
La inteligencia artificial aplicada para la detección de arritmias

Artificial intelligence applied to detect arrhythmias

Álvaro Gabriel Vega de la Garza¹, Ervin Jesús Álvarez Sánchez², Fernando Aldana Franco³ y Rosario Aldana Franco⁴

Sumario: 1. Introducción, 2. Las enfermedades cardiovasculares en México, 2.1 El corazón, 2.2 Métodos tradicionales para la detección de arritmia, 3. La inteligencia artificial y la aplicación de soluciones a problemas, 3.1 Aplicación en la solución de problemas médicos, 3.2 Consideraciones éticas y legales en la solución de problemas médicos, 3.3 El futuro en el diagnóstico de arritmias, 4. Conclusiones, Fuentes de información

Resumen

Actualmente la inteligencia artificial está revolucionando diferentes áreas de la vida; uno de los mayores impactos se encuentra en la medicina, en el campo de la cardiología, especialmente en el diagnóstico de arritmias. Es por esto por lo que, al emplear algoritmos avanzados, las máquinas logran analizar múltiples bases de datos de electrocardiogramas y otros registros médicos con una precisión y rapidez superiores a las del ojo humano. Tomando en cuenta lo anterior, en este artículo se da a conocer la forma en que, mediante el uso adecuado de esta herramienta, se llevaría a cabo la identificación de patrones sutiles que podrían indicar una arritmia, incluso en etapas tempranas de la enfermedad; así como el inicio de señales imperceptibles para un médico especialista. Además, se mencionan las

¹ Ingeniero Electromecánico, maestro en Ingeniería, doctorando en Ingeniería. Académico de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, Universidad Veracruzana, Boca del Río, Veracruz, México. avega@uv.mx <https://orcid.org/0000-0001-6229-5607>

² Ingeniero Mecánico Electricista, maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, miembro del SNII nivel 1. Académico de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. eralvarez@uv.mx <https://orcid.org/0000-0002-0790-0429>

³ Ingeniero en Instrumentación Electrónica, Maestro en Inteligencia Artificial, Doctor en Inteligencia Artificial, miembro del SNII Nivel Candidato. Técnico Académico de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. faldana@uv.mx <https://orcid.org/0000-0003-4532-8782>

⁴ Ingeniera Mecánica Electricista, maestra en Inteligencia Artificial, doctora en Neuroetología y en Educación, miembro del SNII nivel candidato. Académica de tiempo completo, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. raldana@uv.mx <https://orcid.org/0000-0002-0503-6024>

maneras en las que, mediante el uso de esta herramienta, se puede predecir el riesgo de desarrollar arritmias en el futuro, facilitando la implementación de medidas preventivas.

Palabras clave: Diagnóstico de arritmia, aplicación de la inteligencia artificial.

Abstract

Artificial Intelligence is revolutionizing various aspects of our lives, with one of its most significant impacts observed in the field of medicine, particularly in cardiology and the diagnosis of arrhythmias. By utilizing algorithms, AI-driven systems can analyze large datasets of electrocardiograms and other medical records with greater accuracy and speed than the human eye. Given these advances, this paper explores how IA enables the identification of subtle patterns that may indicate an arrhythmia, even in early stages of the disease, as well as the detection of signals that might be imperceptible to a medical specialist. Additionally, it discusses how AI can predict the risk of developing arrhythmias in the future, facilitating the implementation of preventive measures.

Keywords: Arrhythmia Diagnosis, Artificial Intelligence Application.

1. Introducción

El propósito de este artículo es dar a conocer cómo es que, en el área de la medicina, llega a impactar la inteligencia artificial para la solución de problemas, enfocados de forma especial en el ámbito de la cardiología, logrando ser una agente de apoyo para el médico en el análisis de detección de arritmias durante la evaluación de un electrocardiograma. Se espera que este tipo de disciplina traiga consigo beneficios significativos como la detección temprana de arritmias, reducción de inversión de tiempo por parte del especialista cardiólogo en el análisis de electrocardiogramas, reducción de tiempo entre la evaluación y diagnóstico del paciente, beneficio social con resultados oportunos, entre otros; ayudando así a reducir el problema de muertes debidas a enfermedades cardiovasculares que actualmente impera en el país. Por extensión, se cuestiona si la inteligencia artificial es capaz de ser una solución para la evaluación de arritmias a partir de un electrocardiograma.

