

¿Es posible incrementar la sensibilidad diagnóstica de una radiografía?

Alberto Jaramillo-Núñez

RESUMEN

Introducción. Son indiscutibles las cualidades que tienen las radiografías digitales que no poseen las radiografías analógicas. En un afán de que las radiografías analógicas cuenten también con esas características hemos implementado una técnica que utiliza el proceso fotográfico y el procesamiento digital de imágenes. Usándolas de manera individual o simultáneamente, dependiendo del problema, hemos encontrado que se puede mejorar la sensibilidad de la radiografía de tal manera que es posible visualizar detalles que de otra manera sería difícil apreciar. En ocasiones es necesario contar también con una buena resolución y hasta este momento hemos alcanzado 10 micras; sin embargo, este valor podría mejorarse en un futuro no lejano con detectores de mayor resolución. Se muestran los resultados de aplicar la técnica en cuatro casos.

Material y métodos. Usando una cámara CCD (*charge coupled device* o dispositivo de cargas acopladas) y una lente de distancia focal fija se fotografían las radiografías. Controlando el diámetro del diafragma obtenemos imágenes contrastadas aún cuando la radiografía esté oscura o brillante. Modificando la distancia entre la cámara y la radiografía controlamos el tamaño del área fotografiada. El tamaño del pixel de la cámara CCD es de 3 micras y el tamaño de las imágenes digitalizadas es de $3\ 000 \times 2\ 200$ píxeles. La resolución máxima obtenida es de 10 micras para un área de la radiografía de 30×25 mm. Para mostrar algunas de las ventajas de la técnica se analizaron cuatro casos: artritis reumatoide, osteopenia, cáncer de mama y calcificaciones.

Discusión. El primer caso muestra como al variar el diámetro del diafragma de la cámara se puede obtener una imagen contrastada de una radiografía con bajo contraste. El segundo muestra cómo al usar simultáneamente la técnica fotográfica y el procesamiento digital de imágenes se puede llegar al extremo de realizar evaluaciones semicuantitativas de la información contenida en la radiografía. El tercer caso muestra cómo con ayuda de la técnica implementada se podrían evitar errores que se cometen al interpretar una radiografía. Es importante resaltar la resolución alcanzada ya que a veces es necesario conocer la estructura, forma y dimensiones de los hallazgos y esto sólo es posible si se tiene una buena resolución, en esto consiste el cuarto caso.

Conclusión. La técnica implementada, al adicionarle otras herramientas de tipo matemático, podría emplearse, por ejemplo, para monitorear avances de enfermedades como la metástasis

ABSTRACT

Introduction. The qualities that digital x-rays possess, and which analog x-ray lack, are unquestionable. In an effort to obtain analogic x-rays that have the same qualities, we have implemented a technique that uses the photographic process and digital processing of images. Using them individually or simultaneously, depending on the problem, we have found that sensitivity can be increased to the point where it is possible to view details that would be difficult to see otherwise. At times high resolution is also needed, and thus far we have achieved 10 microns; however, that value can be improved in the near future using higher resolution detectors. We show the results of applying the technique in four cases.

Material and methods. The x-rays were photographed using a CCD (*charge coupled device*) camera and a fixed focal distance lens. Controlling the diameter of the diaphragm, we obtained contrasted images even when the x-ray is dark or bright. Changing the distance between the camera and the x-ray we controlled the size of the photographed area. The pixel size of the CCD camera is 3 microns and the size of the digitalized images is 3000×2200 pixels. The maximum resolution obtained is 10 microns for an x-ray area of 30×25 mm. To show some of the advantages of the technique, four cases were analyzed: rheumatoid arthritis, osteopenia, breast cancer, and calcifications.

Discussion. The first case shows how, when the diameter of the camera diaphragm is varied, a contrasted image can be obtained from a low-contrast x-ray. The second shows how, simultaneously using photographic technique and digital image processing, we can reach the extreme of making semi-quantitative evaluations of the information contained in the x-ray. The third case shows how, with the aid of the technique implemented, errors in x-ray interpretation can be avoided. It is important to emphasize the resolution achieved, because at times it is necessary to know the structure, shape, and dimensions of findings, and that is possible only with good resolution, which is the point of the fourth case.

