

# **MODELO DE PROCESAMIENTO BASADO EN TRANSFORMADA WAVELET COMO OPCIÓN COMPETENTE PARA APLICACIONES MÉDICAS**

***José Luis Sánchez Ramírez***

Centro Universitario Valle de Chalco / UAEM

*jluisar@gmail.com*

***Cristina Juárez Landín***

Centro Universitario Valle de Chalco / UAEM

*cjlandin@gmail.com*

***Juan Manuel Sánchez Soto***

Centro Universitario Valle de Chalco / UAEM

*sotojmss@yahoo.com.mx*

***Anabelem Soberanes Martín***

Centro Universitario Valle de Chalco / UAEM

*asoberanesm@uaemex.mx*

***Magally Martínez Reyes***

Centro Universitario Valle de Chalco / UAEM

*mmreyes@hotmail.com*

## **Resumen**

Actualmente, en el área del procesamiento y reconocimiento de patrones con aplicaciones médicas es un área del conocimiento ampliamente investigada, en la cual hay una diversidad de técnicas de procesamiento que utilizan algoritmos matemáticos que buscan resaltar o mejorar zonas específicas de especial interés en las imágenes médicas. También existen propuestas comerciales de equipos médicos que integran el análisis de imágenes, sin embargo, son equipos de importación y en su mayoría de tecnología extranjera, lo que los puede hacer

costosos e inaccesibles para la población. Pero sin lugar a dudas, el apoyo mediante el análisis de una cantidad exhaustiva de estudios de un paciente, posibilita un acertado diagnóstico médico por parte de un especialista, sin que cambie su postura analítica que depende de factores propios del tipo de imagen, de su estado de ánimo y de su experiencia. Por lo tanto, en este trabajo se propone un modelo para procesar imágenes médicas que utiliza transformada Wavelet, que al basarse en la descomposición de imágenes, permite mejorar la identificación de zonas sospechosas y de interés para analizar por el médico especialista. Cabe mencionar que dicha propuesta es competitiva en el ámbito tecnológico ya que provee una herramienta de apoyo al médico especialista para emitir un diagnóstico adecuado. Así también es competitiva en el ámbito económico y aunado a lo anterior, este tipo de estudios por análisis de imágenes médicas son un método totalmente indoloro y no invasivo para el paciente, por lo que se observa como una importante opción para mejorar los diagnósticos.

**Palabras Clave:** Compresión, imágenes médicas, reconocimiento, RNA, transformada Wavelet.

## **Abstract**

*Currently, in the area of processing and pattern recognition with medical applications is an area of knowledge widely investigated, in which there is a variety of processing techniques that use mathematical algorithms that seek to highlight or improve specific areas of special interest in medical imaging. There are also medical equipment business proposals that integrate image analysis, however, are equipment import and mostly foreign technology, which can make them expensive and inaccessible to the population. But without doubt, the support by analyzing an exhaustive amount of studies of a patient enables a successful medical diagnosis by a specialist, without changing its analytical approach that depends on factors specific to the type of image, its mood and experience. Therefore, this paper proposes a model to process medical images using wavelet transform, which based on the decomposition of images, enables improved identification of suspicious areas of interest to be analyzed by the specialist. It is worth mentioning*

*that the proposal is competitive in technology because it provides a support tool specialist doctor to issue a proper diagnosis. This is also competitive in the economic sphere and coupled with the above, this type of study for medical image analysis are completely painless and noninvasive method for the patient, so it is seen as an important option to improve diagnostics.*

**Keywords:** *Compression, medical imaging, recognition, RNA, Wavelet transform.*

## 1. Introducción

En esta investigación el objetivo principal es contribuir con un sistema integral de procesamiento digital con aplicación a imágenes médica, realizando algoritmos de comprensión especializados para esta aplicación, analizando y desarrollando el procesamiento y reconocimiento de patrones característicos de este tipo de imágenes. Por lo que se implementaron nuevos métodos de comprensión especializados para imágenes médicas como son ultrasonido, mamografía y colposcopia, que permiten obtener tasas altas de comprensión en estas modalidades de imágenes, pero sin perder los detalles que son muy importantes para el diagnóstico de diversas enfermedades, en el desarrollo de los métodos de comprensión, primero se propone realizar una evaluación del estándar de comprensión JPEG2000, para comprensión de este tipo de imágenes dado que este está basado en la más reciente tecnología Wavelet que permite obtener mejores resultados al comprimir que el anterior estándar JPG que se basaba en la Transformada Coseno, posteriormente se realizó una optimización de este estándar de comprensión para comprimir este tipo de imágenes, así mismo se desarrolló una etapa de selección, procesamiento y reconocimiento de patrones característicos de enfermedades en las imágenes médicas, mediante Redes Neuronales Artificiales, finalmente se integran estas diferentes etapas en un sistema integral de procesamiento digital, que además debe proporcionar una interfaz amigable para los usuarios del mismo.

