

ASISTENTE COMPUTACIONAL INTERACTIVO DE CARDIÓLOGOS PARA DETECCIÓN TEMPRANA DE ANOMALÍAS EN MORFOLOGÍA DE LATIDOS MEDIANTE LA REPRESENTACIÓN COMPACTA DE UN ECG DE 12 DERIVADAS

Evguenii Kourmychev^a, Deysy Galeana-Pérez^b,

Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Lagos, Lagos de Moreno, Jalisco,
^aevguenii.kourmychev@academicos.udg.mx, ^adeysy.galeana@lagos.udg.mx

RESUMEN

La elevada mortalidad de personas a causa de enfermedades cardiovasculares (ECV) reportada por OMS, evidencia la necesidad de herramientas computarizadas como asistente de un cardiólogo. Presentamos una serie de algoritmos y software que convierte un electrocardiograma (ECG) de mediana y larga duración en una representación compacta por latidos apilados, extrayendo y visualizando sus características básicas. Esto facilita el análisis a cardiólogos y brinda la opción de detección de latidos atípicos, precursores de ECV con su ubicación en las 12 derivadas. El sistema fue probado ampliamente en dos bases de datos públicas, MIT-BIH y CPSC2018, mostrando alta eficiencia en la detección de anomalías en morfología de latidos; se considera de gran utilidad para escrutinios en grupos de alto riesgo de ECV en etapas tempranas y como una herramienta de medicina preventiva en el área de salud pública.

Palabras claves: análisis de electrocardiograma asistido por computadora, representación de electrocardiograma por apilamiento de latidos, detección de latidos atípicos

ABSTRACT

The high mortality of people due to cardiovascular diseases (CVD) reported by the WHO, evidences the need for computerized tools as an assistant to a cardiologist. We present a series of algorithms and software that converts an electrocardiogram of medium and long duration into a compact representation by stacked beats, extracting and displaying its basic features, simplifying analysis for cardiologists and providing the option of detecting atypical heartbeats, CVD precursors, with their location in the 12 leads. The system was extensively tested in two public databases, MIT-BIH and CPSC2018, showing high efficiency in the detection of abnormalities in beat morphology; It is considered very useful for filtering high-risk groups of CVD in early stages and as a tool for preventive medicine in the public health area.

Keywords: electrocardiograms computer-assisted analysis, electrocardiograms stacked heartbeat representation, atypical heartbeats detection

1. INTRODUCCIÓN

Los electrocardiogramas (ECG) son indolores y económicos para registrar la actividad eléctrica del corazón y determinar la salud de la persona. Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son una de las principales causas de muerte en el mundo. Varias de estas anomalías cardíacas son silenciosas y difíciles de detectar porque los síntomas aparecen esporádicamente o están ausentes. Por lo general, cardiólogos diagnostican padecimientos de corazón mediante el análisis visual de señales ECG de corta duración, aunque para que diagnóstico más certero se requiere el análisis de ECG mediana y corta duración el cual puede resultar tedioso y tardado, que consume tiempo y esfuerzo. La detección oportuna de esta enfermedad será fundamental para reducir más el daño a los pacientes y las complicaciones relacionadas, como la enfermedad coronaria y la trombosis [1]. Tres cuartas partes de las defunciones causadas por ECV en el mundo se producen en los países de ingresos bajos y medios que carecen de programas de atención primaria integrales para la detección y tratamiento temprano para personas expuestas a factores de alto riesgo como son la hipertensión, diabetes, obesidad y estrés laboral. En la literatura, en el área de análisis de señales biomédicas se tienen trabajos enfocados al análisis y clasificación de las enfermedades del corazón usando ECG. Se han desarrollado diversos algoritmos basados en el análisis asistido por computadora, que ayudan a los médicos a detectar enfermedades cardiovasculares en las señales de ECG mediante la detección del pico de la onda R [2,3], la detección de características clínicas [4], el uso de técnicas matemáticas como la transformada wavelet para extraer característica importantes de estas señales [5], algoritmos de optimización como los algoritmos genéticos[6, 7], características estadísticas como entrada a una red neuronal artificial mejoran la precisión del diagnóstico final para clasificar los diferentes tipos de arritmias [8,9]. Actualmente se han usado modelos computacionales evolucionados como son las redes neuronales convolucionales y recurrentes (CNN-RNN) [10], combinaciones de CNN y Red de Memoria a Corto Plazo (LSTM) [11,12,13] y Redes Neuronales Probabilística [14,15,16]. Estos modelos tienen el inconveniente de que necesitan una gran cantidad de muestras para lograr el aprendizaje y evitar el sobre entrenamiento, con la finalidad de que ante la presencia de un nuevo caso lo clasifique de manera correcta.