Conclusion. The technique implemented, when combined with other mathematical tools, may be used, for example, to monitor advances in diseases such as bone metastasis, monitor the action of therapies, highlight desired information in mammograms, etc. To know the limits of application of the technique,

ósea, monitorear el funcionamiento de terapias, resaltar información deseada en mastografías, etcétera. Para conocer los límites de aplicación de la técnica es necesario analizar más radiografías que contengan información de otras enfermedades.

Palabras clave: radiografías planas, fotografía, procesado digital de imágenes.

it is necessary to analyze more x-rays containing information on other diseases.

Key words: flat x-rays, photography, digital image processing.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la interpretación de las radiografías analógicas y digitales se hace de manera visual. En el caso de una radiografía digital almacenada en 12 bits la imagen se puede desplegar en 4 096 posibles tonos de gris, pero los monitores convencionales sólo pueden desplegar 256 tonos así que, para visualizar la imagen, es necesario hacer antes un reescalamiento de los datos. Sin embargo, es físicamente imposible para el ojo humano distinguir los 256 tonos de gris desplegados ya que algunos autores mencionan que sólo es posible resolver algunas decenas de tonos;¹ otros mencionan 32.² Por consiguiente, no toda la información disponible en una radiografía digital y desplegada en un monitor puede ser percibida. Para salvar parcialmente este problema se hace uso de funciones de ventana estándar manipuladas manualmente por el usuario para seleccionar zonas determinadas de la imagen, de menor tamaño que la imagen inicial, la información seleccionada es desplegada nuevamente en 256 tonos de gris. Si aún se requiere observar con mayor detalle alguna característica anatómica específica se utiliza nuevamente otra ventana más pequeña y el área seleccionada es desplegada otra vez en 256 tonos de gris. Este proceso es nombrado comúnmente como “dar o hacer zum” a la imagen. La ventaja de este proceso es que siempre se usan los datos almacenados de la imagen y de ahí se escalan automáticamente para visualizar la zona elegida. Sin em-

bargo, este proceso es finito ya que tiene un límite y se alcanza cuando la imagen empieza a “pixelarse”.

Para que las radiografías planas cuenten con las mismas cualidades que las digitales hemos implementado una técnica, basada en la fotografía, para digitalizarlas y así evitar el problema de la pixelización. El método consiste en digitalizar zonas pequeñas pero manteniendo el tamaño de la imagen, que es de 3 000 × 2 200 píxeles. Este proceso también tiene un límite: la zona más pequeña que podemos digitalizar es de 30 × 25 milímetros y sólo en este caso particular la resolución espacial obtenida es de diez micras, que en ciertas ocasiones podría llegar a ser mejor a la que poseen las radiografías digitales.

MATERIAL Y MÉTODOS

En una radiografía los detalles significativos deben tener alto contraste para poder ser detectados fácilmente. Cuando esto no ocurre, lo más probable es que se omita la información o que se proporcionen diagnósticos erróneos. Con las radiografías analógicas estos errores ocurren con mayor frecuencia que con las digitales.

Cuando se realiza fotografía científica en blanco y negro, durante la toma de la fotografía y el revelado de la película se pueden usar varias técnicas cuya elección depende de las características que se quieren hacer resaltar del objeto. Esto mismo se puede hacer al tomar una radiografía analógica solo que aquí hay un inconveniente y es que por seguridad no se debe radiar al paciente varias veces o con dosis altas. Otro inconveniente es que en los laboratorios dedicados a la toma de radiografías existen ya técnicas estándar para revelar y por ello algunos detalles no son resaltados.

Para salvar este problema optamos por fotografiar la radiografía plana utilizando una cámara CCD (*charge coupled*

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Calle Luis Enrique Erro No. 1, 72000, Tonantzintla, Puebla.

Correspondencia: Alberto Jaramillo-Núñez. Correo electrónico: ajaramil@inaoep.mx

Recibido: 21 enero 2013

Aceptado: 23 abril 2013

device o dispositivo de cargas acopladas) y una lente de distancia focal fija. Variando el diámetro del diafragma de la cámara podemos controlar la cantidad de luz de tal manera que zonas oscuras o brillantes en la radiografía resultan bien contrastadas en la fotografía digital. Para controlar el tamaño de la zona a fotografiar acercamos o alejamos la cámara fotográfica de la radiografía en un proceso equivalente a hacer *zoom*. Las dimensiones del área más pequeña que podemos fotografiar son 30×25 milímetros en un formato digital de $3\,000 \times 2\,200$ píxeles con lo cual obtenemos una resolución de 10 micras; es decir, un orden de magnitud más grande que la resolución de la radiografía. Si después de tomar la fotografía los detalles deseados aún no son visualizados hacemos uso de las técnicas de procesado digital de imágenes (PDI) para resaltar la información.

