

# Segmentación computacional de la vena cava superior y procesos hipertensivos

*Superior vena cava computational segmentation and hypertensive processes*

Yoleidy Huérfano, MgSc<sup>1</sup>, Miguel Vera, MgSc, PhD<sup>2,1\*</sup>, Atilio Del Mar, MD<sup>3</sup>, María Vera, BSc<sup>4</sup>, José Chacón, MgSc, PhD<sup>5</sup>, Sandra Wilches-Duran, MgSc, PhD(c)<sup>2</sup>, Modesto Graterol-Rivas, MgSc, PhD<sup>5</sup>, Maritza Torres, MD, PhD(c)<sup>6</sup>, Víctor Arias, Ing<sup>2</sup>, Joselyn Rojas, MD, MgSc<sup>6,7</sup>, Carem Prieto, MgSc, PhD(c)<sup>7</sup>, Wilson Siguencia, MD, PhD(c)<sup>8</sup>, Lisse Angarita, MD, PhD(c)<sup>11</sup>, Rina Ortiz, MD, PhD(c)<sup>10</sup>, Diana Rojas-Gomez, MD, PhD<sup>11</sup>, Carlos Garicano, MD, MgSc<sup>2</sup>, Daniela Riaño-Wilches, BSc<sup>12</sup>, Maricarmen Chacín, MD, MgSc<sup>2</sup>, Julio Contreras-Velásquez, MgSc, PhD(c)<sup>2</sup>, Valmore Bermúdez, MD, MPH, MgSc, PhD<sup>7</sup>, Antonio Bravo, MgSc, PhD<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Procesamiento Computacional de Datos (GIPCD-ULA) Universidad de Los Andes-Táchira, Venezuela

<sup>2</sup>Grupo de Investigación Altos Estudios de Frontera (ALEF), Universidad Simón Bolívar, Cúcuta, Colombia.

E-mail de correspondencia: m.avera@unisimonbolivar.edu.co, veramig@gmail.com\*

<sup>3</sup>Instituto de Bioingeniería y Diagnóstico Sociedad Anónima (IBIDSA), San Cristóbal, Venezuela. e-mail: atiliodelmar@yahoo.com

<sup>4</sup>Escuela de Medicina, Universidad de Los Andes, Hospital Central de San Cristóbal- Edo. Táchira, Venezuela

<sup>5</sup>Centro de Estudios de la Empresa. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

<sup>6</sup>Pulmonary and Critical Care Medicine Department. Brigham and Women's Hospital. Harvard Medical School. Boston, MA. USA 02115.

<sup>7</sup>Centro de Investigaciones Endocrino-Metabólicas "Dr. Félix Gómez" Facultad de Medicina. Universidad del Zulia, Venezuela.

<sup>8</sup>Coordinación de Investigación Industrial, Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela.

<sup>9</sup>Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Distrito de Salud 01D02. Posgrado de Medicina Familiar. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

<sup>10</sup>Departamento de Internado Anatomía III. Facultad de Medicina. Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

<sup>11</sup>Escuela de Nutrición y Dietética. Facultad de Medicina. Universidad Andres Bello, Sede Concepción, Chile.

<sup>12</sup>Facultad de Medicina, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

## Resumen

**S**e propone una estrategia para la segmentación tridimensional de la vena cava superior (SVC) en 20 imágenes cardiacas de tomografía computarizada multicapa, correspondientes al ciclo cardiaco completo de un sujeto. Esta estrategia está basada en la técnica de realce por similitud global y consta de las etapas de pre-procesamiento, segmentación y entonación de parámetros. El pre-procesamiento se aplica, preliminarmente, al instante de diástole final y se divide en dos fases denominadas: Filtrado y Definición de una región de interés. Estas fases abordan los problemas de ruido, artefactos y bajo contraste de las imágenes. Para la segmentación, de la SVC, se implementa el algoritmo de crecimiento de regiones el cual es aplicado a las imágenes pre-procesadas y es inicializado con un vóxel detectado con máquinas de soporte vectorial de mínimos cuadrados. Durante la entonación de parámetros, se usa el coeficiente de Dice (Dc) para comparar las segmentaciones obtenidas mediante la estrategia propuesta y la segmentación generada, manualmente, por un cardiólogo. La combinación de técnicas de filtrado que generó el Dc más elevado considerando el instante de diástole se aplica luego a las 19 imágenes 3D restantes, obteniéndose un Dc promedio superior a 0.9 lo cual indica una excelente correlación entre las segmentaciones generadas por un experto cardiólogo y las producidas por la estrategia desarrollada.