El objetivo de este trabajo se basa en desarrollar un sistema experto interactivo para el análisis de ECG de larga y mediana duración como asistente de cardiólogos para detección temprana de anomalías en morfología de latidos mediante la representación compacta de un ECG de 12 derivadas, evitando los inconvenientes de los métodos antes mencionados.

2. METODOLOGÍA

Para identificar y clasificar latidos atípicos usamos el principio de autosimilitud de latidos, proponemos una nueva presentación gráfica de los ECG en forma de latidos cardíacos superpuestos o apilados, que facilita el análisis visual tradicional de los ECG de mediano y largo plazo para que un cardiólogo pueda identificar rápidamente las diferencias entre ellos.

El diagnóstico precoz y el tratamiento oportuno y adecuado son fundamentales para el control de la enfermedad. Desarrollamos un conjunto de nuevos algoritmos para detectar y reconocer picos de ondas R y T, aplicando filtro FIR y frecuencia de muestreo para ubicar el corte y la

segmentación de cada latido para su posterior apilamiento. Características básicas como la variación de la frecuencia cardíaca y desviación estándar se calculan en esta fase. El siguiente paso es la corrección de la línea isoelectrica y basal mediante el cálculo de la tangente para rectificar cada dato en función de la ecuación de la recta y se suma el valor inicial del latido para sumarlo a cada dato que componen el latido completo. En el siguiente paso se obtiene el latido promedio y se visualiza alineando los latidos apilados con el pico más alto de todos los picos R, se toma como base el latido promedio para el cálculo de los segmentos RR, PR, PP y QT, duración del complejo QRS y onda P. Por último, se diseñó el clasificador de latidos atípicos con base a las variaciones de forma de latidos con respecto a la forma del latido promedio.

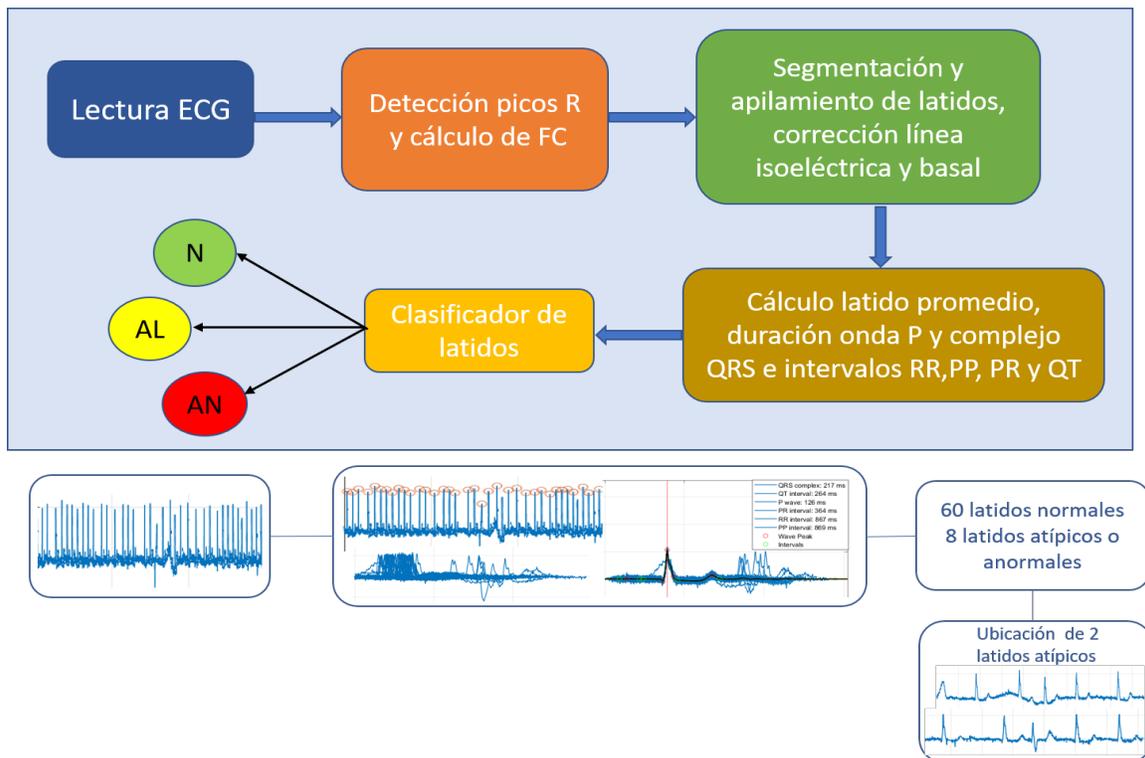


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología usada para implementar el sistema "asistente de cardiólogo"

Estos algoritmos se integran para formar una herramienta de diagnóstico que muestra al especialista los tramos del ECG en los que se presentan las anomalías. El diagrama de flujo de la Figura 1 muestra los procesos implementados en el sistema experto que sirve como asistente al cardiólogo para el diagnóstico y detección de anomalías morfológicas de latidos del corazón.