2. Las enfermedades cardiovasculares en México

Hasta el año 2023, en México, según datos de INEGI, fallecen en promedio 12,427 mexicanos entre la edad de 45 y 54 años debido a enfermedades del corazón. Las principales causas de ello se asocian con el estilo de vida de las personas; es decir, tiene que ver con aspectos como vida sedentaria, alimentación, recursos económicos que afectan directamente el entorno familiar, estrés laboral, entre otros (INEGI, 2024).

Las enfermedades del corazón son varias, algunas de las principales son: hipertensión arterial, cardiopatía coronaria, enfermedades cerebrovasculares; sin embargo, hay otro tipo de enfermedades como arteriopatía coronaria, valvulopatías, insuficiencia cardíaca, malformaciones congénitas, ataque cardíaco, inflamación cardíaca; estos últimos padecimientos suelen ser diagnosticados por la presencia de una arritmia.

Las arritmias son latidos cardíacos anormales o irregulares. Si estos latidos son rápidos; es decir, más de 100 latidos por minuto, se conocen como taquicardia. Si son lentos —menos de 60 latidos por minuto— se conocen como bradicardia. Es importante mencionar que estos tipo de latidos, rápidos o lentos, se presentan cuando el paciente se encuentra en un estado de reposo. Posteriormente también se verá que la arritmia tiene un origen; es decir, que se presenta en cierto punto del corazón y también una arritmia se detecta por el modo de presentación, esto es, si se presenta por un trastorno cardiovascular o es congénito (Fundacion Española del corazon, s.f.).

2.1 El corazón

En el cuerpo humano, uno de los órganos de mayor importancia es el corazón, el cual forma parte del sistema circulatorio y es el encargado de bombear y hacer circular la sangre en cada parte del cuerpo. Esto se logra a partir de un sistema de excitación eléctrica que hace que, en ciertos periodos y frecuencias, el órgano se contraiga y en otros momentos se libere la sangre que contiene en su interior; por otro lado, el corazón está compuesto principalmente por cuatro cavidades, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Partes de la composición del corazón



Nota. Tomada de Cómo funciona el corazón. En ocho pasos por Fundación menudos corazones, <https://www.menudoscrazones.org/cardiopatas-congenitas/recursos/como-funciona-el-corazon-en-ocho-pasos/>

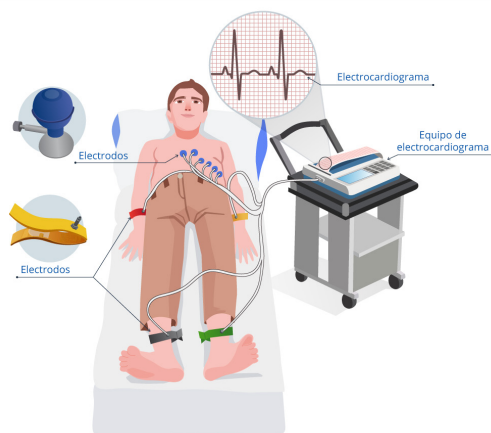
A las dos cavidades superiores se les conoce como aurículas o supraventriculares y a las dos cavidades inferiores, como ventriculares. La forma de operar del corazón, explicada de forma resumida es la siguiente: la sangre sin oxígeno entra a la cavidad superior (aurícula) derecha para después viajar al ventrículo derecho, con el objetivo de ser bombeada hacia los pulmones; una vez que regresa la sangre de los pulmones, ya contiene oxígeno y entra a la aurícula izquierda para posteriormente dirigirse al ventrículo izquierdo, que a su vez se contrae y libera la sangre hacia la aorta para surtir de sangre y oxígeno a todo el cuerpo humano (NHLBI, NIH, s.f.).

2.2 Métodos tradicionales para la detección de arritmias

Anteriormente se mencionó que muchos padecimiento de enfermedades del corazón son diagnosticados a partir de las arritmia. Existen diferentes formas de visualizar una arritmia, esto se logra con la ayuda de un electrocardiógrafo que, a su vez, genera un electrocardiograma. Dicho electrocardiograma toma la forma de un papel cuadriculado milimétrico de ciertas características, que logra graficar el comportamiento de los pulsos eléctricos del corazón. El electrocardiógrafo está compuesto por diez electrodos que, en su conjunto, generan doce mediciones o —también llamadas— derivaciones de diferentes perspectivas del corazón las cuales son impresas en el electrocardiograma.