Empleando simultáneamente ambas técnicas hemos encontrado ventajas importantes con respecto a las radiografías digitales. Por ejemplo, en un trabajo anterior³ empleamos la técnica para aprovechar al máximo la información contenida en la radiografía y mostrar que es posible detectar en ella la metástasis ósea temprana.

En un afán de investigar el potencial de la técnica nos hemos dado a la tarea de aplicarla en radiografías que contienen padecimientos diferentes al reportado en la referencia 3 y los resultados obtenidos son muy alentadores.

En el primer caso analizado mostramos cómo el manejo hábil del diafragma y el acercamiento de la cámara permiten ver objetos que a simple vista no son fáciles de observar. En el segundo caso mostramos cómo el uso combinado del proceso fotográfico y el PDI^{4,5} hace que la interpretación de las radiografías deje de ser una evaluación cualitativa para pasar a ser semicuantitativa. En el tercer caso mostramos cómo el acercamiento de la cámara a la radiografía hace que veamos detalles que se pueden pasar por alto durante la inspección visual de la misma. En el último ejemplo empleamos la máxima resolución del método para mostrar detalles de calcificación.

Caso I. Artritis reumatoide

Se fotografió una radiografía tomada a un paciente con artritis reumatoide en la mano (imagen 1). Una imagen con buen contraste en tonos de gris es aquella cuyos valores van de cero a 255. Este es el caso de la imagen 1 donde el tono más alto es 252. Como podemos observar los tonos



Imagen 1. Radiografía de una mano enferma de reumatismo.

de gris de los dedos varían rápidamente hacia los tonos oscuros haciendo difícil visualizar defectos pequeños.

Al abrir el diafragma y acercar una cámara fotográfica a la radiografía podemos obtener una zona pequeña y contrastada, tal como se muestra en la imagen 2. Utilizando este procedimiento es fácil observar una anomalía en una de las articulaciones que era casi imperceptible en la imagen 1.

Caso II. Osteopenia

La imagen 3 muestra la articulación de un brazo. Después de interpretar la radiografía la impresión diagnóstica fue disminución en la densidad ósea. Pero surge la pregunta: ¿es dicha disminución ósea normal, leve o severa?

La imagen 4 muestra las imágenes de salida después de aplicar algunas técnicas de PDI a las imágenes mostradas en la imagen 3. Si se midiera el diámetro de los poros, la cantidad de poros por unidad de área, o ambas cosas, sería posible contestar la pregunta anterior; es decir, se pasaría de hacer una evaluación cualitativa a una semicuantitativa. Quizás a partir de esta evaluación se podría establecer la diferencia formal de cuándo la osteopenia pasa a ser una osteoporosis (imágenes 3a y 3b, 4a y 4b).



Imagen 2. Sección ampliada de la imagen 1. A la derecha se observa una anomalía.

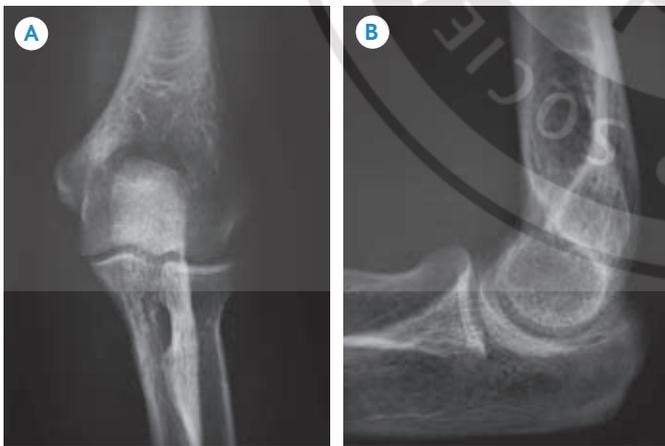


Imagen 3. Articulación del brazo izquierdo. **3A)** proyección lateral, **3B)** proyección transversal.

