



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN  
DE INGENIEROS EN LA  
ERA DIGITAL



# ALGORITMO DE DETECCIÓN DE SOPLOS CARDÍACOS A PARTIR DEL EXAMEN DE FONOCARDIOGRAFÍA

**Mateo Lozano Hoyos, María Camila Bustos Vivas, Juan Manuel López López**

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Bogotá, Colombia**

## Resumen

Según datos ofrecidos por la organización mundial de la salud (OMS), las enfermedades cardiovasculares (ECV) representan la principal causa de muerte en Colombia y en el mundo. Un signo de ECV se denomina soplo cardíaco. Esta se produce como consecuencia de flujos turbulentos dentro y fuera del corazón, los cuales indican principalmente daños en el funcionamiento de las válvulas cardíacas. Comúnmente, el proceso de auscultación realizado por un médico especialista, es el método aplicado para la detección inicial de soplos cardíacos. Sin embargo, el desempeño para diagnosticar un soplo utilizando este método no es bueno, si se compara con el desempeño de sistemas de ayuda diagnóstica basados en el procesamiento digital de señales.

En este proyecto se diseñó e implementó un método automático de detección de soplos, desde el análisis en el dominio tiempo-frecuencia, de las señales de fonocardiografía (FCG). Para la etapa de validación del método, se utilizó la base de datos PASCAL, la cual contiene 66 registros de pacientes con soplo cardíaco y 200 de sujetos sanos. Las señales fueron pre-procesadas para reducir artefactos y posteriormente fueron analizadas a partir de la transformada wavelet continua. El análisis mostró que la variación de los componentes de frecuencias del FCG, en la banda de 200 a 400 Hz podría ser un indicador de la presencia del soplo. El método de detección automática aprovechó esta característica para aplicar una etapa de decisión.

El método implementado tuvo una exactitud de 80.8%, una sensibilidad de 63.63% y una especificidad de 86.5%. El algoritmo tiene mayor especificidad que sensibilidad, en concordancia con otros estudios. El método diseñado tiene un desempeño mejor que un médico general, con un promedio de 31% de exactitud en sus primeros años de prácticas e incluso mejor desempeño que un médico entrenado con un simulador de ruidos cardíaco, quienes tienen en promedio 73% de

exactitud. El proyecto contempla una nueva etapa que involucra nuevos métodos que permitan mejorar el porcentaje de sensibilidad.

**Palabras clave:** fonocardiograma; soplos cardíacos; transformada wavelet

### **Abstract**

*According to the World Health Organization (WHO), cardiovascular diseases (CVD) are the main cause of death in Colombia and worldwide. One CVD sign is called heart murmur. This sign is caused by a turbulent blood flowing, inside or outside of the heart, indicating a malfunctioning of the cardiac valves. Commonly, heart murmurs are detected through an auscultation process performed by a specialist. However, the auscultation method is not as accurate as other signal processing based methods.*

*In this project, an automatic heart murmur detection method was designed and implemented, from the time-frequency analysis of phonocardiographic signals (PCG). In the validation process, PASCAL database was used, containing 66 records from patients with heart murmurs and 200 records from healthy subjects. PCG signals were pre-processed for artifact reduction and then analyzed with a continuous wavelet transform. Analysis indicated that differences in the PCG frequency power in the 200 to 400 Hz band may be an indicator of the heart murmur. Automatic detection method used this feature in its decision stage.*

*The implemented method had an accuracy of 80.8%, a sensitivity of 63.63% and a specificity of 86.5%. The algorithm specificity is greater than its sensitivity, in accordance with other studies. Designed method performance is superior when compared with amateur or experienced physicians, whose average accuracy range from 31% during their first years of practice to 73% after training with a cardiac sound simulator. This project aims for a new stage allowing an improvement in sensitivity.*

*Keywords: phonocardiography; heart murmurs, wavelet transform*

## **1. Introducción**

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades cardiovasculares (ECV) representan la principal causa de mortalidad en todo el mundo (OMS, 2017). En Colombia, las ECV han sido catalogadas como causa de morbilidad y mortalidad desde finales de los años sesenta. Según el perfil de enfermedades cardiovasculares en Colombia, realizado por la OMS y la OPS (Organización Panamericana de la Salud) en 2010, las ECV representan el 24% de la mortalidad en hombres entre los 30 – 69 años y el 27% de la mortalidad en mujeres en el mismo rango de edad (Organización Mundial de la Salud, 2014). Adicionalmente, las ECV en conjunto con el cáncer, la diabetes y las enfermedades pulmonares crónicas son categorizadas como enfermedades no transmisibles (ENT) (Observatorio nacional de salud, 2013). Las ENT representaron un 63% de las muertes en 2008 y se estima un aumento del 15% para el periodo