La forma de colocar los electrodos es la siguiente: cuatro de ellos van colocados en las extremidades del cuerpo, es decir, en los brazos y pies, tanto izquierdo como derecho; los otros seis electrodos van colocados en la parte del esternón alrededor del corazón, como se muestra en la figura 2 (Salusplay, s.f.).

Figura 2. Electrocardiograma y colocación de electrodos



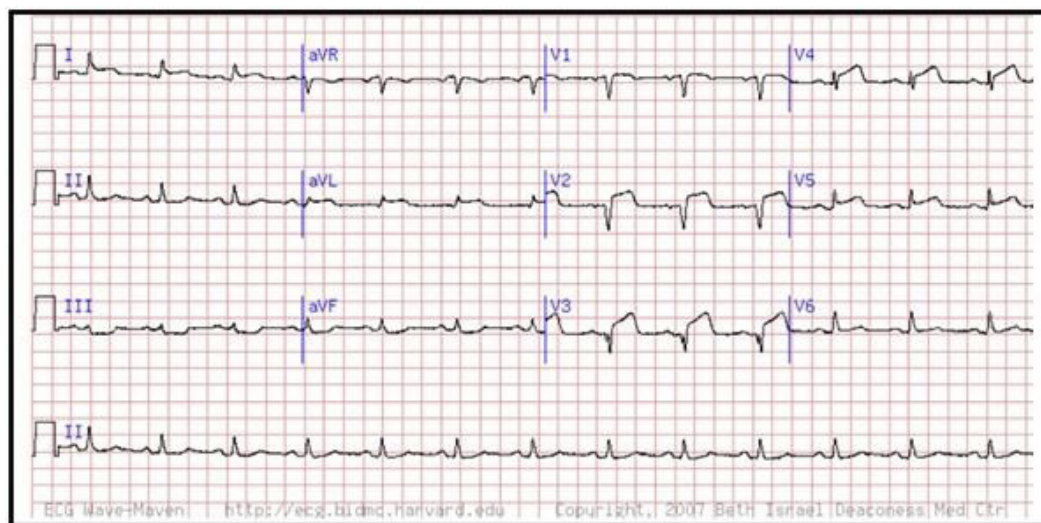
Nota. Tomada de Electrocardiograma como el sistema de medida de la huella eléctrica del corazón, por LifeMedic, <https://lifemedic.com.mx/el-electrocardiograma-como-el-sistema-de-medida-de-la-huella-electrica-del-corazon/>

Una vez colocados los electrodos, el electrocardiograma registra las mediciones por medio de pulsos eléctricos del comportamiento del corazón; estas mediciones se dividen en mediciones unipolares, bipolares y precordiales. Los registros de las mediciones unipolares se consiguen midiendo el potencial que existe entre un electrodo con potencia nula y un electrodo situado en cierta posición, este tipo de medición se clasifica con las siglas aVL (voltaje aumentado izquierdo), aVR (voltaje aumentado derecho) y aVF (voltaje aumentado pie).

Las mediciones bipolares, como indica su nombre, son mediciones que se encargan de registrar los potenciales que existen entre las manos y los pies; esto es, entre dos de las extremidades del cuerpo. Este tipo de mediciones aportan datos electrocardiográficos del plano frontal del corazón y se muestran como I, II y III en el electrocardiograma. Por último, las mediciones precordiales son seis y se encargan de registrar el potencial absoluto del punto en donde se encuentra colocado el electrodo, por lo que este tipo de derivación o medición es la encargada de visualizar las alteraciones del ventrículo izquierdo, siendo V1, V2, V3, V4, V5 y V6 la forma en que están identificadas en el electrocardiograma.