3. RESULTADOS

El sistema fue probado ampliamente con dos bases de datos públicas, MIT-BIH y China Physiological Signal Challenge (CPSC) 2018, mostrando su capacidad de procesamiento rápido de ECG y alta eficiencia en la detección de anomalías en morfología de latidos.

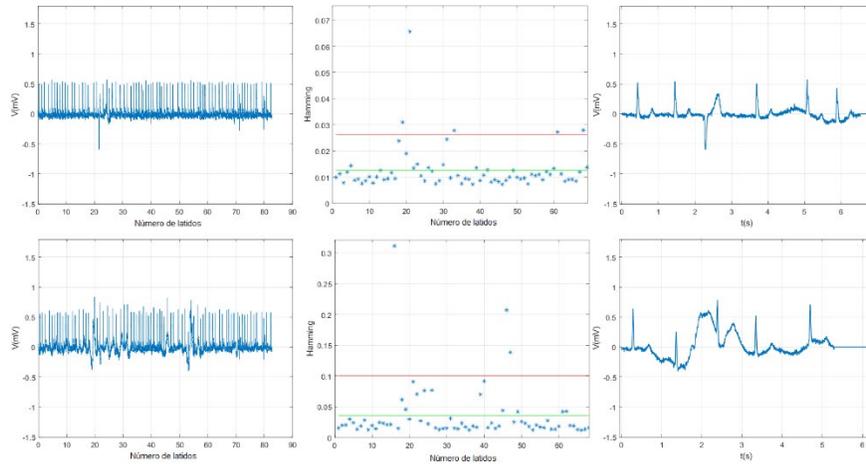


Figura 2. Presentación de los resultados de análisis de un ECG anormal usando el sistema 'asistente'. La primera fila corresponde a la derivada I y la segunda fila a la derivada II

La imagen anterior muestra una prueba con un ECG de la base de datos CPSC 2018 correspondiente al conjunto de ECG normales, la primera columna corresponde al ECG original de la derivada I y II respectivamente, la segunda columna muestra la clasificación de los latidos normales y atípicos en el espacio de características y la última columna muestra la vecindad en la que se ubica uno de los latidos atípicos detectados en cada derivada. En este ejemplo se detectaron 5 y 3 latidos atípicos en la derivada I y II respectivamente, este ECG fue etiquetado como anormal en CPSC 2018. El sistema visualiza las vecindades de cada latido atípico detectado para confirmar el resultado por el especialista.

En la siguiente prueba se procesa un ECG del conjunto de ECG etiquetados como normales en CPSC 2018. En el primer renglón, la primera gráfica muestra el ECG original, la segunda el resultado de la clasificación de latidos atípicos, la tercera se muestra el segmento de ECG original en el intervalo de tiempo de 4 a 18 segundos. En el segundo renglón la primera y segunda imagen muestran las vecindades de los latidos atípicos y la última imagen es la presentación de los latidos superpuestos en los que se observa que hay variaciones morfológicas con respecto al latido promedio (latido color amarillo).

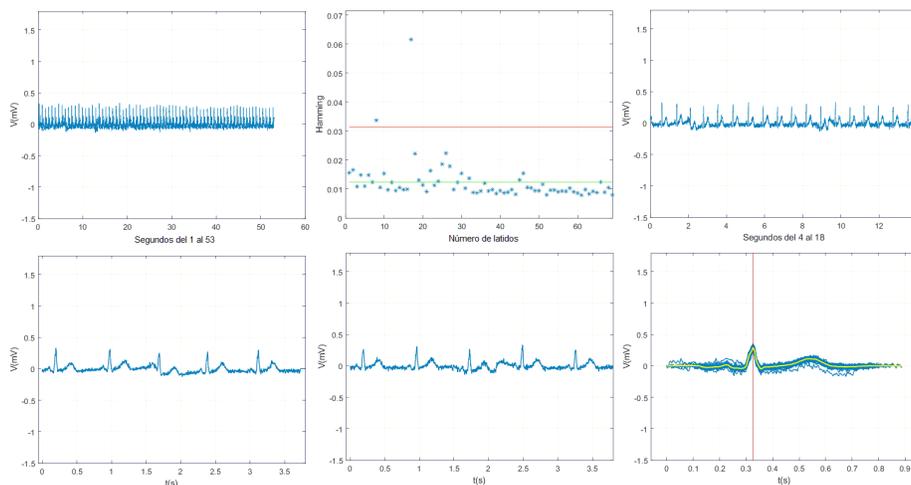


Figura 3. Presentación de los resultados de análisis de un ECG normal usando el sistema 'asistente', derivada I