**Palabras claves:** Vena cava superior, Realce por similitud global, Segmentación.

## Abstract

**A** strategy for superior vena cava (SVC) three-dimensional segmentation is proposed using 20 cardiac imaging multi-layer computed tomography, for entire cardiac cycle of a subject. This strategy is global similarity enhancement technique based on and it comprises of pre-processing, segmentation and parameter tuning stages. The pre-processing stage is split into two phases called filtering and definition of a region of interest. These phases are preliminarily applied to end-diastole cardiac-phase and they address the noise, artifacts and low contrast images problems. During SVC segmentation, the region growing algorithm is applied to the pre-processed images and it is initialized using a voxel detected with least squares support vector machines. During the parameters tuning, the Dice score (Ds) is used to compare the SVC segmentations, obtained by the proposed strategy, and manually SVC segmentation, generated by a cardiologist. The combination of filtering techniques that generated the highest Ds considering the end-diastole phase is then applied to the others 19 3-D images, yielding more than 0.9 average Ds indicating an excellent correlation between the segmentations generated by an expert cardiologist and those produced by the strategy developed.

**Keywords:** Superior vena cava, Global similarity enhancement, Segmentation.

# E

l sistema cardiovascular está compuesto por el corazón y los vasos sanguíneos y es el responsable de hacer circular la sangre por el cuerpo para suministrarle oxígeno y nutrientes<sup>1</sup>. Los grandes vasos sanguíneos vinculados con el corazón son las estructuras encargadas de la circulación sistémica y pulmonar de la sangre en el cuerpo humano<sup>1</sup>. Estos vasos se clasifican en arterias y venas. El corazón está íntimamente relacionado con las siguientes arterias: aorta, pulmonar y coronarias. Además, el corazón recibe sangre de ciertas venas denominadas: cava superior, cava inferior, coronarias y pulmonares<sup>2</sup>.

En el presente artículo es de gran relevancia estudiar la vena cava superior (SVC), cuyo sistema principal está definido por su vena terminal, la vena cava superior, las venas de la cabeza y del miembro superior. Adicionalmente, la SVC recibe sangre de las venas ácigos que drenan la sangre de la parte posterior del tronco y constituyen la vía principal de anastomosis con la vena cava inferior<sup>1</sup>.

La SVC se origina de la reunión de las venas braquiocefálicas detrás del primer cartílago costal derecho. Su trayecto es vertical, pasa delante de la raíz pulmonar derecha, penetra en el pericardio y termina en la aurícula derecha. Su longitud promedio es de 6 a 8 cm, con un calibre de 20 a 22 mm en el adulto. Está situada en la parte superior derecha y anterior del mediastino, en ella se considera una porción superior extrapericárdica (dos tercios) y una inferior intrapericárdica (un tercio). En su terminación en el corazón, la vena se prolonga medialmente por la orejuela derecha y abajo por el seno de la vena cava, que llega al orificio de desembocadura de la vena cava inferior<sup>3</sup>. Adicionalmente, la SVC lleva a la aurícula derecha la sangre de la cabeza, del cuello, de los miembros superiores y, por la vena ácigos, la sangre de la pared torácica y de la vía paravertebral.