Como investigadores mexicanos estamos conscientes del compromiso inherente que tenemos con nuestra sociedad y con nuestro país, dado que actualmente existen grandes compañías extranjeras dedicadas a la construcción y venta de

equipos que realizan las funciones de análisis, captura y despliegue de señales biomédicas (como son electroencefalogramas, electrocardiogramas, electromiogramas, colposcopia, mamografía, resonancia magnética, etc.) pero con la desventaja de que son demasiado costosos y no son accesibles a todas las instituciones del sector salud y hospitales dedicados a este tipo de estudios en México. Debido a esta razón y dentro del campo de estudios en el cual nos encontramos, se presenta una propuesta principalmente enfocada a la investigación e implementación de algoritmos matemáticos para la compresión, reconocimiento y análisis de señales biomédicas implementando un sistema integral de procesamiento digital, con el propósito de poder llevar a cabo el análisis de las señales biológicas. De modo que se pueda optimizar el espacio de almacenamiento requerido, se permita incrementar el número de canales y optimizar el ancho de banda necesario para la transmisión de los datos.

Esta investigación es fundamental para considerar la fabricación de equipos médicos para el registro de señales biológicas. El campo de aplicación de las imágenes médicas es una parte fundamental en el correcto diagnóstico y tratamiento de las enfermedades. Cuando el médico no cuenta con estas importantes herramientas no puede proporcionar un diagnóstico adecuado a tiempo y muchas veces después de varios intentos con diagnósticos erróneos cuando finalmente descubren la enfermedad o el padecimiento ya es demasiado tarde para atacar con éxito dicho padecimiento. Con esta investigación se pretende brindar los siguientes beneficios:

- Contribuir en el desarrollo y mejora de métodos que permitan comprimir de forma eficiente diversos tipos de imágenes médicas.
- Que los sistemas de registro y almacenamiento de imágenes médicas puedan incrementar su capacidad de almacenamiento, sin perder calidad y sobretodo conservando los detalles importantes para el diagnóstico.
- En caso de desear transmitir o compartir las imágenes, se podrá también optimizar el ancho de banda necesario, ya que en hospitales grandes donde se maneja un volumen muy grande de pacientes, se generan

muchos datos de todo tipo de imágenes médicas y por tanto, es mucha la información que debe transmitirse.

- Proporcionar una herramienta eficiente de análisis de imágenes médicas mediante Redes Neuronales que permita detectar y reconocer anomalías en estas modalidades de imágenes.
- El desarrollo de una interfaz amigable con el médico especialista para utilización del sistema.

## **2. Método**

Dado que con este trabajo se pretende sentar las bases para la construcción de un sistema que le permita a los médicos especialistas contar con un apoyo en la emisión del diagnóstico de diferentes enfermedades, como por ejemplo detección de patrones malignos de cáncer en imágenes de Mamografía (MG), donde el sistema permitiría al especialista realizar su diagnóstico de una forma más eficaz al permitirle enfocarse únicamente en los registros sospechosos, logrando de esta forma minimizar el error humano inherente a diversos factores como (fatiga, estrés, problemas personales, etc.). El sistema propuesto consta de un método de compresión y uno de reconocimiento de patrones ambos basan en la utilización de Transformada Wavelet Discreta (TDW), combinados con otras técnicas como cuantización, codificación y Redes Neuronales Artificiales, una importante característica de la TDW es que se puede implementar mediante Bancos de Filtros Simétricos (Jan 2006) situación que la hace muy popular y conveniente para ser utilizada. La figura 1 presenta el esquema de descomposición de dos niveles con TWD, donde  $H_x$  y  $G_x$  denotan filtros pasa bajas y pasa altas aplicados por filas a una imagen con una dimensión de  $N \times M$  pixeles, análogamente  $H_y$  y  $G_y$  denotan los filtros pasa bajas y pasa altas aplicados por columnas a una imagen de  $N \times M/2$  pixeles, produciéndose de esta forma 4 sub imágenes con una dimensión de  $N/2 \times M/2$  pixeles. Al repetir este proceso aplicando estos filtros nuevamente a la imagen de frecuencias bajas-bajas obtendremos finalmente el segundo nivel de descomposición con cuatro imágenes con una dimensión de  $N/4 \times M/4$  pixeles. Así mismo se aplicó otra técnica de descomposición conocida como Wavelet Paquets

(Paquetes Wavelet) en donde se realiza la descomposición de todas las bandas de frecuencia.

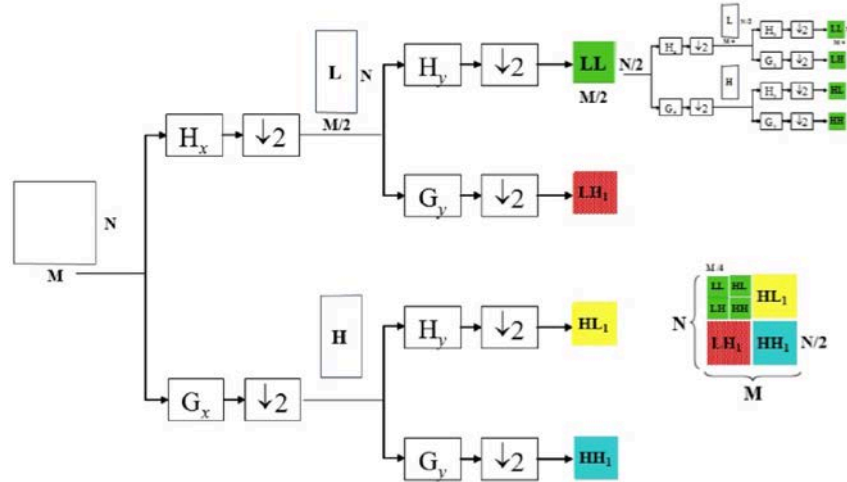


Figura 1 Esquema de descomposición de dos niveles con filtros Wavelet.

