



ROBÓTICA DE ASISTENCIA SOCIAL EN TERAPIAS DE REHABILITACIÓN CARDIACA

Juan Sebastián Lara Ramírez, Jonathan Alejandro Casas Bocanegra, Marcela Cristina Múnera Ramírez, Andrés Felipe Aguirre Fajardo, Carlos Andrés Cifuentes García

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

Mónica Rincón Roncancio, Luisa Fernanda Gutiérrez Carvajalino

**Fundación Cardio-Infantil, Instituto de Cardiología
Bogotá, Colombia**

Resumen

Las enfermedades cardiovasculares (ECVs) son la principal causa de muerte en el mundo, así mismo, dentro de los múltiples tratamientos tanto en prevención primaria como secundaria se encuentran los programas de rehabilitación cardiaca (RC). Este tipo de rehabilitación está basado en dos pilares fundamentales: la educación de factores de riesgo y en una serie de ejercicios o actividades físicas que buscan recobrar una óptima calidad de vida del paciente. No obstante, en la actualidad la RC cuenta con dos problemas fundamentales: el primero está relacionado al hecho de que las ECVs son un tipo de enfermedad con un alta prevalencia en el mundo, por lo cual, hay una gran demanda de este tipo de servicios, y la necesidad de sitios idóneos con el recurso humano y tecnológico para dar una atención con seguridad y calidad, lo cual empeorará en los próximos años; el segundo problema radica en que no todos los pacientes que han sufrido alguna ECV están vinculados activamente en programas de RC, lo cual sugiere que la RC es un proceso con el que los pacientes no tienen una buena adherencia. Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se muestra una novedosa propuesta en la que se busca integrar un robot de asistencia social en este tipo de programas, proponiendo así, un nuevo tipo de terapia alternativa coadyuvante basada en robótica de asistencia social, con lo que se busca medir el desempeño del paciente y motivarlo durante las sesiones de RC.

Palabras clave: rehabilitación cardíaca; robótica de asistencia social; interfaz multimodal

Abstract

Cardiovascular Diseases (CVDs) are the leading cause of death in the world, likewise, cardiac rehabilitation (CR) is commonly used to prevent CVDs or to treat a patient post a CVD event. CR is related to education in risk factors and physical activities or exercises that aim to recover an optimal daily living. However, nowadays CR has two main issues: the first one is the high demand of CR services, currently, there is a higher demand and the need for appropriate institutions with the human and technological resources to give attention with safety and quality, the problem which will worsen in the coming years; the second one is the low percentage of active patients in a CR program, i.e. not all patients who had a CVD are enrolled or actively continue with the CR program, which suggests that patients have a low adherence to CR programs. Taking into account the aforementioned. In this work, a novel proposal which aims to integrate a socially robot in CR scenarios is presented. This proposal presents a therapy based on socially assistive robotics in order to measure the patient's performance and motivate the patient during CR therapies.

Keywords: cardiac rehabilitation; socially assistive robotics; multimodal interface

1. Introducción

El término enfermedad cardiovascular (ECV), hace referencia a condiciones que involucran vasos sanguíneos estrechos o bloqueados que puedan conllevar a un ataque al corazón (Mayo Clinic, 2017). Acorde a la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2017), alrededor de 17.5 millones de personas mueren cada año debido a una ECV, un estimado equivalente al 31% de las muertes a nivel mundial. De igual forma, más del 75% de las muertes producto de una ECV ocurren en países de ingresos bajos y medios, y alrededor del 80% de las muertes por ECVs son una consecuencia de ataques al corazón y cerebrovasculares (World Health Organization, 2017).

La rehabilitación cardíaca (RC), es considerada una herramienta para mejorar la calidad de vida de pacientes que han sufrido una ECV, además, es usada como una estrategia de prevención. La RC cubre distintas áreas de la salud como: la nutrición, manejo del peso, evaluación y tratamiento de la depresión, sesiones de actividad física y ejercicio, educación para la salud, tratamientos médicos, entre otras (Kraus et al., 2007). De igual forma, la RC es necesaria cuando un paciente ha sufrido al menos uno de los siguientes incidentes cardíacos en los últimos 12 meses: infarto agudo de miocardio, trasplante de pulmón o de corazón, reparación de válvula cardíaca, intervención coronaria percutánea, cirugía de bypass, insuficiencia cardíaca, síncope neurocardiogénico, arritmias cardíacas de bajo grado, entre otras.