La siguiente imagen muestra el registro 100 de la base de datos del MIT-BIH, tomando 555 segundos para este ejemplo. En el primer renglón de la imagen se representa el ECG original, la detección de picos R y el cálculo de la frecuencia cardíaca, así como la desviación estándar, respectivamente. El segundo renglón muestra: la superposición de los latidos no alineados, latidos alineados al pico de la onda R y el latido promedio (línea negra) y el cálculo de segmentos RR, RP, PP, complejo QRS y duración de onda P, la última imagen muestra la vecindad en la que se ubica uno de los latidos atípicos detectados.

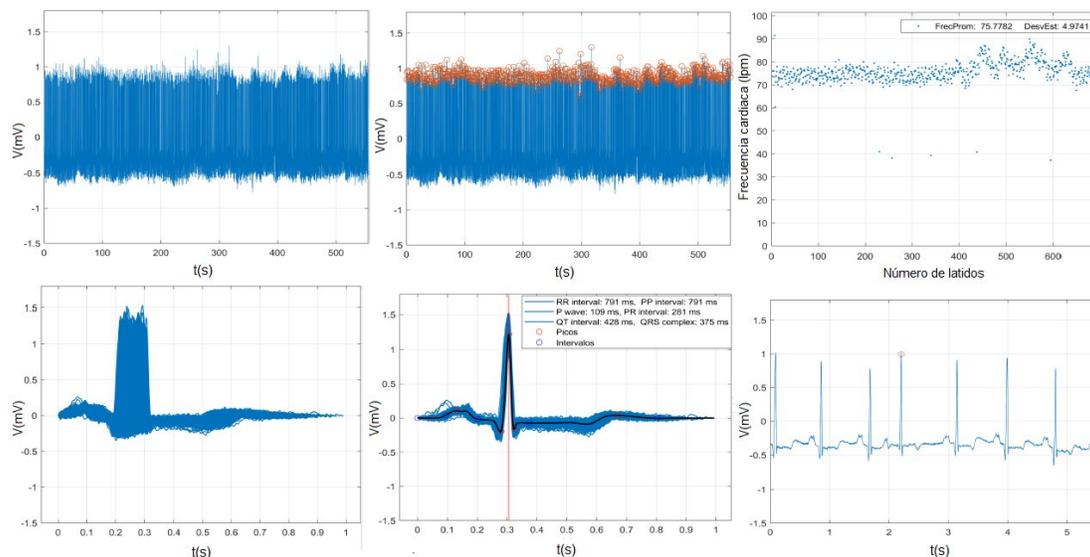


Figura 4. Presentación de los resultados de análisis del registro 100 de la base de datos MIT-BIH por el sistema 'asistente'

4. CONCLUSIONES

La atención adecuada para las personas con enfermedades cardiovasculares es escasa en muchos entornos. Además, el acceso a medicamentos y tecnologías esenciales es limitado, particularmente en países y poblaciones de bajos y medianos ingresos. Por lo que este desarrollo intenta subsanar este tipo de problemas. La clasificación fiable en tres grupos, ECG normales, de alerta y anómalos, permitirá a los cardiólogos centrarse en los detalles de diagnóstico de las personas con problemas cardíacos sin dedicar tiempo a los casos de personas sanas. Esta técnica computarizada permitirá evaluar la salud cardiovascular pública de manera preventiva, masiva y de bajo costo, contando con una mejor atención médica para la detección temprana y el tratamiento oportuno que es vital para reducir el impacto de las enfermedades del corazón.

En este trabajo presentamos el sistema asistente de cardiólogo con las siguientes características:

- Desarrollamos una presentación compacta de ECG por latidos apilados que permitió crear un espacio de características para la clasificación de latidos en tres grupos: Normales, Alerta y Anormales. Además, el sistema visualiza la ubicación los tramos de latidos que el especialista requiera analizar con mayor detalle.