Caso III. Cáncer de mama

Este caso tiene que ver con los errores que a veces se dan en los diagnósticos, así que ampliaremos un poco más la

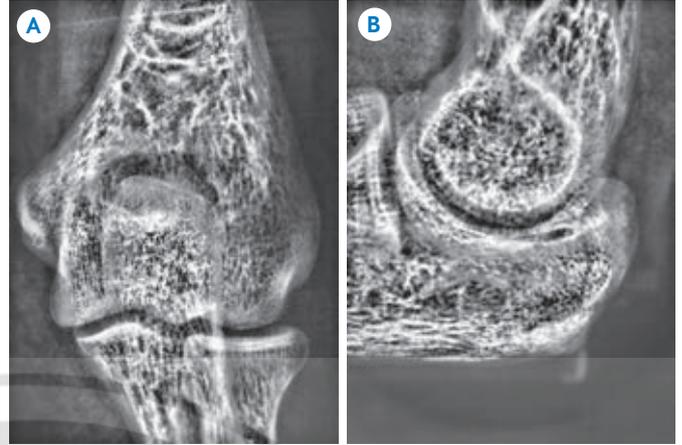


Imagen 4. Imágenes de salida después de aplicar técnicas de PDI a las imágenes mostradas en la imagen. **4A)** 3a después de aplicar el PDI; **4B)** 3b después de aplicar el PDI.

información. La imagen 5 muestra parte de una mastografía realizada a una paciente que acudió con molestias en la mama derecha. La impresión diagnóstica fue:

1. Mastopatía fibroquística bilateral.
2. Calcificaciones de naturaleza benigna de predominio en mama derecha.
3. Adenitis axilar bilateral.
4. Clasificación BI-RADS 2.
5. Se sugiere realizar mastografía cada 12 meses para la detección temprana de cáncer de mama.

En realidad no fue necesario esperar un año para la siguiente mastografía ya que seis meses después la mama estaba tal como muestra la imagen 6.

Aún en estas condiciones de la mama la impresión diagnóstica fue la siguiente:

1. Mama derecha con quistes y probable fibroadenoma.

Un día antes de la realización de la mastografía se realizó una biopsia cuyo diagnóstico fue:

- Biopsia por aspiración con aguja fina de glándula mamaria derecha positiva a un carcinoma ductal.

Acercando la cámara a la primera mastografía se obtuvo la imagen mostrada en la imagen 7. En ella se observan claramente malformaciones de la mama que quizá no fueron observadas al interpretar la mastografía para dar un



Imagen 5. Mastografía de la mama derecha en proyección caudal.

diagnóstico acertado. Sin embargo, la mayor discrepancia se da entre el diagnóstico de la segunda mastografía y el de la biopsia.

