



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALEDIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE BIOMEDICINA**

**ANÁLISIS DE LAS ANOMALÍAS CARDÍACAS BASADO EN PROCESAMIENTO DE  
SEÑALES MEDIANTE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO PARA  
ESTUDIANTES DE BIOMEDICINA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera Biomédica

**AUTORAS:**

Jiannara De Lourdes Simbala Briones

Melanie Daniela Vera Diaz

**TUTOR:**

Mgs. Darío Xavier Romero Santistevan

Guayaquil – Ecuador2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotras, **Jiannara De Lourdes Simbala Briones** con documento de identificación N° **0956096366** y **Melanie Daniela Vera Diaz** con documento de identificación N° **0956071393**; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2024

Atentamente,

---

Jiannara de Lourdes Simbala Briones

0956096366

---

Melanie Daniela Vera Diaz

0956071393

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, **Jiannara de Lourdes Simbala Briones** con documento de identificación N° **0956096366** y **Melanie Daniela Vera Diaz** con documento de identificación N° **0956071393** expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del **Proyecto Técnico: ANÁLISIS DE LAS ANOMALÍAS CARDÍACAS BASADO EN PROCESAMIENTO DE SEÑALES MEDIANTE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO PARA ESTUDIANTES DE BIOMEDICINA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Biomédica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2024

Atentamente,

\_\_\_\_\_  
Jiannara De Lourdes Simbala Briones

0956096366

\_\_\_\_\_  
Melanie Daniela Vera Diaz

0956071393

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Darío Xavier Romero Santistevan**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LAS ANOMALÍAS CARDÍACAS BASADO EN PROCESAMIENTO DE SEÑALES MEDIANTE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO PARA ESTUDIANTES DE BIOMEDICINA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**, realizado por **Jiannara De Lourdes Simbala Briones** con documento de identificación N° **0956096366** y **Melanie Daniela Vera Diaz** con documento de identificación N° **0956071393**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Proyectos Técnicos** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2024

Atentamente,



---

Darío Xavier Romero Santistevan

C.I 1206442616

## DEDICATORIA

"La familia es el refugio en medio de las tormentas de la vida.", *William Shakespeare*

A mi mamá Shirley, por ser mi pilar, mi fortaleza, y el ejemplo de dedicación que me inspira cada día; a mis hermanos Jim, Jinnelly y Noé, por su amor incondicional, su apoyo constante, y por ser mis compañeros de vida en cada paso de este camino. A ustedes, les debo mi gratitud infinita y mi más profundo amor. Gracias por enseñarme la importancia de la perseverancia y la unión familiar, y por ser la razón por la que sigo adelante con fuerza y determinación.

Jiannara Simbala

Este logro va dedicado a mi familia, quienes desde el momento uno estuvieron apoyándome, motivándome a luchar por mis sueños, a mis queridos padres José y Wendy quiero darles las gracias por nunca abandonarme y esforzarse aún más y hacer hasta lo imposible para que cada semestre pueda matricularme y culminar esta etapa de mi carrera profesional, a ustedes Diego y Emily, quienes también fueron mi pañuelo de lágrimas en mis momentos de estrés, angustia y en momentos donde sentía que ya no podía más, también a mi sobrina Nicole que gracias a sus ocurrencias y sus momentos hacía mis días más fáciles y divertidos, gracias a cada uno de ustedes por sus consejos, palabras de aliento, ustedes son mi pilar fundamental de todos los días, son por quienes me esfuerzo por ser la mejor a diario. Este logro también es de ustedes, por su apoyo incondicional y su amor.

Con cariño.

Melanie Vera

## AGRADECIMIENTO

"El progreso no es rápido ni sencillo. Es el resultado de esfuerzos persistentes y la voluntad de seguir adelante a pesar de las dificultades.", *Marie Curie*

Agradezco a Dios por la salud y sabiduría y a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. A la familia Espinoza Pacheco, por compartir todos los momentos especiales e importantes a mi lado. A María, la mejor amiga de mi mamá y mi segunda madre, por ser parte fundamental de mi crecimiento tanto personal como profesional.

A mis jefes, Liseth y Fidel, a mis compañeros de trabajo en SIHMEDICAL, por inspirarme a amar nuestra profesión desde el primer día. Su dedicación y pasión han sido una fuente constante de motivación. En especial, a María José y Stéfano que han sido parte de mi último año, sus enseñanzas y apoyo han enriquecido mi experiencia y valoro profundamente la amistad que hemos construido.

A cada uno de los docentes que formaron parte de este camino lleno de aprendizajes, al Ing. Roberto Bayas, por ser un excelente docente y amigo. A mi tutor, el Ing. Darío Romero, por su paciencia, compromiso y ayuda para llevar adelante este proyecto. A mi compañera de tesis y amiga por todos estos años compartidos, nuestro caminar juntas hizo que todo esto sea diferente. A Luis Ángel, Joselyn y Augusto por todas las anécdotas por las anécdotas compartidas y las futuras que crearemos. Y, por último, un agradecimiento a mí por enfrentar los desafíos de la vida y amar esta nueva carrera.

Jiannara Simbala.

En primer lugar quiero agradecer a Dios, quien también forma parte de mi vida y me ha ayudado en hacer posible todos mis sueños y metas, adicional quiero agradecer a la universidad por brindarme las herramientas necesarias y el aprendizaje a lo largo de este trayecto para mi vida profesional, agradezco de manera especial a mi tutor Ing. Darío Romero quien ha sido un guía invaluable en todo este proceso de titulación y gracias a su apoyo incondicional y orientación logramos salir adelante con nuestro proyecto y como no agradecer a mi compañera de tesis Jiannara, quien desde el momento que la conocí en aquel primer semestre ha sido una curita para mi vida y ha hecho este camino más fácil, gracias por las risas, las salidas y consejos. Cada uno de ustedes ha marcado mi trayectoria académica de manera significativa y deseo aplicar los conocimientos que he adquirido durante este importante período de mi vida.

Melanie Vera.

## RESUMEN

Este proyecto, tiene como objetivo principal desarrollar un sistema de diagnóstico predictivo que utilice el procesamiento de señales para analizar anomalías cardíacas. Este sistema está diseñado específicamente para mejorar la educación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Politécnica Salesiana, proporcionando una herramienta práctica y avanzada que integra algoritmos de aprendizaje automático para ofrecer lecturas predictivas en tiempo real de los electrocardiogramas (ECG).

El desarrollo del sistema se justifica por la falta de tecnologías educativas en el ámbito de la ingeniería biomédica, lo cual limita la enseñanza y la familiarización con el uso adecuado de equipos médicos, como los electrocardiógrafos. El sistema propuesto no solo ayudará a los estudiantes a comprender mejor las señales eléctricas del corazón, sino que también les permitirá practicar y perfeccionar sus habilidades en la interpretación de ECGs, recibiendo retroalimentación inmediata sobre la precisión de sus análisis.

La implementación de este sistema contribuirá significativamente a mejorar los métodos de estudio relacionados con las actividades cardíacas, proporcionando a los estudiantes una experiencia de aprendizaje más rica y preparándolos para enfrentar los desafíos del campo clínico con una base sólida de conocimientos prácticos y teóricos.

**Palabras claves:** anomalías cardíacas, diagnóstico predictivo, procesamiento de señales, ECG.

## ABSTRACT

The main objective of this project is to develop a predictive diagnostic system that employs signal processing to analyze cardiac anomalies. This system is specifically designed to enhance the education of Biomedical Engineering students at Universidad Politécnica Salesiana by providing a sophisticated and practical tool that integrates machine learning algorithms to deliver real-time predictive readings of electrocardiograms (ECGs).

The development of this system is justified by the lack of educational technologies in the field of biomedical engineering, which restricts teaching and familiarization with the proper use of medical devices, such as electrocardiographs. The proposed system will not only help students gain a deeper understanding of cardiac electrical signals, but it will also enable them to practice and improve their ECG interpretation skills, providing immediate feedback on the accuracy of their analyses.

The implementation of this system will significantly enhance study methods related to cardiac activities, offering students a richer learning experience and equipping them to meet the challenges of the clinical field with a strong foundation in both practical and theoretical knowledge.

**Keywords:** Cardiac anomalies, predictive diagnosis, signal processing, ECG.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMA .....	3
2.1 Descripción del problema.....	3
2.2 Justificación del problema.....	3
2.3 Antecedentes.....	4
2.4 Importancia y alcances .....	6
2.5 Delimitación .....	7
2.5.1 Sectorial o institucional.....	7
3. OBJETIVOS.....	8
4. MARCO TEORICO .....	9
4.1 Electrofisiología del corazón.....	9
4.2 Sistema eléctrico cardíaco .....	10
4.2.1 Regulación de la actividad eléctrica cardíaca .....	13
4.2.2 Factores que afectan la frecuencia cardíaca .....	16
4.3 Trastornos del ritmo cardíaco .....	17
4.3.1 Arritmias cardíacas tipos y mecanismos .....	17
4.3.2 Taquicardia y bradicardia .....	18
4.4 Anomalías Cardíacas .....	21
4.4.1 Anomalías cardíacas: clasificación e importancia.....	22
4.4.2 Tipos de Anomalías Cardíacas: estructurales y funcionales.....	22
4.4.3 Anomalías Cardíacas Estructurales .....	28
4.4.4 Relación entre Arritmias y Anomalías Estructurales.....	30
4.5. Electrocardiógrafo.....	30
4.6.1 Evolución del desarrollo de los electrocardiógrafos .....	31
4.6.2 Principios básicos de funcionamiento .....	34
4.6.3 Señales eléctricas cardíacas: principios de registro y componentes principales.....	35
4.6.4Tipos de electrocardiógrafos .....	36
Electrocardiógrafos convencionales.....	37
4.6.5 Aplicaciones Clínicas del Electrocardiógrafo .....	40
4.7 Electrocardiograma: función e importancia. ....	41
4.7.1 Principios básicos del electrocardiograma .....	42