En la figura 2 se puede apreciar el esquema de descomposición con Wavelet Paquets en dos niveles. De igual forma en la figura 3 se muestra visualmente la diferencia de aplicar cinco niveles de descomposición utilizando Transformada Wavelet (TW) clásica y Wavelets Paquets (WP), la diferencia radica en que con WP se genera una descomposición integral simétrica de cada sub-banda. En las pruebas realizadas previamente se encontró que los mejores resultados para imágenes de ultrasonido (US) se obtuvieron con la Wavelet Symlet y para imágenes de mamografía (MG) con la Wavelet Daubechies (Sánchez, 2012).

Basados en este hecho, se realizó una evaluación para comparar el desempeño de tres familias Wavelet basadas en Funciones Atómicas (FAs) con estas Wavelets clásicas que presentaron mejor desempeño. Se utilizaron las Wavelets de Kravchenko-Rvachev (Kravchenko, 2007) basadas en las funciones atómicas  $up(t)$ ,  $fup2(t)$  y  $eup(t)$ . Estas nuevas Wavelets pueden presentar un mejor desempeño en la compresión y reconocimiento de este tipo de imágenes debido a su especial naturaleza y al estar basadas en funciones atómicas que han sido recurrentemente utilizadas en diferentes campos como el filtrado por ventanas o en compresión de pulso de radar. En la figura 4 se muestra la Familia de Wavelet

Symlets que son las que presentaron mejor desempeño para imágenes de US. La figura 5 muestra la Familia de Wavelet Daubechies que tuvo un mejor desempeño para imágenes de MG.

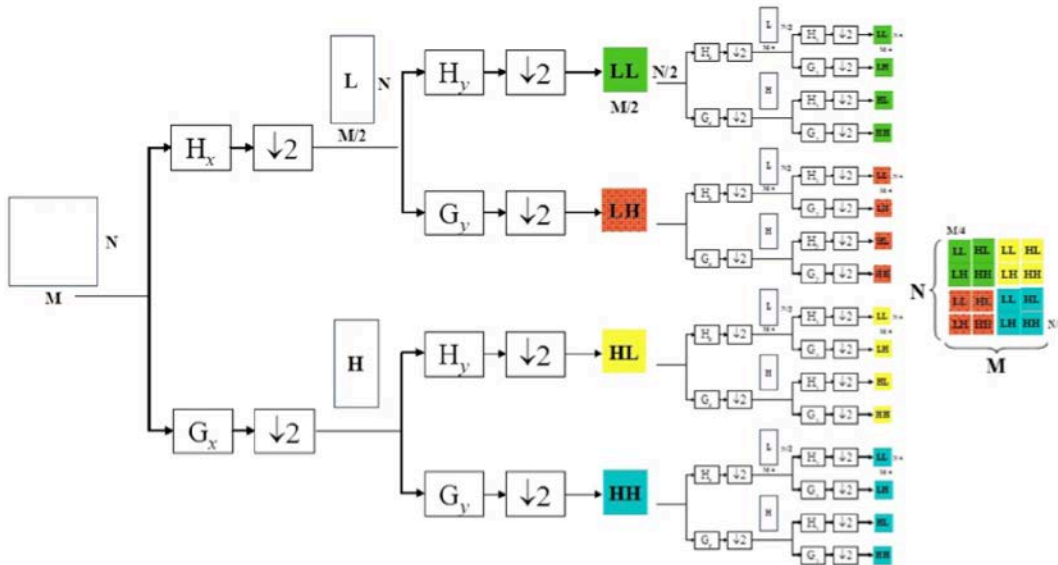


Figura 2 Esquema de descomposición dos niveles con Wavelet Paquetes usando BFS.

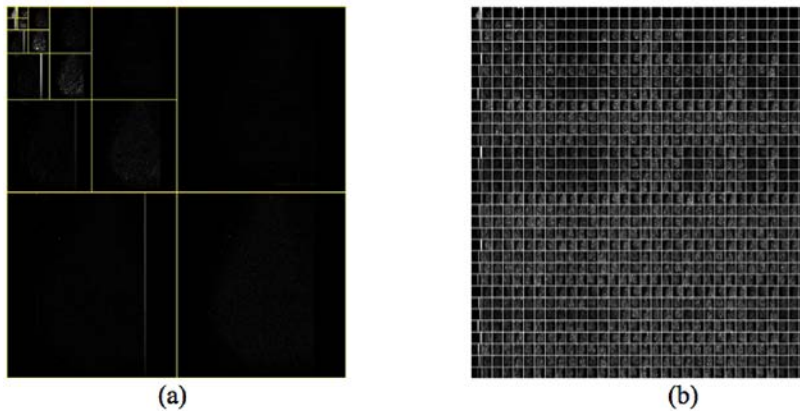


Figura 3 Descomposición de una imagen en cinco niveles usando; (a) Transformada Wavelet clásica y (b) Wavelets Paquetes.

