

Sistema para visualización y análisis de imágenes médicas digitalizadas

José Martínez Carranza y Manuel I. Martín Ortiz
Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Edificio 135, Ciudad Universitaria, San Manuel, CP. 72570
Puebla, Pue., México.
josemcr@mail.cs.buap.mx
mmartin@cs.buap.mx

Resumen

El diseño de software basado en el uso de algoritmos que hasta hace 10 años eran pesados, hoy en día es posible gracias a los avances tecnológicos de las nuevas computadoras con las cuales se ha impulsado a la elaboración del mismo. En éste trabajo se presentan los resultados de un sistema que se ha desarrollado por los autores con fundamentos en el procesamiento digital de imágenes y cuya aplicación directa incide en el campo de la imagenología médica. Así, se brinda al usuario un modo fácil y económico de trabajar con sus imágenes sin necesidad de contar con equipo sofisticado y de alto costo.

1. Introducción

La imagenología médica es una de las áreas más importantes en la medicina ya que ofrece una manera muy eficaz de conocer algunos problemas internos del cuerpo humano. La radiografía sigue siendo uno de los estudios más solicitados y a ésta se le han sumado la resonancia magnética, el ultrasonido, la mastografía y la tomografía, todas ellas obtenidas mediante un dispositivo físico que imprime la imagen del área estudiada en una placa la cual es revelada sobre una película fotográfica. Posteriormente esta placa es entregada al médico o radiólogo quien la analiza colocándola en un negatoscopio. Aunque el revelar las placas aparenta una economía y un modo sencillo de visualizarlas, a lo largo resulta caro ya que cada centro de radiología desperdicia diariamente una carga considerable de papel fotográfico, químicos para el revelado y además los desechos que se producen en el proceso son altamente contaminantes. Actualmente se

han creado sistemas que pueden obtener una imagen digitalizada del dispositivo de trabajo o bien algunos dispositivos ya la generan. Algunos de ellos la almacenan en un formato y pueden hasta imprimir la imagen pero desafortunadamente el costo sigue siendo alto como para poder adquirir uno en cada clínica por lo que se vuelve a caer en el problema ya mencionado. Por otra parte, muchas clínicas y centros de salud no cuentan con equipo sofisticado para estudios más avanzados como el de la resonancia magnética o el de la tomografía, por lo que el paciente debe acudir a clínicas especializadas en los centros de salud que en ocasiones se encuentran fuera de su misma comunidad o en el peor de los casos acudir a un servicio privado y costoso.

Pensando en ésta situación y asumiendo que sólo centros especializados podrán tener acceso a equipos de alto costo y que puedan ofrecer una digitalización de la imagen, se ha diseñado un sistema que podrá ser utilizado en cualquier clínica que cuente con una PC, con el cuál posiblemente un médico de una clínica común, una vez con la imagen del paciente en mano, podrá auxiliarse con este sistema para poder emitir un mejor diagnóstico luego de digitalizarla.

Este documento se ha dividido como sigue, en la sección 2 se explican algunos conceptos básicos, en la sección 3 se presentan las herramientas del sistema, en la sección 4 se muestran algunos ejemplos directos de aplicación y en la última sección se presentan las conclusiones.

2. Conceptos básicos

El procesamiento digital de imágenes es una disciplina que ha venido cobrando fuerza a la par del avance tecnológico ya que con el surgimiento de computadoras más veloces y con mayores capacidades

ha sido posible implementar algoritmos matriciales que hasta hace algunos años tenían costosos tiempos de ejecución. A continuación se describen de manera breve algunos conceptos que sirvieron de base para el desarrollo del sistema, para una consulta más detallada puede revisarse en [1] y [2].

2.1. Imagen Digital

Una imagen del mundo real puede ser representada mediante una matriz de puntos discretos en donde cada punto representa un punto digitalizado de la imagen real y puede verse como función de dos variables tal y como se muestra en (1), aunque el proceso de captura de la imagen original a la imagen digitalizada presenta algunos problemas de cuantización, éste se podrá disminuir dependiendo de la resolución y la calidad del dispositivo con la que se tome a la imagen.

