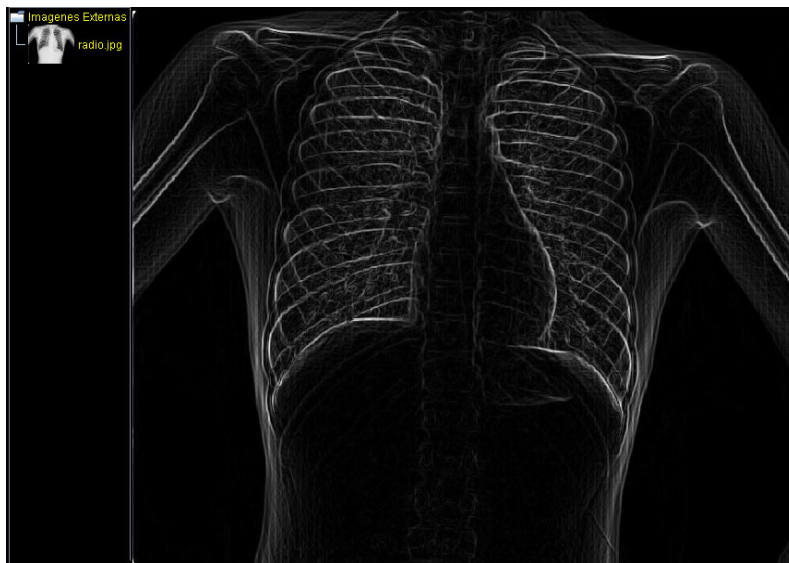


Figura 4.8 Resultado de aplicar la detección de bordes con el algoritmo de Prewit.

4.2.7 USO DE BATERIAS

Como se ha explicado en secciones anteriores, los filtros aplicados a una imagen seleccionada se almacenan como una lista de modificaciones, y esta lista se puede guardar y funciona como una batería, un ejemplo de esto se muestra en la figura 4.9.

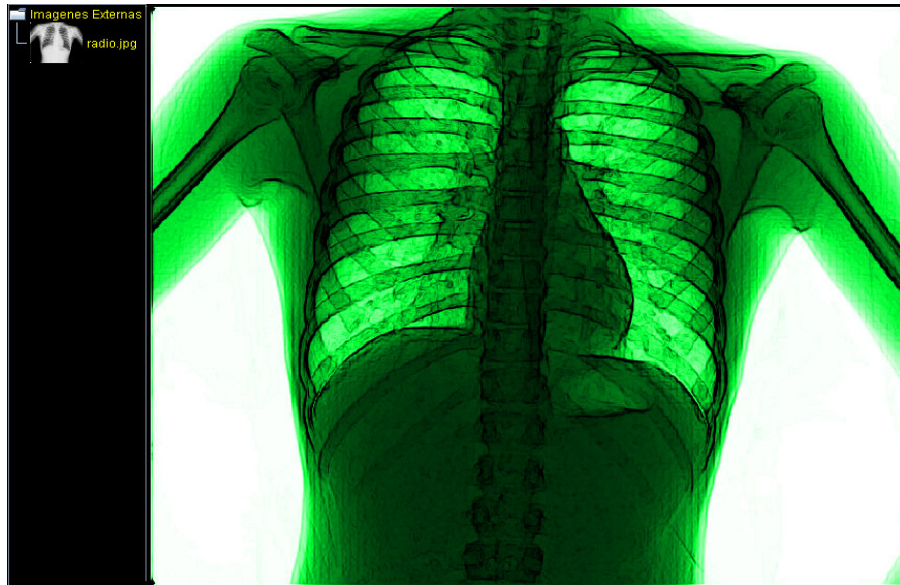


Figura 4.9 Uso de batería, compuestas por bordes y falso color.

4.2.8 DISEÑADOR DE FALSO COLOR

Para el uso de esta herramienta se tienen las opciones de utiliza colores sólidos o degradados, como se observa en la figura 4.10, la ventana de dialogo del diseñador de falso color tiene la opción de dividir el rango del espectro de intensidad de la imagen, con esto se pueden aplicar los colores seleccionados en un solo rango de intensidad y dejar otras secciones de la imagen sin efecto alguno.

