



Diseño de un sistema de procesamiento y caracterización de potenciales ECG para la clasificación de arritmias cardiacas, mediante el uso de técnicas de aprendizaje automático supervisadas

Hermes Andrés Ayala Cucas

Edison Alexander Mora Piscal

Estudiantes del Programa de Ingeniería Mecatrónica

Universidad Mariana

Dagoberto Mayorca Torres

Asesor y Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica

Universidad Mariana

Angie Ximena Ortiz-Chamorro

Estudiante de Maestría en Epidemiología

Universidad Mariana

Resumen

Uno de los principales propósitos de la formación como ingenieros mecatrónicos es atender las necesidades y problemáticas de la sociedad, apoyados en las áreas de las ciencias computacionales. Esta nota describe los avances preliminares del diseño del *proyecto Sistema de procesamiento y caracterización de potenciales ECG, con el fin de clasificar arritmias cardiacas mediante uso de técnicas de aprendizaje automático supervisadas*, un sistema que permite monitorear y brindar señales de alarma ante situaciones de 8 tipos de arritmias cardiacas.

Introducción

Las enfermedades cardiovasculares son un punto bastante extenso para afecciones relacionadas con el corazón. Estas patologías se generan por dificultades en el ritmo cardiaco, las cuales se las conoce como arritmias cardiacas. En este documento se describe el desarrollo de un sistema de procesamiento y caracterización de potenciales ECG, que busca proporcionar información útil acerca del estado del ritmo cardiaco (arritmias cardiacas) a un personal cualificado, para que ellos estén en la capacidad de brindar un diagnóstico y así mejorar el estado de salud del paciente, realizar el seguimiento y control de estas patologías.

Fundamentos para el desarrollo del proyecto

Las afecciones cardiovasculares son unas de las principales causas de muerte en el mundo, según la Organización Mundial de la Salud, y establece que las enfermedades cardiovasculares afectan en mayor medida a países de ingresos bajos y medianos, registrando 17,5 millones de muertes por esta causa en el año 2012; asimismo, establece las principales causas de enfermedad vascular, entre ellas: el consumo de tabaco, la falta de actividad física y una alimentación poco saludable (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

De la misma manera, en Colombia, “la enfermedad isquémica cardíaca, el accidente cerebro vascular, la diabetes y la enfermedad hipertensiva ocupan los puestos 1°, 3°, 8° y 9° dentro de las diez principales causas de mortalidad en Colombia” (Ministerio de Salud, s.f., párr. 3).

La electrocardiografía (ECG) es una técnica que permite obtener un análisis de la actividad eléctrica del corazón. Muchos estudios se han enfocado en la implementación de algoritmos capaces de detectar, procesar y clasificar señales electrocardiográficas, con el fin de comprender ciertas anomalías del corazón. De acuerdo con lo anterior, en esta idea de investigación se tiene en cuenta el diseño de algoritmos para el procesamiento de señales ECG, que facilita la clasificación y diagnóstico de anomalías cardíacas, siendo capaz de entregar señales de alerta ante 8 anomalías, dentro de las que se encuentran: fibrilación, latido anormal, latido prematuro, bradicardia, taquicardia, aceleración y desaceleración del ritmo cardíaco.

Los resultados de este estudio pueden tener un impacto significativo en el ámbito clínico, dado que se podría monitorear la actividad eléctrica del corazón y generar señales de alarma ante situaciones de arritmias cardíacas peligrosas, a través del análisis del complejo QRS latido a latido. Por lo tanto, se planteó la siguiente pregunta: ¿cómo construir un sistema de procesamiento y caracterización a bajo costo que permita detectar, analizar y clasificar de forma fiable arritmias cardíacas a partir de señales ECG?

Sistemas de procesamiento y caracterización de potenciales ECG, existentes o patentados

Teniendo en cuenta el desarrollo de este proyecto, se consideró principalmente los estudios que se mencionan a continuación.

En primer lugar, el trabajo final de grado denominado *Análisis de señales electrocardiográficas usando técnicas de procesamiento digital* presentado por José Lorenzo Romero, el cual brinda un resumen de las principales técnicas de análisis de las señales ECG. Además, proporciona un análisis del comportamiento de las muestras digitalizadas (Romero, 2015).