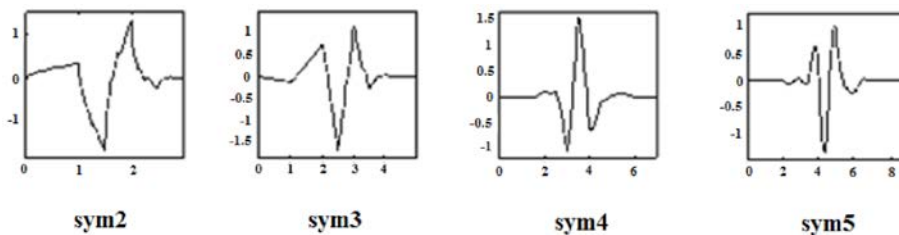


Figura 4 Familia de Funciones Wavelet Symlets usadas para imágenes de Ultrason.

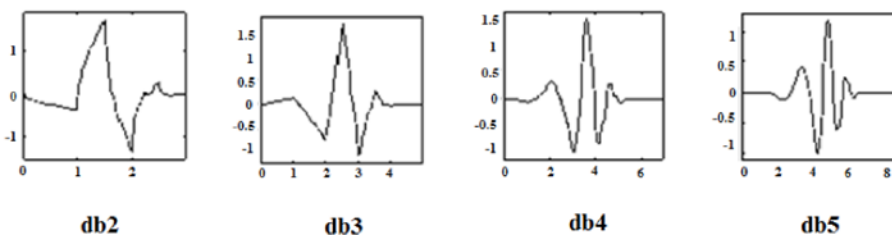


Figura 5 Familia de Funciones Wavelet Daubechies usadas para imágenes de Mamog.

Así mismo, la figura 6 muestra las Wavelets complejas de Kravchenko-Rvachev basadas en las Funciones Atómicas (FA)  $up(t)$  (lado izquierdo),  $fup2(t)$  (al centro) y  $eup(t)$  (lado derecho) de orden 1 a 5. Posterior al proceso de descomposición se debe determinar y aplicar un umbral que nos permita eliminar información innecesaria para el diagnóstico y preservar la información importante. En la literatura son conocidas diferentes técnicas de selección de umbral (Chang et al. 2000), para esta investigación se eligió usar el umbral universal debido a que este se basa en la desviación estándar de los coeficientes Wavelet lo que permite mantener la información importante. Por otro lado para aplicar el umbral se empleó la técnica conocida como umbral duro (Sánchez et al. 2012) debido a que en trabajos previos se determinó que es el que mejor desempeño presenta al trabajar con esta modalidad de imágenes. Para evaluar el desempeño del sistema de compresión se emplearon dos criterios. El primero es el Error Absoluto Medio (MAE) que permite obtener una medida numérica de la distorsión de los detalles finos de la imagen (Ponomaryov *et al.* 2006) al mismo tiempo que evalúa la diferencia promedio entre la imagen original y comprimida. El segundo criterio es conocido como Razón de Compresión (CR) que nos permite conocer que tanto se logró comprimir una imagen.

### 3. Resultados

Se realizaron numerosos experimentos para comparar el desempeño del algoritmo de compresión utilizando las tres reglas de determinación del umbral, en los resultados solo se muestran los resultados obtenidos con el umbral Universal y de Reducción de Bayes, que fueron los que presentan mejores resultados. De igual forma únicamente se muestran los resultados obtenidos con la familia de



filtros Wavelet que presentaron un mejor desempeño con cada modalidad de imagen Symlets para US y Daubechies para MG.