La RC generalmente se relaciona con ejercicio y actividad física, buscando mejorar la capacidad funcional a nivel físico y mental de un paciente con el fin de recuperar un óptimo diario vivir. Este tipo de actividades son desarrolladas ya que proveen estabilidad y normalización en algunos parámetros fisiológicos como el gasto cardiaco, la frecuencia cardiaca, y reducción en la presión sanguínea (Myers, 2003).

Aunque las bases de la RC son comunes, los programas y la estructura varía en dependencia del país, con respecto a Colombia, la Fundación Cardio-Infantil Instituto de Cardiología implementa un protocolo que se basa en tres fases: **Fase I** u hospitalización, esta fase comienza después de que ocurrió un evento cardiovascular, el comienzo se da cuando el paciente está hemodinámicamente estable, de igual forma, en esta fase el paciente debe realizar una actividad física de baja intensidad y recibir educación de la modificación de factores de riesgo cardiovascular permitiendo prevenir cualquier riesgo o complicación. **Fase II**, esta fase comienza inmediatamente después de que el paciente deja el hospital, dura aproximadamente 3 meses y consiste en sesiones semanales (3 veces por semana), en esta fase también se incluye un programa de educación que incluye factores de riesgo, hábitos saludables, adhesión al tratamiento, motivación y control del ejercicio. **Fase III**, esta fase tiene una duración media de 9 meses con una o dos sesiones por semana, el objetivo es mejorar la información y los hábitos que fueron adquiridos durante la fase II, sin embargo, la mayor dificultad está en asegurar la permanencia del paciente en el programa.

Al igual que otros tipos de rehabilitación, la RC tiene la necesidad de evaluar y controlar el estado y el progreso de un paciente durante las sesiones, esto se consigue al evaluar los tres siguientes aspectos:

- **Parámetros cardiopulmonares:** Hace referencia a parámetros fisiológicos significantes como el consumo máximo de oxígeno, tasa máxima de trabajo, tasa máxima de ventilación, frecuencia cardiaca máxima, ritmo cardiaco, variabilidad cardiaca y la continua evaluación del ritmo cardiaco con el fin de evaluar si hay alguna complicación en el sistema cardiopulmonar (Magagnin et al., 2007).
- **Parámetros espaciotemporales:** Estos parámetros hacen referencia al estudio del desempeño biomecánico del paciente durante determinada actividad física. Sin embargo, la evaluación depende del tipo de equipo que se use para el ejercicio (bandas sin fin, cicloergómetros, escaleras, entre otros).
- **Parámetros de dificultad de la actividad física:** Evalúan la dificultad de un ejercicio, se puede estimar por medio de cuestionarios o interpretaciones cualitativas, por ejemplo, la escala de Borg o el esfuerzo percibido es una forma de estimar el nivel de intensidad de una actividad física (Centers for Disease Control and Prevention, 2017).

Teniendo en cuenta que la RC es indispensable en pacientes que sufrieron alguna ECV y sus respectivas cifras de mortalidad, se presenta una consecuencia negativa como la alta demanda de servicios de RC, tanto así, que actualmente la demanda de

RC es mayor a los servicios que pueden proveer las instituciones prestadoras de salud. Por ejemplo, un estudio realizado en Estados Unidos (Pack et al., 2014), concluyó que, aunque los programas de rehabilitación cardíaca consiguieran una expansión sustancial, aún habría una capacidad insuficiente para tratar a todos los pacientes potenciales que necesiten este servicio, de igual forma, en este estudio se recomienda la creación de nuevos programas de RC alternativos. Adicionalmente, no todos los pacientes que han tenido una ECV, están vinculados activamente a programas de RC, por ejemplo, un estudio desarrollado en Inglaterra (Bethell et al., 2001), mostró que sólo entre el 14% y el 23% de pacientes que han sufrido un infarto, continúan activamente con el programa.

