

Dra. María Aydeé Sánchez Santana\*  
Dr. Jaime Carranza Madrigal\*\*

## Desarrollo de un programa de cómputo para medir automáticamente el espesor de la íntima media carotídea y la luz de la arteria humeral mediante ultrasonografía así como el cálculo del riesgo cardiovascular

### RESUMEN

**Antecedentes.** Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en el mundo. En países desarrollados existen adelantos tecnológicos que permiten la determinación de enfermedades mediante estudios de ultrasonido diseñados por grupos de investigación de diferentes universidades francesas e inglesas. Lamentablemente, las instituciones hospitalarias gubernamentales de México no tienen acceso a ellos debido a su excesivo costo.

**Objetivo.** Ofrecer a la comunidad médica una herramienta de cómputo que proporcione diagnósticos automatizados para identificar y cuantificar

riesgo y lesiones cardiovasculares.

**Método.** Se implementaron métodos informáticos con la intención de obtener resultados, en tiempo breve y de manera exacta, del cálculo del riesgo cardiovascular y la detección de aterosclerosis, placas de aterosclerosis y disfunción endotelial. Todo ello mediante algoritmos de procesamiento digital de imágenes con base en reglas de predicción que usan las definiciones de estadística para sistemas de generación y adquisición de patrones. Se complementan, así, los métodos de detección con imágenes arteriales y la extracción de patrones para determinar diámetros y espesores de capas vasculares, que

indican la presencia y gravedad de padecimientos vasculares, con la precisión requerida para favorecer el seguimiento clínico de los pacientes.

**Conclusiones.** El sistema de cómputo desarrollado para este proyecto es capaz de diagnosticar aterosclerosis, disfunción endotelial y placas ateromatosas proporcionando medidas precisas sobre áreas que comprenden únicamente las zonas de análisis sin desfasamiento u omisión.

**Palabras clave:** aterosclerosis, disfunción endotelial, riesgo cardiovascular, programa de cómputo, ultrasonido vascular.

*Continúa en la pág. 21*

\*Departamento de Sistemas y Computación del Instituto Tecnológico de Morelia "José María Morelos y Pavón", Morelia, Michoacán\*

\*\*Escuela de Enfermería y Salud Pública, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán\*\*

Av. Ventura Puente 455-B, Col. Chapultepec Norte 58260, Morelia, Michoacán.

Correspondencia: Dr. Jaime Carranza Madrigal: jcmavocat@yahoo.com.mx

### Introducción

En México no se cuenta con un programa de cómputo capaz de elaborar, simultáneamente, el cálculo del ries-

go cardiovascular y la medición de la íntima media de la arteria carótida y la luz de la arteria humeral para medir la función endotelial. Esto se debe a que los programas de cómputo comerciales y los diseñados por algunas universidades británicas y francesas<sup>1</sup> son de alto costo. Esto es importante ya que en las mediciones ultrasonográficas manuales los errores humanos y las medidas inexactas pueden ocasionar fallas en los diagnósticos.

Viene de la pág. 20

## ABSTRACT

**Background.** Cardiovascular diseases are the leading cause of death in the world. In developed countries there are technological advances that help detect diseases using ultrasound studies designed by research groups at different French and British universities. Regrettably, government hospitals in Mexico do not have access to them on account of their high cost.

**Purpose.** Offer the medical community a software tool that provides automated diagnoses

to identify and quantify cardiovascular risk and lesions.

**Method.** Computerized methods were implemented with the intention of obtaining results, quickly and accurately, in calculating cardiovascular risk and detecting atherosclerosis, atheromatous plaques, and endothelial dysfunction, all by means of digital image processing algorithms based on rules of prediction that use statistical definitions for pattern generation and acquisition systems, thereby complementing detection methods using arterial images and pattern extraction to determine diameters and thicknesses of

vascular layers, which indicate the presence and severity of vascular disorders, with the precision needed to favor clinical monitoring of patients.

**Conclusions.** The software system developed for this project is capable of diagnosing atherosclerosis, endothelial dysfunction, and atheromatous plaques, providing accurate measurements on areas which comprise only the zones of analysis without phase shift or omission.