El conjunto de todas las derivaciones dará pauta para registrar lo que se conoce como el electrocardiograma y los valores de ondas de un electrocardiograma. En ella se pueden apreciar las mediciones precordiales (V1, V2, V3, V4, V5, V6), las mediciones unipolares (aVL, aVR, aVF) y las mediciones bipolares (I, II, III), como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Electrocardiograma de un paciente sin problemas cardiacos



Nota. Adaptada de Taller de interpretación de electrocardiograma, por Departamento de fisiología UNAM, <https://fisiologia.facmed.unam.mx/index.php/taller-de-interpretacion-del-electrocardiograma/>

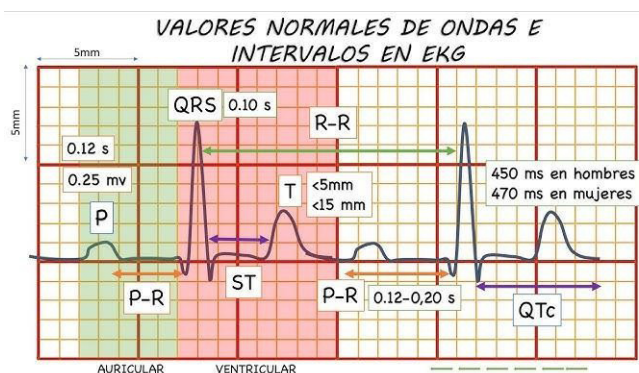
Después de hacer la prueba del electrocardiograma, inicia el proceso de evaluación, este proceso requiere una inversión de tiempo por parte del médico especialista, ya que su tarea es visualizar y analizar el comportamiento de cada gráfica para detectar una posible arritmia, ahí es donde nace la pregunta: ¿qué pasa si en el transcurso de la prueba no se detectó ninguna posible arritmia, pero el paciente sigue con malestar?

En ese momento es cuando el médico cardiólogo tomará la decisión de colocar un aparato llamado *holter*: un dispositivo encargado de monitorear y registrar la actividad eléctrica del corazón del paciente en un transcurso de 24 o 48 horas, con el objetivo de identificar una posible arritmia en el transcurso del día y no solo cuando el paciente acude a consulta.

Esto genera que la inversión de tiempo que el médico dedica al análisis del electrocardiograma se vuelva una tarea compleja, ya que debe de analizar por lo menos 24 o 48 horas de registro de electrocardiograma, de esta manera se crea la necesidad de encontrar técnicas de inteligencia artificial que ayuden en la tarea del análisis de electrocardiogramas. Es importante mencionar que la inteligencia artificial no pretende suplir la evaluación del médico en ningún momento, sino únicamente reducir el tiempo de evaluación ayudando al médico a detectar gráficas de onda anormales con el objetivo de que se puedan tomar decisiones en el diagnóstico (American Heart Association, s.f.).

Para evaluar un electrocardiograma, el médico cardiólogo debe considerar varios parámetros de las ondas generadas por los pulsos eléctricos emitidos del corazón. En la figura 4 se observan literales que son llamadas P, Q, R, S, T y U; estas literales serán el equivalentes de los pulsos eléctricos del corazón; a su vez, se observa que las literales descansan por una línea isoeléctrica con potencia cero, por otro lado, generalmente el

Figura 4. Magnitudes de formas de onda del electrocardiograma



Nota. Tomada de Electrocardiograma normal. Guía definitiva, por Carlos Franco, <https://www.youtube.com/watch?v=vUplf12qYco>

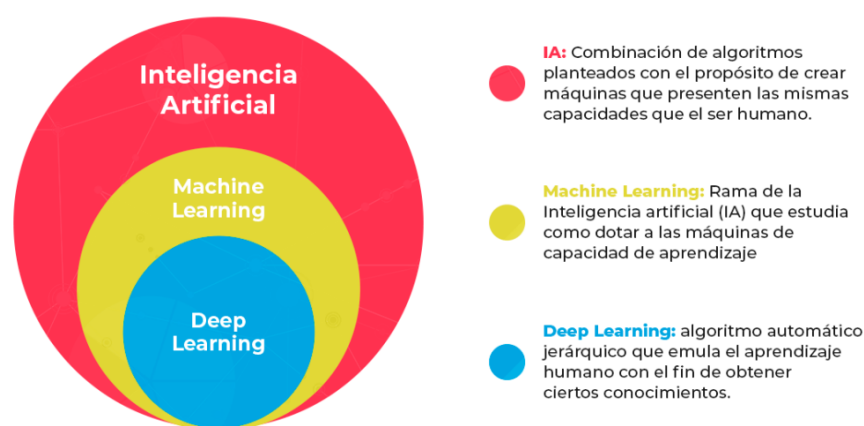
papel milimétrico de un electrocardiograma se compone en las ordenadas por la variable voltaje y en las abscisas por la variable tiempo. Cada cuadro de 1 mm en la ordenadas corresponde a 0.1 mV, y en la abscisas cada mm corresponde a 0.04 segundos (Elsevier, 2016).