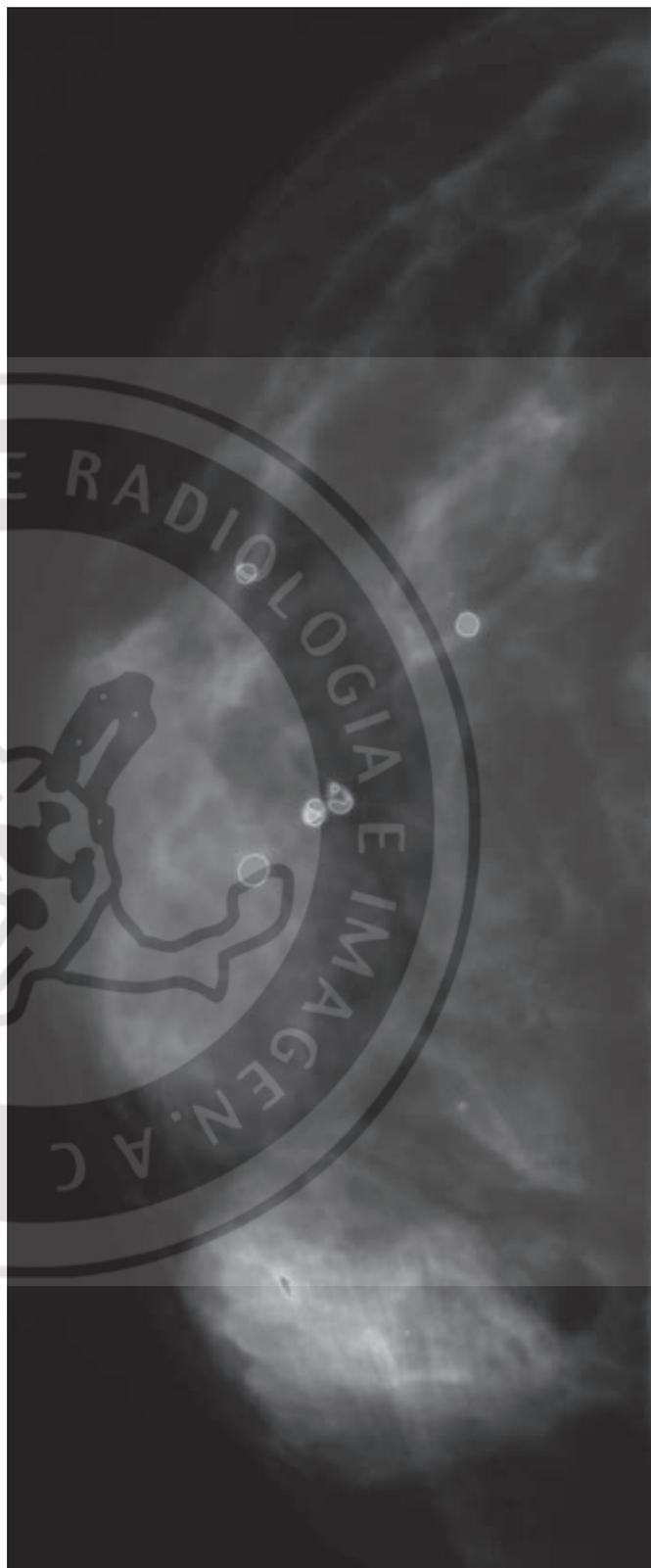


Imagen 6. Mastografía realizada 6 meses después. El tono de gris de los quistes ha sido reducido intencionalmente con el fin de aumentar el contraste del resto de la imagen.

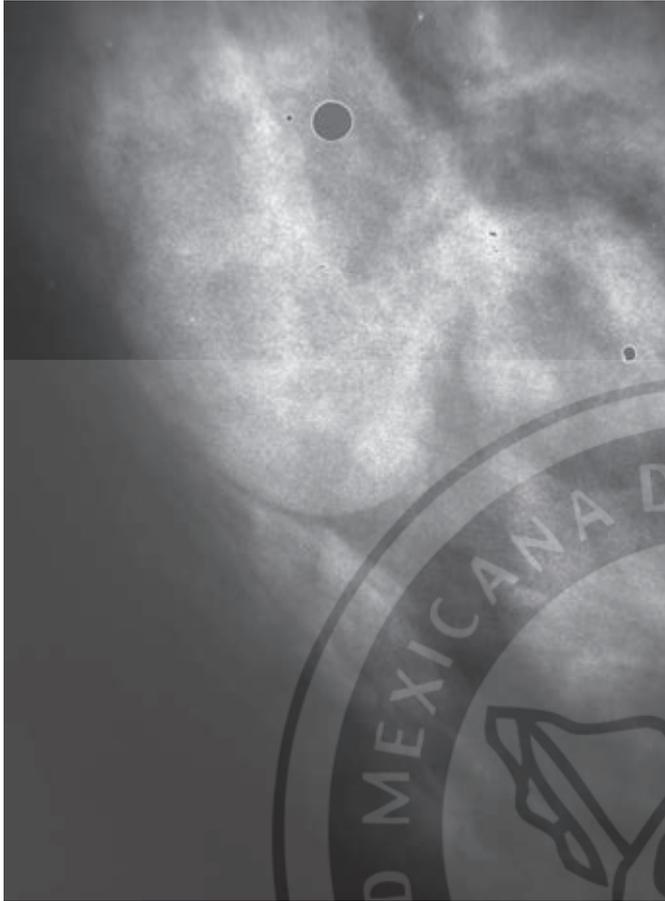


Imagen 7. Malformaciones en la mama (el tono de gris de los quistes fue reducido intencionalmente para aumentar el contraste).