Es importante señalar que los trastornos venosos son sumamente frecuentes; el 90% son varices venosas o tromboflebitis/flebotrombosis. No obstante, existen otras patologías como el síndrome de vena cava superior (SSVC), el cual se debe, usualmente a neoplasias (ej. Carcinoma bronquial primario) que comprimen o invaden la SVC. La obstrucción vascular resultante puede producir una cianosis oscura característica y una dilatación acentuada de la cabeza, del cuello y de las venas de los brazos<sup>3</sup> y como consecuencia de ello puede provocar serios trastornos de hipertensión de diversos grados.

De tal forma que el SSVCS puede vincularse, directa o indirectamente con procesos hipertensivos, razón por la cual el referido síndrome se analiza a continuación. El SSVCS es un conjunto de signos y síntomas derivados de la obstrucción parcial o total del flujo sanguíneo de la SVC hacia la aurícula derecha. Esta obstrucción de la luz venosa puede deberse a compresión extrínseca o bien a fenómenos intrínsecos como trombosis. Hasta el 90% de los casos de SSVCS son de etiología

neoplásica, aunque en los últimos años se ha observado un aumento en relación al uso de catéteres intravasculares<sup>4</sup>.

La repercusión clínica dependerá de la rapidez de instauración del cuadro, si es progresivo se habrá formado un sistema de circulación colateral que puede reducir la gravedad de los síntomas. Sin embargo, obstrucción súbita o muy rápida de la cava superior puede conllevar la aparición de edema cerebral y, si no se instauro el tratamiento apropiado, el fallecimiento del paciente<sup>5</sup>.

El diagnóstico clínico suele confirmarse mediante la realización de una tomografía computarizada (CT), que, además de revelar información acerca de la localización de la lesión causante del cuadro; también esta técnica de imagen puede resultar útil para programar la conducta idónea de cara a obtener un diagnóstico histológico si éste fuera necesario. Por lo general, no suele precisarse la realización de otras pruebas complementarias si la CT proporciona la información suficiente<sup>6</sup>.

El tratamiento dependerá en gran medida de la causa del SSVCS, por lo que se enfoca en el alivio sintomático, así como en tratar la causa de base que ha originado la aparición y manifestación clínica del síndrome, sin embargo, cuando se trata de una neoplasia que infiltra la SVC, el pronóstico es de cuidado puesto que la intervención quirúrgica no es accesible y, generalmente, el cuadro conduce a estado de coma e incluso a muerte del paciente<sup>3</sup>. Del mismo modo que sucede con el tratamiento, el pronóstico de los pacientes con SSVCS dependerá en gran medida de su etiología. El protocolo terapéutico del SSVCS puede incluir uso de fármacos, radioterapia, quimioterapia, uso de técnicas basadas en stents, entre otros<sup>6</sup>.

Por otra parte, cabe informar que al revisar el estado del arte relativo a la segmentación automática de la SVC no se halló ningún antecedente que considerara el desarrollo computacional de la referida segmentación.

Debido a ello y a todo lo expuesto anteriormente, sería de gran utilidad desarrollar una estrategia de segmentación computacional para generar segmentaciones tridimensionales (3D) de la SVC que permitan, por una parte, el análisis de su estructura para establecer si la SVC presenta una anatomía y funcionalidad normal o no y, por la otra, la construcción de modelos reales de la SVC, vía impresoras 3D, para fines terapéuticos y didácticos.

Es importante indicar que la familiarización con la anatomía normal o alterada de la SVC es vital para la emisión de diagnósticos precisos y correctos vinculados con la detección de patologías de la mencionada vena y con la planificación de procesos quirúrgicos previstos, en el contexto clínico, para abordar las mencionadas patologías.