3. La inteligencia artificial y la aplicación de soluciones a problemas

Existen un sinnúmero de definiciones para la inteligencia artificial. Esto tiene que ver más con el campo en donde se aplica; sin embargo, en una definición básica, se le denomina como la ciencia que estudia cómo hacer para que las máquinas piensen y actúen a la manera de los humanos. Algunas de las tareas que tiene la inteligencia artificial son el reconocimiento de patrones, repetición de actividades o procesos, manejo de grandes cantidades de datos y su procesamiento en poco tiempo, entre otras.

El tema de la IA se puede englobar tal como se muestra en la figura 5, donde se observa que el primer estrato abarca todo el universo de estudio principal. Dentro de este, en un segundo estrato, se encuentra el aprendizaje automático o *machine learning*, mediante el cual se desarrollan sistemas que aprenden o mejoran un proceso en su rendimiento en función de los datos que consumen. Finalmente, en un tercer estrato, se halla el aprendizaje profundo o *deep learning*, que tiene como base las redes neuronales, algoritmos modelados según la forma en que opera el cerebro humano, por lo que requieren datos fidedignos para realizar un entrenamiento que, una vez logrado, cuenta con la capacidad de procesar nuevos datos. Este tipo de algoritmos mejora la automatización y las tareas analíticas (EseManal, 2019).

Figura 5. Campos de la inteligencia artificial



Nota. Tomada de Introducción a los medios digitales 2022, por Tom Mitchell, <https://g9imd22.wordpress.com/tom-mitchell/>

3.1 Aplicación en la solución de problemas médicos

La inteligencia artificial se ha convertido en un elemento clave en el sector salud, ya que ha promovido mejoras en el ámbito asistencial tanto para médicos como para pacientes. Esto ha logrado que los servicios de salud sean más eficientes en el diagnóstico y tratamiento de múltiples enfermedades.

El inicio de la inteligencia artificial se sitúa en la década de los noventa, y sus primeras aplicaciones consistieron en el análisis de datos clínicos como herramienta para gestionar la información relativa a los pacientes. Posteriormente, ha evolucionado hasta convertirse, en este momento, en un área de estudio de las ciencias de la computación. Ejemplos de esto son las tareas de procesamiento de información –y en algunos casos de diagnóstico–: la capacidad de identificar lo que un médico especialista no logra percibir. Es por eso que la inteligencia artificial ha resultado ser clave en el ámbito de la salud, mejorando el día a día de pacientes y profesionales del sector.

La aplicación de la inteligencia artificial en el sector salud ha venido ejecutando tareas como la prevención de enfermedades, la ayuda en la toma de decisiones médicas, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, la formación para profesionales de la salud y la investigación.

Para este artículo, la propuesta se centra en dar a conocer que el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial y, en específico, de las redes neuronales que han sido entrenadas a partir de un conjunto de casos de electrocardiogramas han logrado identificar diferentes tipos de arritmias y, por consiguiente, ayudar en la toma de decisiones médicas, así como también reducir el tiempo de inversión que toma la evaluación de un médico cardiólogo.

Algunas propuestas que han sido bien recibidas en el área de especialización son: A Fast Machine Learning Model for ECG-Based Heartbeat Classification and Arrhythmia Detection, de Alfaras y otros (2019); Inter-Patient ECG Classification with Convolutional and Recurrent Neural Networks, de Guo y otros (2019). A Study on Arrhythmia via ECG Signal Classification Using the Convolutional Neural Network, de Wu y otros (2021); Detection Of Arrhythmia Using Machine Learning (heart disease) And ECG, de Kumar y otros (2022) y PÉEK: A cloud-based application for automatic electrocardiogram pre-diagnosis, de Zermeno y otros (2022), trabajos en los que se utilizan herramientas de IA para fortalecer y respaldar los diagnósticos médicos.