4.7.2	Concepto de la onda segmento e intervalo en el electrocardiograma .....	43
4.7.3	Interpretación básica del trazado estándar de electrocardiograma.....	43
4.8	Tipos de electrocardiogramas.....	45
	Electrocardiograma estándar .....	45
	Electrocardiograma de esfuerzo .....	46
	Electrocardiograma fetal .....	47
	Electrocardiograma de 12 derivaciones .....	47
	Electrocardiograma de alta resolución .....	48
	Holter.....	49
4.9	Componentes del electrocardiograma .....	49
4.9.1	Características y significados clínicos: onda p, qrs y t.....	51
4.9.2	Medición y Análisis: Segmentos PR, ST y TP .....	52
4.9.3	Técnicas de Registro y Derivaciones del Electrocardiograma.....	52
4.10	Electrodos: tipos y posicionamiento .....	54
4.10.1	Evaluación del Electrocardiograma: Impacto en la Calidad de la Señal, Precisión Diagnóstica y Monitorización de Enfermedades Cardíacas.....	55
4.11	Interfaz del usuario y Software .....	56
4.11.1	Funciones y Capacidades del Software para el Análisis y Reporte de Resultados .....	57
4.11.2	Calidad e interpretación de Señales.....	59
4.11.3	Seguridad y privacidad.....	60
4.11.4	Usabilidad y entrenamiento del usuario .....	61
5.	MARCO METODOLOGICO .....	61
5.1	Procesamiento de señales en matlab .....	62
5.1.1	Preprocesamiento de señales.....	63
5.2	Exploración y análisis de las señales .....	65
5.3	Base de datos: Plataformas de investigación .....	66
5.4	Implementación de algoritmos en matlab .....	66
5.5	Visualización de resultados.....	67
5.6	Validación del procesamiento de señales .....	68
5.7	Diseño de estudio.....	69
5.8	Población.....	72
5.9	Análisis técnico .....	72
5.10	Análisis de datos.....	73

6. Resultados.....	76
6.1 Metodología de preprocesamiento .....	81
6.2 Script de carga de la BBD en Matlab .....	83
7. Conclusiones.....	87
8. Recomendaciones .....	89
9. Bibliografía.....	91

## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema de diagnóstico predictivo basado en el procesamiento de señales para el análisis de las anomalías cardíacas nos ayuda a determinar el nivel de comprensión y familiarización para la formación de mejores profesionales. El electrocardiógrafo es nuestro principal equipo biomédico destacándolo en la evaluación y el diagnóstico de las diferentes condiciones cardíacas.

El desarrollo del sistema de diagnóstico predictivo diseñado específicamente para mejorar la educación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana no solo proporciona una herramienta práctica para el aprendizaje, sino que también incorpora algoritmos avanzados de aprendizaje automático para ofrecer lecturas predictivas en tiempo real. De esta manera, los estudiantes podrán familiarizarse con el uso del electrocardiógrafo y comprender mejor las señales eléctricas del corazón.

Por consiguiente, el sistema de diagnóstico predictivo ofrece una plataforma innovadora donde los estudiantes pueden practicar y perfeccionar sus habilidades interpretativas, recibiendo retroalimentación inmediata sobre la precisión de sus análisis. Esto no solo enriquecerá su experiencia de aprendizaje, sino que también preparará a los futuros ingenieros biomédicos para enfrentar los desafíos del campo clínico con una base sólida de conocimientos prácticos y teóricos.

Por lo tanto, la implementación de este sistema contribuirá significativamente a la mejora de los métodos de estudio relacionados con las actividades cardíacas. Al utilizar simuladores en condiciones cardíacas reales, el sistema permitirá detectar anomalías estructurales predominantes en un rango de edad de 18 a 56 años, proporcionando a los estudiantes una visión integral y aplicada de las patologías cardíacas. Este enfoque no solo potenciará su comprensión de las

enfermedades cardíacas, sino que también les dará la confianza y competencia necesarias para realizar diagnósticos precisos en su futura práctica profesional.

## **2. PROBLEMA**

### **2.1 Descripción del problema**

La falta de tecnologías en el ámbito educativo de la ingeniería biomédica ha ocasionado un déficit en la enseñanza y familiarización del uso adecuado de los equipos médicos desde su funcionamiento hasta la obtención de resultados para su calibración. El problema fundamental se basa en el insuficiente conocimiento al momento de manejar los diferentes equipos médicos, en este caso los electrocardiógrafos que como resultado final se obtiene exámenes de las ondas eléctricas del corazón (ecg).

Para abordar este problema que se presenta se desarrollará un sistema de diagnóstico predictivo a través del análisis de ondas cardíacas que presentan anomalías estructurales basadas en el procesamiento de señales mediante una interfaz que beneficiara a los estudiantes de Biomedicina en la Universidad Politécnica Salesiana, potenciando métodos de estudio en cuanto a las actividades cardíacas y al momento de lectura tanto de las ondas como señales y resultados que puede emitir un electrocardiógrafo mediante el uso de simuladores detectando algunas de las anomalías estructurales más predominantes en un rango de 18 a 56 años de edad.

### **2.2 Justificación del problema**

El *sistema de diagnóstico predictivo* proporcionará una herramienta de aprendizaje innovadora y fundamental para las futuras generaciones de estudiantes de ingeniería biomédica. Este proyecto está diseñado para abordar la falta de tecnología crítica en la formación de estos futuros profesionales desde la comprensión del funcionamiento del electrocardiógrafo hasta la interpretación de electrocardiogramas como el aprendizaje tanto de las ondas cardíacas como de las señales eléctricas del corazón. Para abordar este desafío, se desarrollará un algoritmo de

aprendizaje automático para visualizar los resultados obtenidos en un examen de electrocardiograma. Esto significa, que los estudiantes comprenderán tanto el funcionamiento adecuado de un electrocardiógrafo y los resultados obtenidos. Este enfoque tiene como finalidad innovar y mejorar significativamente un equipo biomédico de alta demanda. Al combinar el conocimiento teórico con la práctica activa y la retroalimentación en tiempo real, estamos creando una herramienta de aprendizaje que empodera a los estudiantes para adquirir habilidades sólidas en el manejo adecuado del equipo, la interpretación de electrocardiogramas y la identificación de posibles patologías cardíacas estructurales. Es importante destacar que el proyecto no busca reemplazar a los médicos o especialistas certificados en el diagnóstico cardíaco.

### **2.3 Antecedentes**

El electrocardiógrafo, desde su invención por Willem Einthoven en 1903, ha sido una herramienta crucial en el diagnóstico de enfermedades cardíacas. A lo largo de los años, los ECGs han evolucionado desde dispositivos rudimentarios hasta equipos digitales avanzados que ofrecen una precisión mejorada y capacidades de análisis complejas (Smith, 2020). En la medicina moderna, el ECG es esencial para la detección temprana de arritmias, isquemias y otras anomalías cardíacas (Jones & Brown, 2018). Su uso generalizado en hospitales y clínicas subraya la necesidad de una correcta interpretación de las señales eléctricas del corazón. Sin embargo, esta interpretación requiere una formación adecuada, lo cual destaca la importancia de la educación en este campo (Johnson, 2017).

Los programas educativos en ingeniería biomédica enfrentan desafíos significativos al intentar equipar a los estudiantes con habilidades prácticas en el uso de equipos médicos (Wilson, 2019). La falta de acceso a dispositivos modernos y simuladores de alta fidelidad puede limitar la capacidad de los estudiantes para familiarizarse con el uso y la interpretación de

electrocardiogramas. Estos desafíos subrayan la necesidad de innovaciones educativas que integren tecnología avanzada en el aprendizaje (Martínez et al., 2021).

La integración de algoritmos de aprendizaje automático en la interpretación de ECG ha mostrado un gran potencial para mejorar la precisión y la eficiencia del diagnóstico (Lee & Kim, 2020). Estos algoritmos pueden aprender de grandes volúmenes de datos y detectar patrones sutiles que pueden ser pasados por alto por los humanos. En el ámbito educativo, estas tecnologías pueden proporcionar retroalimentación en tiempo real a los estudiantes, mejorando su comprensión y habilidades diagnósticas (García, 2019). Existen varios estudios y proyectos que han explorado el uso de sistemas de diagnóstico predictivo en la educación médica. Por ejemplo, investigaciones en universidades de todo el mundo han demostrado que el uso de simuladores y sistemas de retroalimentación en tiempo real puede mejorar significativamente la capacidad de los estudiantes para interpretar ECGs (Thompson, 2018). Estos estudios proporcionan una base sólida para el desarrollo de nuevas herramientas educativas que integren tecnología avanzada con métodos de enseñanza prácticos (Liu et al., 2020).

La creciente complejidad de los equipos médicos y la rapidez con la que evoluciona la tecnología subrayan la necesidad de innovaciones constantes en la educación de ingeniería biomédica (Walker, 2021). Los métodos tradicionales de enseñanza deben complementarse con herramientas que permitan a los estudiantes interactuar de manera más efectiva con la tecnología moderna. El desarrollo de un sistema de diagnóstico predictivo de ECG representa un paso importante en esta dirección, proporcionando a los estudiantes una plataforma para aprender y practicar con dispositivos que reflejan las realidades de la práctica clínica (Hernández & Rivera, 2019).

## 2.4 Importancia y alcances

El desarrollo de un sistema de diagnóstico predictivo de electrocardiogramas (ECG) es crucial para abordar un déficit significativo en la educación de los estudiantes de ingeniería biomédica. Actualmente, muchos programas educativos carecen de acceso a tecnologías avanzadas que permitan a los estudiantes obtener experiencia práctica con dispositivos médicos. Este sistema proporcionará una plataforma donde los estudiantes pueden interactuar con electrocardiógrafos simulados, mejorando su comprensión de las señales eléctricas del corazón y su capacidad para interpretar correctamente los resultados de los ECG. Además, la integración de algoritmos de aprendizaje automático en el diagnóstico de ECG no solo mejorará la precisión y eficiencia del diagnóstico, sino que también proporcionará a los estudiantes una visión práctica de cómo se aplican estas tecnologías emergentes en el campo de la biomedicina. Esto les dará una ventaja competitiva al ingresar al mercado laboral, donde la habilidad para utilizar y comprender tecnologías avanzadas es cada vez más demandada.

El alcance de este proyecto incluye la implementación y evaluación de un sistema de diagnóstico predictivo que puede ser utilizado como una herramienta educativa en la Universidad Politécnica Salesiana. Específicamente, el proyecto abarca el desarrollo tecnológico de un sistema integral que incorpora algoritmos de procesamiento de señales para el análisis y el diseño de una interfaz amigable para el usuario. Además, se integrará el sistema en el currículo de la carrera de Ingeniería Biomédica, proporcionando recursos didácticos, así como talleres y sesiones de capacitación para asegurar una correcta utilización del sistema. Se implementará un proceso de evaluación continua para medir la efectividad del sistema y realizar ajustes según el feedback de los usuarios. A largo plazo, este sistema tiene el potencial de ser adoptado por otras instituciones educativas, ampliando

su impacto y promoviendo la investigación en el campo de la innovación y el desarrollo tecnológico en la biomedicina.