- Agiliza el diagnóstico en señales de ECG de mediana y larga duración, facilita el monitoreo y diagnóstico masivo en grupos de riesgo de ECV permitiendo que el especialista se enfoque en la atención temprana de la salud cardíaca de los pacientes.
- Encontramos que el conjunto de ECG etiquetados como normales en la base de datos CPSC 2018 presentan un número considerable de derivadas con latidos anómalos.
- El sistema está dotado de una interfaz, puede ser instalado en una PC comercial y leer ECG de diferentes formatos.

5. REFERENCIAS

- [1]. T. Wang, Y. Qin, A novel multi-scale convolutional network with the attention-based bidirectional gated recurrent unit for atrial fibrillation discrimination, *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 41 (2021) 445–455. doi <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2021.02.010>.
- [2]. X. Gu, J. Hu, L. Zhang, J. Ding, F. Yan, An Improved Method with High Anti-interference Ability for R Peak Detection in Wearable Devices, *IRBM* (2020) doi: <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2020.01.002>
- [3]. Rahul, Jagdeep and Sora, Marpe and Sharma (2021). An improved cardiac arrhythmia classification using an RR interval-based approach. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. 41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2021.04.004>
- [4]. C. Cakir, Y. Ceylan, O. Y. Akbal, R. Sarikaya, S. Barutcu, Clinical characteristics and angiographic findings of non-st-elevation acute coronary syndrome patients admitted with normal electrocardiogram, *Journal of Electrocardiology* 60 (2020) 77–81. doi <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2020.03.002>.
- [5]. B. Mohamed, A. Issam, A. Mohamed, B. Abdellatif, Ecg image classification in real time based on the haar-like features and artificial neural networks, *Procedia Computer Science* 73 (2015) 32–39, International Conference on Advanced Wireless Information and Communication Technologies (AWICT 2015). doi <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.045>.
- [6]. D. Z., O. T., Y. E., Comparison of discrete wavelet and fourier transforms for ecg beat classification, *Electronics Letters* 35 (1999) 1502– 1504. <https://doi:10.1049/el:19991095>.
- [7]. L. Lu, J. Yan, C. W. de Silva, Feature selection for ecg signal processing using improved genetic algorithm and empirical mode decomposition, *Measurement* 94 (2016) 372–381. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.043>.
- [8]. I. İnan Güler, Elif Derya Übeyli, ECG beat classifier designed by combined neural network model, *Pattern Recognition* 38 (2) (2005) 199-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2004.06.009>.
- [9]. A. S. Muhammad, G. Maheen, M. Muhammad, A. Majdi, Arrhythmia classification of ecg signals using hybrid features, *Computational and Mathematical Methods in Medicine* 2018 (2018). doi: <https://doi.org/10.1155/2018/1380348>.

- [10]. N. Du, Q. Cao, L. Yu, N. Liu, E. Zhong, Z. Liu, Y. Shen, K. Chen, Fm-ecg: A fine-grained multi-label framework for ecg image classification, *Information Sciences* 549 (2021) 164–177. Doi <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.10.014>.
- [11]. S. L. Oh, E. Y. Ng, R. S. Tan, U. R. Acharya, Automated diagnosis of arrhythmia using combination of cnn and lstm techniques with variable length heart beats, *Computers in Biology and Medicine* 102 (2018) 278–287. doi <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2018.06.002>.
- [12]. Ozal^ˆ Yildirim, A novel wavelet sequence based on deep bidirectional lstm network model for ecg signal classification, *Computers in Biology and Medicine* 96 (2018) 189–202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2018.03.016>.
- [13]. O. Yildirim, U. B. Baloglu, R.-S. Tan, E. J. Ciaccio, U. R. Acharya, A new approach for arrhythmia classification using deep coded features and lstm networks, *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 176 (2019) 121–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.05.004>.
- [14]. Y. Kutlu, D. Kuntalp, A multi-stage automatic arrhythmia recognition and classification system, *Computers in Biology and Medicine* 41 (1) (2011) 37–45. doi <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2010.11.003>.
- [15]. J.-S. Wang, W.-C. Chiang, Y.-L. Hsu, Y.-T. C. Yang, Ecg arrhythmia classification using a probabilistic neural network with a feature reduction method, *Neurocomputing* 116 (2013) 38–45, advanced Theory and Methodology in Intelligent Computing. doi <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.10.045>.
- [16]. S. Sahoo, M. Mohanty, S. Behera, S. K. Sabut, Ecg beat classification using empirical mode decomposition and mixture of features, *Journal of Medical Engineering & Technology* 41 (8) (2017) 652–661, pMID: 29111840. arXiv: <https://doi.org/10.1080/03091902.2017.1394386>, <https://doi:10.1080/03091902.2017.1394386>.