**Key words:** atherosclerosis, endothelial dysfunction, cardiovascular risk, software, vascular ultrasound.

Se desarrolló un programa de cómputo con la finalidad de proporcionar a las instituciones de salud públicas, privadas y a los médicos en general, un elemento diagnóstico con la capacidad de identificar y cuantificar la probabilidad futura de complicaciones cardiovasculares mediante el cálculo del riesgo cardiovascular y mediciones precisas sobre áreas específicas de ultrasonidos vasculares en dos de las principales arterias (arteria carótida y arteria humeral), tanto de cambios estructurales como funcionales, además de proporcionar resultados en tiempo mínimo, eliminando el error humano y el ruido (*speckle*)<sup>2</sup> generado por la máquina de ultrasonido.

## Material y métodos

Mediante herramientas de distribución libre, como el lenguaje de programación Java y el sistema de gestión de bases de datos MySQL, se realizó una programación orientada a objetos y cálculos matemáticos para el procesamiento de los datos obtenidos, de imágenes ultrasonográficas de las arterias carótida y humeral de tipo DICOM<sup>3</sup> y JPEG, por dos médicos radiólogos certificados que obtuvieron las imágenes de acuerdo con las guías del Colegio Americano de Cardiología.<sup>4</sup>

Se implementaron algoritmos de clasificación y asociación para el análisis de imágenes arteriales. El programa se diseñó para delimitar de manera automática la posición de las arterias en las imágenes de ultrasonido y así acotar la zona de análisis. Posteriormente el sistema extrae una imagen nueva que comprende únicamente la zona arterial, ubica la

íntima media de la carótida y proporciona el promedio de mediciones secuenciales en toda el área de íntima media detectada para hacer una medida más precisa.<sup>5,6</sup>

En las arterias humerales el programa detecta automáticamente la posición de las arterias, delimita las paredes rugosas, elimina el ruido (*speckle*) y mide la luz arterial mediante la obtención del área total para establecer una medida precisa.

Se compararon las mediciones ultrasonográficas hechas manualmente por los radiólogos con las realizadas por el programa que se propone. Se consideró aterosclerosis carotídea un valor de íntima media igual o mayor de 0.08 cm; disfunción endotelial a la vasodilatación de la arteria humeral, tras el estímulo endotelial de isquemia durante 5 min e hiperflujo, menor de 10% con respecto a la medición basal de la luz de la arteria braquial. Se consideró el valor obtenido por el método automatizado como el estándar de referencia para poder calcular falsos positivos y negativos reales en las mediciones de aterosclerosis carotídea y de disfunción endotelial de los radiólogos. Con los datos de 354 pacientes se construyeron curvas ROC<sup>7</sup> (*Receiver Operating Characteristic*) para determinar la exactitud de las mediciones manuales.

Para hacer el cálculo del riesgo cardiovascular se utilizaron las tablas propuestas por las sociedades europeas de hipertensión y cardiología.<sup>8</sup> Este cálculo de riesgo se hace relacionando la tensión arterial de los pacientes con los factores de riesgo cardiovascular y de enfermedad cardiovascular o renal establecidos (cuadro I).

**Cuadro 1.** Cálculo del riesgo cardiovascular

Otros factores de riesgo, lesión orgánica o enfermedad CV manifiesta	Normal PAS 120–129 y PAD 80–84 mm Hg	Normal Alta PAS 130–139 y PAD 85–89 mm Hg	HTA grado I PAS 140–159 o PAD 90–99 mm Hg	HTA grado II PAS 160–179 o PAD 100–109 mm Hg	HTA grado III PAS 180 mm Hg o mayor; PAD 110 mm Hg o mayor
Sin FRCV adicionales	Riesgo de referencia	Riesgo de referencia	Riesgo bajo añadido	Riesgo moderado añadido	Riesgo alto añadido
1–2 FRCV adicionales	Riesgo bajo añadido	Riesgo bajo añadido	Riesgo moderado añadido	Riesgo moderado añadido	Riesgo muy alto añadido
3 o más FRCV, SM, LOD o diabetes	Riesgo moderado añadido	Riesgo alto añadido	Riesgo alto añadido	Riesgo alto añadido	Riesgo muy alto añadido
Enfermedad CV o renal establecida	Riesgo muy alto añadido	Riesgo muy alto añadido	Riesgo muy alto añadido	Riesgo muy alto añadido	Riesgo muy alto añadido

PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; HTA: hipertensión arterial; FRCV: factores de riesgo cardiovascular; SM: síndrome metabólico; LOD: lesión a órgano diana; CV: cardiovascular.