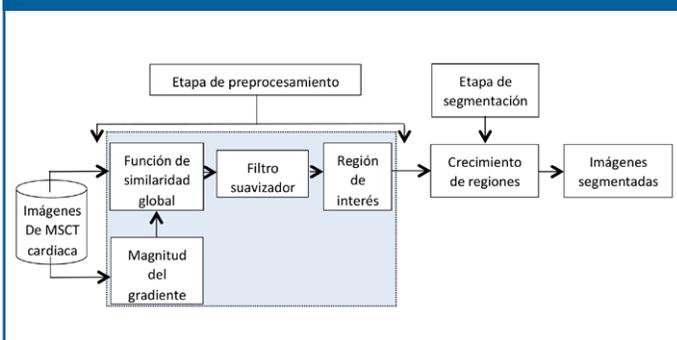
**Descripción de las bases de datos**

La base de datos (DB) utilizada fue suministrada por el Laboratoire de Traitement du Signal et de L'Image (LTSI) de la Université de Rennes I, en Francia, y está constituida por imágenes de MSCT cardiaca de un paciente. La DB posee 20 instantes que representan un ciclo cardiaco completo. Cada instante tiene 326 imágenes de resolución espacial 512x512 píxeles, muestreadas a 12 bits por píxel, con vóxeles de tamaño 0.488 mm x 0.488 mm x 0.393 mm.

Descripción de la estrategia utilizada para la segmentación de la vena cava superior.

La Figura 1 muestra la estrategia propuesta para generar la morfología de la vena cava superior. Debido a que tal estrategia está basada en un tipo de realce por similitud<sup>7</sup> de tipo global, en el contexto del presente artículo, será utilizado el acrónimo Egs para hacer referencia a ella.

Figura 1. Diagrama de bloques de la estrategia Egs



Para una explicación detallada de los fundamentos y aplicaciones de la técnica basada en realce por similitud se pueden consultar las referencias<sup>7,8,9,10</sup>. A continuación se describen las etapas que conforman la estrategia Egs.

**Etapa de pre-procesamiento**

- Fase de filtrado:

En la Figura 1, se ha destacado mediante un recuadro gris la fase de filtrado basada en realce por similitud global (GSE). Este tipo de realce se aplica, preliminarmente, sobre el instante de diástole final y consiste en:

- a) Generar una imagen gradiente (I<sub>g</sub>) procesando cada imagen original (I<sub>o</sub>) con un filtro denominado magnitud del gradiente<sup>11</sup>. El papel de este filtro es detectar los bordes de las estructuras presentes en las imágenes.
- b) Aplicar una función de similitud global considerando I<sub>o</sub> e I<sub>g</sub> para generar una imagen (I<sub>gs</sub>) cuyos niveles de gris se hacen coincidir con el valor absoluto de la resta aritmética de todos los niveles de gris de I<sub>o</sub> y de I<sub>g</sub>. De esta manera,

el modelo matemático que rige la similitud global viene dado por la Ec. (1).

$$I_{gs} = |I_o - I_g| \tag{1}$$

La finalidad de la similitud global es realzar la información contenida dentro de las cavidades cardiacas.

- c) Debido a que el filtro denominado magnitud del gradiente puede reforzar el ruido Poisson, presente en las imágenes de MSCT, se aplica a la imagen I<sub>gs</sub> un suavizado en este caso particular el filtro de mediana (MF)<sup>12</sup>.

- Fase de definición de una región de interés (ROI): Considerando vistas coronales de las imágenes filtradas, un cardiólogo identifica, visualmente, 2 puntos de referencia dados por: la unión de la vena cava superior con la aurícula derecha (P1) y el centroide de la vena cava superior en la primera capa de la base del corazón (P2). Para ambos puntos se identifican las coordenadas manuales que establecen sin ambigüedad su ubicación espacial en cada imagen considerada. Luego se implementa, computacionalmente, una función de discriminación que permite aislar la vena cava superior de otras estructuras anatómicas circundantes.