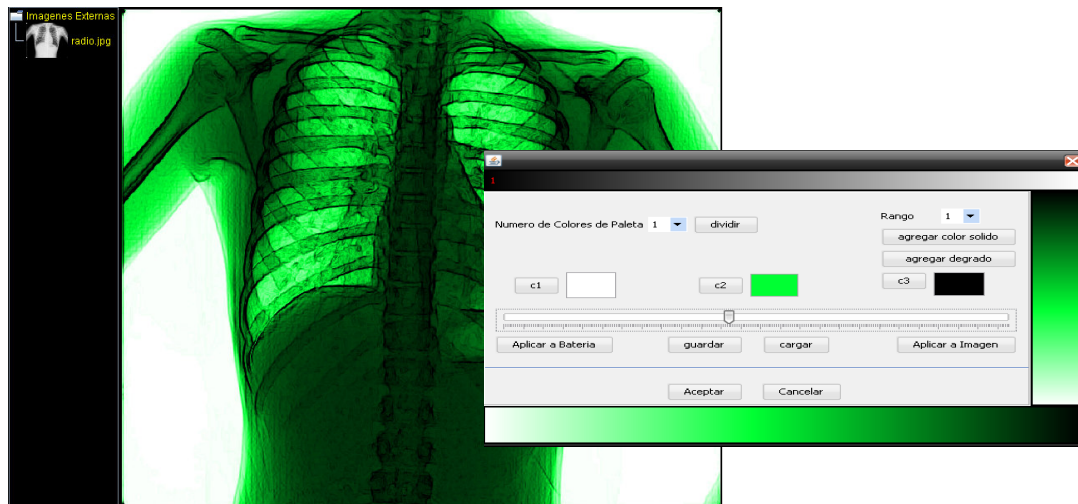


Figura 4.10 Herramienta para aplicar Pseudo-color a imágenes monocromáticas.

CONCLUSIONES

Una vez terminado el desarrollo e implementación de la aplicación del sistema propuesto y después de haber realizado pruebas que permitieran detectar insuficiencias, y mejoras. Se puede concluir lo siguiente:

- La mejora del rendimiento para procesar y visualizar imágenes digitales, se puede lograr bajo el seguimiento de algoritmos orientados a la optimización de gráficos, en este caso es estudio profundo de las características del lenguaje Java en cuanto a técnicas de dibujo se refiere fue una de las bases para mejorar el desempeño del sistema. Otra técnica fundamental es la aplicación de algoritmos que permitan agilizar el despliegue de las imágenes de forma que exista un equilibrio en entre la velocidad de procesamiento y la memoria disponible en el sistema.
- El estudio y clasificación de las técnicas de procesamiento digital de imágenes orientadas a la medicina, permite crear un sistema intuitivo y amigable para los usuarios finales, en este caso los médicos y especialistas en radiología e imagen.
- La adopción del estándar DICOM como formato de imagen digital proporciona la capacidad al sistema para poder comunicarse de forma básica con los aparatos que realizan las diversas modalidades de estudios de imagen. Además este formato de imagen está compuesto de información relacionada con el estudio médico realizado, esta característica amplía de forma singular las funciones generales del sistema y permite que el estudio de las imágenes médicas sea más eficiente.
- La implantación de un sistema de información hospitalaria en cualquier institución médica que no cuente con algún sistema informático orientado a este fin facilita y mejora la administración de las funciones realizadas en cada departamento de forma general. Pero enfocándose al área de radiología se necesitan sistemas individuales que puedan realizar la adquisición y administración de los estudios de imagen, con esto nos referimos a la necesidad de implementar sistemas PACS y RIS, el primero funciona como una red de comunicación y un servidor que almacena y administra las imágenes médicas, el segundo sistematiza el proceso radiológico desde la solicitud de realización de estudios de imágenes hasta el almacenamiento y la recuperación de estudios hechos con anterioridad. La implementación de estos sistema mejorara el manejo de las imágenes y disminuirá el tiempo de recuperación de los estudios en los hospitales.

LIMITACIONES

En lo referente a las limitaciones del sistema, se hace mención de los siguientes puntos:

- El procesamiento de la cantidad de imágenes en el sistema se ve limitado por la cantidad de memoria principal.