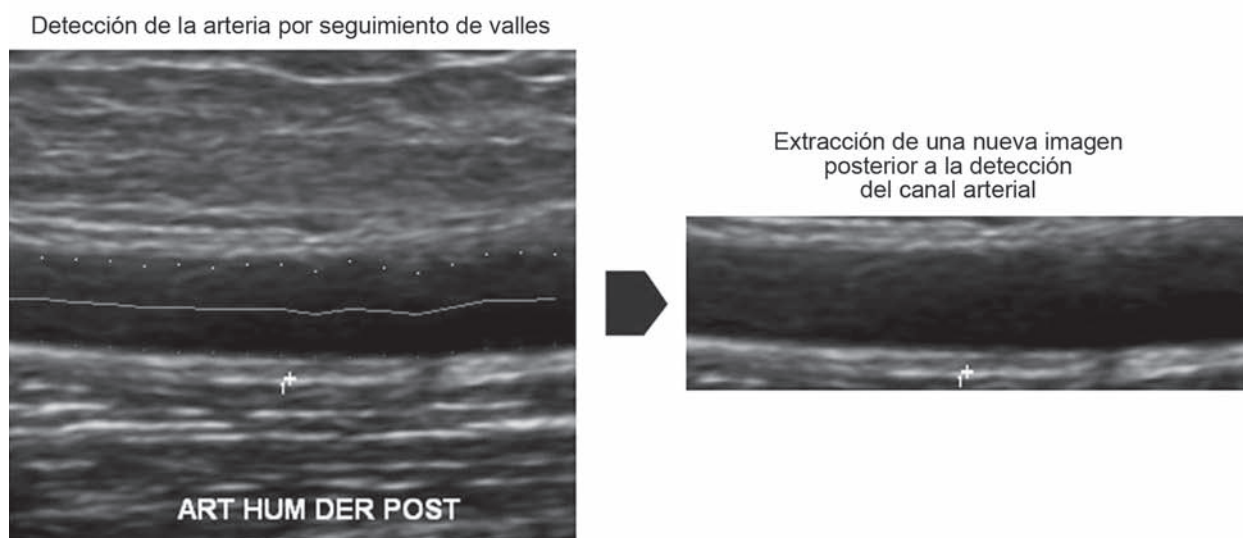
Bajo, moderado, alto y muy alto hacen referencia a la probabilidad <15%, 15-20%, 20-30% y >30% de padecer un evento cardiovascular a 10 años.

## Resultados

La figura 1 muestra como el programa establece de manera automática la posición de las carótidas. Posteriormente estas imágenes son extraídas para delimitar de manera precisa la zona arterial a medir (figura 2). En la figura 3 se muestra como el programa ubica la íntima media de la carótida y proporciona el promedio de mediciones secuenciales en toda el área de la íntima media detectada para hacer una medida más precisa.

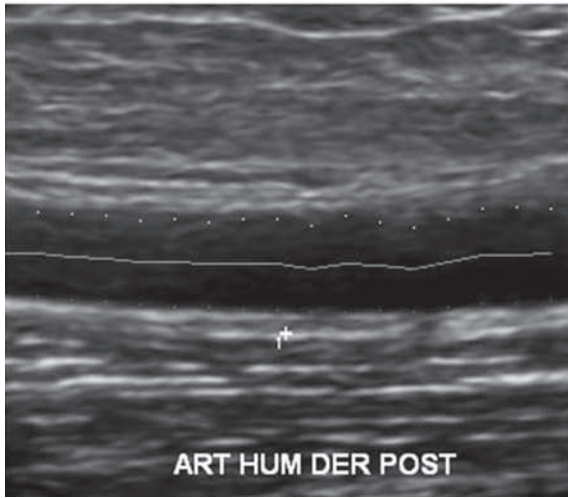
La detección automática que hace el programa de las arterias humerales se muestra en la figura 4. Posteriormente identifica las paredes rugosas y las delimita; elimina el ruido (*speckle*) y hace la medición de toda el área de la luz arterial identificada (figura 5).