También se encuentra el proyecto integrador *Procesamiento de señales de electrocardiografía en equipos portables mediante estrategias de inteligencia artificial* presentado por Marcos Matías Álvarez, donde se desarrolló un sistema inteligente de adquisición y procesamiento local. Se presenta el algoritmo diseñado y las características que posee, cabe destacar que se usa inteligencia artificial, en este caso máquina de vectores de soportes de una clase, con el propósito de obtener una clasificación de los latidos anormales, usando la base de datos MIT-BIH (Álvarez, 2016). Otro trabajo importante es el proyecto técnico con enfoque investigativo denominado *Análisis y procesamiento de la señal auscultada del corazón para el diagnóstico presuntivo de soplos cardíacos y arritmia cardíaca* presentado por Andrea Estefanía García Cedeño, en el cual se realizó un análisis de señales del corazón, para ello se localizó el ciclo cardíaco y se aplicó las técnicas para determinar la evaluación del funcionamiento del corazón (García, 2017).

Finalmente, la tesis denominada *Clasificación automática de latidos de un electrocardiograma utilizando aprendizaje profundo* presentada por Carlos Andrés Villagrán Fuentes. En este trabajo se abordó la problemática mediante aprendizaje profundo, se utilizó la base de datos de arritmias MIT-BIH y se realizó un procesamiento de los datos e implementó 4 arquitecturas de redes neuronales convolucionales con distintas profundidades, para lo cual se utilizó Python y Tensorflow (Villagrán, 2017).

Otros proyectos similares realizados

A continuación, se describe estudios relacionados con técnicas de aprendizaje automático supervisadas y enfocadas en las etapas de análisis y caracterización de señales ECG. En este sentido, se ha aplicado técnicas de Deep Learning e implementado una red neuronal con propagación hacia atrás, demostrando que es eficiente para la detección de arritmias cardíacas (Isin y Ozdalili, 2017).

De la misma manera, se ha desarrollado redes neuronales convolucionales profundas (CNN) para identificar de manera automática categorías diferentes de latidos en las señales de ECG. El experimento se basó en tomar unas señales de una base de datos y aumentarlas artificialmente, añadiendo ruido de alta frecuencia. Los algoritmos alcanzaron una precisión del 94,03 % y del 93,47 % en la clasificación diagnóstica de los latidos del corazón en los ECG originales y sin ruido. Los resultados para la caracterización y clasificación de arritmias cardíacas fueron satisfactorios.

Un estudio realizado por Sannino y de Pietro (2018) obtuvo una precisión superior al 97 % de predicción, se aplicó una Red Neuronal Profunda (Deep Neural Network, DNN).

La investigación *Detección automática de complejos QRS utilizando red neuronal convolucional de dos niveles* planteó la segmentación de latidos ECG, mediante una transformada Wavelet discreta (DWT) y la clasificación se realizó con el algoritmo kNN (k-Nearest Neighbor). Los resultados de clasificación obtenidos son del 98,71 %, siendo este un resultado superior en relación con otras investigaciones detalladas dentro del estudio (Xiang et al., 2018).

Como conclusión, algunos sistemas mencionados realizan una clasificación de arritmias cardíacas basados en el complejo QRS y sobre el funcionamiento de un corazón sano. Por otro lado, existen algunas técnicas mejor valoradas, a través de técnicas de aprendizaje automático supervisadas, motivo por el cual en este proyecto se decide usar estas técnicas. Además, con este proyecto se pretende generar señales de alarma ante situaciones de arritmias cardíacas peligrosas. Este sistema contará con un análisis del

complejo QRS latido a latido, que permitirá monitorear y mejorar los tratamientos para enfermedades del corazón.

Diseño del sistema

En esta sección se describe la metodología empleada para el diseño, que se dividió en etapas, así: planteamiento de necesidades, definición de los requerimientos funcionales, modelo de descomposición funcional y análisis de subfunciones.

Planteamiento de necesidades

Inicialmente se hizo una revisión del estado del arte de sistemas para el procesamiento y caracterización de arritmias cardíacas, a través de los potenciales ECG. De esta manera se planteó los requerimientos, definidos en la Tabla 1.

Tabla 1

Categorización de necesidades

Requerimiento	Redacción de necesidades
Clasificar y generar un diagnóstico de anomalías cardíacas	Tiene la capacidad de aprender mediante los modelos presentados en el algoritmo aplicado, a través de las técnicas de aprendizaje automático supervisadas
Generar alertas visuales y auditivas	Debe generar alertas visuales y auditivas para indicar el momento en el que se detecta una anomalía en la señal ECG
Clasificar 8 tipos de arritmias	El algoritmo debe clasificar los 8 tipos de arritmia cardíaca
Disponibilidad de la información sobre la señal analizada previamente	Dispone de una base de datos para el monitoreo y seguimiento de las señales analizadas
Sistema de procesamiento liviano	El diseño es asequible para su respectivo uso en dispositivos con reducida capacidad de memoria
Sistema fácil de usar y visualizar los resultados	El diseño del sistema contará con una plataforma digital fácil de usar