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2. Concepto de filtro

Un proceso de filtrado como se muestra en la ecuación (2), es un operador matemático que es aplicado a una función y cuyo resultado es de nueva cuenta una función. Los procesos de filtrado que trabajan sobre una imagen pueden ser tan sencillos como una simple función discreta, o de complejidad mayor.

$$g(x,y) \leftarrow T[f(x,y)] \quad (2)$$

2.3. Macro filtros o Baterías de filtros

$$\begin{aligned} f_1 &\leftarrow T_0[f(x,y)] \\ f_2 &\leftarrow T_1[f_1(x,y)] \\ &\vdots \\ f_n &\leftarrow T_n[f_{n-1}(x,y)] \end{aligned} \quad (3)$$

Una Batería de Filtros o Macro Filtro es un conjunto de filtros aplicados en forma sucesiva y ordenada a una imagen digital o bien una sucesión de operadores que son aplicados a la función $f(x,y)$ de la imagen. En la ecuación (3) se denota el modo de aplicar el filtro u operador T_0 , la imagen de salida se filtra con el siguiente operador T_1 y se continúa hasta

que el n-ésimo operador haya sido aplicado. La función resultante $f_n(x,y)$ será la imagen de salida respectiva.

2.4. Análisis estadístico en una imagen

Este análisis varía dependiendo del objetivo a medir, en el caso del sistema, el análisis que se realiza es el conteo de la población cromática de la imagen, esto es, por cada punto (x,y) se descompone su valor $f(x,y)$ en los valores correspondientes por canal, (revisar [1] en “Color image processing”) y se contabilizan por tono. Con esta información se pueden obtener los parámetros estadísticos comunes como la media, la varianza y la desviación estándar.

2.5. Analizador de densidad de luz

Este analizador se obtiene a partir de una tabla de datos que se debe de registrar previamente, esta tabla se obtiene de la asociación de un valor de tono de gris o intensidad cromática, con un valor de luz, ver Tabla 1. Los tomógrafos suelen indicar estas escalas e imprimirlas incluso en las imágenes que generan. Una vez que se tiene la información, para saber la densidad aproximada de luz que hay en una zona de la imagen, solo se debe de obtener su media de intensidad cromática y con algún algoritmo de interpolación aproximar al valor correspondiente en los datos registrados.

Tabla 1. Tabla de densidad de luz

Tono de gris	t_1	t_2	...	t_n
Densidad de luz	d_1	d_2	...	d_n

2.6. Perfiles de la imagen

El perfil de una imagen se puede definir de la siguiente manera: dados dos puntos p_1 y p_2 en la función f , con coordenadas (x_1,y_1) y (x_2,y_2) , la línea recta discreta que pasa por estos dos puntos arroja un espectro de tonos que se forma con la intensidad cromática de cada uno de los puntos que pertenecen a ésta recta y que se encuentra acotada por los puntos p_1 y p_2 , ver Figura 1. Es claro que los perfiles varían dependiendo de los puntos P_1 y P_2 que se elijan.

2.7. Operaciones entre imágenes

Otra forma de procesar y mejorar una imagen es a través de operaciones aritméticas o lógicas entre dos o más imágenes digitales. Estas operaciones son ejecutadas píxel a píxel entre las imágenes, este

mecanismo de procesamiento se expresa en forma matemática con la ecuación (4).

$$g(x, y) = f_1(x, y) \bullet f_2(x, y) \bullet \dots \bullet f_n(x, y) \quad (4)$$

Donde \bullet denota alguna operación tal como la suma, la resta, AND, OR, etc y f_1, f_2, \dots, f_n son los operandos.

Las operaciones entre imágenes producen resultados que en ocasiones no pueden ser obtenidos por un proceso de filtrado

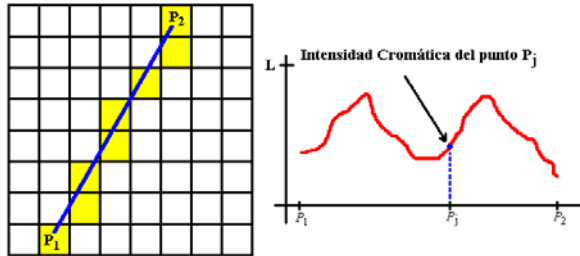


Figura 1. Perfil de una imagen.