## **2.5 Delimitación**

### **2.5.1 Sectorial o institucional**

El siguiente proyecto de trabajo de titulación se desarrollará en la Ciudad de Guayaquil en la Universidad Politécnica Salesiana.

### **3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

Analizar las anomalías cardíacas estructurales mediante el procesamiento de señales a través de la creación de un sistema de diagnóstico predictivo a beneficio de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana

#### **Objetivos Específicos**

- Recopilar y compilar una base de datos de señales cardíacas obtenidas de repositorios médicos.
- Comparar las ondas cardíacas generadas por un simulador y las ondas adquiridas de los pacientes, con el propósito de analizar exhaustivamente las diferencias y similitudes en estas señales cardíacas.
- Implementar un sistema integral de diagnóstico predictivo en matlab que abarque el preprocesamiento de datos de ECG.
- Evaluar el sistema de diagnóstico predictivo a través de pruebas mediante el uso de base de datos preexistentes y datos de pacientes en tiempo real.

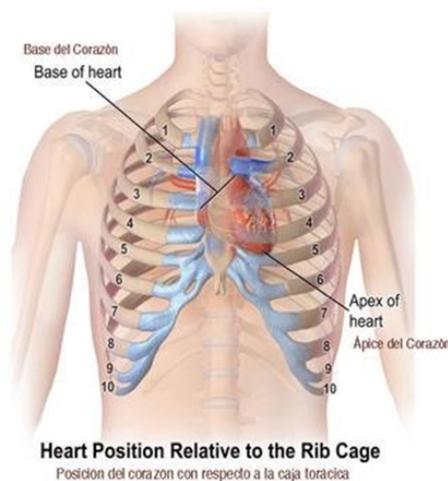
## 4. MARCO TEORICO

### 4.1 Electrofisiología del corazón

El corazón desempeña un papel fundamental en el ser humano, su principal función es bombear sangre a todo el cuerpo a través de los vasos sanguíneos. Se encuentra ubicado en el tórax por detrás del esternón y delante del esófago, la aorta y la columna vertebral, a ambos lados se encuentran los pulmones. en un saco fibroso denominado pericardio el cual mantiene al corazón en posición anatómica. En la figura 1, se observa que se encuentra en el mediastino medio de la cavidad torácica, ligeramente a la izquierda, detrás del esternón y delante de la columna vertebral, protegido en su parte anterior por el esternón y los cartílagos costales de la tercera a la sexta costilla, lateralmente esta flanqueado por los pulmones, posteriormente se encuentra en contacto con la columna vertebral específicamente con las vértebras torácicas T5 – T8 y en su parte inferior con el diafragma que lo separa de los órganos abdominales, como el hígado y el estómago.

#### Figura 1

*Posición anatómica del corazón*



*Nota: Posición anatómica del corazón en relación con la caja torácica. (Blaus, 2013)*

El corazón está formado por tres capas:

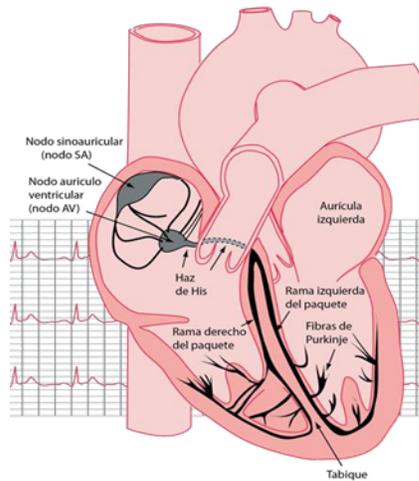
- Endocardio o capa interna: Membrana delgada que reviste internamente al corazón y marca los límites entre las cámaras cardíacas.
- Miocardio o capa media: Compuesto principalmente por fibras musculares, constituye la mayor parte del tejido cardíaco y es la capa más gruesa del corazón, lo que le permite contraerse eficazmente para bombear la sangre. El grosor del miocardio no es constante a lo largo del corazón, ya que presenta anillos más gruesos que brindan soporte a los vasos sanguíneos que emergen del corazón.
- Pericardio o capa externa: Membrana resistente o un saco fibroso que envuelve completamente el corazón y se divide en dos capas: el pericardio fibroso y el pericardio seroso. Entre estas capas se encuentra el líquido pericárdico, que lubrica el tejido y permite que el corazón se contraiga y se mueva con facilidad para bombear sangre.

## **4.2 Sistema eléctrico cardíaco**

La señal eléctrica inicia su recorrido en el nodo sinoauricular, también conocido como nodo SA, ubicado en la aurícula derecha del corazón, como se observa en la figura 2. Este nodo actúa como el marcapasos natural del corazón, siendo el generador de la señal eléctrica inicial. La señal proveniente del nodo SA provoca la contracción de las aurículas, lo que resulta en el impulso inicial de la sangre hacia los ventrículos. Luego, la señal eléctrica se dirige hacia una región de células localizada en la parte inferior de la aurícula derecha, denominada nodo auriculoventricular o nodo AV. Las células en esta zona desempeñan un papel de regulación, coordinando la secuencia temporal de la señal para que las aurículas y los ventrículos no se contraigan al mismo tiempo. Esto se logra mediante la introducción de un breve retraso.

## Figura 2

### *Sistema eléctrico del corazón*



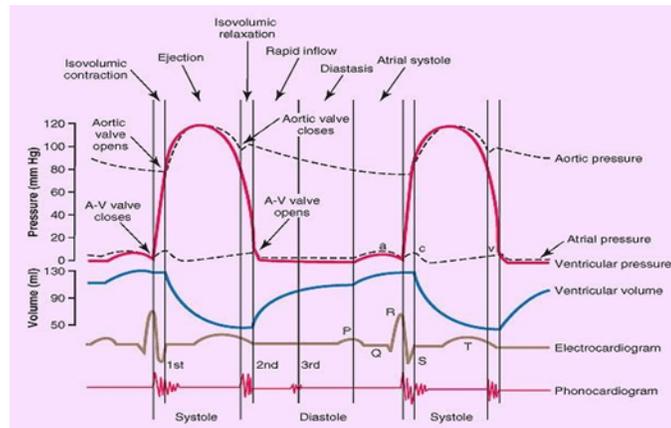
*Nota: Recorrido de la señal eléctrica del corazón (Charand, 2015)*

A partir de este punto, la señal eléctrica se propaga a través de las fibras de Purkinje, que están ubicadas en el interior de las paredes de los ventrículos. Estas fibras conducen el impulso eléctrico al tejido muscular del corazón, lo que da lugar a la contracción coordinada de los ventrículos y, por ende, al proceso de bombeo sanguíneo. El ciclo cardíaco se compone de una secuencia de eventos que ocurren con cada latido del corazón y se divide en dos fases principales: la sístole y la diástole. En la figura 3, se observa la diástole, donde el corazón se encuentra en fase de relajación, la presión en las cámaras cardíacas disminuye, mientras que la válvula mitral y la válvula tricúspide se abren para así permitir la entrada de la sangre, luego la aurícula se contrae y bombeada sangre al ventrículo el cual aumenta su presión, pero no cambia el volumen de la sangre, para proceder a la fase donde se contrae el corazón, bombeando sangre hacia la aorta y arterias pulmonares, la presión de las cámaras aumenta lo que permite que se abran las válvulas y la sangre es expulsada de los ventrículos, inmediatamente se presenta la relajación de los ventrículos y

disminución de la presión en las válvulas aórticas y pulmonares para permitir así su cierre, cerrando completamente el ventrículo llenándolo de sangre.

**Figura 3**

*Fases del ciclo cardíaco*



*Nota: Figura 3 Fases del ciclo cardíaco (Cantabria, 2017)*

- **Las Cuatro Cámaras:** El corazón está formado por cuatro cavidades o cámaras: las dos aurículas (aurícula derecha y aurícula izquierda) y los dos ventrículos (ventrículo derecho y ventrículo izquierdo). Las aurículas reciben sangre de las venas y la envían a los ventrículos. Los ventrículos, a su vez, expulsan la sangre hacia las arterias principales.
- **Válvulas Cardíacas:** El corazón está equipado con válvulas que aseguran un flujo unidireccional de la sangre. Las válvulas atrio ventriculares (como la tricúspide y la mitral) separan las aurículas de los ventrículos. Las válvulas semilunares (como la pulmonar y la aórtica) controlan el flujo de sangre desde los ventrículos hacia las arterias.
- **Conducción Eléctrica:** El corazón cuenta con un sistema eléctrico propio que regula los latidos cardíacos. El nodo sinoauricular (SA) genera impulsos eléctricos que inician cada latido, los cuales se propagan a través del nodo auriculoventricular (AV) y las fibras de Purkinje, lo que provoca la contracción sincronizada de las aurículas y los ventrículos.

- **Ciclo de Presión:** La presión en el corazón varía a lo largo del ciclo cardíaco. La presión arterial es más alta durante la sístole ventricular (durante la contracción de los ventrículos) y más baja durante la diástole ventricular (cuando los ventrículos se relajan). Estos cambios de presión impulsan la sangre a través de las arterias y las arteriolas hacia los capilares, donde se produce el intercambio de nutrientes y desechos con las células.
- **Circulación Sistémica y Pulmonar:** El corazón bombea sangre oxigenada hacia la circulación sistémica, que distribuye sangre rica en oxígeno a todo el cuerpo. También impulsa la sangre desoxigenada hacia la circulación pulmonar, donde los pulmones la oxigenan nuevamente al eliminar el dióxido de carbono y añadir oxígeno.
- **Regulación Hormonal y Nerviosa:** La fisiología del corazón está regulada por el sistema nervioso autónomo y por hormonas como la adrenalina. Estas señales controlan la frecuencia cardíaca y la fuerza de las contracciones cardíacas en respuesta a las necesidades del cuerpo.

#### **4.2.1 Regulación de la actividad eléctrica cardíaca**

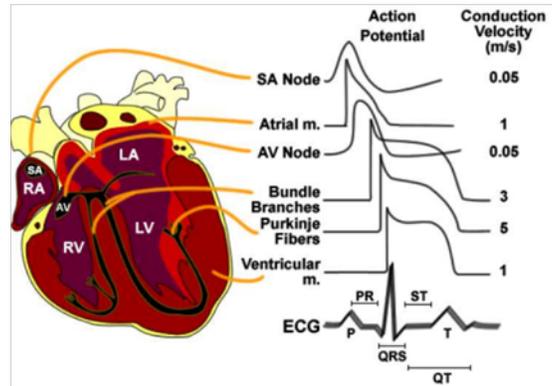
La regulación eléctrica cardíaca se refiere a los mecanismos y procesos que controlan la generación y propagación de los impulsos eléctricos en el corazón, esenciales para coordinar las contracciones rítmicas del músculo cardíaco y mantener un ritmo cardíaco adecuado. Esta regulación es crucial para el funcionamiento eficiente del sistema cardiovascular, asegurando que la sangre se bombee adecuadamente a través del cuerpo.