Las placas de ateroma son interpretadas por el programa como un conjunto de pixeles de ecogenicidad alta en el interior del canal arterial cuando se trata de una placa mixta o cálcica; la placa también puede ser interna a la capa muscular e interpretarse como un conjunto de pixeles de ecogenicidad baja, esto ocurre cuando es una placa blanda o ulcerada. Desafortunadamente, las características ecogénicas que se presentan pueden llegar a ser las mismas que las de la capa muscular lisa o las del canal arterial por lo que, de realizarse exclusivamente una exploración y medición automáticas, no hubiese sido posible determinar la logística a seguir para discriminar estos dos tipos de estructuras anatómicas. Por ello fue necesario señalar

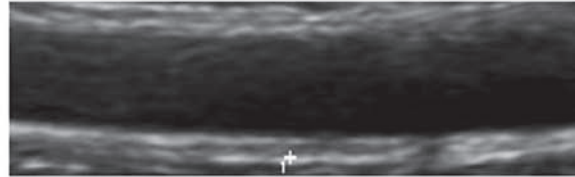


**Figura 1.** Detección de canal arterial con base en el seguimiento de valles en la señal.

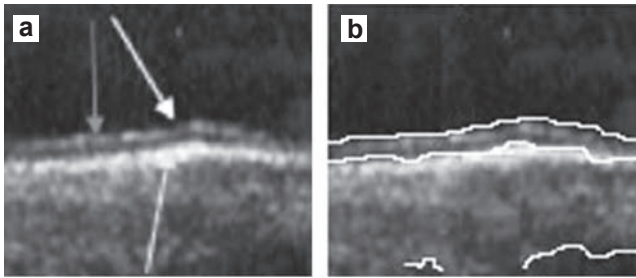
Detección de la arteria por seguimiento de valles



Extracción de una nueva imagen posterior a la detección del canal arterial



**Figura 2.** Extracción de nueva imagen que contemple únicamente el canal arterial y una pequeña parte de la pared arterial.



**Figura 3.** (a) Capas carotídeas íntima y media. (b) Enmascaramiento de cambios súbitos en intensidad, marcación total de la íntima media carotídea. Las flechas indican zonas de omisión.



**Figura 4.** Detección del borde de la arteria humeral con autómatas celulares.



**Figura 5.** Conteo de píxeles en el canal arterial por seguimiento de contornos.

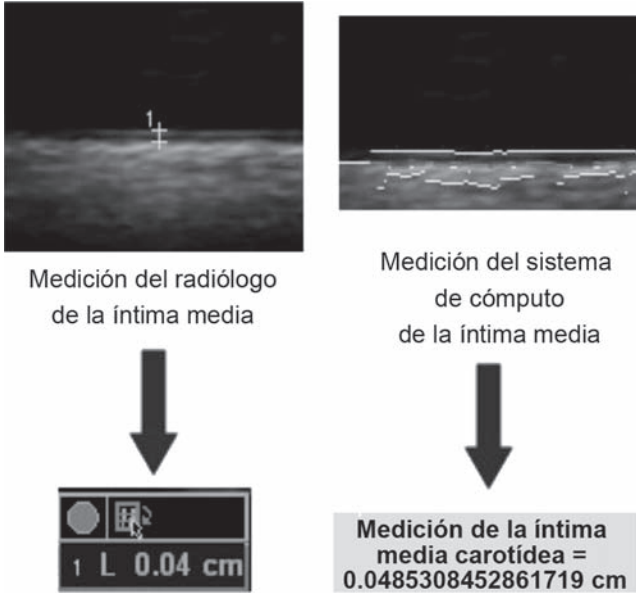
la porción de imagen donde se encontraba la placa de forma asistida; sólo así se contó con un fragmento de imagen a la cual se le determinó, en el centro, la intensidad ecogénica de píxeles a buscar y contabilizar. El método que utiliza el programa es el de crecimiento de regiones para determinar la segmentación de la placa y superar los inconvenientes señalados para poder medir el área total de la placa (figura 6).

En la figura 7 se muestra un ejemplo de medición de la íntima media carotídea hecha manualmente en un punto de la carótida primitiva a 1 cm de su bifurcación; se compara en exactitud con la medición que el programa realiza haciendo un promedio de la medición de puntos secuenciales del área delimitada: la diferencia es 14 decimales mucho más precisa con el sistema de cómputo. En la figura 8 se ilustran imágenes de mediciones manuales de la íntima media carotídea y de la luz de la arteria humeral. A simple vista parecen ser muy precisas pero al hacer acercamientos se nota la omisión de píxeles en la medición que sí son detectados por el sistema de cómputo.