3. El sistema propuesto

Debido a la problemática enunciada en la introducción, se planteó la idea de construir un sistema que fungiera como una herramienta para visualizar imágenes digitales. Se asume el hecho de que ciertos centros especializados contarán con algunos dispositivos capaces de generar la imagen digitalizada pero también se considera el hecho de que un radiólogo puede digitalizar una radiografía mediante el uso de un scanner normal, fotografiando la placa sobre un negatoscopio con la cámara sobre un tripie para un buen enfoque o con un scanner de transparencias, en [3] se encuentra un estudio de estos métodos así como de su facilidad, economía y eficacia.

El sistema además de actuar como un visualizador, el ofrece algunas herramientas extras al usuario:

3.1. Filtros de ajuste de color y tratamiento

El sistema dispone de serie de filtros comunes para el mejoramiento visual de la imagen ya que en ocasiones se desea ajustar algunos parámetros como la intensidad, la saturación de luz o algún escalamiento. Cada uno de estos filtros fue estudiado y elegido de acuerdo a su eficiencia tanto para el mejoramiento como para la tarea a procesar. Las tareas comunes son ajuste y tratamiento puntual de tonos, agudización, ecualización, redimensionamiento.

Puesto que la mayoría de las imágenes médicas que se digitalizan se trabajan en escala de grises, el sistema incorpora una herramienta para asignación de falso

color. De este modo se pueden crear arcoiris personalizados o se puede hacer uso de alguno ya existente, diseñado y probado por el equipo de trabajo. En la Figura 2 se muestra el aspecto de esta herramienta. Con esto el usuario puede discriminar zonas que se pueden volver monótonas o difusas en la imagen en grises. En la Figura 3 se encuentran algunos arcoiris diseñados con esta herramienta.



Figura 2. Herramienta para diseñar arcoiris de color aplicables a una imagen en escala de grises.

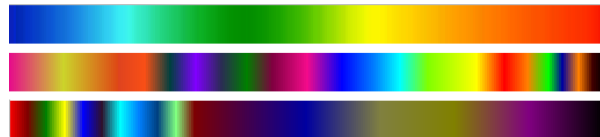


Figura 3. Tres arcoiris de falso color para imágenes en grises: a, b y c respectivamente.

3.2. Macro filtros o Baterías

En ocasiones en una imagen hay detalles que no son percibidos fácilmente por el ojo y no siempre es suficiente aplicar un solo filtro. Por tal motivo se han diseñado algunas *Baterías o Macro filtros* que se incluyen en el sistema como si fuesen un solo filtro y que ayudan a mejorar algunos aspectos de la imagen. Estas baterías han sido probadas en diversas imágenes y se ha comprobado su eficiencia, en la Figura 4 se muestra el diagrama de la aplicación de una *batería* diseñada por el equipo de trabajo.

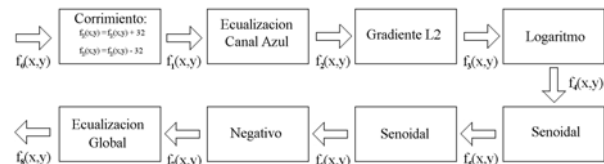


Figura 4. Diagrama de la aplicación de una *batería* a una imagen f_0 y cuya salida es f_8 .

3.3. Analizador estadístico y de densidad de luz

Con estos analizadores un radiólogo es capaz de extraer información de la imagen de manera muy sencilla. El usuario comienza por seleccionar un área en la imagen ya sea rectangular, circular o irregular, una vez hecho esto el sistema puede medir el área en esa zona, en alguna unidad que puede ser personalizada (cm, pulgadas, etc), se puede saber como se encuentra distribuida la población cromática así como la densidad de luz. Obtenidos los atributos, el radiólogo puede saber entonces que tipo de tejido está viendo en la imagen, por ejemplo en una mastografía, que parte es grasa, músculo o incluso calcificación lo que lo ayuda a tomar decisiones y concluir diagnósticos.

3.4. Perfiles y medidor de longitudes

El usuario puede trazar una recta con cualquier par de puntos sobre la imagen y aplicar esta herramienta que le mostrará la gráfica correspondiente de acuerdo a como se definió en la sección 3. A su vez, el sistema indicará la longitud en las unidades personalizadas por el usuario. El sistema puede calibrar el sistema métrico de acuerdo a la imagen que se utilice, en el caso de las Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y la Tomografía Axial Computarizada (TAC), se imprime a un costado una recta que indica la escala de la imagen, esta recta puede ser tomada como base para la calibración o bien se puede calibrar tomando la relación de cuanto equivale un píxel en la medida deseada.