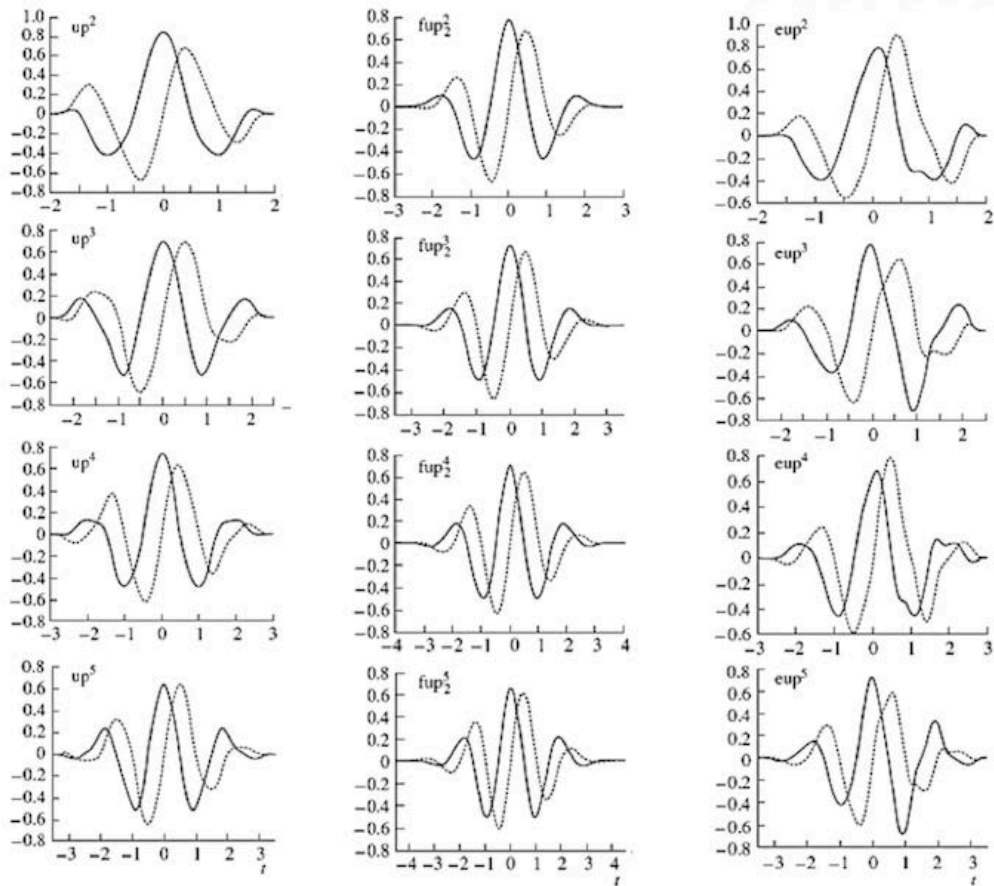


Figura 6 Familias de Funciones Wavelet basadas en Funciones Atómicas  $up(t)$  (izquierda),  $fup_2(t)$  (al centro) y  $eup(t)$  (derecha).

La figura 7 muestra los resultados obtenidos para el criterio MAE, usando 5 niveles de descomposición con la familia Symlets para imágenes de US, el lado izquierdo empleando umbral Universal y el lado derecho con umbral de reducción de Bayes. La figura 8 muestra los resultados pero para el criterio CR, empleando los mismos parámetros, Así mismo las figuras 9 y 10 muestran los resultados obtenidos para el criterio MAE y CR respectivamente, pero empleando la familia Wavelet Daubechies para imágenes de MG, el lado izquierdo muestra el resultado para umbral Universal y el lado derecho para reducción de Bayes. Finalmente en la figuras 11 y 12 se muestran los resultados visuales obtenidos para las dos modalidades de imagen para US y para MG respectivamente, del lado izquierdo

se aprecia la imagen comprimida y del lado derecho la imagen de error (original - comprimida), amplificada 40 veces, ya que de otro modo no sería perceptible.

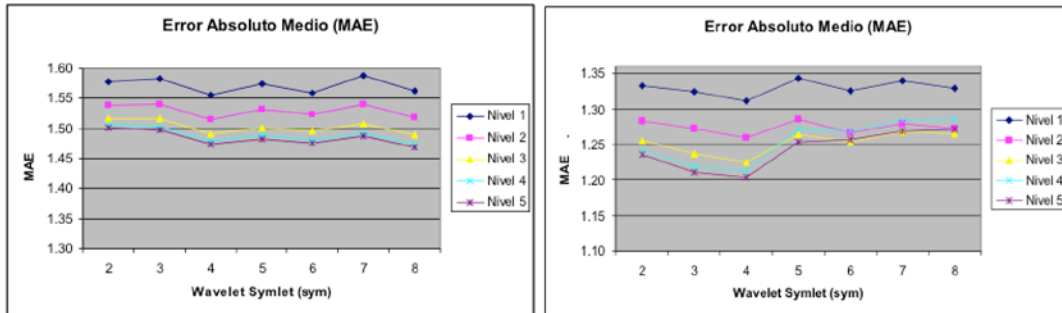


Figura 7 Resultados obtenidos para US con el criterio MAE con la familia Symlets.

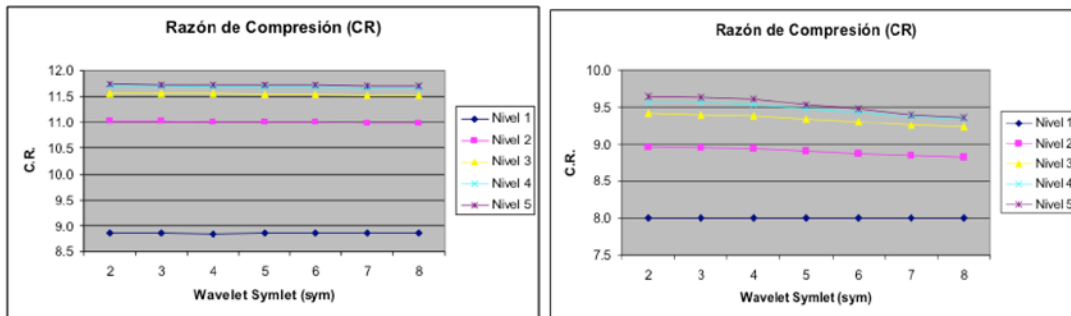


Figura 8 Resultados obtenidos para US con el criterio CR con la familia Symlets.