- El rendimiento se ve afectado al procesar imágenes con dimensiones demasiado grandes, en esos casos es necesario abrir solo la imagen que se quiere procesar.
- Debe existir un criterio que permita que las modificaciones realizadas a las imágenes sean alojadas en la base de datos, pero que a su vez evite la repetición de información.
- El sistema de mediciones y anotaciones solo realiza cálculos de longitud y área y no son compatibles con algún elemento del formato DICOM.

PERSPECTIVAS DE DESARROLLO

Las perspectivas que se plantean y se deben tomar muy en cuenta si se quiere trabajar por este mismo camino son las siguientes.

- El desarrollo de una mejor técnica de procesamiento digital de imágenes para imágenes con dimensiones mayores, este desarrollo es factible gracias a nociones como la división en regiones de interés y el procesamiento asíncrono de secciones de imágenes.
- Por otro lado si se desea agilizar el procesamiento de las imágenes y mejorar el rendimiento, se debe investigar la forma de poseer un acceso directo a las funciones básicas de tarjetas aceleradoras de gráficos, estas funciones pueden ser utilizadas para este fin y lograr un rendimiento mucho mejor, el entorno de desarrollo utilizado para la creación de este sistema cuenta ya con este tipo de librerías solo falta investigar su funcionamiento y compatibilidad.
- Una de las perspectivas de trabajo más importantes que sigue la línea de las imágenes médicas, es la investigación de nuevos algoritmos, los cuales se pueden orientar específicamente a las distintas patologías, por ejemplo a la búsqueda y reconocimiento de micro calcificaciones en las imágenes de mamografía.

Se ha trabajado arduamente en el desarrollo de este sistema pero aún falta mucho por recorrer si se desea tener un sistema de la mayor calidad posible. Se invita a la comunidad académica de la facultad de ciencias de la computación a la continuación de este proyecto.

APÉNDICE A

MANUAL DE USUARIO

En el presente manual se describe brevemente como hacer uso de este sistema de procesamiento digital de imágenes médicas.

VENTANA DE APLICACIÓN

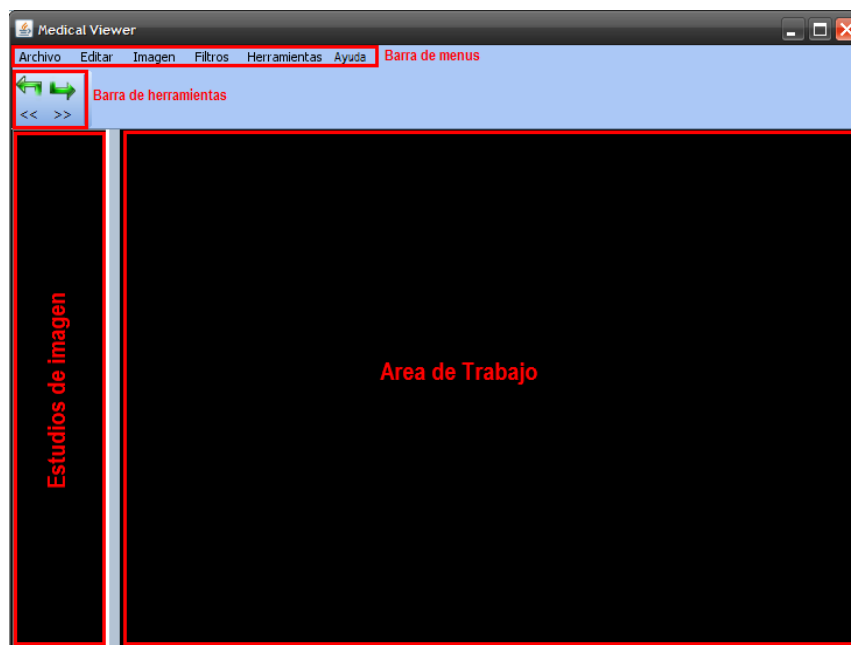


Figura 1. Ventana principal de la aplicación.

BARRA DE MENÚS

Contiene los diversos menús desplegables que podrán ser utilizados y que se describen continuación.

Archivo

Abrir Permite abrir una o varias imágenes residentes en el sistema de archivos del ordenador local. Las imágenes pueden estar en formato DICOM, BMP, JPG, JPEG, TIFF, GIF, o PNG.