Una posible solución a esta problemática es la Robótica de Asistencia Social (RAS), la cual se puede definir como robots que asisten y proveen soporte a un paciente por medio de interacción social, el principal objetivo de la RAS es desarrollar interacciones cercanas y afectivas con el paciente con el fin de proveer asistencia y adquirir mediciones del progreso de distintos procesos como la rehabilitación, el aprendizaje, la convalecencia, entre otros (Feil-Seifer et al., 2005). Con respecto a la temática mencionada, por una parte, la RAS al hacer parte de la robótica provee herramientas interesantes como lo son el control, la automatización, el monitoreo y la toma de decisiones; es por ello que la RAS tiene un gran potencial en RC, ya que, podría incrementar la adherencia por parte de los pacientes haciendo uso de las herramientas mencionadas. De igual manera, es probable que la RAS pueda aumentar el porcentaje de pacientes activos en un programa de RC, ya que la RAS hace uso de la cognición humana para interactuar con un paciente, generando así un vínculo afectivo y un mayor compromiso con su Rehabilitación. Cabe resaltar que esto no deja de ser una hipótesis, ya que hasta el momento no hay mucha evidencia clínica que demuestre estos efectos, sin embargo, el objetivo de este proyecto es determinar y evaluar los beneficios que se podrían obtener al integrar la RAS en los programas de RC.

2. Met

3. odología

Teniendo en cuenta los problemas de la RC mencionados anteriormente, se propone la integración de un robot social en terapias de RC de pacientes que se encuentren en las fases II o III en la Fundación Cardio-Infantil (Bogotá, Colombia), para ello, es necesario definir una interfaz multimodal sensorial basada en los 3 aspectos principales en una terapia de RC:

- **Parámetros Cardiopulmonares:** Se tienen en cuenta variables fisiológicas como el ritmo cardíaco máximo, variabilidad cardíaca, evolución del ritmo cardíaco a lo largo de la sesión, saturación de oxígeno y tensión sanguínea. Estas variables se estiman por medio de tres distintos sensores: en primer lugar, está el sensor Zephyr HxM, el cual es un sensor que permite monitorear el ritmo cardíaco inalámbricamente y en tiempo real; en segundo lugar, está el tensiómetro BC85, el cual permite estimar la tensión sanguínea de forma

inalámbrica; por último, está el pulsímetro PO60, el cual permite estimar la saturación de oxígeno (SpO2) de forma inalámbrica.

- **Parámetros espaciotemporales:** Para este caso, se hará un análisis biomecánico de la marcha, ya que en la Fundación Cardio-Infantil, las terapias de RC están basadas en actividad física sobre una banda sin fin. Dado lo anterior, se hace uso de un telémetro láser (LRF) como el sensor Hokuyo-URG y a partir de la señal obtenida, se estiman tres parámetros principales que permiten caracterizar la marcha del paciente: longitud de paso, cadencia y velocidad lineal del paciente.
- **Parámetros de dificultad de la actividad física:** Se tienen en cuenta dos aspectos, por un lado, se encuentra la evaluación estándar o real de la actividad física, este parámetro evalúa factores en la banda sin fin que permitan determinar la intensidad del ejercicio, a nivel clínico, esta evaluación se realiza en base a dos parámetros de la banda sin fin: por un lado, está la evaluación estándar o real de la dificultad, la cual se estima por medio de medidas de la velocidad e inclinación de la banda, en este caso, la velocidad se estima por medio del telémetro láser y la inclinación se estima haciendo uso de una Unidad de Medida Inercial (IMU); por otro lado, está la evaluación de la percepción que tiene un paciente de la dificultad de la actividad física, la cual se registra por medio de la escala de Borg de fatiga.

En base a lo anterior, en la Figura 1 se muestra la instrumentación del paciente, teniendo en cuenta los distintos sensores propuestos.

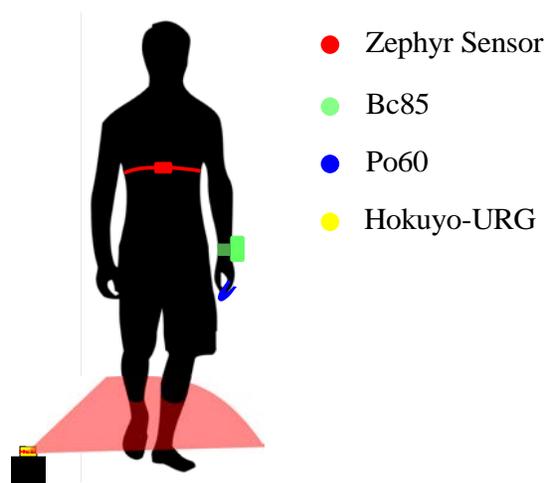


Figura 1. Instrumentación del paciente tomando como base: un monitor de ritmo cardiaco (Zephyr Sensor), un tensiómetro digital (Bc85), un pulsóximetro (Po60) y un telémetro láser (Hokuyo-URG).