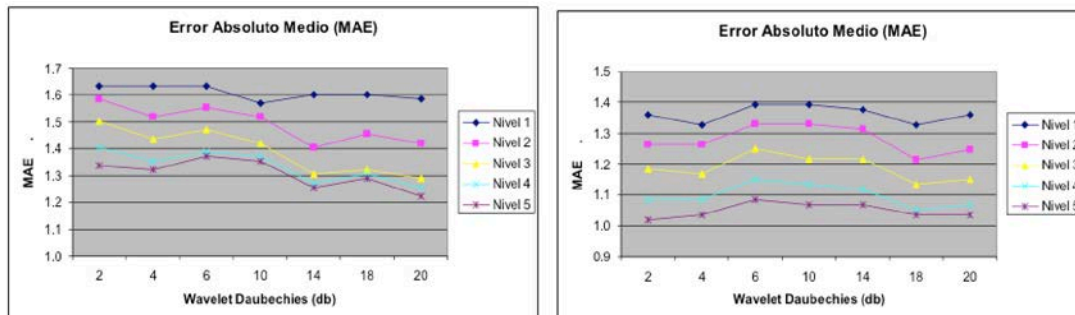


Figura 9 Resultados obtenidos para MG con el criterio MAE con la familia Daubechies.

En esta investigación se desarrolló e implementación también una Red Neuronal Artificial (RNA) de tres capas, que tiene una arquitectura como la que se mostró en la figura 5. La RNA es del tipo Backpropagation, por que el error se propaga de la salida hacia la entrada, lo que la hace una red ideal para este tipo de aplicaciones

y presentando resultados satisfactorios para lo que se requiere (Ramírez & Chacón 2011).

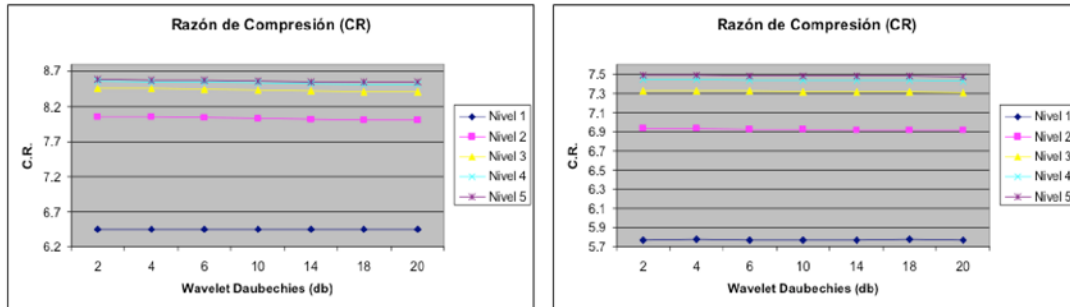


Figura 10 Resultados obtenidos para MG con el criterio CR con la familia Daubechies.

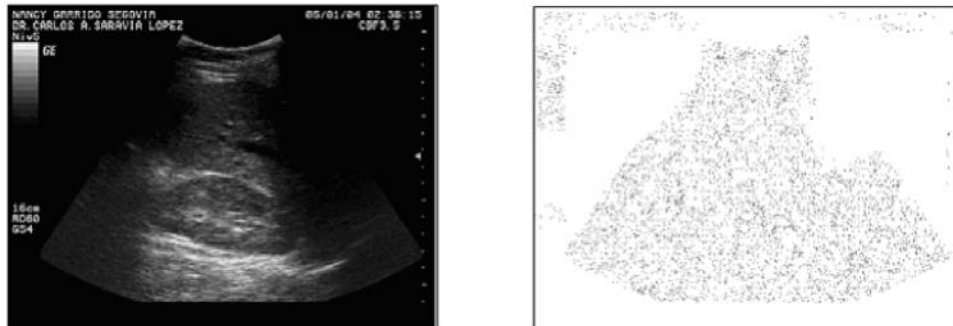


Figura 11 Resultados visuales obtenidos para la modalidad de imagen de Ultrasonido.

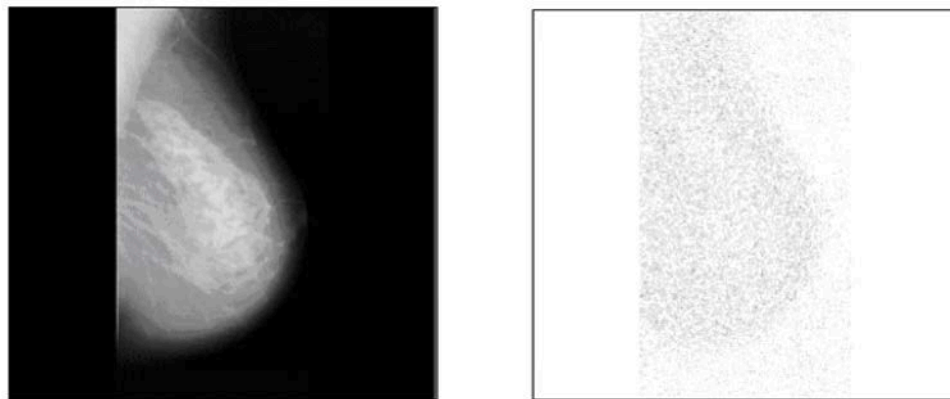


Figura 12 Resultados visuales obtenidos para la modalidad de imagen de Mamografía.