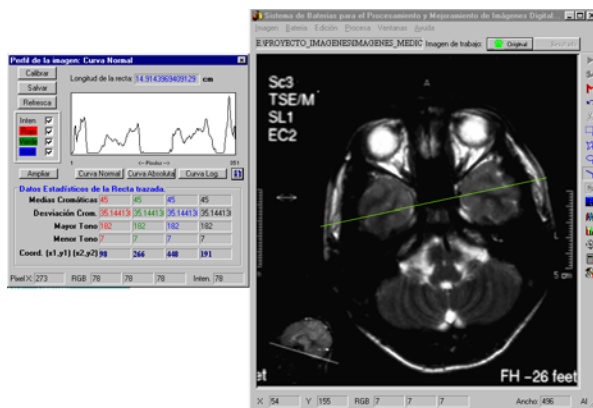


Figura 5. Perfil y medición en una imagen

En algunas imágenes conocer el perfil ayuda a tener una idea de la forma del tejido e incluso ayuda a identificar pequeñas anomalías en él. La Figura 5 muestra un ejemplo de la aplicación del perfil. Por su parte con el sistema métrico el usuario puede medir la longitud de los tejidos, la longitud transversal de un

ojo, el largo de un hemisferio del cerebro, la cavidad craneal etc.

3.5. Calculadora de imágenes

En éste sistema se ha implementado una calculadora de imágenes basada en el concepto teórico de operación entre imágenes, un ejemplo claro de su uso es inmediato en la angiografía médica donde se toman dos imágenes, una radiografía simple de un órgano y otra con el mismo órgano pero con un isótopo radioactivo inyectado, las imágenes se substraen obteniendo así una tercera imagen que muestra con claridad el órgano. En este caso el médico puede experimentar con las operaciones entre imágenes con la misma idea de la angiografía para obtener información que posiblemente no se obtendrá con la aplicación de algún filtro o batería simple.

3.6. Características y requerimientos

El sistema trabaja sobre Windows 98 o superior y ocupa menos de 2 MB en disco duro. La capacidad memoria RAM y disco duro requeridos dependerá del tamaño de las imágenes con las que se trabaje pero en general con 32 MB en RAM y 4 GB en disco duro se puede trabajar cómodamente. Claramente entre mayores sean las prestaciones del sistema de cómputo se obtendrá mayor rapidez de ejecución y mayor capacidad de almacenaje. Acepta archivos con formato BMP, JPEG, JPG, TIF, TGA, PCD, PCX, PNG y WMF.

4. Aplicaciones del sistema

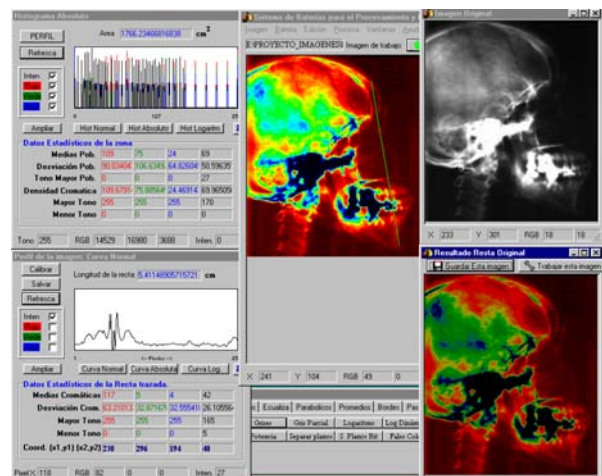


Figura 6. Presentación del Sistema para visualización y análisis de imágenes médicas digitalizadas.

Este sistema ha sido probado en el Hospital Universitario del BUAP así como en el Departamento de Imagenología Médica del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para el trabajador del Estado de Puebla ISSSTEP. A continuación se muestran algunos ejemplos de imágenes procesadas con las herramientas mencionadas anteriormente. En la Figura 6 se muestra una imagen del sistema en general, en las siguientes, algunas imágenes en original y procesadas.