entre 2010 y 2020 a nivel mundial (OMS, 2000), (OMS a, 2000). Según un boletín publicado por el Observatorio Nacional de Salud (ONS), el Instituto Nacional de Salud y el Ministerio de Salud, se registró un total de 628.630 muertes en Colombia entre 1998 – 2011 causadas por ECV, las cuales representan un 23,4% de la mortalidad en el país en este periodo (Observatorio nacional de salud, 2013). Dentro de este grupo, destacan 4 tipos de enfermedades cardiovasculares. Un 56,3% de las muertes fueron resultado de una enfermedad isquémica cardiaca, el 30,6% de una enfermedad cerebrovascular, el 12,4 de una enfermedad hipertensiva y el 0.5% de una enfermedad reumática (Observatorio nacional de salud, 2013).

Como se mencionó, la cardiopatía isquémica o enfermedad isquémica cardiaca representa el mayor porcentaje de mortalidad dentro de las enfermedades cardiovasculares en Colombia. “Esta patología es ocasionada por la arteriosclerosis de las arterias coronarias, es decir, las encargadas de proporcionar sangre al músculo cardiaco (miocardio)” (Pérez, 2003) . De acuerdo con el NIH (National Heart, Lung and blood Institute, 2019), el diagnóstico de la arteriosclerosis se realiza durante los exámenes periódicos rutinarios en los cuales el médico encuentra un sonido anormal (soplo cardiaco) parecido a un susurro al ubicar el estetoscopio en la arteria afectada. Adicionalmente, el médico puede solicitar otras pruebas agregadas para diagnosticar la enfermedad, determinar la extensión de la enfermedad y/o planear el tratamiento correcto (National Heart, Lung and blood Institute, 2019).

Conforme con un estudio realizado en 2003, la tasa de cardiólogos en Colombia es de 0.24 cardiólogos por 10.000 habitantes. Adicionalmente, se encontró que existe una inapropiada distribución de cardiólogos por área geográfica y a nivel económico en el país(Pérez, *et al.*, 2003). Por otro lado, un trabajo de investigación realizado por el Observatorio de Talento Humano en Salud en el 2017, reporta que, en una encuesta de Evaluación de Servicios de las EPS, cerca del 52% de los beneficiarios entrevistados declararon haber esperado más de dos semanas para ser atendidos por especialistas de cardiología, neurología y ortopedia (Miranda *et al.*, 2017).

Siguiendo con lo expuesto, se evidencia la necesidad de un procedimiento que apoye la tarea de los médicos para un diagnóstico pronto y acertado de enfermedades cardiovasculares en el país. Debido a que el porcentaje de prevalencia e incidencia de estas patologías es alta y el acceso al servicio de cardiología a nivel nacional es decadente, se propone el diseño e implementación de un algoritmo de detección de soplos cardiacos a partir del examen de fonocardiografía (FCG) que contribuya en la prevención y diagnóstico de ECV relacionadas con soplos cardiacos.

## **2. Métodos y Materiales**

### **2.1. Fonocardiografía**

La auscultación cardiaca es un procedimiento médico en el cual se escuchan los sonidos generados por el corazón con el propósito de evaluar el estado de las válvulas cardiacas (Castaño, T, *et al.*, 2007). Los ruidos cardiacos son la representación acústica del cierre de las válvulas, su actividad es siempre unidireccional, lo cual facilita la circulación sanguínea a través del circuito cardiovascular (Cruz Ortega *et al.*, 2016). Estos ocurren en instantes determinados del ciclo