En la figura 4, se observa la regulación de la actividad eléctrica del corazón hay diferentes células cardíacas que presentan cinco propiedades funcionales; excitabilidad o batmotropismo, frecuencia de descarga o cronotropismo, conductibilidad o dormotropismo, contractilidad o inotropismo y

relajación o lusitropismo. Debemos tener en cuenta que los impulsos eléctricos cardiacos empiezan en un grupo de células agrupados en el nódulo sinusal (aurícula derecha).

#### Figura 4

##### *Regulación eléctrica del corazón*



*Nota: Las diferentes células cardíacas presentan las cinco propiedades funcionales.*

La actividad eléctrica que corresponde a la activación de una cámara cardíaca se refleja en el electrograma local, el cual es una representación gráfica de la diferencia de potencial entre dos electrodos. La disposición de estos electrodos se denomina derivación, y existen dos tipos principales: monopolares y bipolares.

En las derivaciones monopolares, se mide la diferencia de potencial entre un electrodo explorador, que generalmente está en contacto con el corazón, y un electrodo indiferente, situado lejos del corazón (por ejemplo, en la carcasa del marcapasos), cuyo voltaje teórico es cero o cercano a cero. Por otro lado, en las derivaciones bipolares, se registran las variaciones de potencial entre dos electrodos que suelen estar cerca uno del otro y conectados a los dos polos del amplificador, registrándose así las diferencias relativas de potencial entre ambos electrodos.

Actualmente, casi todos los dispositivos, ya sea que se ubiquen en la aurícula y/o el ventrículo derecho, disponen de dos electrodos intracardiacos, permitiendo el registro de ambos tipos de

derivaciones. En las derivaciones monopolares, la gran distancia entre los electrodos puede causar que la señal captada se contamine con señales de zonas relativamente alejadas del electrodo explorador debido al efecto antena. Estas señales externas se conocen como potenciales de campo lejano e incluyen no solo potenciales de estructuras cardíacas distantes del electrodo explorador, sino también interferencias electromagnéticas de diversas fuentes.

La derivación bipolar se obtiene al restar algebraicamente las dos derivaciones monopolares generadas por cada uno de los dos electrodos. Dado que los electrodos están cercanos entre sí, las derivaciones monopolares de ambos son muy similares. Por esta razón, cuando los electrodos están dispuestos longitudinalmente en la dirección del frente de despolarización, las dos señales solo difieren en el retraso temporal, y su resta resultará en un potencial pequeño. Por el contrario, cuando los electrodos están orientados perpendicularmente al frente de activación, las derivaciones monopolares son casi idénticas y no hay un gran retraso temporal, por lo que su resta algebraica se aproxima a la línea isoeletrica. En la tabla 1 se observa las diferencias entre la derivación y derivación bipolar. Además, el ruido no deseado tiende a cancelarse en la derivación bipolar, ya que afecta de manera similar a ambas derivaciones monopolares.

**Tabla 1**

*Diferencias entre estimulación y detección unipolar y bipolar*

<b>Derivación Unipolar</b>	<b>Derivación Bipolar</b>
Menor umbral	Mayor umbral
Mayor probabilidad de estimulación no deseada	Menor probabilidad de estimulación no deseada
Espiga mayor en el ECG	Menor espiga en ECG
Telemetría muy fiable	Menor fiabilidad de telemetría

Mayor inhibición por sobre detección

Menor inhibición por sobre detección

Mayor probabilidad de afectarse por IEM

Menor probabilidad de afectarse por IEM

Mayor impedancia

Menor impedancia

---

*Nota: " La elección entre un sistema unipolar o bipolar depende de las necesidades clínicas específicas, el entorno de uso y las consideraciones de diseño del dispositivo" (Neuzil & Reddy, 2017).*

#### **4.2.2 Factores que afectan la frecuencia cardíaca**

La frecuencia cardíaca, que es el número de latidos del corazón por minuto, puede ser afectada por una variedad de factores. Estos incluyen factores fisiológicos, ambientales, emocionales y de salud, como se puede visualizar en la tabla 2. "El estrés y la ansiedad pueden aumentar la frecuencia cardíaca debido a la liberación de hormonas del estrés como la adrenalina" (Cruz Fernández, 2018).

**Tabla 2**

*Factores que afectan la frecuencia cardíaca*

<b>Categoría</b>	<b>Factores</b>
Fisiológicos	Edad
	Condición física
	Sexo
Ambientales	Temperatura ambiental
	Altitud
Emocionales	Estrés y ansiedad
	Felicidad y excitación
Salud y Medicamentos	Enfermedades cardíacas
	Fiebre e infecciones

	Medicamentos
Actividad física	Ejercicio
Estilo de vida	Consumo de cafeína y nicotina
	Sueño y descanso

---

*Nota: "Estos factores pueden tener efectos directos o indirectos en la regulación del ritmo cardíaco y varían de acuerdo con las características individuales y el entorno" (Guyton & Hall, 2021).*

### **4.3 Trastornos del ritmo cardíaco**

También conocidos como arritmias, son latidos del corazón anormales o irregulares estos alteran las señales eléctricas del corazón y hacen que este tenga un latido muy rápido, despacio o de forma anormal. (Surgeons, 2024). Esta frecuencia cardiaca se regula por el sistema neurovegetativo, el cual se compone de los sistemas simpático y parasimpático. El simpático incrementa la frecuencia cardiaca por una red de nervios la cual es denominada plexo simpático, mientras que el sistema parasimpático se encarga de disminuir aquella frecuencia mediante un único nervio (nervio vago). También recibe influencia de las hormonas Epinefrina y Norepinefrina, las cuales son liberadas al torrente sanguíneo. En un adulto en reposo la frecuencia puede encontrarse entre los 60 y los 100 latidos por minutos, sin embargo, la frecuencia cardiaca puede variar al practicar ejercicio y al sentirse estímulos como el dolor y la ira. El ritmo cardíaco es considerado anómalo cuando es demasiado rápida (taquicardia, demasiado lenta (bradicardia) o cuando los impulsos se desplazan por vías anómalas, (Mitchell, 2023)

#### **4.3.1 Arritmias cardiacas tipos y mecanismos**

Existen muchos tipos de arritmias, dependiendo la parte del corazón que se encuentre afectada y ver si causan frecuencia cardiaca lenta, rápida o irregular. Estas pueden ocurrir en las aurículas o ventrículos. Los mecanismos de las arritmias cardiacas se dividen en trastornos de la formación

del impulso, trastornos de conducción de impulso o combinación de ambos, como se lo evidencia en la tabla 3 donde indica como se originan.

**Tabla 3**

*Mecanismos de las arritmias cardiacas*

<b>Trastornos de la formación del impulso</b>	<b>Trastornos de la conducción del impulso</b>
Automatismo Normal	Reentrada anatómica
Automatismo anormal	Reentrada funcional
Post potenciales tardíos	
Post potenciales precoces	

*Nota: "Las arritmias cardíacas pueden originarse por trastornos en la formación o de la conducción del impulso" (Zipes & Jalife, 2014).*

### **4.3.2 Taquicardia y bradicardia**

La taquicardia es una condición en la que el corazón late a una frecuencia superior a 100 latidos por minuto en reposo. Esta aceleración del ritmo cardíaco puede ser una respuesta normal a situaciones como el ejercicio o el estrés. Sin embargo, también puede indicar disfunciones cardíacas que requieren atención médica y técnica especializada (American Heart Association, 2022).

#### **Tipos de Taquicardia:**

- **Taquicardia Sinusal:** Se origina en el nodo sinusal y se caracteriza por un aumento en la frecuencia cardíaca. Es crucial diferenciar este tipo de taquicardia de otras variantes mediante técnicas avanzadas de monitoreo, como los electrocardiogramas (ECG) y los dispositivos Holter, que registran la actividad eléctrica del corazón durante un período prolongado (Kotecha et al., 2018).

- **Taquicardia Supraventricular:** Comprende arritmias como la fibrilación y el aleteo auriculares. Para identificar patrones anormales en la actividad eléctrica del corazón, se utilizan tecnologías de imagen y análisis de señales avanzados (Zipes et al., 2018).
- **Taquicardia Ventricular:** Se origina en los ventrículos y puede ser potencialmente peligrosa. La detección precisa de esta condición a menudo requiere el uso de dispositivos de monitoreo especializados y técnicas avanzadas de electrofisiología (Zipes et al., 2018).

### **Causas y Tecnologías de Diagnóstico:**

- **Fisiológicas:** Factores como el ejercicio, la fiebre y la deshidratación pueden causar taquicardia. El monitoreo continuo con dispositivos portátiles es útil para distinguir entre taquicardias fisiológicas y patológicas.
- **Patológicas:** Condiciones como la enfermedad coronaria y la hipertensión pueden desencadenar taquicardias. Tecnologías de imagen, como la ecocardiografía y la resonancia magnética cardíaca, proporcionan información detallada sobre la estructura y el flujo sanguíneo del corazón (Kotecha et al., 2018).

### **Tratamiento:**

- **Medicación:** Se utilizan fármacos antiarrítmicos, como los betabloqueantes y los bloqueadores de los canales de calcio, para controlar la frecuencia cardíaca.
- **Procedimientos:** Técnicas como la cardioversión eléctrica y la ablación con catéter se utilizan para tratar la taquicardia persistente. Estas intervenciones requieren una planificación precisa y el uso de tecnologías avanzadas para minimizar riesgos (American Heart Association, 2022).

La bradicardia, por otro lado, es una condición en la que el ritmo cardíaco es inferior a 60 latidos por minuto en reposo. Aunque puede ser normal en personas con alta condición física o durante el sueño, también puede indicar problemas cardíacos subyacentes que requieren evaluación médica y técnica (American Heart Association, 2022).