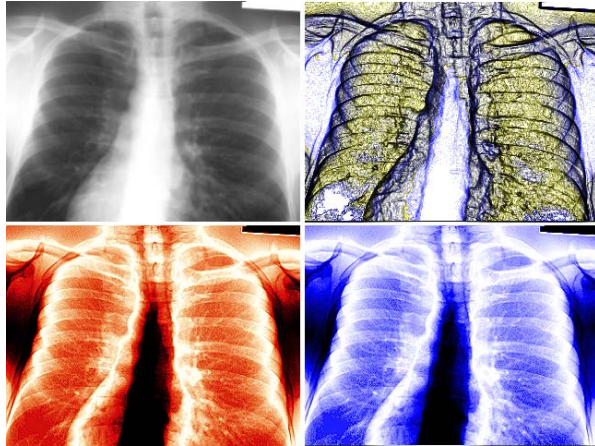


Figura 7. Radiografía de pecho con la aplicación de tres baterías distintas, la primera corresponde a la batería del diagrama de la Figura 4 en la sección anterior.

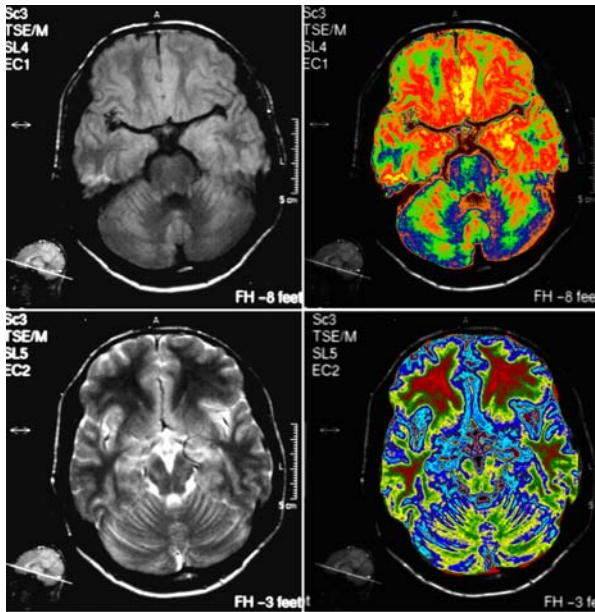


Figura 8. Tomografía con aplicación de los arcoiris b y c, de la Figura 3.

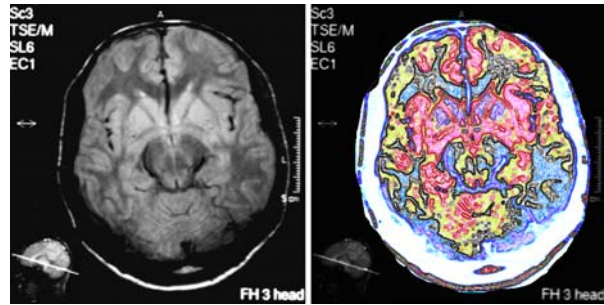


Figura 9. Tomografía y resultado de aplicarle una Batería de filtros.

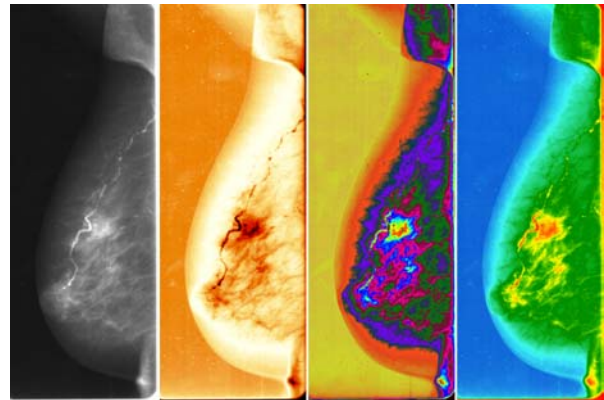


Figura 10. Mastografía con aplicación de una batería y los arcoiris, en orden c y a, de la Figura 3.