Especificaciones del proyecto

Posterior a la investigación sobre artículos relacionados con este proyecto de investigación y con las técnicas a usar para la respectiva caracterización y clasificación de la señal ECG, con el fin de determinar el tipo de arritmia cardíaca que padece el paciente, se procedió a elaborar una lista de requerimientos que satisfagan las necesidades del paciente y del personal médico, así:

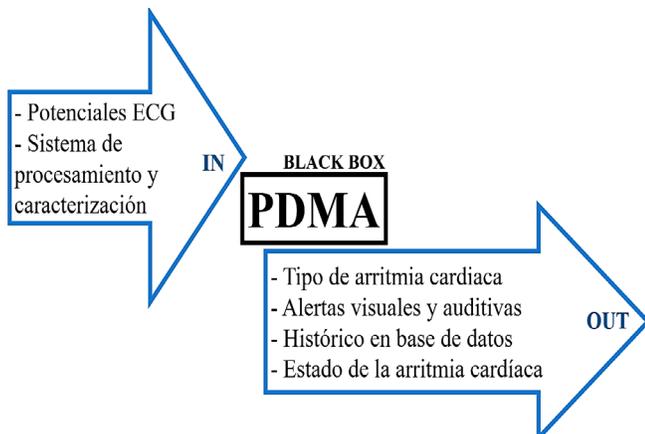
- Determinar el correcto funcionamiento del sistema de procesamiento y caracterización desarrollado.
- Determinar el tipo de arritmia cardíaca que padece el paciente.
- Predecir información sobre el estado de la arritmia cardíaca.
- Generar alertas visuales y auditivas.
- Llevar el historial del análisis de la señal ECG.

Modelo de descomposición funcional

Teniendo en cuenta el planteamiento de necesidades y las especificaciones del proyecto, se representa el problema como una caja negra, donde se identificó las variables de entrada y salida.

Figura 1

Caja negra

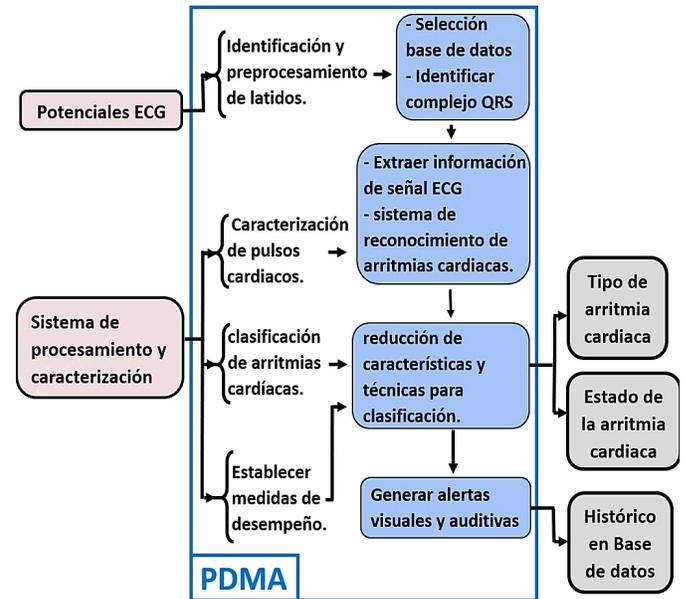


Subfunciones generadas

Conforme a lo anterior, se dividió la caja negra en subfunciones, con el fin de identificar en detalle lo que debería hacer cada elemento del proyecto para alcanzar un correcto funcionamiento.

Figura 2

Subfunciones caja negra



Análisis de subfunciones

El objetivo fue encontrar soluciones a la función general ocupándose de cada subfunción (ver Tabla 2).

Tabla 2

Solución de identificación y preprocesamiento de latidos

Conceptos generados	Soluciones
Etapa de identificación donde se selecciona una fuente para la adquisición de la señal	La fuente debe ser validada y tener un nivel de fiabilidad aceptable
Etapa de preprocesamiento de señal ECG adquirida	El preprocesamiento de la señal se hace con el fin de identificar el complejo QRS
Uso de filtros de ruido	El uso de filtros puede ser en el dominio espacial o frecuencial, con el fin de obtener una señal más limpia

Tabla 3

Solución a caracterización de pulsos cardíacos

Conceptos generados	Soluciones
Se extrae la información con mayor poder discriminante de la señal ECG y se realiza la extracción de características	Con el fin de determinar el ritmo cardíaco, las contracciones auriculares prematuras (ABP) y forma del complejo QRS