3.2 Consideraciones éticas y legales en la solución de problemas médicos

La inteligencia artificial ha resultado beneficiosa en un sinnúmero de aplicaciones; sin embargo, hoy en día, las consideraciones éticas y legales de esta ponen en duda su ejecución. Se

dice que están en duda porque existe poco o casi nada sobre la expresión por parte de los organismos reguladores, como lo son colegios académicos, gobiernos e investigadores.

Hasta hace poco, en noviembre de 2021, la UNESCO generó un documento titulado “Recomendaciones sobre la ética de la inteligencia artificial”, en el que se exponen valores y principios de la aplicación de la inteligencia artificial, así como también ámbitos de acción política donde se tratan temas de política de datos, desarrollo y cooperación internacional, género, cultura, educación e investigación, economía y trabajo, entre otros. Esto, con el fin de fortalecer los procedimientos éticos para tener éxito en la aplicación de la inteligencia artificial. Sin duda, existen muy pocos documentos como el de la UNESCO; sin embargo, se espera que conforme la aplicación de la inteligencia artificial cubra más espacios, sea obligatorio crear nuevos documentos que complementen estas aplicaciones (UNESCO, 2022).

En el caso de México, el 28 de febrero de 2024, la LXV legislatura de la Cámara de Diputados presentó una iniciativa de proyecto de decreto por el que se expide la ley federal que regula la inteligencia artificial, con la finalidad de establecer un marco regulatorio para su uso. Algunos de los aspectos importantes de este decreto son clasificar su nivel de riesgo, establecer obligaciones de proveedores y usuarios, y también propone la creación de una comisión nacional de inteligencia artificial para establecer medidas que aseguren la transparencia y vigilancia de los sistemas de IA; todo esto con el objetivo de proteger derechos individuales y de autor (Sámano Abogados, 2024).

En el ámbito de la aplicación en la medicina, algunas de las propuestas que incluyen este tipo de decretos son la protección y el tratamiento adecuado de los datos personales, dejando en claro que el uso de esta herramienta es un apoyo a los especialistas médicos y en ningún momento está pensado para estar por encima de un diagnóstico o juicio de cualquier especialista médico.

3.3 El futuro en el diagnóstico de arritmias

Gracias al uso de la IA como una herramienta de apoyo, se vislumbra un gran futuro para las diversas especialidades médicas, ya que se ha visto que los avances dependen de la relación entre la interacción humana y la creatividad para resolver problemas, por lo que actualmente el sector salud se ha visto obligado a evolucionar, dando como resultado que la IA sea contemplada como una herramienta que puede ser empleada en la atención del paciente.

Es importante resaltar que se debe considerar que la IA no reemplazará la especialidad humana en ningún momento, sino que servirá de apoyo en los diagnósticos, de tal forma que se podrán disminuir los posibles errores médicos y la frecuencia con la que

ocurren, además de que se tendrá una mejora en la precisión de los diagnósticos de las enfermedades mediante la integración, el análisis y la interpretación de toda la información por medio de algoritmos y *software*.

Esto permitirá disminuir la cantidad de actividades repetitivas que realizan los médicos por un sistema automatizado, mejorando de esta manera la atención médico-paciente debido a que el personal de salud tendrá mayor tiempo libre para dedicarlo a este rubro (Lanzagorta et al., 2023). De forma específica, para el diagnóstico de arritmias será sumamente beneficioso para estar monitoreando en tiempo real la actividad eléctrica del corazón del paciente y que, a su vez, el médico obtenga mensajes de alarma de sus pacientes, permitiendo que la atención sea oportuna y que se pueda salvar un sinnúmero de vidas. Hay mucho aún por desarrollar en este ámbito; sin embargo, las cosas que se han implementado han dado un gran salto en beneficio de salvar vidas.

4. Conclusiones y reflexiones

Se ha estado aplicando IA en beneficio de diferentes áreas de la vida, y el sector salud no es la excepción. Se vislumbra una transformación significativa en la forma en que actualmente se trabaja en este tipo de lugares; un ejemplo claro es en la cardiología, en la que mediante algoritmos neuronales previamente entrenados a partir de resultados de electrocardiogramas, se ha podido lograr el diagnóstico de arritmias en nuevos casos.