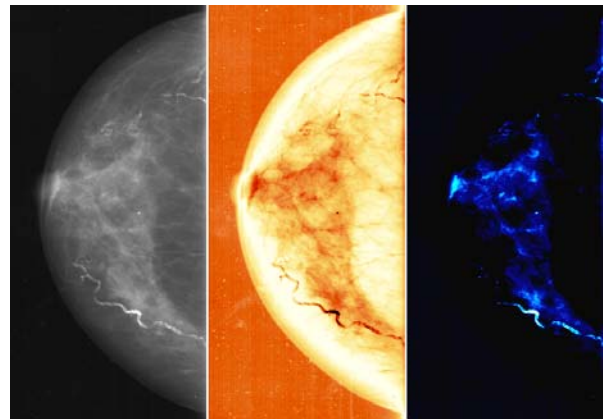


Figura 11. Mastografía con aplicación de una batería y la tercera imagen resulta de substraeer la segundo de la original.

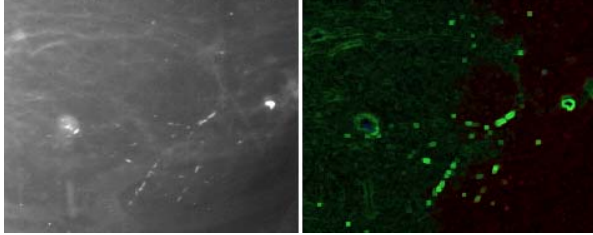


Figura 12. Mastografía con microcalcificaciones, derecha, aplicación de dos filtros, color en verde y gradiente morfológico. Ahora se pueden discriminar mejor.



Figura 13. Imagen de un cráneo con falso color.

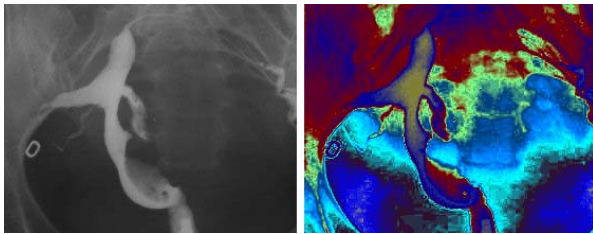


Figura 14. Mioma uterino izquierda, a la derecha una aplicación del arcoiris c de la Figura 3. Pueden notarse zonas que no se admiraban en la primera.

5. Conclusiones

El problema de altos costos en equipo sofisticado para radiología se presenta comúnmente en clínicas cuya ubicación se encuentra en zonas rurales o zonas alejadas de las grandes ciudades. Esto provoca una mala atención e incluso un mal diagnóstico de enfermedades que pueden volverse peligrosas.

A lo largo de este trabajo se ha descrito un sistema cuyas herramientas no pretenden reemplazar a los equipos de obtención de imágenes médicas, si no más bien como un complemento para el análisis de las mismas arrojando no solo información cualitativa de la

imagen sino también cuantitativa. Si un radiólogo se ve limitado en sus recursos, puede apoyarse de éste sistema para tratar de emitir un diagnóstico más acertado. Por otro lado, la radiología digital no está muy alejada por lo que es imperativo contar con un sistema sencillo, pequeño y robusto para la manipulación de las imágenes que pueda ser manejado fácilmente por un médico o un radiólogo en la comodidad de su consultorio sin necesidad de alargar la entrevista con el paciente y con buenas posibilidades de emitirle un buen diagnóstico que le ayude a ahorrar tiempo y sobre todo, en el caso de enfermedades malignas, en el hecho de tomar un tratamiento inmediato evitando así un progreso más riesgoso de la enfermedad.

Este sistema como se mencionó en la sección 4, se ha utilizado en algunas clínicas locales con buenos resultados y aceptación. Los médicos radiólogos con los que se ha trabajado están de acuerdo en afirmar que cada vez es más necesario incorporar a la medicina herramientas como ésta que ayuden a la prevención de enfermedades o un diagnóstico más eficiente.

Cada una de las herramientas de éste sistema tienen su importancia en el hecho de poder brindar información útil al usuario y en el caso de algunas *baterías*, resaltar información en el momento del mejoramiento de la imagen, misma que a veces en la imagen simple no se puede distinguir.

Referencias

- [1] González, Rafael and Woods, Richard, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, Edición 2000.
- [2] Jahne, Bernd. *Digital Imagen Processing. Concepts, algorithms and Scientific Applications*. 4th Edition. Springer 1997.
- [3] Porta, Calos A. y Solari Juan C, "Captura de Imágenes Radiológicas. Análisis de tres métodos diferentes.", *Cuarta Reunión de GIBBA*, Argentina, Julio 1999.