**Etapa de segmentación**

La ubicación de la semilla, para inicializar el crecimiento de regiones<sup>12</sup> (RG), se calcula usando máquinas de soporte vectorial de mínimos cuadrados<sup>13</sup> (LSSVM). Para aplicar el RG, a las imágenes pre-procesadas, se hicieron las siguientes consideraciones: a) A la vecindad inicial, que se construye a partir de la semilla, se le asigna forma cúbica cuyo lado depende de un escalar arbitrario r. El parámetro r requiere de un proceso de entonación. b) Como criterio pre-definido, se elige el modelado mediante la Ec. (2).

$$|I(x) - \mu| < m\sigma \tag{2}$$

siendo: I(x) la intensidad del vóxel semilla, μ y σ la media aritmética y la desviación estándar de los niveles de gris de la vecindad inicial y m un parámetro que requiere entonación.

Etapa de entonación de parámetros: obtención de parámetros óptimos

Esta etapa permite la obtención de los parámetros óptimos que garantizan un buen desempeño de la estrategia propuesta. Para ello, se modifican los parámetros asociados con la técnica que se desee entonar recorriendo, sistemáticamente, los valores pertenecientes a ciertos rangos tal y como se describen a continuación:

- a) Para entonar el filtro de mediana se hace coincidir el parámetro denominado tamaño de la vecindad 3-D, requerido por este filtro, con los valores: 3x3x3, 5x5x5, 7x7x7 y 9x9x9. Estos tamaños se eligen tomando como criterio un enfoque isotrópico y en atención al hecho, comprobado experimentalmente, que vecindades más pequeñas no tienen efectos perceptibles sobre la imagen; mientras que tamaños superiores pueden, teóricamente, producir un deterioro importante de los bordes que delimitan las estructuras anatómicas de interés.

b) Los parámetros de las LSSVM,  $g$  y  $\sigma^2$ , se entonan suponiendo que la función de costo es convexa y desarrollando ensayos heurísticos.

- Durante la entonación de los parámetros del RG, cada una de las segmentaciones de la válvula pulmonar correspondientes al instante diástole final se compara, usando el coeficiente de Dice<sup>14</sup> ( $D_c$ ), con la segmentación manual de la SVC, generada por un cardiólogo. Los valores óptimos para los parámetros del RG ( $r$  y  $m$ ), se hacen coincidir con aquel experimento que genera el valor más alto para el  $D_c$ .
- El  $D_c$  es una métrica que permite comparar segmentaciones de una misma imagen 3D obtenida por diversas metodologías<sup>14</sup>. En el contexto cardíaco, usualmente, el  $D_c$  es considerado para establecer que tan similares son, espacialmente, la segmentación manual (RD) y la segmentación automática (RP) que genera la morfología de cualquier estructura cardíaca. Adicionalmente, el  $D_c$  es máximo cuando se alcanza un perfecto solapamiento entre RD y RP pero es mínimo cuando RD y RP no se solapan en absoluto. Además, los valores esperados para el  $D_c$  son números reales comprendidos entre 0 (mínimo) y 1 (máximo). Entre más cercano a 1 se encuentre el valor del  $D_c$ , mejor será el desempeño del procedimiento que no es manual<sup>7</sup>. El modelo matemático que define el  $D_c$ , viene dado por la Ec. (3).

$$D_c = \frac{2|RD \cap RP|}{|RD| + |RP|} \quad (3)$$

En este punto, es necesario enfatizar que:

- En el contexto del presente trabajo, el proceso de entonación para un filtro particular se detiene cuando se identifican los valores de sus parámetros, asociados con la segmentación que genera el  $D_c$  de mayor valor. Es decir, la obtención de parámetros óptimos para los filtros se hace de manera indirecta.
- Una vez que se identifican los parámetros óptimos de cada filtro se puede establecer cuál fue el filtro suavizador que generó los mejores resultados y así establecer, formalmente, una estrategia Egs que se aplica, con parámetros fijos optimizados, a los 19 instantes restantes del ciclo cardíaco. La segmentación de la válvula pulmonar considerando todos los instantes del mencionado ciclo constituye lo cual se reporta en la literatura como desempeño o validación intra-sujeto.