### **Tipos de Bradicardia:**

- **Bradicardia Sinusal:** Ocurre cuando el nodo sinusal genera impulsos a una frecuencia más lenta de lo normal. El uso de ECG y monitores cardíacos portátiles es crucial para el diagnóstico y seguimiento de esta condición (Zipes et al., 2018).
- **Bloqueo Auriculoventricular (AV):** Se caracteriza por la interrupción de la transmisión normal de impulsos eléctricos del nodo AV a los ventrículos. Este tipo de bradicardia requiere un análisis detallado con técnicas de electrofisiología y monitoreo continuo para determinar su gravedad y la necesidad de intervención (Zipes et al., 2018).
- **Bradicardia Ventricular:** Asociada a condiciones graves como el infarto de miocardio, esta forma de bradicardia requiere una evaluación detallada mediante técnicas de imagen y monitoreo avanzado (Kotecha et al., 2018).

### **Causas y Tecnologías de Diagnóstico:**

- **Fisiológicas:** Estados como la alta condición física y el sueño profundo pueden causar bradicardia. Los monitores cardíacos portátiles ayudan a registrar episodios en diferentes estados de actividad.
- **Patológicas:** Problemas como el bloqueo del nodo AV o el síndrome del nodo enfermo requieren el uso de técnicas de estimulación y marcapasos para tratar la bradicardia severa,

con una evaluación tecnológica precisa para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo (Kotecha et al., 2018).

### **Tratamiento:**

- **Medicación:** En algunos casos, ajustar los medicamentos que podrían estar causando la bradicardia es suficiente.
- **Marcapasos:** En casos más graves, se implanta un marcapasos para regular el ritmo cardíaco. La ingeniería biomédica desempeña un papel clave en el diseño y la implementación de estos dispositivos, garantizando su eficacia y seguridad (Zipes et al., 2018).
- **Tratamiento de la causa subyacente:** Abordar condiciones subyacentes como el hipotiroidismo o el síndrome del nodo enfermo con intervenciones médicas y tecnológicas adecuadas (Kotecha et al., 2018).

### **4.4 Anomalías Cardíacas**

Las anomalías cardíacas son defectos que afectan el corazón en términos de estructura y función. Estas anomalías pueden ser congénitas, presentes desde el nacimiento, o adquiridas, desarrollándose a lo largo de la vida debido a diversos factores. Estudiar estas anomalías es crucial, ya que las enfermedades cardíacas son una de las principales causas de muerte a nivel mundial. Comprenderlas permite un mejor diagnóstico y tratamiento, lo que puede mejorar significativamente la calidad de vida de los pacientes (World Health Organization, 2021).

#### **4.4.1 Anomalías cardíacas: clasificación e importancia**

Las anomalías cardíacas se definen como cualquier irregularidad en la estructura o función del corazón. Se clasifican en dos tipos principales:

**Anomalías Congénitas:** Estas son malformaciones presentes desde el nacimiento, como los defectos en las paredes del corazón, en las válvulas, o en los vasos sanguíneos. Ejemplos incluyen el defecto septal atrial (DSA) y la tetralogía de Fallot (Hoffman & Kaplan, 2020).

**Anomalías Adquiridas:** Estas afecciones se desarrollan con el tiempo debido a factores como enfermedades, infecciones o el envejecimiento. Ejemplos incluyen la cardiopatía isquémica y las enfermedades valvulares (Warnes, Libberthson, & Danielson, 2020).

El estudio de las anomalías cardíacas es fundamental por varias razones. En primer lugar, estas condiciones representan una de las principales causas de mortalidad en todo el mundo. En segundo lugar, un diagnóstico temprano y preciso puede mejorar significativamente la calidad de vida de los pacientes, evitando complicaciones graves como insuficiencia cardíaca. Además, los avances en el estudio de estas anomalías han permitido desarrollar tratamientos más efectivos, aumentando las tasas de supervivencia (Hoffman & Kaplan, 2020).

#### **4.4.2 Tipos de Anomalías Cardíacas: estructurales y funcionales**

Las anomalías cardíacas pueden ser congénitas, presentes desde el nacimiento, o adquiridas, desarrollándose a lo largo del tiempo debido a diversos factores. Las anomalías congénitas abarcan una variedad de defectos que afectan la estructura y el funcionamiento del corazón, como el Defecto Septal Atrial (DSA), que consiste en un agujero en la pared que separa las aurículas, permitiendo la mezcla de sangre entre ambas cámaras (Hoffman & Kaplan, 2020). También se incluyen la Tetralogía de Fallot, un conjunto de cuatro defectos cardíacos que impactan la

estructura del corazón y la oxigenación de la sangre (Hoffman & Kaplan, 2020), y la Transposición de las Grandes Arterias (TGA), que implica el intercambio de las dos arterias principales del corazón, alterando el flujo sanguíneo normal (Warnes et al., 2020). Por otro lado, las anomalías cardíacas adquiridas, como la Cardiopatía Isquémica, que se caracteriza por el estrechamiento de las arterias coronarias y puede provocar dolor en el pecho y ataques al corazón (Warnes et al., 2020), las Enfermedades Valvulares, que incluyen defectos en las válvulas del corazón, como la estenosis aórtica y la insuficiencia mitral (Warnes et al., 2020), y las Miocardiopatías, enfermedades del músculo cardíaco como la miocardiopatía dilatada y la miocardiopatía hipertrófica, que pueden llevar a insuficiencia cardíaca (Hoffman & Kaplan, 2020). Las anomalías cardíacas representan defectos mal funcionamiento del corazón hay diferentes tipos de anomalías y en este proyecto nos vamos a enfocar en las anomalías cardiacas estructurales teniendo en cuenta que estas pueden ser congénitas o adquiridas en el transcurso de su vida. Cabe mencionar que en el proyecto se trataran patologías más frecuentes en el rango de edad establecida que son las miocardiopatías, las hipertrofias miocárdicas y las enfermedades vasculares.

La miocardiopatía, enfermedad del musculo cardíaco donde resulta complicado bombear sangre a todas las partes del cuerpo, no hay fuentes que digan con certeza cuales son las causas o de donde proviene esta anomalía, pero siempre se adquiere a partir de la presencia de otra afección, tal como presión arterial a largo plazo, daños en los tejidos cardiacos, infección por covid-19, trastornos metabólicos o trastornos del tejido conectivo, también por el consumo excesivo de alcohol, cocaína y esteroides metabólicos en el transcurso muchos años. Sin embargo, también pueden ser adquiridas por gen hereditario tanto de la madre como del padre. En la tabla 4, se recalca que existen diferentes tipos de miocardiopatía, así como miocardiopatía dilatada (MCD),

miocardiopatía hipertrófica (MCH), miocardiopatía restrictiva (MCR) y la miocardiopatía Arritmogénica del ventrículo derecho (MAVD).

**Tabla 4**

*Miocardiopatías*

<b>Miocardiopatía</b>	<b>Ondas afectadas</b>	<b>Características</b>
Dilatada (MCD)	Onda P: $>0.25\text{Mv}$ , $>0.12\text{s}$  Intervalo PR: $>0.20\text{ s}$  Complejo QRS: $> 0.12\text{S}$	Dilatación auricular, retraso en la conducción auriculoventricular, bloqueos de rama, ensanchamiento del complejo QRS
Hipertrófica (MCH)	Onda P: $>0.25\text{Mv}$ , $>0.12\text{s}$  Complejo QRS: $>2.5\text{mV}$ , $>3\text{mV}$  Ondas Q profundas: $> 0.04\text{s}$  Segmento ST: $>0.5\text{mm}$	Hipertrofia auricular izquierda, derivaciones precordiales, inversión en derivaciones laterales
Restrictiva (MCR)	Onda P: $>0.25\text{Mv}$ , $>0.12\text{s}$  Intervalo PR: $>0.20\text{ s}$  Complejo QRS: $< 5\text{mm}$  (extremidades), $<10\text{mm}$  (precordiales)	Dilatación auricular, retraso en la conducción auriculoventricular, infiltración miocárdica, depresiones ST, ondas T invertidas,

Arritmogénica del ventrículo derecho (MAVD)	Complejo QRS: > 0.12s	Ondas épsilon, inversión en derivaciones precordiales derechas (V1 – V3), alteraciones en inespecíficas en el segmento ST.
---	-----------------------	--

*Nota: Las diferentes miocardiopatías se caracterizan por cambios específicos en las ondas y segmentos del ECG, reflejando la alteración estructural y funcional del miocardio. (Maron et al., 2018).*

La hipertrofia miocárdica, se debe a él engrosamiento o aumento de tamaño de las células musculares, no se presenta por factores genéticos sino más bien a diversos factores como la hipertensión arterial crónica, enfermedad vascular y al ejercicio intenso que se reconoce como hipertrofia cardíaca del atleta. La hipertrofia muscular se clasifica de diferentes formas tal como se observa en la tabla 5, hipertrofia concéntrica, hipertrofia excéntrica, hipertrofia asimétrica, hipertrofia compensada – descompensada y la hipertrofia septal – apical.

**Tabla 5**

*Hipertrofia miocárdica*

<b>Hipertrofia miocárdica</b>	<b>Ondas afectadas</b>	<b>Características</b>
Concéntrica	Onda R: >7mm, >1mm	Presencia de onda S profunda en derivaciones laterales (I, aVL, V5-V6), onda T invertida
Excéntrica	Aumento en V5 – V6	
Asimétrica	Onda R: >7mm, >1mm Aumento en V5 – V6	Engrosamiento del miocardio, mayor prominencia algún ventrículo, obstrucción del flujo de salida del ventrículo izquierdo.

Compensada	Onda R: >7mm, >1mm	Sin síntomas de insuficiencia cardiaca
Descompensada	Aumento en V5 – V6	(disnea, fatiga, edema), función ventricular ligeramente reducida
Septal	Onda R: >7mm, >1mm Aumento en V1 – V4	Engrosamiento prominente del tabique intraventricular, onda T invertida en las mismas derivaciones
Apical	Onda R: >7mm, >1mm Aumento en V3 – V6	Engrosamiento prominente en la región apical del ventrículo derecho, onda T invertida

---

*Nota: La hipertrofia miocárdica se manifiesta en el ECG con cambios específicos en las ondas y segmentos, dependiendo de la localización y el tipo de hipertrofia. (Nagueh et al., 2015).*

Estos cambios incluyen ondas R aumentadas, ondas S profundas, y ondas T invertidas, que reflejan el engrosamiento del miocardio y la alteración del flujo de salida ventricular”. En la tabla 6, hace referencia a las enfermedades cardiacas vasculares donde se menciona a los diferentes trastornos que afectan tanto el corazón como los vasos sanguíneos, esta anomalía suele presentarse en personas con niveles altos de colesterol en sangre, tabaquismo, diabetes mellitus, factores genéticos y en algunos casos por inactividad física. Hay diferentes formas de clasificar las enfermedades cardiacas vasculares como la estenosis mitral, miocarditis, insuficiencia mitral, estenosis aortica, insuficiencia aórtica, estenosis pulmonar y la insuficiencia tricúspide. A continuación, se visualiza una tabla que proporciona los valores que se presentan en las diferentes anomalías con sus características correspondientes.