cardíaco, el primer ruido cardíaco (S1) se origina al inicio de la sístole ventricular, en el momento en que el volumen ventricular es máximo. En este punto, la presión ventricular supera a la presión auricular, y las válvulas mitral y tricúspide se cierran. Constituye el sonido más fuerte y de mayor duración. El segundo ruido cardíaco (S2) se genera al final de la sístole ventricular, cuando la muesca dicota se presenta en la curva de presión ventricular. De acuerdo con esto, el periodo de tiempo entre S1 y S2 corresponde a la sístole ventricular. El tercero (S3) es un tono de baja frecuencia y se caracteriza porque es escuchado al comienzo del tercer medio de la diástole, durante el llenado de los ventrículos. Y, por último, S4 se caracteriza por ser un tono que en algunas personas no puede llegar a registrarse debido a su baja frecuencia, es habitualmente menor a 20 Hz y ocurre cuando las aurículas se contraen (Goodman, 2004). Las señales digitales generadas por la grabación de los sonidos del corazón se denominan fonocardiogramas (FCG), las cuales tienen un rango de frecuencia de 5 – 2000 HZ con amplitud hasta de 80 dB (Camacho, 2016). “Estos registros son fuentes de información de la actividad mecánica cardíaca de adquisición no invasiva y bajo costo económico” (Castaño *et al.*, 2007). En estas grabaciones, el primer componente de alta frecuencia corresponde con S1 y el segundo componente de alta frecuencia representa a S2. Sin embargo, no todos los ruidos cardíacos se producen por el cierre de las válvulas, los soplos cardíacos son resultado de las turbulencias en el flujo sanguíneo, dentro o fuera del corazón, que ocasionan ondas sonoras con frecuencias comprendidas entre 20 y 2.000 Hz (Pineda, 2005).

La auscultación por parte de un especialista es el método comúnmente usado para la detección clínica de soplos cardíacos. De acuerdo con (Arango, 2010), los cardiólogos especialistas presentan una sensibilidad del 70% y una especificidad del 98% en este tipo de diagnósticos clínicos. Por otro lado, la ecocardiografía de estrés aplicada para la detección de enfermedad coronaria presenta una sensibilidad entre el 72-97% y especificidad entre 64-100%. Adicionalmente, la prueba de esfuerzo proporciona una sensibilidad del 67% y una especificidad del 72% (Arós *et al.*, 2000).

Según Burhan Ergen, Yetkin Tatar y Halil Ozcan Gulcur, el análisis de fonocardiograma (PCG) permite de forma no invasiva detectar anomalías del sistema cardiovascular. Los análisis tiempo-frecuencia permiten analizar las señales no estacionarias como lo es el PCG. Donde la transformada de wavelet, al trabajar en ambos dominios, se vuelve la herramienta más importante a la hora de estudiar las señales y detectar patologías (Chakir, *et al.*, 2018). Mientras que Fatima Chakir, Abdelilah Jilbab, Chafik Nacir y Ahmed Hammouch dicen, la información que se puede obtener de las señales de PCG ha generado un apuro por parte de los médicos para obtener la información emitida a partir los de datos de señales cardíacas mientras colaboran con expertos en procesamiento de señales y aprendizaje automático para detectar patologías de forma novedosa (Ergen, *et al.*, 2012).

De acuerdo con esto, se busca diseñar e implementar un algoritmo fundamentado en la transformada de wavelet.

## 2.2. Base de datos PASCAL

La base de datos PASCAL *et al.*, 2012) contiene grabaciones de fonocardiografía para pacientes sin presencia de soplos cardíacos y otros con presencia de los mismos. Dichas grabaciones fueron obtenidas a través del dispositivo Digiscope. Se tienen 200 grabaciones de pacientes sin soplos y 66 grabaciones de pacientes con soplos (no especificados); para un total de 266 grabaciones.

El método usado para determinar si la grabación era de un paciente que presenta un soplo o es un paciente sano se presenta en la figura 1.

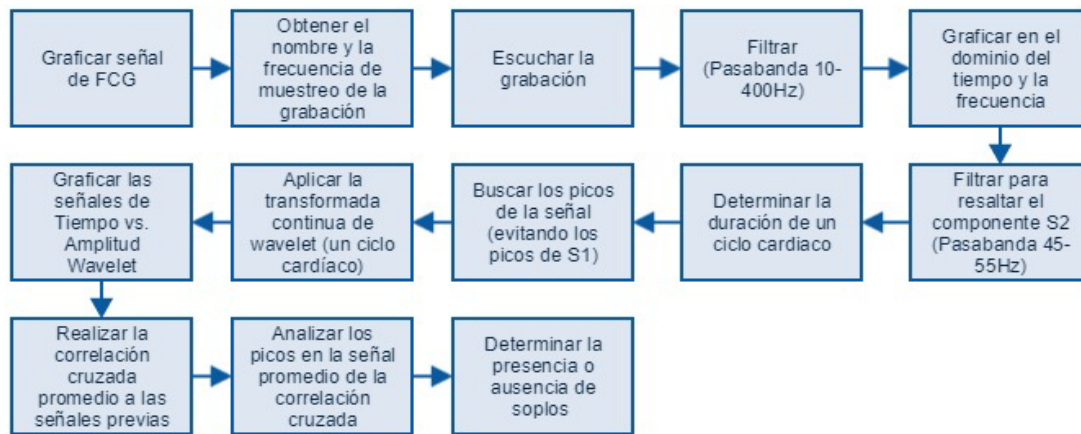


Figura 1. Diagrama de flujo del algoritmo implementado.