Caso IV. Calcificaciones

Existen en la literatura clasificaciones de calcificaciones⁶ las cuales, creemos, fueron realizadas “observando” las formas en las radiografías planas. Haciendo uso de la excelente resolución de nuestra técnica es posible desplegar la distribución tridimensional de intensidad de la calcificación. Esta cualidad de la técnica es importante para analizar las formas de las calcificaciones ya que en la bibliografía se pueden hallar trabajos donde se menciona que ciertos patrones y formas de calcificaciones pueden sugerir una posible malignidad en el futuro.⁷ Entre las principales características de las calcificaciones que podemos desplegar están sus dimensiones, formas, irregularidad en su densidad, irregularidad en su tamaño, etcétera. Es probable que usando nuestra técnica surjan nuevas formas de caracterización. A continuación se muestran tres ejemplos de calcificación vistas en la parte inferior de la imagen 5 y, por último, se muestra una serie de distribuciones de

intensidad tridimensionales vistas en diferentes direcciones y obtenidas a partir de las calcificaciones mostradas (imagen 8, figuras 1 y 2).

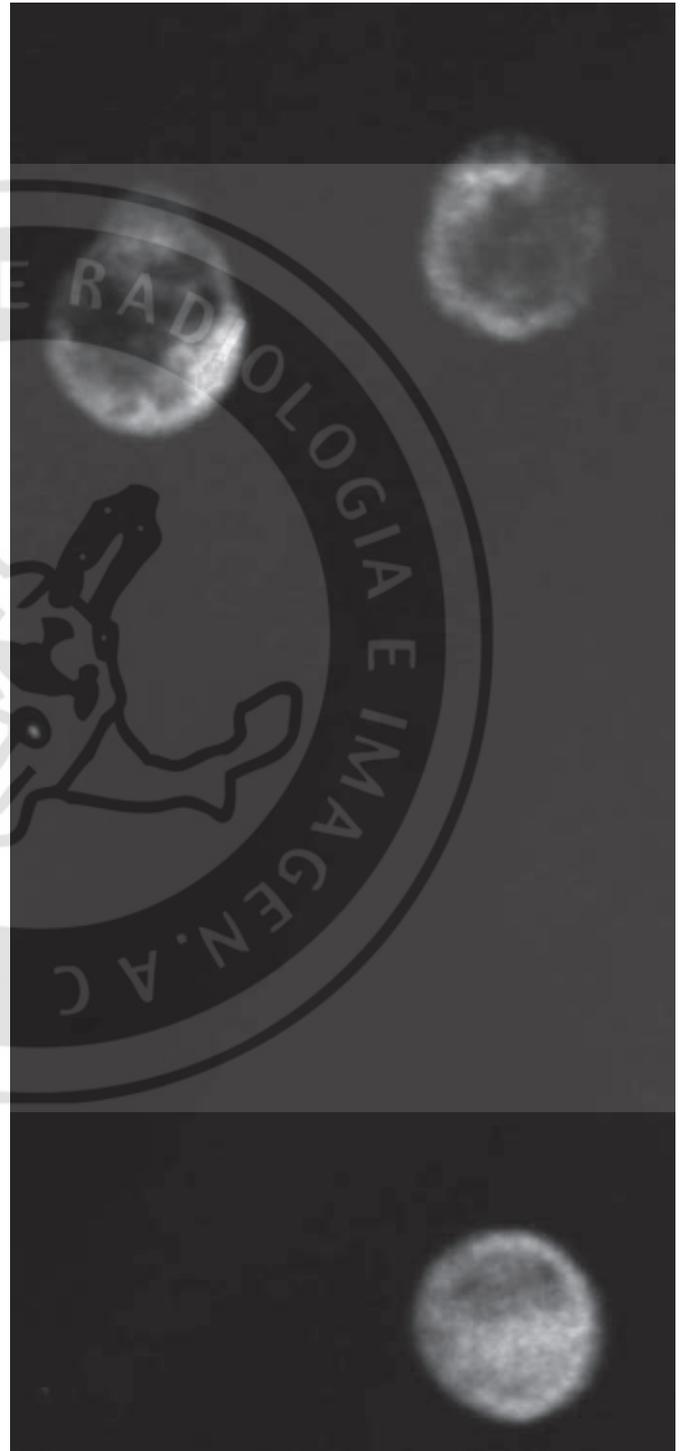


Imagen 8. Calcificaciones originadas de la imagen 5.