**Tabla 6***Enfermedades cardiacas vasculares*

<b>Enfermedad cardiaca vascular</b>	<b>Ondas afectadas y valores anormales</b>	<b>Características</b>
Estenosis mitral	Onda P: >2.5mm, >110ms	Onda P bifásica, ritmo irregular, bloqueo de rama derecha, eje eléctrico desviado a la izquierda.
Insuficiencia mitral	Onda P: >0.1mV	Onda P bifásica, fibrilación auricular, posibles signos de hipertrofia auricular izquierda
Estenosis aortica	Onda P: <0.1mV, >120ms	Onda P baja y ancha, posible hipertrofia ventricular izquierda, intervalo PR prolongado
Insuficiencia aórtica	Onda P: >0.1mV	Onda P bifásica, desviación del eje eléctrico al lado izquierdo
Estenosis pulmonar	Onda P: >2.5mm, <40ms	Onda P alta y estrecha, hipertrofia auricular derecha, bloqueo incompleto de rama derecha
Insuficiencia tricúspide	Onda P: >2.5mm, >110ms	Onda P amplia y bifásica, hipertrofia auricular derecha, bloqueo de rama derecha.
Miocarditis	Ondas T inversas	Arritmias ventriculares, cambios en el segmento ST.

*Nota: Estas alteraciones corresponden a la presencia de condiciones como estenosis e insuficiencias valvulares, así como miocarditis" (Bonow et al., 2017).*

Las anomalías cardíacas funcionales son alteraciones que afectan la función del corazón sin que haya necesariamente un cambio estructural evidente en sus componentes. Estas alteraciones incluyen problemas en el ritmo cardíaco, la capacidad de contracción del músculo cardíaco, o la eficiencia del bombeo de sangre. Ejemplos de este tipo de anomalías incluyen arritmias como la fibrilación auricular o la taquicardia ventricular, que alteran el ritmo cardíaco normal sin asociarse a cambios visibles en la estructura del corazón (Smith, 2021).

Las anomalías funcionales también pueden ser secundarias a desbalances metabólicos o a una disfunción en la regulación autónoma del corazón. Por ejemplo, el estrés, los desequilibrios hormonales o electrolíticos, y las condiciones sistémicas como la hipertensión pueden alterar la función cardíaca sin modificar la anatomía del órgano (Johnson, 2020).

#### **4.4.3 Anomalías Cardíacas Estructurales**

Las anomalías cardíacas estructurales son alteraciones anatómicas que afectan las paredes, válvulas, o vasos sanguíneos del corazón. Estas pueden ser congénitas, es decir, presentes desde el nacimiento, o adquiridas a lo largo de la vida debido a diversas patologías o factores de riesgo. Las malformaciones cardíacas congénitas, como defectos septales o anomalías valvulares, suelen derivar de problemas en el desarrollo fetal. Factores genéticos, infecciones maternas como la rubéola, o la exposición a sustancias tóxicas durante el embarazo pueden contribuir a estas anomalías (Wilson, 2019). Las enfermedades del corazón adquiridas, como la enfermedad coronaria, la miocardiopatía o la hipertensión crónica, pueden dañar la estructura del corazón a lo largo del tiempo. Factores de riesgo comunes incluyen hipertensión, tabaquismo, diabetes, sedentarismo y dietas poco saludables (Davis, 2021). Los síntomas de las anomalías cardíacas estructurales varían dependiendo de la gravedad y la localización de la anomalía. Algunos

pacientes pueden ser asintomáticos, mientras que otros pueden experimentar síntomas como: dolor torácico, disnea (dificultad para respirar), fatiga, palpitaciones, mareos o síncope.

Las anomalías valvulares, por ejemplo, pueden provocar insuficiencia cardíaca si no se tratan adecuadamente, mientras que los defectos congénitos graves pueden llevar a cianosis (piel azulada) debido a la oxigenación ineficaz de la sangre (Martin, 2022).

El diagnóstico de anomalías cardíacas estructurales se realiza a través de una combinación de historia clínica, examen físico y estudios de imagen. En la tabla 7, se observan las pruebas diagnósticas incluyen electrocardiograma, ecocardiograma y resonancia magnética cardíaca

**Tabla 7**

*Pruebas diagnósticas de anomalías cardíacas*

<b>Pruebas clínicas</b>	<b>Definición</b>
Electrocardiograma	Detecta alteraciones en la actividad eléctrica del corazón
Ecocardiograma	Visualiza las estructuras cardíacas y evalúa su funcionamiento.
Resonancia Magnética Cardíaca	Proporciona imágenes detalladas
Cateterismo cardíaco	A través de un catéter para medir presión y flujo sanguíneo.
Eco-Doppler	Mide el flujo sanguíneo y velocidad de la sangre en las válvulas y vasos sanguíneos.

Nota: Las pruebas diagnósticas para detectar anomalías cardíacas estructurales incluyen diversas técnicas de imagen y mediciones fisiológicas.

El tratamiento puede incluir medicación para controlar los síntomas, procedimientos quirúrgicos como la reparación o reemplazo de válvulas, o intervenciones menos invasivas como la colocación de dispositivos. Además, cambios en el estilo de vida, como la adopción de una dieta saludable y el ejercicio regular, pueden ser fundamentales para el manejo de la condición (Lee, 2021).

Existe una interrelación significativa entre las anomalías cardíacas estructurales y funcionales. Un cambio estructural, como la hipertrofia ventricular causada por la hipertensión crónica, puede afectar la función cardíaca, resultando en disfunción diastólica o arritmias. Del mismo modo, las anomalías funcionales prolongadas, como una arritmia no tratada, pueden inducir cambios estructurales con el tiempo, como la dilatación de las cavidades cardíacas o el engrosamiento de las paredes musculares (Brown, 2019).

#### **4.4.4 Relación entre Arritmias y Anomalías Estructurales**

Las arritmias cardíacas están estrechamente relacionadas con las anomalías estructurales del corazón. Por ejemplo, cicatrices en el tejido cardíaco tras un infarto de miocardio pueden interrumpir la conducción normal de los impulsos eléctricos, provocando arritmias ventriculares. La dilatación auricular, común en pacientes con insuficiencia cardíaca o hipertensión crónica, aumenta el riesgo de fibrilación auricular. En algunos casos, el tratamiento de la anomalía estructural subyacente puede ayudar a controlar la arritmia; en otros, se requieren intervenciones adicionales, como la ablación cardíaca o el uso de marcapasos (Clark, 2020).

#### **4.5. Electrocardiógrafo**

Un electrocardiógrafo es un dispositivo médico esencial empleado para monitorizar y evaluar la actividad eléctrica del corazón, permitiendo así la identificación y diagnóstico de posibles irregularidades en su funcionamiento. Este instrumento registra los impulsos eléctricos que

recorren el músculo cardíaco y los presenta en un gráfico denominado electrocardiograma (ECG). Mediante este gráfico, los profesionales de la salud pueden detectar una variedad de afecciones, como arritmias, isquemias, infartos y otros problemas cardíacos.

El electrocardiógrafo es crucial en la práctica clínica, ya que proporciona información valiosa y precisa sobre la salud del corazón, facilitando la toma de decisiones informadas para el tratamiento y manejo de las enfermedades cardiovasculares. Su uso es común en hospitales, clínicas y consultorios médicos, y constituye una herramienta fundamental en la cardiología moderna, contribuyendo significativamente a la prevención y control de enfermedades del corazón.

#### **4.6.1 Evolución del desarrollo de los electrocardiógrafos**

El electrocardiógrafo y el ECG no son recientes puesto que tienen más de un siglo de historia. Sorprendentemente son métodos más que vigentes en cardiología. (Dinbeat Team, 2022)

El electrocardiógrafo y el ECG, a pesar de haber sido desarrollados hace más de un siglo, siguen siendo métodos fundamentales y ampliamente utilizados en la cardiología actual, Esto no solo refleja la solidez y precisión de estos métodos, sino también su capacidad para adaptarse y evolucionar con los avances tecnológicos. La evolución del ECG se remonta a los estudios pioneros realizados por varios científicos a finales del siglo XVIII y a lo largo del siglo XIX.

En 1790, el anatomista italiano Luigi Galvani observó que en la estimulación eléctrica de la medula espinal de la rana producía una contracción muscular. Posteriormente, en 1856, los alemanes Albert von Kölliker y Heinrich Müller observaron un hallazgo accidental. Un nervio ciático de rana si era puesto en contacto con el corazón recibía un estímulo. Este impulso producía contracción de los músculos de la pierna de rana y determinaron que provenía del corazón. En

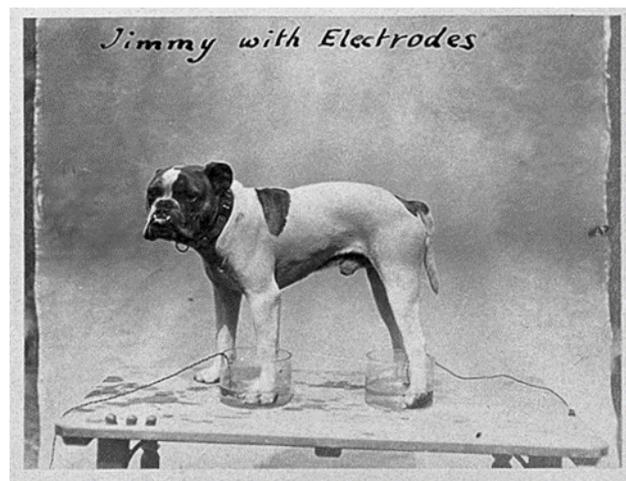
1872, Gabriel Lippman inventó el electrómetro capilar. Por ello en 1908 recibió el premio Nobel de Física, por sus aportaciones en este campo.

Londres, 1887, Augustus Desire Waller registró la corriente eléctrica del corazón humano con un electrómetro capilar de Lippman. Con una columna de mercurio, colocada sobre el tórax, la corriente eléctrica del sujeto causaba oscilaciones del mercurio que podían ser registradas en papel fotográfico. Este fue el primer ECG humano registrado y publicado. (Dinbeat Team, 2022)

Waller, con la ayuda de su esposa, quien también era médica, realizaba pruebas, estudios y experimentos electrocardiográficos en su laboratorio privado. En la figura 5, se observa que utilizaban a sus cuatro hijos y a su bulldog llamado Jimmy para obtener resultados que respalde su teoría.