## 2.3. Método de clasificación de señales PCG

El algoritmo usado se centra en el análisis tiempo-frecuencia por medio de la transformada wavelet. La cual permite observar el comportamiento de la señal del sonido cardíaco en una banda de frecuencia que según Camacho debe estar entre 200 y 400 Hz. Con el fin de mejorar el tiempo de ejecución del algoritmo, se hizo la transformada wavelet por medio de ventanas cuyo tamaño es igual a la duración de un ciclo cardíaco, extraído previamente. Con esto se pretende alinear el comportamiento de la señal en el tiempo, uno sobre otro. Posteriormente se encontró que el patrón de la señal en la frecuencia es similar entre las personas sin soplo cardíaco. Mientras que las personas que presentan soplo cardíaco tienen mayor variación en a lo largo de la misma. Gracias a esto y mediante la correlación cruzada, se establece un método de decisión que permite determinar si la señal pertenece a un paciente sano o con soplo cardíaco.

## 3. Resultados

Al aplicar el algoritmo a las 266 grabaciones de FCG se registraron los resultados obtenidos y se compararon con la información proporcionada por la base de datos. Con esto, se busca determinar la validez de la prueba por medio de una tabla de contingencia:

		PRESENTE	AUSENTE	TOTALES
PRUEBA	POSITIVO	42 Verdadero positivo	27 Falso positivo	69
	NEGATIVO	24 Falso negativo	173 Verdadero negativo	197
TOTALES		66 pacientes con la enfermedad	200 pacientes sin enfermedad	266 Total

De acuerdo con esto, se calculan los parámetros de validez del algoritmo. El método implementado tuvo una exactitud de 80.8%, una sensibilidad de 63.63% y una especificidad de 86.5%. Por otro lado, se calculan los parámetros de seguridad de una prueba diagnóstica: el valor predictivo positivo (VPP) y el valor predictivo negativo (VPN). Se obtuvo un VPP de 60.87% y un VPN de 87.81%. Finalmente, se determina el cociente de probabilidades positivo (RV+) y el cociente de probabilidades negativo (RV-). Se establece un RV+ de 4.7 y un RV- de 0.42.

Teniendo en cuenta los valores calculados, se puede comparar el algoritmo implementado en este trabajo con otros métodos utilizados para la detección de soplos.

Método	Tasa de acierto (%)	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)
Este estudio	80,82	63,63	86,5
Arango,2010	-	70	98
Baeza et al., 2012	31 – 73%	-	-
Martínez-Vargas, et al., 2011	98,65	98,29	99,02
Delgado-Trejos, et al., 2009	96,39	95,40	95,00
Wang, et al., 2007	8,90	93,03	85,81

#### 4. Discusión de resultados

De acuerdo con los datos estadísticos calculados es posible evaluar la validez del algoritmo implementado. Los parámetros de desempeño del algoritmo indican que este tiene mayor especificidad que sensibilidad, lo que significa que tiene mayor probabilidad de descartar un paciente que no tiene soplo a acertar cuando un paciente si presenta la patología.

Es importante resaltar que estos porcentajes permiten tener alta precisión a la hora de descartar los soplos cardiacos. Esto con el fin de agilizar el proceso de detección de soplos en una entidad hospitalaria y evitar gastos importantes para la institución. Además de permitir que solo los pacientes con gran posibilidad de tener soplos se sometan a exámenes más especializados.