Tabla 4

Solución a clasificación de arritmias cardíacas

Conceptos generados	Soluciones
Identificación de algoritmos más relevantes para reducción de características y técnicas para la clasificación	Uso de algoritmos (Best First, PCA). Para la clasificación, uso de algoritmos desde enfoques de Machine learning y Deep learning

Tabla 5

Establecer medidas de desempeño

Conceptos generados	Soluciones
Con el fin de evaluar el desempeño de los algoritmos, verificar el cumplimiento de los objetivos	Uso de métricas: - Sensibilidad - Especificidad - Porcentaje de clasificación

Tabla 6

Sistema de alertas

Generar alertas visuales y auditivas	
Conceptos generados	Soluciones
El sistema debe generar alertas visuales y auditivas que indiquen al usuario el momento en el que el paciente está padeciendo una arritmia cardíaca	Envío de una alerta al sistema con una imagen y sonido predefinido

Tabla 7

Solución en cuanto a selección de base de datos e identificar del complejo QRS

Conceptos generados	Soluciones
La selección de la base de datos debe ser validada y poseer un nivel de fiabilidad aceptable	Para la selección de base de datos se optó por arritmias del MIT-BIH
Para identificar el complejo QRS se establece técnicas para su preprocesamiento	Con respecto a la identificación del complejo QRS, se usó técnicas como derivación discreta de la señal y uso de umbrales de la segmentación

Tabla 8*Determinación de técnicas para la caracterización de la señal ECG*

- Extraer información de señal ECG - Sistema de reconocimiento de arritmias cardíacas	
Conceptos generados	Soluciones
La extracción de características depende en gran medida del desempeño del sistema de reconocimiento de arritmias cardíacas	<p>Con respecto a la caracterización de la señal, se usa las siguientes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - variabilidad de la frecuencia cardíaca (HVR) - prematuridad - morfología

Tabla 9*Solución para reducción de características y técnicas para clasificación*

Conceptos generados	Soluciones
<p>Para cumplir con las métricas planteadas se propone el uso de algoritmos (Best First, PCA).</p> <p>En cuanto a la clasificación, se encuentra el uso de técnicas desde enfoques de Machine learning y Deep learning</p>	<p>Se enfocó en los algoritmos de Machine learning con algunas técnicas presentes en aprendizaje automático supervisado, entre las cuales se encuentra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Support Vector Machine (SVM) - k – Nearest Neighbor (k-NN) - Perceptrón Multicapa - Decision Tree

Estado actual del proyecto

Se realizó las actividades planteadas en el cronograma, la revisión bibliográfica; posteriormente, se identificó la base de datos ECG en la plataforma MIT-BIH. Además, se está trabajando en la etapa de selección de criterios de diseño y técnicas de procesamiento basadas en aprendizaje automático supervisado.

Se proyecta obtener un sistema mecatrónico de bajo costo computacional, que permita seleccionar, filtrar, procesar, clasificar y predecir información útil sobre el estado de la arritmia cardíaca, en un lapso corto de tiempo, además, servirá como soporte para el diagnóstico médico.



Referencias

- Álvarez, M. (2016). *Procesamiento de señales de electrocardiografía en equipos portables mediante estrategias de inteligencia artificial* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Córdoba]. Repositorio Digital UNC. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/4316>
- García, A. (2017). *Análisis y procesamiento de la señal auscultada del corazón para el diagnóstico presuntivo de soplos cardiacos y arritmia cardíaca* [tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca]. Repositorio Institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14152>
- Isin, A. & Ozdalili, S. (2017). Cardiac arrhythmia detection using deep learning. *Procedia Computer Science*, 120, 268–275. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.238>
- Ministerio de Salud. (s.f.). Enfermedades cardiovasculares. <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PENT/Paginas/enfermedades-cardiovasculares.aspx>
- Organización Mundial de la Salud. (2017). Enfermedades cardiovasculares. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- Romero, J. (2015). *Análisis de Señales Electrocardiográficas usando técnicas de procesamiento digital* [tesis de pregrado, Universidad Oberta de Catalunya]. Archivo Digital. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/02/bitstream/10609/40186/6/jlorenzoroTFC0115memoria.pdf>
- Sannino, G. & De Pietro, G. (2018). A deep learning approach for ECG-based heartbeat classification for arrhythmia detection. *Future Generation Computer Systems*, 86, 446–455. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.057>
- Villagrán, C. (2017). *Clasificación automática de latidos de un electrocardiograma utilizando aprendizaje profundo* [tesis de maestría, Universidad de Concepción]. Repositorio Dspace. <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/2541>
- Xiang, Y., Lin, Z. & Meng, J. (2018). Automatic QRS complex detection using two-level convolutional neural network. *BioMedical Engineering Online*, 17(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0441-4>