Como se muestra en el esquema general del sistema de la figura 13, la RNA es entrenada con el conjunto de patrones característicos, obtenidos a partir de las imágenes de CC descompuestas con los filtros Wavelet, Segmentadas y

Binarizadas. El número de neuronas de entrada de la RNA está determinada por el tamaño de los patrones que va a procesar que son imágenes de 12x12 pixeles, por lo que la entrada tiene 144 neuronas, el número de neuronas de la capa de salida está determinado por las posibles salidas que tenemos, en este caso sólo se presentan dos posibilidades de salida que son imagen de tejido sano e imagen con tejido presuntamente canceroso (Miguel, 2013). Finalmente el número de neuronas en la capa oculta somos libres de variarlos de acuerdo a la arquitectura que presente un mejor porcentaje de reconocimiento, para este parámetro se hicieron pruebas variando el número de neuronas en la capa oculta desde 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140 y 150 neuronas. Aquí presentamos los resultados obtenidos con modelo integral desarrollado. Considerando los porcentajes de reconocimiento correcto obtenido, variando el número de nodos en la Capa Oculta, utilizando la Familia de Wavelets Clásica de Daubechies, por ser la que presentó mejores resultados en trabajos previos realizados contra las tres familias basadas en las FA  $up(t)$ ,  $fup2(t)$  y  $eup(t)$ .

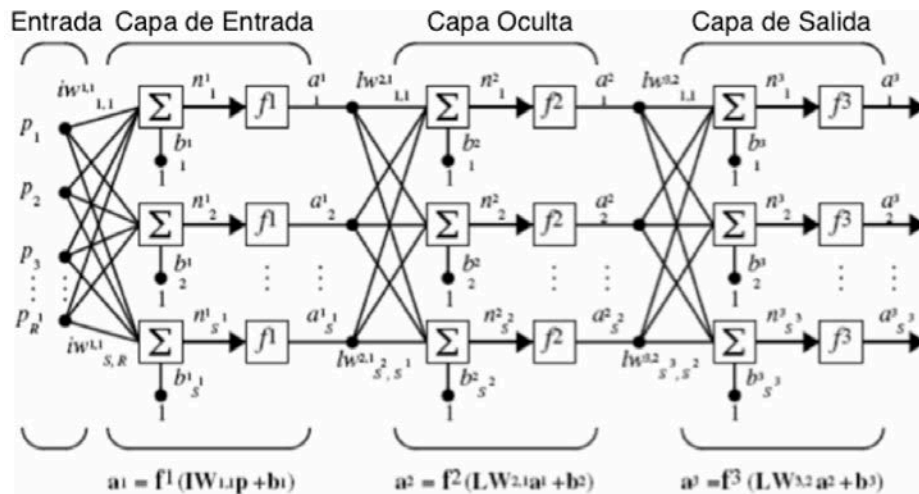


Figura 13 Arquitectura de la Red Neuronal Artificial utilizada para el reconocimiento.

Para todos los casos se presentan los resultados empleando tres niveles de descomposición, ya que son los que presentaron mejor desempeño, además se tomó un factor de convergencia de 0.1 y un nivel de error de 0.05. En la figura 14 se muestran los resultados obtenidos para la familia clásica de Daubechies y para

la familia basada en la FA up(t). En la figura 15 se muestran los resultados obtenidos para la familia basada en la FA fup2(t) y eup(t), realizando tres niveles de descomposición en todos los casos, así mismo se consideraron 250 patrones para el entrenamiento y 150 patrones para fase de prueba, que es de la cual se muestran los resultados.



Figura 14 Porcentajes de reconocimiento: (a) Familia Wavelet Daubechies, (b) Familia Wavelet de FA up(t).

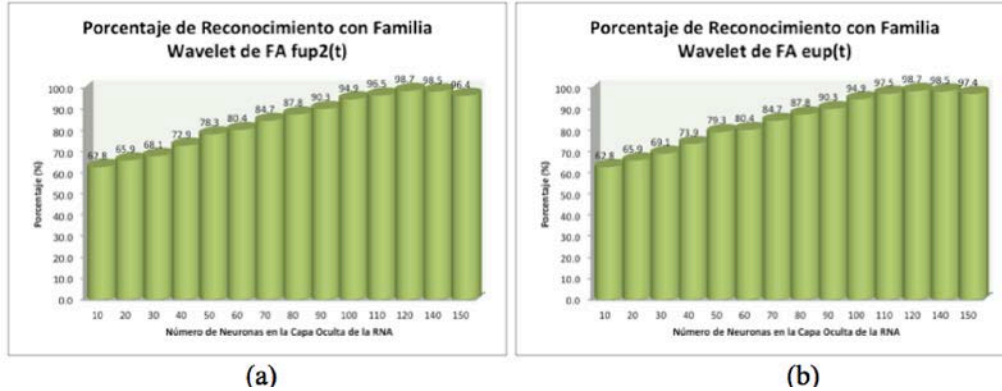


Figura 15 Porcentajes de reconocimiento: (a) Familia Wavelet de FA fup2(t), (b) Familia Wavelet FA eup(t).