Un estudio realizado por División de Enfermedades Cardiovasculares de la Pontificia Universidad Católica de Chile en 2012, encontró que un grupo estudiantes del programa de Medicina y residentes de Medicina Interna de primer y segundo año tenían un desempeño del 31% para reconocer ruidos cardiacos. Y después de un programa de entrenamiento de auscultación usando un simulador de ruidos cardiacos, los participantes mejoraron su porcentaje de aciertos hasta 73% en promedio (Baeza, et al., 2012). Al comparar estos resultados con el desempeño del algoritmo

diseñado, se encuentra que el algoritmo tiene un mayor porcentaje de exactitud. Por otro lado, se tiene que un cardiólogo especialista tiene una sensibilidad del 70% y una especificidad del 98%, estos porcentajes son superiores en comparación con los obtenidos por el algoritmo. Sin embargo, como se mencionó en la introducción, el número de cardiólogos es reducida, así como su distribución varía drásticamente en diferentes regiones y niveles económicos del país. Por tanto, un médico general será el encargado de diagnosticar y tratar este tipo de patologías. En consecuencia, la disponibilidad de un algoritmo que apoye su labor permitirá agilizar el proceso de detección de soplos cardíacos en pacientes con síntomas relacionados. Y de esta forma, descartar rápidamente la posibilidad de una ECV como lo es la cardiopatía isquémica.

Como se mencionó anteriormente, los médicos pueden solicitar otros exámenes para evaluar la condición cardíaca del paciente. Una de ellas es la prueba de esfuerzo, la cual presenta una sensibilidad del 67% y una especificidad del 72%. Al compararla con el algoritmo, se encuentra que este tiene una mayor especificidad, y adicionalmente solo requiere como instrumentos un estetoscopio digital y el ordenador del médico, mientras que en la prueba de esfuerzo se requiere un equipo de ECG, así como una banda caminadora o una bicicleta estática para el paciente. Por otro lado, a partir de los cocientes de probabilidad se tiene que es 4.7 veces más probable obtener un resultado positivo en un paciente enfermo (con soplo cardíaco) que, en uno sano, y que es 0.42 veces más probable encontrar un resultado negativo en un paciente enfermo (con soplo cardíaco) que en uno sano.

### 5. Conclusiones

El algoritmo implementado detecta con exactitud de 80.82% a través de la transformada wavelet, si se trata de una señal proveniente de un sujeto sano o de uno que presenta un soplo cardíaco. Sin embargo, el algoritmo aún necesita incrementar los parámetros de rendimiento. Para esto, es posible desarrollar un método de detección de picos más efectivo que permita identificar correctamente los componentes de S2. De esta forma, determinar con mayor exactitud la duración del ciclo cardíaco de cada sujeto, y así, ajustar apropiadamente la ventana.

### 6. Referencias

#### Artículos de revistas

- Arango, A. F. B. (s. f.). *PREVALENCIA DE ANORMALIDADES ESTRUCTURALES CARDIACAS EN PACIENTES*. 38. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/2446/1/598257.2010.pdf>
- Arós, F., Boraita, A., Alegría, E., Alonso, Á. M., Bardají, A., Lamiel, R., ... Wilke, M. (2000). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en pruebas de esfuerzo. *Revista Española de Cardiología*, 53(08), 1063-1094. Recuperado de <http://www.revespcardiolog.org/es/guias-practica-clinica-sociedad-espanola/articulo/10804/>