De igual forma, en la Figura 2, se muestra la instrumentación necesaria en la banda sin fin y se tienen en cuenta las distintas interacciones tanto con el robot social como con el terapeuta. Se muestra que sobre la banda sin fin se encuentran los sensores IMU y LRF, por una parte, la IMU se posiciona de tal forma que uno de sus ejes de rotación coincida con el principal eje de rotación de la banda sin fin, con esto, la medición de dicho grado de libertad corresponderá a la inclinación de la banda sin fin; por otra parte, el sensor LRF se posiciona de tal forma que el haz emitido coincida con

las dos piernas del paciente aproximadamente a 30cm sobre el suelo, tal y como se muestra en la Figura 1.

El sistema también cuenta con una interfaz gráfica de usuario (GUI), por medio de la cual el paciente puede controlar el flujo de la terapia, ingresar la escala de Borg, registrarse, visualizar los datos en tiempo real, indicar si hay alguna emergencia (fatiga, dolor o mareo) e interactuar con el robot social NAO.

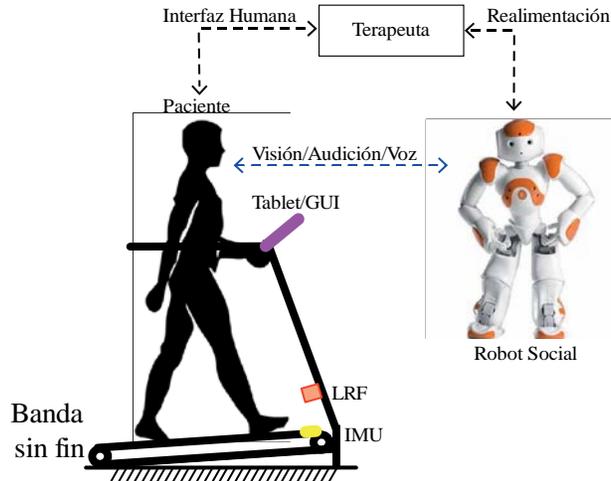


Figura 2. Instrumentación de la banda sin fin e interacciones que tienen el paciente, el terapeuta y el robot social.

4. Resultados Preliminares

En la Figura 3 se puede observar la instrumentación de un paciente con las especificaciones que se mostraron en la Figura 1 y en la Figura 2, así mismo, la forma en la que se diseñó el sistema permite que el paciente realice actividades físicas sin ninguna dificultad.

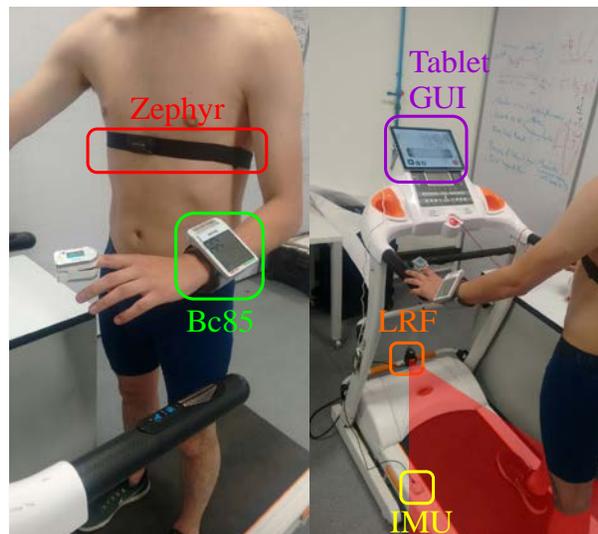


Figura 3. Instrumentación del paciente y de la caminadora.

Los datos provenientes de los sensores se pueden visualizar en tiempo real en la interfaz gráfica de usuario, de igual forma, el robot social hace uso de dicha información para realimentar al paciente, de forma similar a lo mostrado en la Figura 4.