#### 4. Discusión

Los resultados muestran que el sistema de compresión propuesto tuvo un buen desempeño tanto para imágenes de Ultrasonido, como para imágenes de Mamografía. De igual forma al analizar los resultados concluimos que se obtienen mejores resultados empleando las reglas para determinación de umbral basadas en estadística, en cuanto al criterio MAE sin disminuir mucho la razón de

compresión. El umbral promedio no presentó muy buenos resultados debido a que no considera los valores estadísticos de la señal. Presenta mejor desempeño el umbral universal cuando se trata de tener CR más alta, con un aceptable MAE. Pero se puede utilizar el umbral de reducción de Bayes si se necesita conservar mayor calidad de la imagen conservando una tasa de compresión relativamente alta. Los resultados muestran que para las imágenes de Ultrasonido, al igual que con las imágenes de Mamografía, se obtienen mejores resultados empleando las familias de Wavelets basadas en Funciones Atómicas que con las Wavelets Clásicas que habían presentado un mejor desempeño en nuestras investigaciones anteriores. En cuanto a compresión las tres familias de Wavelets basadas en funciones atómicas, para estas modalidades de imagen dio un mejor resultado la basada en la FA  $eup(t)$ , en cuanto al criterio MAE conservando una alta CR. Esto implica que permite resaltar la información más importante de la imagen, manteniendo la tasa de compresión prácticamente en los mismos niveles. Encontramos que para imágenes de Mamografía se pudo determinar qué familia de funciones Wavelets Daubechies es la que permite obtener los más altos porcentajes de reconocimiento. Se pudieron determinar otros importantes parámetros de la red neuronal como son el número de nodos en la capa oculta y el factor de convergencia, que permitieron tener un mejor porcentaje de reconocimiento y mejor acercamiento al nivel de error deseado.

Con la utilización en el sistema de reconocimiento de las familias de Wavelets basadas en funciones atómicas, se pudieron mejorar sustancialmente los porcentajes de reconocimiento, sin necesidad de aumentar la complejidad del sistema ya que los filtros implementados de WFA son del mismo número de coeficientes que los utilizados con las familias clásicas. Los resultados muestran la efectividad de las Wavelets basadas en funciones atómicas, para la detección de patrones anormales. En la etapa de reconocimiento se pudo apreciar que la Familia Daubechies de Filtros presenta un buen desempeño brindando un reconocimiento de 97.7% utilizando 120 neuronas en la capa oculta, pero todos los filtros basados en FA, permitieron incrementar el porcentaje de reconocimiento con la familia de FA  $up(t)$  se incrementó el porcentaje de reconocimiento a 98.5%,

con las familias de FA fup2(t) y eup(t) se obtuvo un porcentaje de reconocimiento de 98.7%, todos considerando 120 neuronas en la capa oculta.

En la investigación se realizaron pruebas hasta con cinco niveles diferentes de descomposición, pero en el trabajo solo se reportan los resultados obtenidos con tres niveles, porque con cuatro y cinco no se obtenían mejoras en los porcentajes de reconocimiento obtenido. A pesar de que ambas familias de FA (fup2(t) y eup(t)) presentan el más alto porcentaje de reconocimiento, podemos concluir que la que brinda un mejor desempeño al sistema es la familia basada en la FA eup(t) porque es ligeramente mejor su porcentaje de reconocimiento con 20, 30, 40, 50, 60, 90 y 100 neuronas en la capa oculta. En todos los demás casos tiene el mismo resultado que la familia de FA fup2(t).

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Antonini, M., et al. (1993). "Image coding using wavelet transform". En IEEE trans. Image process. Vol. 2, No. 5, p.p. 205-220.
- [2] Expósito G. M., Ávila Á. R., (2008). "Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Medicina: perspectivas y problemas". En revista ACIMED Vol.17, No.5, Ciudad de La Habana.
- [3] Jähne, B., (2004). Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications. 2a ed., CRC Press.
- [4] Jan, J., (2006). Medical Image Processing, Reconstruction and Restoration: Concepts and Methods. Taylor & Francis, CRC Press.
- [5] Miguel J., (2013, febrero). Inteligencia Artificial en medicina, un futuro esperanzador. Portal Web Hipertextual: <https://goo.gl/8Rn8pG>.
- [6] Ponomaryov, V., et al. (2006). "Evaluation of the JPEG2000 Standard for Compression of Ultrasound and Mammography Images" 18th Biennial International Eurasip Conference Biosignal, Proceedings: 287-289.
- [7] Ramírez Q. J., Chacón M. I., (2011, julio). "Redes neuronales artificiales para el procesamiento de imágenes, una revisión de la última década" RIEE&C, Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación, Vol. 9 No. 1.

- [8] Sánchez, J. L., et al. (2012). "Compresión de Imágenes Médicas Mediante Filtros Wavelety Diferentes Tipos de Umbral". En el 13er Seminario de Investigación en la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- [9] Semmlow, J. L., (2004). *Signal processing and Communications Series: Biosignal and Biomedical Image Processing: MATLAB-Based Applications*. Marcel Dekker.