Todo esto se ha logrado debido a que el desempeño de la inteligencia artificial, cuando se analizan múltiples datos, es relativamente sencillo; al contrario, si un especialista requiere realizar esta misma actividad, eso le exige concentración y una considerable inversión de tiempo.

Es por esto que la inteligencia artificial ayudará al médico especialista a emitir un juicio en menor tiempo. Los beneficios de aplicar inteligencia artificial a la vida son muchos; sin embargo, es una disciplina que, mal desarrollada o administrada, puede llegar a ser contraproducente para el desarrollo de cualquier sociedad. Se deben establecer normas y leyes claras con el fin de que el desarrollo de cualquier algoritmo cumpla en todo momento su función

Fuentes de información

- Alfaras, M., Soriano, M., & Silvia, O. (2019). A Fast Machine Learning Model for ECG-Based Heartbeat Classification and Arrhythmia Detection.
- American heart association. (s/f). Pruebas habituales para el diagnostico de arritmias. <https://www.goredforwomen.org/es/health-topics/arrhythmia/symptoms-diagnosis--monitoring-of-arrhythmia/common-tests-for-arrhythmia>
- Elsevier. (2016, Noviembre 17). 6 claves para aprender a interpretar el electrocardiograma. <https://www.elsevier.com/es-es/connect/6-claves-para-aprender-a-interpretar-el-electrocardiograma>
- esemanal. (2019, diciembre 4). inteligencia artificial: solucion de los problemas globales. <https://esemanal.mx/2019/12/inteligencia-artificial-solucion-de-los-problemas-globales/>
- Fundacion Española del corazon. (s/f). Enfermedades cardiovasculares. Retrieved from Fundacion del corazon. <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/enfermedades-cardiovasculares.html>
- Guo, L., Sim, G., & Matuszewski, B. (2019). Inter-Patient ECG Classification with Convolutional and Recurrent Neural Networks.
- INEGI. (2024). Estadísticas de defunciones registradas. Mexico. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/EDR/EDR2023_ene-dic.pdf
- Kumar, R., R, D., Krishnan, G., & Kumar, D. (2022). Detection Of Arrhythmia Using Machine Learning (heart disease) And ECG.
- Lanzagorta, D., Carrillo, D., & Carrillo, R. (2023, Enero). Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro. Scielo. doi:<https://doi.org/10.24875/gmm.m22000688>
- NHLBI, NIH. (s/f). Como funciona el corazón. Nation Heart, Lung and Blood Institute. <https://www.nhlbi.nih.gov/es/salud/coraz>
- OMS. (2021, junio 28). La OMS publica el primer informe mundial sobre inteligencia artificial. <https://www.who.int/es/news/item/28-06-2021-who-issues-first-global-report-on-ai-in-health-and-six-guiding-principles-for-its-design-and-use>
- Salusplay. (s/f). Electrocardiograma y arritmias. <https://www.salusplay.com/apuntes/cuidados-medico-quirurgicos/tema-5-electrocardiograma-y-arritmias>
- Samano abogados. (2024, marzo 1). iniciativa de proyecto decreto por el que se expide ley federal que regula la inteligencia artificial. <https://www.samanosc.com.mx/post/iniciativa-de-proyecto-de-decreto-por-el-que-se-expide-ley-federal-que-regula-la-inteligencia-artifi>
- Sanofi. (2024, mayo 30). Usos de la inteligencia artificial en medicina y sus beneficios en la salud de los pacientes. <https://pro.campus.sanofi/es/actualidad/articulos/inteligencia-artificial-salud>
- UNESCO. (2022). Recomendaciones sobre etica de la inteligencia artificial . <https://>

unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa

Wu, M., Lu, Y., Yang, W., & Yuong, S. (2021). A Study on Arrhythmia via ECG Signal Classification Using the Convolutional Neural Network.

Zermeno, N., Cuevas, D., Garcia, J. L., Bravo, M., Reyna, M., & Diaz, A. (2022). PÉEK: A cloud-based application for automatic electrocardiogram pre-diagnosis.