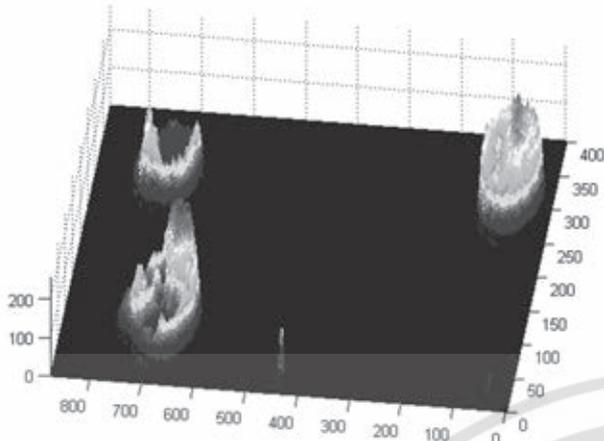


Figura 1. Distribución de intensidad de las calcificaciones mostradas en la imagen 8.

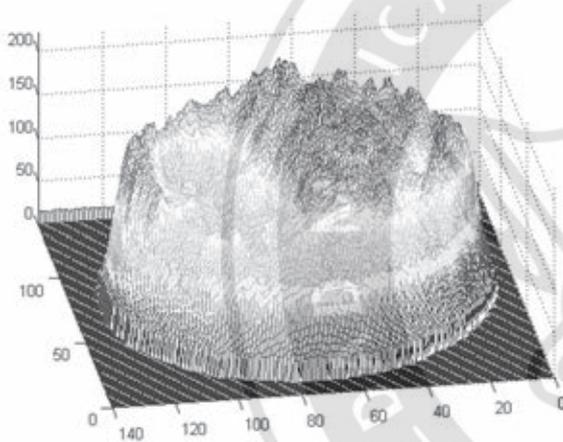


Figura 2. Distribución de intensidad de la calcificación mostrada en la parte inferior de la imagen 8.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La técnica mostrada, además de en casos como los mencionados, puede ser empleada para vigilar si las terapias aplicadas, en particular en el caso del sistema óseo, están funcionando o no. Esto es factible debido a la alta resolución que tiene y que podría emplearse para visualizar, por ejemplo, si un cierto tumor o metástasis disminuye o no con la terapia utilizada. También puede emplearse para seguir el avance de cierta enfermedad en función del tiempo como la artritis reumatoide o la osteoporosis.

Los cuatro casos analizados tienen la finalidad de mostrar la versatilidad del método al emplear por separado o conjuntamente la técnica fotográfica y el PDI en radiografías planas. La combinación de ambas cosas permite aprovechar toda la información contenida en la radiografía en beneficio de la salud del paciente. Una ventaja que tiene el método es que al agregar al programa informático algunas funciones matemáticas se podría llegar al extremo de realizar mediciones, por lo que algunos diagnósticos irían soportados por cantidades numéricas.

No existe diferencia alguna entre acercar la cámara CCD a la radiografía o usar una cámara CCD con lentes para hacer zoom. El problema es más que nada práctico ya que algunas cámaras CCD con zoom no permiten acercarse tanto al objeto como lo hemos hecho nosotros con ayuda de una lente de distancia focal fija, esto debido a que la imagen se distorsiona.

En el caso de las radiografías analógicas los diagnósticos se realizan de manera cualitativa por lo que mucho dependen, entre otras cosas, de la experiencia del intérprete y, como pudimos notar, ésta no siempre es la adecuada. Así que lo más recomendable es contar con métodos que nos asistan para lograr diagnósticos más acertados.

Referencias

1. Russ JC. The image processing handbook, 6th ed. Florida: CRC Press, 2011.
2. Bourne R. Fundamentals of digital imaging in medicine, 1th ed. London: Springer, 2010.
3. Jaramillo A, Pérez M. Búsqueda de metástasis óseas en radiografías. *Anal Radiol Mex* 2012;11(2):122-127.
4. Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. Digital Image Processing Using Matlab, 2th ed, Gatesmark: Tata McGraw-Hill 2010.
5. Gonzalez RC, Woods RE. Digital image processing, 1th ed. Wilmington: Addison-Wesley, 1992.
6. LeGal M, Chavanne G, Pellier D. Diagnostic Value of clustered microcalcifications discovered by mammography, *Bull cancer* 1984;71(1):57-64.
7. De la Fontan B, Daures JP, Salicru B, Eynius F, Mihura J, Rouanet P, et al. Isolated clustered microcalcifications: Diagnostic value of mammography-series of 400 cases with surgical verification. *Radiology* 1994;190(2):479-483.