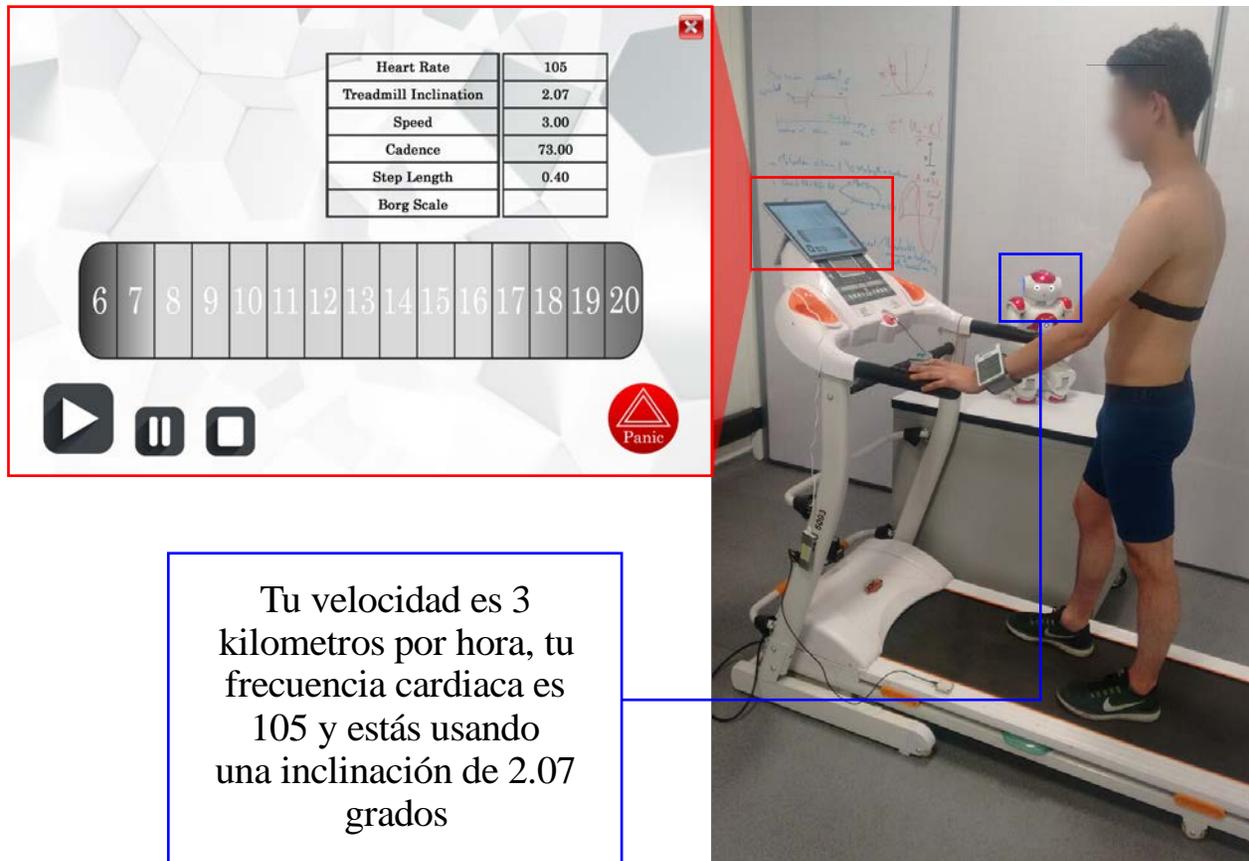


Figura 4. Datos en la interfaz gráfica y mensaje mostrado por el robot social NAO.

Por último, actualmente se están realizando pruebas de usabilidad y validación de los distintos parámetros medidos por el sistema en la Fundación Cardio-Infantil, se están probando y evaluando distintos comportamientos, arquitecturas de memoria y aprendizaje como inteligencia artificial del robot social.

5. Trabajos Futuros

La interfaz sensorial multimodal desarrollada permite estimar los tres parámetros fundamentales en rehabilitación cardiaca, sin embargo, hasta el momento, aún no se ha desarrollado por completo el módulo de inteligencia del robot, es decir, los comportamientos actuales del robot aún son muy primitivos, motivo por el cual es necesario desarrollar e implementar diferentes algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial para asegurar una mejor interacción y comprensión entre el robot y el paciente. Actualmente se está trabajando en una red de reconocimiento basada en redes bayesianas, esto con el fin de conseguir que el robot reconozca al paciente al verlo entre las sesiones, así mismo, se están probando distintas frases que

puede usar el robot social para motivar al paciente. De igual forma, hasta el momento el proyecto aún está en la etapa de desarrollo y no hay pruebas o evidencia clínica contundente. Sin embargo, una vez el sistema esté completamente terminado, se realizarán pruebas con pacientes que hacen parte del programa de rehabilitación cardiaca de la Fundación Cardio-Infantil Instituto de Cardiología