### **Figura 5**

Bulldog Jimmy con electrodos



*Nota: Mascota de Waller usado en estudios y experimentos electrocardiográficos (Dinbeat Team, 2022)*

Willem Einthoven, conocido como el padre de la electrocardiografía moderna, perfeccionó el ECG tras asistir a una demostración de Waller en 1889. Dedicó veinte años a mejorar esta técnica y, en 1903, inventó el galvanómetro de hilo, el primer dispositivo de registro electrocardiográfico clínico, acuñando el término “elektrokardiogramm” en 1893. También diseñó el papel de registro y nombró las ondas P, Q, R, S, T, y U, estableciendo las derivaciones I, II y III. Por sus aportaciones, recibió el Premio Nobel en 1924. Sin embargo, su galvanómetro, que pesaba más de 250 kg, cayó en desuso.

La abreviatura EKG, derivada del alemán, sigue siendo común en la nomenclatura médica estadounidense. El primer electrocardiógrafo comercial fue vendido en 1908 por Cambridge Scientific Instrument Co. En 1909, Thomas Lewis publicó observaciones sobre la fibrilación auricular y en 1911 instaló el primer equipo en Londres, formando a Frank Norman Wilson, quien introdujo las derivaciones unipolares y precordiales en Norteamérica. En 1928, la introducción de los tubos de vacío permitió la fabricación de los primeros equipos portátiles por Frank Sanborn, reduciendo su peso a 23 kg. En 1932, Wolfarth y Wood describieron el uso clínico de las derivaciones precordiales, y en 1938 se estandarizó su colocación.

En 1942, Emanuel Goldberg estableció las derivaciones aVr, aVl y aVf, completando el ECG de 12 derivaciones. En 1947, Claude Beck realizó la primera desfibrilación exitosa en una cirugía cardíaca. En 1949, Jeff Holter desarrolló el primer dispositivo Holter, que pesaba más de 30 kg. En 1953, Osborn describió la onda J en perros hipotérmicos. En 1957, Jervell y Lange-Nielsen describieron el síndrome de QT largo. En 1963, Robert Bruce desarrolló las primeras pruebas de ejercicio, y en 1966, François Dessertenne describió la “torsade de pointes” en taquicardias ventriculares.

El progreso del electrocardiograma continua en nuestros días donde la búsqueda de nuevas aplicaciones no ha terminado. Si bien el electrocardiógrafo tiene mas de 100 años, éste continúa siendo un valioso instrumento clínico. (Cajavilca, Varon, & Herrero, 2008)

A partir de la segunda mitad del siglo XX, se incorporaron nuevos materiales en el campo del ECG, los cuales eran más flexibles y ligeros. Este avance facilitó el desarrollo de equipos más modernos y compactos. Paralelamente, se introdujeron técnicas avanzadas como la electrocardiografía invasiva intracardiaca y la cateterización cardíaca, las cuales permitieron la colocación de catéteres en diversas localizaciones dentro del corazón, esto permitió la obtención de registros internos detallados. Con el tiempo, estas innovaciones condujeron a la estandarización de procedimientos y mediciones. En la actualidad, los avances en tecnología y materiales han permitido la disponibilidad de una amplia gama de dispositivos electrocardiográficos, mejorando significativamente la precisión y la funcionalidad en la monitorización cardíaca.

#### **4.6.2 Principios básicos de funcionamiento**

"Los principios básicos de funcionamiento del electrocardiógrafo se basan en la capacidad de este dispositivo para detectar y amplificar los pequeños cambios eléctricos producidos por el corazón durante cada ciclo cardíaco. Estos cambios eléctricos se detectan mediante electrodos colocados en la piel del paciente, los cuales capturan las diferencias de potencial generadas por la actividad eléctrica del miocardio. Los electrodos están conectados a un amplificador que aumenta la señal para que pueda ser visualizada y analizada en un gráfico denominado electrocardiograma (ECG)." (Clifford, Azuaje, & McSharry, 2021)

El electrocardiógrafo es un dispositivo esencial que funciona detectando y amplificando las señales eléctricas del corazón, permitiendo así registrar su actividad. Para ello, se colocan electrodos en

puntos específicos del cuerpo que capturan las pequeñas diferencias de potencial eléctrico generadas por cada latido. Debido a que estas señales son muy débiles, el electrocardiógrafo utiliza amplificadores de alta precisión para aumentarlas a niveles que puedan ser analizados. Estas señales amplificadas se procesan y se representan gráficamente en un electrocardiograma (ECG), que muestra ondas clave como las ondas P, QRS y T, correspondientes a diferentes fases del ciclo cardíaco. En resumen, la capacidad del electrocardiógrafo para captar y amplificar las señales eléctricas del corazón es fundamental para el diagnóstico y monitoreo de enfermedades cardíacas, convirtiéndolo en una herramienta indispensable en la cardiología.

#### **4.6.3 Señales eléctricas cardíacas: principios de registro y componentes principales**

"El registro de señales eléctricas cardíacas mediante el electrocardiógrafo se basa en la disposición estratégica de los electrodos en la superficie del cuerpo. Estos electrodos capturan los impulsos eléctricos generados por la actividad cardíaca y los transmiten a un sistema de amplificación y registro. La correcta colocación de los electrodos es crucial para obtener lecturas precisas, ya que cualquier error en la posición puede distorsionar los resultados. El ECG de 12 derivaciones es la configuración estándar que proporciona una vista completa de la actividad eléctrica del corazón desde múltiples ángulos." (Surawicz & Knilans, 2021) El principio fundamental del registro de las señales eléctricas cardíacas se trata básicamente en los electrodos y la amplificación precisa de las señales, elementos indispensables para un diagnóstico y monitoreo cardiovascular exacto.

El electrocardiógrafo es una herramienta indispensable, lo cual es necesario comprender sus componentes principales para entender su funcionamiento y la aplicación de sus datos en el diagnóstico de afecciones cardíacas. A continuación, se explorará en detalle los tres componentes esenciales del electrocardiógrafo: los electrodos, los amplificadores y los registradores. Cada uno de estos elementos desempeña un papel vital en la obtención de un electrocardiograma preciso y

confiable, permitiendo a los profesionales de la salud evaluar de manera detallada y exacta la función cardíaca de sus pacientes.

"El electrocardiógrafo está compuesto principalmente por tres elementos esenciales: los electrodos, los amplificadores y los registradores. Los electrodos son dispositivos que se colocan en la piel del paciente para captar los impulsos eléctricos generados por la actividad cardíaca. Estos impulsos son luego amplificados para mejorar la calidad de la señal y finalmente registrados en un gráfico denominado electrocardiograma (ECG). La calidad de los electrodos y su correcta colocación son cruciales para obtener lecturas precisas. Los amplificadores, por otro lado, deben ser lo suficientemente sensibles para detectar las pequeñas variaciones en los impulsos eléctricos, y los registradores deben ser precisos para reflejar correctamente la actividad cardíaca." (Webster, 2021). Comprender los componentes del electrocardiógrafo es crucial, ya que cada accesorio juega un papel vital en la transmisión y registro de las señales cardíacas. Los electrodos capturan los impulsos eléctricos del corazón, y estas señales son amplificadas para mejorar su calidad y claridad. Luego, los registradores plasman estas señales amplificadas en un gráfico conocido como electrocardiograma (ECG). La precisión en la colocación de los electrodos y la sensibilidad de los amplificadores son esenciales para obtener lecturas fiables y exactas, que son fundamentales para el diagnóstico preciso de diversas afecciones cardíacas. La correcta interpretación de estas señales depende de la eficacia con la que cada componente realiza su función, destacando la importancia de una colocación adecuada de los electrodos y un sistema de amplificación sensible y preciso.

#### **4.6.4 Tipos de electrocardiógrafos**

"Existen varios tipos de electrocardiógrafos, cada uno diseñado para cumplir con diferentes requisitos clínicos y diagnósticos. Los más comunes son los electrocardiógrafos de reposo, que registran la actividad eléctrica del corazón mientras el paciente está en reposo. Otros tipos incluyen

los electrocardiogramas de esfuerzo, utilizados para monitorizar el corazón durante el ejercicio físico, y los electrocardiogramas portátiles, que permiten una monitorización continua y móvil de la actividad cardíaca. Cada tipo de electrocardiograma tiene características específicas que lo hacen adecuado para diferentes aplicaciones clínicas, y su elección depende de las necesidades particulares del paciente y del diagnóstico requerido." (Surawicz & Knilans, 2021)

Los diferentes tipos de electrocardiogramas están diseñados para abordar una variedad de necesidades clínicas, ofreciendo desde diagnósticos detallados en hospitales hasta monitoreo continuo y remoto. Cada tipo de electrocardiograma cumple una función específica en función de la situación del paciente y el contexto clínico. La elección del dispositivo adecuado depende de factores como la naturaleza del problema cardíaco, el entorno en el que se va a utilizar y los objetivos de monitoreo. Así, la capacidad de adaptar el tipo de electrocardiograma a las necesidades particulares del paciente asegura que se obtengan datos precisos y relevantes para un diagnóstico y tratamiento efectivos.

### **Electrocardiogramas convencionales**

Nos ofrece 12 derivaciones diferentes de las actividades del corazón, son representados por las diferencias del potencial eléctrico: electrodos positivos y negativos, los cuales son colocados en la pared torácica. Seis estudian un plano frontal y las otras seis un plano horizontal, las frontales están subdivididas en 3 bipolares y 3 monopolares, las bipolares son requeridas por dos electrodos,

Los electrocardiogramas analógicos fueron los primeros dispositivos utilizados para registrar la actividad eléctrica del corazón. Estos dispositivos emplean tecnología basada en circuitos analógicos para captar y amplificar las señales del corazón, que luego son registradas en papel térmico o gráfico. Entre sus características y ventajas se encuentran:

- **Simplicidad de diseño:** Los electrocardiógrafos analógicos tienen una construcción relativamente sencilla en comparación con los modelos digitales, lo que los hace menos propensos a fallos técnicos relacionados con software.
- **Precisión en señales básicas:** Proporcionan una representación directa de la señal cardíaca sin procesos de digitalización que podrían alterar mínimamente la señal original.
- **Costo accesible:** A menudo, estos dispositivos son más económicos debido a la tecnología utilizada, lo que los convierte en una opción viable en entornos con recursos limitados (Johnson & Smith, 2020).