La figura 9 es la curva ROC que indica la exactitud de la medición manual para detectar aterosclerosis carotídea. En ella se muestra cómo las mediciones manuales tienen un factor de error que produjo el diagnóstico de 22 falsos positivos y 52 falsos negativos en comparación con las mediciones automatizadas. De igual manera la figura 10 nos muestra la curva ROC que determina la exactitud de las mediciones manuales para detectar disfunción endotelial en la arteria humeral; el sistema detectó 14 falsos positivos y 3 falsos negativos en las mediciones de los radiólogos. El número y porcentaje de estos errores humanos de diagnóstico se ilustran en la figura 11.



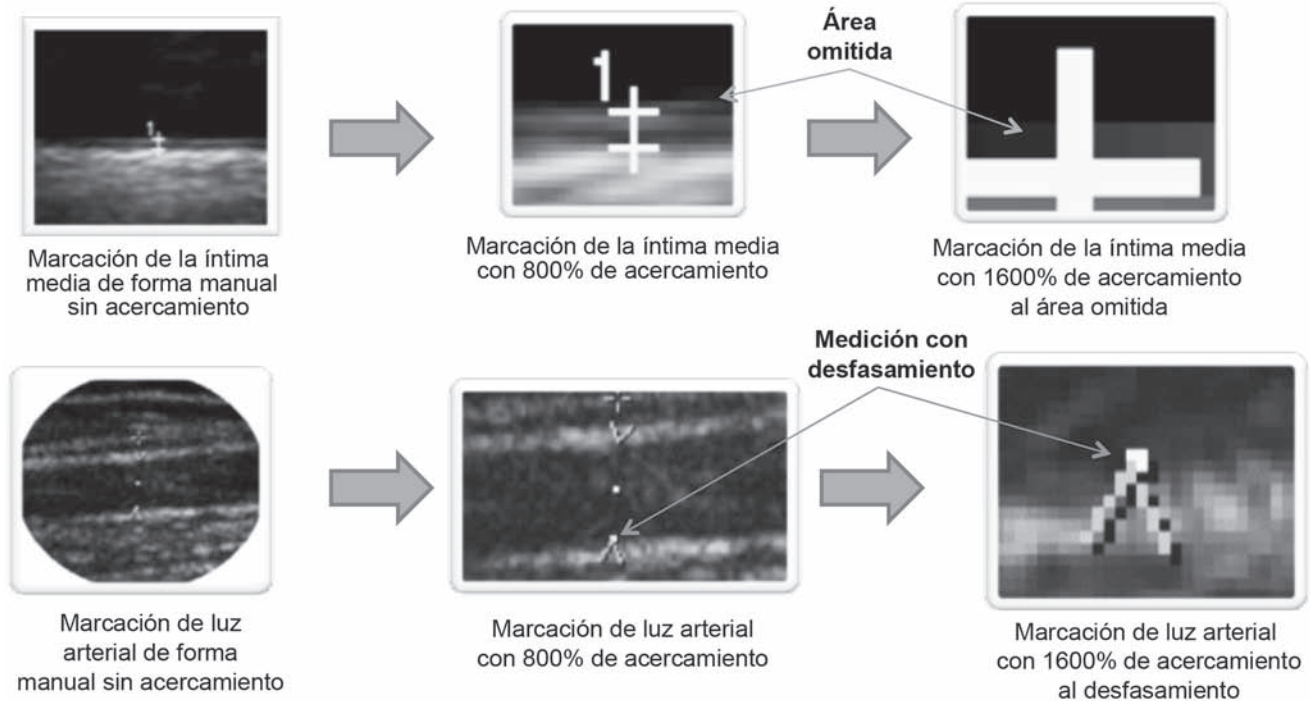
**Figura 6.** Agrupación de la placa aterosclerótica por crecimiento de regiones.