- Guardar* Permite almacenar los cambios realizados a las imágenes previamente abiertas y modificadas por los filtros seleccionados, o con las herramientas de medición.
- Exportar* Permite que los cambios realizados a imágenes DICOM, puedan ser visualizados como imágenes del tipo JPEG, TIFF o PNG.
- Salir* Cierra la aplicación.

Edición

- Deshacer* Elimina el la ultima modificación realizada sobre la imagen.
- Rehacer* Vuelve a realizar la operación en la imagen que se elimino previamente con la opción de Deshacer.
- Restaurar* Quita todas las modificaciones hechas a la imagen, la restaura a su estado original.

Imagen

- Rotar* Permite rotar la imagen seleccionada en el área de trabajo con las opciones de 90 grados a la izquierda, ala derecha, 180 grados, y personalizado. También cuenta con las opciones de reflejos horizontales y verticales.
- Ajustes* Este menú cuenta con las opciones que ajustan el brillo/contraste de la imagen, se puede aplicar corrección de gamma, e invertir a negativo.
- Histograma* Este menú permite trabajar con el histograma de la imagen seleccionada, se puede ver el histograma, y modificarlos con los algoritmos de ecualización, normalización y piecewise.

Filtros

- Blur/Sharpnes* Permite agudizar y difuminar los bordes de las imágenes, con este filtro podemos obtener una mejor apreciación de imágenes naturalmente desenfocadas o con una cantidad moderada de ruido.
- Media* Este filtro permite eliminar el ruido producido por artefactos y en la imagen. Este filtro se puede personalizar por medio de deslizadores que permiten seleccionar el radio de aplicación de este filtro.
- Detección de* Esta opción permite realizar la detección de bordes en la imagen seleccionada,

- Bordes* con las técnicas de Sobel, Roberts, Prewitt, Freichen.
- Realce de Bordes* Esta opción permite realizar el realce de los bordes en la imagen seleccionada,
con las técnicas de Sobel, Roberts, Prewitt, Freichen.
- Falso Color* Esta opción carga un diseñador de paletas de falso color que, entre permite modificar el color de algunas modalidades de imagen con color y agregar color a imágenes blanco y negro.
- Herramientas* Este menú provee tres herramientas las cuales se describen a continuación:
- HGlass, permite realizar operaciones de filtro, pseudo color, zoom, entre otras en regiones seleccionadas de la imagen original.
 - Zoom, como su nombre lo dice realiza acercamientos y alejamientos generales a toda la imagen original.
 - Medidas, permite realizar medidas visuales de alguna selección de la imagen, estas medidas se enfocan en la longitud y el área de la imagen de dos dimensiones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] William R. Hendee, Ph. D., E. Russell Ritenour, Ph. D.
MEDICAL IMAGING PHYSICS Cuarta edición
Editorial Wiley and Sons, 2002
p.p. 1.

- [2] Isaac N. Bankman, Ph. D.
HAND BOOK OF MEDICAL IMAGING PROCESSING AND ANALYSIS
Editorial Academic Pres
p.p. 1-2

- [3] Rafael C. González, Richard E. Woods
Digital image processing
Prentice Hall 2002
p.p. 45 - 57

- [4] Bernd Jahne
Digital image processing
Springer 2005

- [5] Anil T. Ahuja, Gregory E. Antonio, K. T. Wong, Edmund H. Y. Yuen
Case studies in medical imaging
Cambridge University Press 2006

- [6] Rafael C. González, Richard E. Woods, Steven L. Eddins
Digital image processing using MATLAB
Pearson / Prentice Hall 2004

- [7] Dr. Manuel I. Martín Ortiz
Notas del curso Procesamiento Digital de Imágenes
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Computación

- [8] José Martínez Carranza
Sistema para la visualización y el análisis de imágenes medicas digitalizadas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Computación

- [9] María Teresa Citlali Peñaloza Ramos
Realce de imágenes digitales con falso color y pseudo color
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Computación

- [10] Manuel Nájera Enríques
Sistema para la detección de anomalías de carácter microscópico en mamografías.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de ciencias de la Computación 2007

[11] Integrated Healthcare Environment [sitio en Internet]. Disponible en:
www.care2x.org