## Resultados

La estrategia que reportó el  $D_c$  más elevado (0.89), para el instante diástole final, fue aquella conformada por los siguientes parámetros:

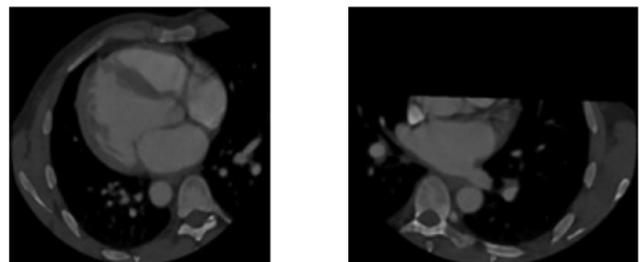
- Filtro de mediana con vecindad de tamaño  $5 \times 5$ .
- La detección de la "semilla" se logró con una LSSVM cuyos parámetros fueron  $g = 1.75$  y  $\sigma^2 = 0.90$ .
- En el RG, los valores para los parámetros fueron:  $r = 2$  y  $m = 2.8$ .

Además, el coeficiente de Dice promedio obtenido para los 20 instantes del ciclo cardíaco completo fue de  $0.91 \pm 1.17$ , lo cual demuestra una excelente correlación con las segmentaciones manuales disponibles.

De manera complementaria, los resultados cualitativos se sintetizan mediante las Figuras 3 y 4.

La Figura 2, muestra una versión filtrada de las imágenes originales y la definición de la región de interés (ROI) para la vena cava superior delimitada por el plano definido por P1 y P2.

Figura 2. a) Imagen filtrada. b) Región de interés.



a)

b)

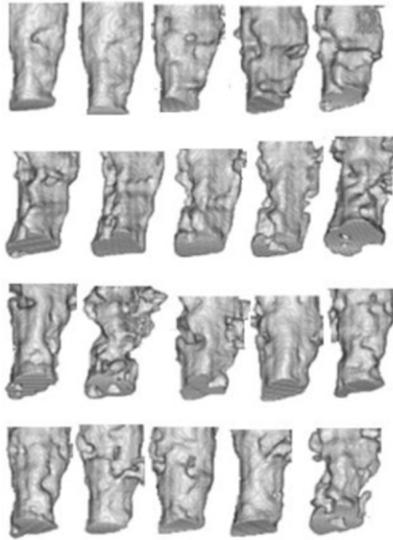
En ella se observa una minimización del problema de ruido, una definición apropiada de las estructuras que conforman el corazón y el establecimiento de una ROI que facilita la posterior segmentación de la SVC.

Adicionalmente, las segmentaciones tridimensionales de la SVC se muestran mediante la secuencia de imágenes pertenecientes a la Figura 3.

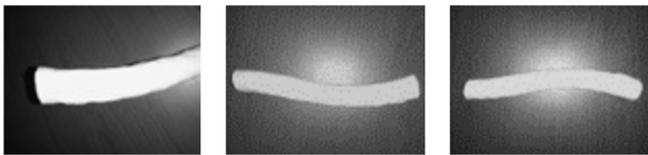
Como se aprecia, en la Figura 3, se obtuvo una excelente representación 3D de la morfología de la vena cava superior a lo largo de todo el ciclo cardíaco.

Finalmente, la Figura 4 es una imagen real, con un aumento del 200%, de la SCV obtenida usando una impresora 3D, correspondiente al primer instante del ciclo cardíaco presentado en la Figura 3, es decir, representa la materialización, en el mundo real, de una versión digital generada a partir de la estrategia propuesta.

**Figura 3. Segmentaciones 3D correspondientes a las 20 bases de datos segmentadas.**



**Figura 4. Tres impresiones 3D reales, con escala 2 a 1, correspondiente a la SVC del primer instante presentado en la Figura 3**



Este tipo de resultados de impresiones 3D, prototipos o modelo realísticos pueden ser útil en diversos contextos entre los que se pueden mencionar: investigativos, innovadores, clínicos, académicos, industriales, empresariales y comerciales. Por ejemplo, en el contexto clínico y académico estos modelos pueden utilizarse como base para crear sistemas de realidad aumentada para la planificación de intervenciones quirúrgicas virtuales que permiten entrenar a especialistas cardiacos en el manejo de ciertas enfermedades asociadas con la vena cava superior.