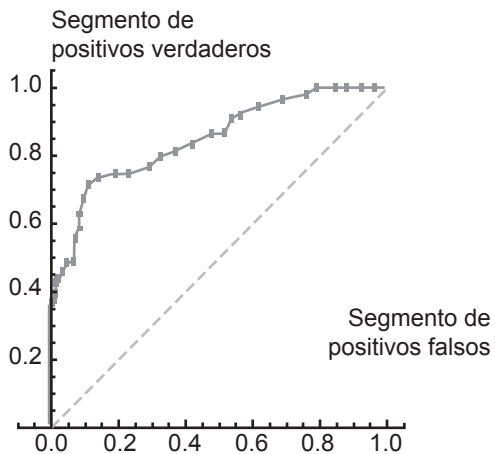
**Figura 7.** Imagen de una arteria carótida sana medida manualmente por el radiólogo y por el sistema de cómputo.

## Discusión

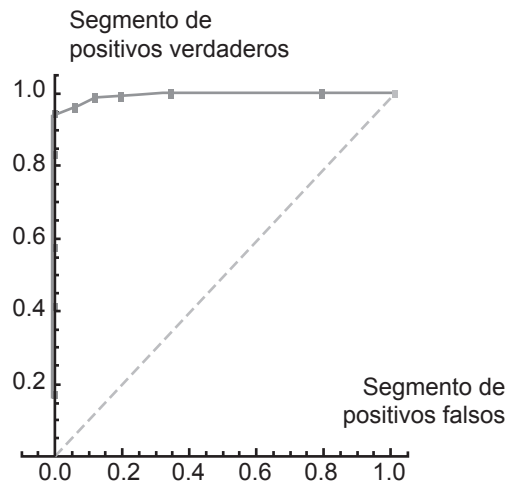
La aterosclerosis es la principal causa de muerte e invalidez en México y en el mundo.<sup>9</sup> Tradicionalmente, para evaluar las medidas diagnósticas y terapéuticas de este mal se han empleado mediciones de los factores de riesgo como son las cifras de la tensión arterial, las concentraciones sanguíneas de glucosa o lípidos o bien los desenlaces del proceso como son los eventos cardiovasculares o las muertes por aterosclerosis. Es necesario medir estadios intermedios entre las causas y las complicaciones finales de esta afección; dos evaluaciones que han ganado terreno en la práctica médica son la medición ultrasonográfica del espesor de la íntima media carotídea<sup>10</sup> y la función endotelial mediante la vasodilatación dependiente de flujo en la arteria humeral.<sup>11</sup> En esta arteria se hacen las mediciones de manera más sencilla que en otras (como pudieran ser la femoral y las arterias del antebrazo) además de que existe una correlación estrecha entre el comportamiento de la arteria humeral y las arterias coronarias en su respuesta a la vasodilatación dependiente de flujo. Sin embargo, estas mediciones dependen mucho de la pericia y experiencia del evaluador y tienen el sesgo del error humano al hacer marcas manualmente sobre las arterias medidas. Es por esto que el programa de cómputo aquí presentado puede tener un gran valor de aplicación clínica; ofrece un método que permite evaluar simultáneamente,



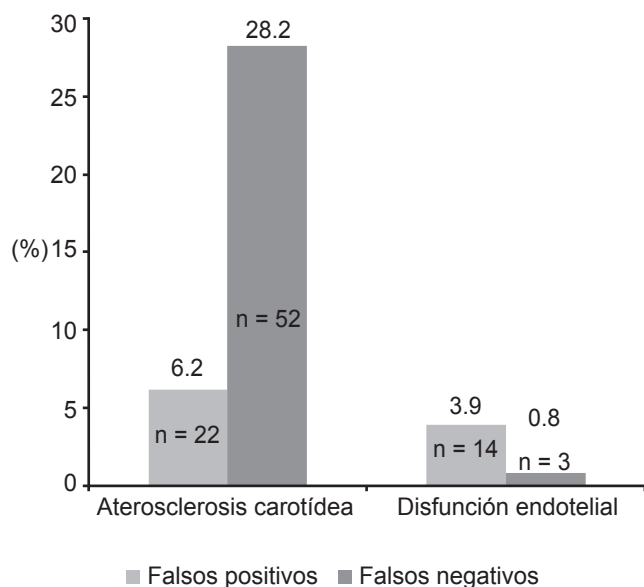
**Figura 8.** Imágenes de la íntima media carotídea y de la luz humeral medidas y manualmente ampliadas para ilustrar errores de omisión.



**Figura 9.** Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) de detección de la presencia de aterosclerosis.



**Figura 10.** Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) de detección de la presencia de disfunción endotelial.