6. Agradecimientos

Este trabajo es financiado por el proyecto "Industry Academia Partnership Programme Colombia-UK, Royal Academy of Engineering (IAPP/1516/137)" y por un proyecto de colaboración entre la Escuela Colombiana de Ingeniería y la Fundación Cardio-Infantil "Evaluación del impacto de la intervención de un robot social en las respuestas cardiovasculares de los pacientes del programa de Rehabilitación Cardiaca de la Fundación Cardio-Infantil Instituto de Cardiología".

7. Referencias

Artículos de revistas

- Bethell, J., Turner, S., Evans, J., & Rose, L. (2001). Cardiac rehabilitation in the United Kingdom. How complete is the provision?
- Myers, J. (2003). Exercise and cardiovascular health. *Circulation*, 107(1), e2–e5
- Pack, Q. R., Squires, R. W., Lopez-Jimenez, F., Lichtman, S. W., Rodriguez-Escudero, J. P., Zysek, V. N., & Thomas, R. J. (2014). The current and potential capacity for cardiac rehabilitation utilization in the United States. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 34(5), 318–26.

Libros

- Kraus, W., & Keteyian, S. (2007). *Cardiac Rehabilitation*. Totowa, N. J: Humana Press.

Memorias de congresos

- Feil-Seifer, D., & Mataric, M. J. (2005). Defining socially assistive robotics. *Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005(Ci)*, 465–468.
- Magagnin, V., Caiani, A., Cazzaniga, A., Porta, A., Licari, V., Molteni, F., & Cerutti, S. (2007). Cardiac Response to Robotic Assisted Locomotion in Normal Subjects: A Preliminary Study. *29th Annual International Conference of the IEEE EMBS Cité Internationale*, 5039–5042.

Fuentes electrónicas

- Centers for Disease Control and Prevention. (2017). Perceived Exertion (Borg Rating of Perceived Exertion Scale). Retrieved from <https://www.cdc.gov/physicalactivity/basics/measuring/exertion.htm>
- Mayo Clinic. (2017). Heart Disease. Retrieved from <http://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/heart-disease/basics/definition/con-20034056>
- World Health Organization. (2017). Cardiovascular Disease. Retrieved from http://www.who.int/cardiovascular_diseases/en/

Sobre los autores

- **Juan Sebastián Lara Ramírez:** Ingeniero Biomédico. Joven Investigador Colciencias. juan.lara@escuelainq.edu.co
- **Jonathan Alejandro Casas Bocanegra:** Ingeniero Electrónico, Ingeniero Industrial. Asistente de Investigación de la Facultad de Ingeniería Biomédica. jonathan.casas@escuelainq.edu.co
- **Marcela Cristina Múnera Ramírez:** Bioingeniería, Master en Ingeniería Mecánica, Doctora en Mecánica y Biomecánica de la Universidad de Reims Champagne-Ardenne, Francia. Profesora del programa de Ingeniería Biomédica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. marcela.munera@escuelainq.edu.co
- **Andrés Felipe Aguirre Fajardo:** Ingeniero Biomédico. Asistente de Investigación de la Facultad de Ingeniería Biomédica. andres.aguirre@escuelainq.edu.co
- **Mónica Rincón Roncancio:** Médica Especialista en Medicina Física y Rehabilitación y Magister en Bioética, Filosofía y Fisiología, Directora del servicio Rehabilitación, Fundación Cardioinfantil-Instituto de Cardiología mrinron@hotmail.com
- **Luisa Fernanda Gutiérrez Carvajalino:** Médica Especialista en Medicina Física y Rehabilitación. Servicio de Rehabilitación, Fundación Cardioinfantil-Instituto de Cardiología. luisis81@yahoo.com
- **Carlos Andrés Cifuentes García:** Ingeniero Electrónico, Master en Ingeniería Biomédica, Doctor en Ingeniería Eléctrica de Universidade Federal do Espírito Santo Vitória, Brasil. Profesor del programa de Ingeniería Biomédica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y profesor visitante en la Universidade Federal do Espírito Santo Vitória, Brasil. carlos.cifuentes@escuelainq.edu.co

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

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)