## Conclusiones

**S**e ha presentado una estrategia, basada en realce por similitud global, para la segmentación de la vena cava superior

La estrategia Egs, arroja un  $D_c$  elevado lo cual refleja el alto grado de correlación entre las segmentaciones manuales y las generadas por la referida estrategia.

Las segmentaciones obtenidas pueden ser útiles para la detección de patologías asociadas con la vena cava superior, como por ejemplo, detección de procesos hipertensivos asociados al síndrome de vena cava superior.

Una de los principales aportes del presente trabajo es haber segmentado la vena cava superior la cual puede ser útil, por una parte, en el análisis de su estructura para establecer si la

SVC presenta una anatomía y funcionabilidad normal o no y, por la otra, en la construcción de modelos reales de la SVC, vía impresoras 3D, para fines terapéuticos vinculados con la planeación de procesos de radio y quimio terapias que permitan minimizar el volumen o la extensión de las diversas neoplasias vinculadas con el SSVc.

Además, este tipo de segmentaciones posibilita la creación de modelos computacionales que permiten la planeación de procesos quirúrgicos virtuales vinculados con las conexiones cavo-pulmonares.

## Referencias

1. Latarjet M, Ruíz A. Anatomía Humana. Volumen 2. Buenos Aires, Argentina: Editorial Panamericana; 2008.
2. Guyton A, Hall J. Textbook of Medical Physiology. USA: W. B. Saunders; 2006.
3. Calzas J, Lianes P, Cortés H. Corazón y neoplasias: Puesta al día. Patologías del corazón de origen extracardiaco. Revista española de cardiología. 1998;51(3): 232-42.
4. Levatti V, Romero G, Acevedo A, Tost K. Síndrome de la vena cava superior: revisión bibliográfica. Revista de postgrado de la cátedra de medicina. 2005;(147):26-8.
5. Arribalza E, Aguirre M, Corchuelo C. Conducta en el síndrome de vena cava superior (SVCS). Revista chilena de cirugía. 2014;66(1):71-7.
6. Pinto AA, González M. Síndrome de vena cava superior. Med Clin; 2009;132(5):195-9.
7. Vera M. Segmentación de estructuras cardiacas en imágenes de tomografía computarizada multi-corte [Tesis doctoral]. Mérida-Venezuela: Universidad de los Andes, 2014.
8. Vera M, Bravo A, Garreau M, Medina R. Similarity enhancement for automatic segmentation of cardiac structures in computed tomography volumes. In 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; 2011:8094-97.
9. Vera M, Bravo A, Medina R. Improving Ventricle Detection in 3-D Cardiac Multislice Computerized Tomography Images. In: Richard P, Braz J. Theory and Applications, Communications in Computer and Information Science. Berlin: Springer;2011:170-83.
10. Bravo A, Vera M, Garreau M, Medina R. Three-dimensional segmentation of ventricular heart chambers from multi-slice computerized tomography: An hybrid approach. In: Cherifi H, Zain JM, El-Qawasmeh E. Digital Information and Communication Technology and Its Applications. Berlin: Springer;2011:287-301.
11. Passarielo G, Mora F. Imágenes Médicas, Adquisición, Análisis, Procesamiento e Interpretación. Venezuela: Equinoccio Universidad Simón Bolívar;1995.
12. Fischer M, Paredes JL, Arce GR. Weighted median image sharpeners for the world wide web. IEEE Transactions on Image Processing. 2002;11(7):717-27.
13. Suykens JA, Vandewalle J. Least squares support vector machine classifiers. Neural processing letters. 1999;9(3):293-300.