- Baeza, R., Garayar, B., & Chamorro, G. (2012). Enseñanza de auscultación cardiaca a estudiantes y residentes de medicina mediante el uso de un simulador de ruidos cardiacos. *Revista Española de Cardiología*, 65(12), 1135-1136. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2012.03.022>
- Camacho, J. (s. f.). *Dispositivo para auscultación de ruidos cardiacos*. 81. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/21503/1/Jonathan%20Camacho%20Exiga%20%282%29.pdf>
- Castaño, A. M., T, E. D., Godino, J., & Castellanos, G. (2007). ANÁLISIS ACÚSTICO SOBRE SEÑALES DE AUSCULTACIÓN DIGITAL PARA LA DETECCIÓN DE SOPLOS CARDÍACOS. *Avances en Sistemas e Informática*, 4(3). Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/avances/article/view/9937>
- Chakir, F., Jilbab, A., Nacir, C., & Hammouch, A. (2018). Phonocardiogram signals processing approach for PASCAL Classifying Heart Sounds Challenge. *Signal, Image and Video Processing*, 12(6), 1149-1155. <https://doi.org/10.1007/s11760-018-1261-5>
- Cruz Ortega, H. A., & Calderón Monter, F. X. (2016). El corazón y sus ruidos cardiacos normales y agregados Una somera revisión del tema. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 59(2), 49-55. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=64382>
- Delgado-Trejos, E., Quiceno-Manrique, A. F., Godino-Llorente, J. I., Blanco-Velasco, M., & Castellanos-Dominguez, G. (2009). Digital Auscultation Analysis for Heart Murmur Detection. *Annals of Biomedical Engineering*, 37(2), 337-353. <https://doi.org/10.1007/s10439-008-9611-z>
- Ergen, B., Tatar, Y., & Gulcur, H. O. (2012). Time–frequency analysis of phonocardiogram signals using wavelet transform: A comparative study. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 15(4), 371-381. <https://doi.org/10.1080/10255842.2010.538386>
- Martínez-Vargas, J. D., Avendaño-Valencia, L. D., & Castellanos-Domínguez, G. (2011). Selección de Características 2D en Representaciones Tiempo Frecuencia para la Detección de Soplos Cardíacos. *Tecnológicas*, (26), 47-70. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0123-77992011000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-77992011000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Ministerio de salud. (s. f.-b). *Enfermedades cardiovasculares*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/salud/Paginas/Enfermedades-cardiovasculares.aspx>
- Miranda, D. A. R., & Monsalve, L. C. O. (s. f.). *Aproximaciones a la estimación de la oferta y la demanda de médicos especialistas en Colombia, 2015 - 2030*. 23.
- Pérez, C., Blanco, M., Toledo, D., & Artemo, L. (2003, junio). *Cardiólogos en Colombia*. 10. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v10n6/10n6a7.pdf>
- Pineda, L. F. (2005). *Servicio de Cardiología Pediátrica, Hospital Ramón y Cajal, Madrid*. *lfernandezp@hotmail.com*. 10. Recuperado de [https://www.aepap.org/sites/default/files/exploracion\\_cardiologica.pdf](https://www.aepap.org/sites/default/files/exploracion_cardiologica.pdf)
- Wang, P., Lim, C. S., Chauhan, S., Foo, J. Y. A., & Anantharaman, V. (2007). Phonocardiographic Signal Analysis Method Using a Modified Hidden Markov Model. *Annals of Biomedical Engineering*, 35(3), 367-374. <https://doi.org/10.1007/s10439-006-9232-3>



## Libros

- OMS. (2000). *53a Asamblea Mundial de la Salud: resoluciones y decisiones*. Recuperado de <http://www.who.int/iris/handle/10665/260192>

## Fuentes electrónicas

- 3M™ Littmann. (2018). *Auscultación cardiaca*. Recuperado de <https://multimedia.3m.com/mws/media/1573194O/es-cardiac-auscultation-exam.pdf>
- Fundación española del corazón. (s. f.-a). *CARDIOPATÍA ISQUÉMICA*. Recuperado de <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/enfermedades-cardiovasculares/cardiopatia-isquemica.html>
- G Goodman. (2004). *Phonocardiography*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/phonocardiography>
- Peter Bentley, Glenn Nordehn, Miguel Coimbra, Shie Mannor, & Rita Getz. (s. f.). *Classifying Heart Sounds Challenge*. Recuperado 14 de junio de 2019, de <http://www.peterjbentley.com/heartchallenge/>
- National heart, lung and blood institute. (s. f.-c). *Atherosclerosis*. Recuperado de <https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/espanol/atherosclerosis>
- Observatorio Nacional de Salud. (2013, diciembre 9). *Enfermedad cardiovascular principal causa de muerte en colombia*. Recuperado de [https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Boletines/boletin\\_web\\_ONS/referencias.html](https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Boletines/boletin_web_ONS/referencias.html)
- OMS. (2017, mayo 17). *Enfermedades cardiovasculares*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-cvds>
- Organización Mundial de la Salud, O. P. de la S. (s. f.). *COLOMBIA: PERFIL DE ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES*. Recuperado de <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2014/COLOMBIA-PERFIL-ECV-2014.pdf>

## Sobre los autores

- **Mateo Lozano Hoyos:** Estudiante de ingeniería Biomédica, de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito y la Universidad del rosario. [mateo.lozano@mail.escuelaing.edu.co](mailto:mateo.lozano@mail.escuelaing.edu.co)
- **María Camila Bustos Vivas:** Estudiante de ingeniería Biomédica, de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito y la Universidad del rosario. [maria.bustos@mail.escuelaing.edu.co](mailto:maria.bustos@mail.escuelaing.edu.co)
- **Juan Manuel López:** Ing. Electrónico, Magister en Ingeniería. Área: Electrónica y de Computadores, Doctor en Ingeniería, Profesor Asistente del Programa de Ingeniería Biomédica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. [juan.lopezl@escuelaing.edu.co](mailto:juan.lopezl@escuelaing.edu.co).

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)