**Figura 11.** Errores de diagnóstico detectados por el programa.

sin el factor del error humano, el estado anatómico y funcional de las arterias de los pacientes y su riesgo cardiovascular. El programa, que ya está a disposición de radiólogos, ultrasonografistas y comunidad médica en general, puede ser una herramienta útil en el diagnóstico con fines asistenciales, en la investigación

clínica y un auxiliar en la evaluación del tratamiento por ofrecer una mayor precisión en sus mediciones a un bajo costo, amén de permitir mejores evaluaciones de los beneficios que podemos ofrecer a los pacientes con las medidas terapéuticas instituidas.

### Conclusiones

1. Se ofrece un programa automatizado de bajo costo para hacer mediciones de aterosclerosis carotídea y disfunción endotelial en la arteria humeral y cálculo del riesgo cardiovascular total.
2. El programa detecta un elevado porcentaje de falsos positivos y falsos negativos, en especial en las mediciones carotídeas.
3. Este programa permitirá hacer mediciones más precisas con fines de investigación, docencia y asistencia a bajo costo y en tiempo real.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Marco Antonio Arceo García (de Arceo Diagnóstico por Imagen y al Dr. Luis Fernando Sánchez Contreras, del Centro Unión de Diagnóstico Médico, por su invaluable ayuda al proporcionar las imágenes ultrasonográficas utilizadas para el desarrollo de este programa.

Informes y adquisición del programa de cómputo con María Aydeé Sánchez Santana al correo: aydee.ss@gmail.com

## Referencias

1. TomTec, Imaging Systems. Mercado para radiología y salud, Productos de TI. [En línea]. Disponible en: [http://www.tomtec.de/end\\_users/2d\\_echo/imt\\_measurement.html](http://www.tomtec.de/end_users/2d_echo/imt_measurement.html).
2. Loizou CP, Pattichis CS, Christodoulo CI, Istepanian, RS, Pantziaris Ma, Nicolaides A. Comparative Evaluation of Despeckle Filtering In Ultrasound Imaging of the Carotid Artery, IEEE Trans. On Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 2005;52:885-3010.
3. Montenegro, Gonzalo A. Estándar de imagen DICOM. 2005. Disponible en: [http://www.hospitalsanmartin.org.ar/medicina\\_profesional/temas\\_interes/DICOM.html](http://www.hospitalsanmartin.org.ar/medicina_profesional/temas_interes/DICOM.html)
4. Correti MC, Anderson TJ, Benjamin EJ et al. Guidelines for ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery. J Am Coll Cardiol 2002;39:257-265.
5. Al-Shali K, House AA, Hanley AJ, Khan HM, Harris SB, Mamakeesick M, et al. Differences between carotid wall morphological phenotypes measured by ultrasound in one, two and three dimensions. Atherosclerosis 2005;178:319-325.
6. Villela LA, de Oliveira A, Vidal EA, França GJ, Dalla Bona PS, Alessi A and Bertolim D. Appropriateness of carotid plaque and intima-media thickness assessment in routine clinical practice. Cardiovascular Ultrasound 2008, 6:52-57
7. Fawcett, T. Roc graphs: Notes and practical considerations for researchers. Machine Learning, 2004. Disponible en: [citeseer.ist.psu.edu/fawcett04roc.html](http://citeseer.ist.psu.edu/fawcett04roc.html)
8. Mancia G, De Backer G, Dominiczak A, et al. Guidelines for the Management of Arterial Hypertension. The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). European Heart Journal. Advance Access published June 2007;11.
9. Villalpando S, Shamah-Levy T, Rojas R, Aguilar-Salinas CA. Tendencia en la prevalencia de diabetes tipo 2 y otros indicadores de riesgo cardiovascular en México entre 1993-2006. Salud Publica Mex 2010;52(1):S72-S79.
10. Pollex RL, Al-Shali KZ, House AA et al. Relationship of the metabolic syndrome to carotid ultrasound traits. Cardiovascular Ultrasound 2006,4:28-46.
11. Ricardo J. Esper, Roberto A. Nordaby, Jorge O. Vilariño, Antonio Paragano, José L. Cacharrón and Rogelio A. Machado; Endothelial dysfunction: a comprehensive appraisal. Cardiovascular Diabetology 2006;5:4-18.