Sin embargo, con el avance de la tecnología, los electrocardiógrafos analógicos han sido superados en popularidad por los modelos digitales, que ofrecen características adicionales y una mayor versatilidad.

### **Electrocardiógrafos Digitales: Características y Ventajas**

Los electrocardiógrafos digitales representan la evolución de la tecnología en el campo del diagnóstico cardiológico. Utilizan circuitos digitales para procesar y almacenar las señales cardíacas, permitiendo un análisis más preciso y eficiente. Entre sus características y ventajas principales se encuentran:

- **Capacidad de almacenamiento y análisis de datos:** Estos dispositivos permiten almacenar grandes cantidades de registros ECG para análisis posterior y comparativo, lo cual es vital en el seguimiento a largo plazo de pacientes.
- **Integración con sistemas de información hospitalaria (HIS):** Los electrocardiógrafos digitales pueden conectarse a redes de datos, facilitando la transmisión de resultados a

sistemas centralizados y permitiendo una mejor gestión de la información del paciente (Anderson et al., 2019).

- **Funcionalidades avanzadas:** Incluyen opciones de análisis automatizado, que pueden detectar patrones de arritmias u otras anomalías cardíacas con una mayor rapidez y precisión que los dispositivos analógicos (Williams, 2021).

### **Electrocardiógrafos Portátiles**

Los electrocardiógrafos portátiles son una variante compacta de los electrocardiógrafos tradicionales, diseñados para ser transportables y utilizados en una variedad de entornos, incluyendo ambulancias, consultas domiciliarias, y situaciones de emergencia. Entre sus características y ventajas se incluyen:

- **Portabilidad:** Su diseño compacto y liviano permite que sean transportados fácilmente por el personal médico.
- **Rápida disponibilidad:** Son ideales para situaciones en las que se requiere un diagnóstico rápido fuera del entorno hospitalario, lo que puede mejorar los tiempos de respuesta en emergencias cardíacas (Clark & Miller, 2020).
- **Conectividad móvil:** Muchos modelos portátiles modernos pueden conectarse a dispositivos móviles o sistemas en la nube, permitiendo la transmisión inmediata de datos a especialistas para su interpretación remota (Evans, 2020).

### **Holter: Monitorización Continua**

El Holter es un dispositivo portátil de monitorización continua del electrocardiograma, diseñado para registrar la actividad eléctrica del corazón durante 24 horas o más. Se utiliza para detectar

arritmias, isquemia silenciosa u otras anomalías que no pueden ser captadas en un ECG de corta duración. Sus características y ventajas incluyen:

- **Monitorización prolongada:** Permite registrar el ritmo cardíaco durante un periodo extendido, lo que es crucial para detectar arritmias intermitentes que podrían no aparecer durante un ECG en reposo (Taylor, 2018).
- **Registro ambulatorio:** Los pacientes pueden continuar con sus actividades diarias mientras utilizan el Holter, lo que proporciona una visión más completa del funcionamiento cardíaco bajo condiciones normales de vida (Johnson, 2020).
- **Detección precisa de eventos cardíacos:** Ofrece una visión más detallada y precisa de las condiciones cardíacas en comparación con los electrocardiogramas de corta duración, especialmente en pacientes con síntomas transitorios o intermitentes (Martin, 2019).

#### 4.6.5 Aplicaciones Clínicas del Electrocardiograma

Los electrocardiogramas tienen múltiples aplicaciones clínicas que abarcan desde el diagnóstico de arritmias y otras patologías cardíacas hasta la monitorización de la evolución de enfermedades ya diagnosticadas. Las aplicaciones más comunes incluyen; diagnóstico de arritmias, permite detectar y clasificar diferentes tipos de arritmias, como la fibrilación auricular o la taquicardia ventricular, lo que es crucial para el manejo clínico (Hernández et al., 2021), evaluación de la isquemia miocárdica, identifica cambios en el segmento ST que son indicativos de isquemia o infarto de miocardio, facilitando un diagnóstico temprano y una intervención rápida (Williams, 2021), monitorización postoperatoria y seguimiento de enfermedades crónicas, monitoriza el estado cardíaco de los pacientes después de cirugías cardíacas o en el seguimiento de condiciones crónicas como la insuficiencia cardíaca o la cardiopatía isquémica (Anderson et al., 2019).

#### **4.7 Electrocardiograma: función e importancia.**

El ECG es un gráfico en el que se estudian las variaciones de voltaje en relación con el tiempo. Consiste en registrar en un formato especialmente adaptado (tiras de papel milimétrico esencialmente), la actividad de la corriente eléctrica que se está desarrollando en el corazón durante un tiempo determinado (en un ECG normal no suele exceder los 30 segundos). También puede ser registrada y visualizada de manera continua en un monitor similar a una pantalla de televisión (en este caso decimos que el paciente se encuentra monitorizado) (Azcona, 2015) El electrocardiograma es un ejemplo paradigmático de estas pruebas médicas. Aunque se utiliza principalmente en cardiología, su aplicación abarca muchas otras áreas de la medicina. El ECG ofrece información esencial e insustituible que no se puede obtener mediante otros métodos. Además, su realización es rápida, sencilla, segura, indolora y relativamente económica.

Es la técnica más utilizada para diagnosticar cardiopatías (especialmente, trastornos de ritmo cardíaco y obstrucciones en las arterias que irrigan el corazón), así como para supervisar los tratamientos que influyen en la actividad eléctrica del corazón. Cuando se interpreta de forma correcta, constituye una herramienta insustituible. (Azcona, 2015)

De tal manera su importancia se destaca en la detección y diagnóstico de enfermedades cardíacas como arritmias, infartos de miocardio e hipertrofia ventricular. También es invaluable para investigar síntomas como dolor en el pecho y palpitaciones, monitorear la eficacia de tratamientos y evaluar la evolución de enfermedades cardíacas. Como procedimiento rápido, sencillo, seguro y no invasivo, el ECG se usa frecuentemente sin causar molestias significativas al paciente. Además, es fundamental en evaluaciones preoperatorias para reducir riesgos quirúrgicos. En resumen, el ECG es indispensable para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardíacas, proporcionando una información que no puede obtenerse por otros medios.

#### **4.7.1 Principios básicos del electrocardiograma**

"Los principios básicos del electrocardiograma (ECG) se centran en la capacidad del dispositivo para registrar la actividad eléctrica del corazón. Este proceso se basa en la colocación estratégica de electrodos en la superficie del cuerpo, que captan las señales eléctricas generadas por el miocardio. La correcta interpretación del ECG requiere comprender cómo las diferentes derivaciones reflejan la actividad eléctrica en distintas partes del corazón. Las derivaciones estándar proporcionan una visión integral de la función cardíaca y son fundamentales para el diagnóstico clínico." (Macfarlane, 2020)

Los principios fundamentales del electrocardiograma (ECG) se centran en la disposición estratégica de los electrodos y en la interpretación precisa de las derivaciones. La ubicación correcta de los electrodos en puntos específicos del cuerpo permite la captura óptima de las variaciones del potencial eléctrico generadas por el corazón durante el ciclo cardíaco. Este posicionamiento es crucial para obtener una representación exacta de la actividad eléctrica desde diversas perspectivas a través de las derivaciones.

La interpretación de las derivaciones implica el análisis de ondas, segmentos e intervalos, cada uno proporcionando información clave sobre las fases de despolarización y repolarización auricular y ventricular, así como sobre los tiempos de conducción y sincronización entre eventos eléctricos. La aplicación rigurosa de estos principios es esencial para garantizar la precisión del ECG, facilitando la identificación de anomalías en la conducción eléctrica y permitiendo una evaluación clínica precisa de las enfermedades cardíacas.

#### **4.7.2 Concepto de la onda segmento e intervalo en el electrocardiograma**

"El concepto de ondas, segmentos e intervalos en el electrocardiograma (ECG) es fundamental para la interpretación de la actividad eléctrica del corazón. Las ondas representan diferentes eventos eléctricos durante el ciclo cardíaco, mientras que los segmentos e intervalos proporcionan información sobre la duración y la sincronización de estos eventos. La adecuada identificación y medición de estos componentes permite a los clínicos evaluar la función cardíaca y detectar posibles anormalidades en la conducción eléctrica." (Kusumoto, 2020)

El análisis de ondas, segmentos e intervalos en el electrocardiograma (ECG) es crucial para la evaluación precisa de la actividad eléctrica cardíaca. Las ondas reflejan las distintas fases del ciclo cardíaco, como la despolarización y repolarización de las aurículas y ventrículos. Los segmentos, que son las áreas planas entre las ondas, y los intervalos, que incluyen ondas y segmentos, proporcionan información sobre los tiempos de conducción y la sincronización entre eventos eléctricos. Comprender estos componentes es esencial para la interpretación precisa del ECG, permitiendo la identificación de anomalías en la conducción eléctrica y la detección de trastornos como arritmias, bloqueos de rama y alteraciones en la repolarización. Esta comprensión técnica es fundamental para realizar un diagnóstico clínico correcto y para la planificación de intervenciones terapéuticas adecuadas.

#### **4.7.3 Interpretación básica del trazado estándar de electrocardiograma**

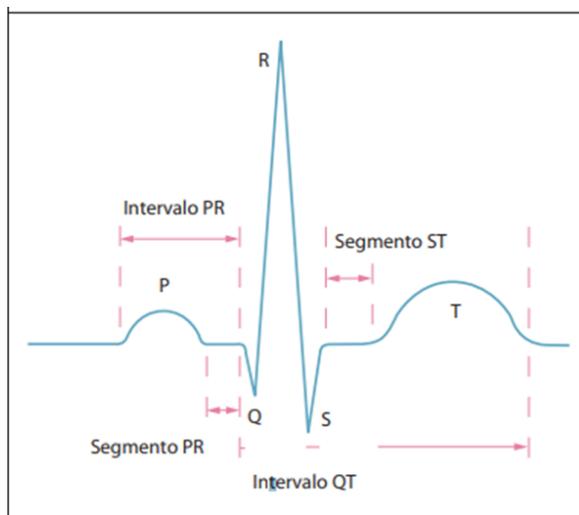
El ECG presenta como línea guía la denominada línea isoelectrica o línea basal, que puede identificarse fácilmente como la línea horizontal existente entre cada latido. Los latidos cardíacos quedan representados en el ECG normal por las diferentes oscilaciones de la línea basal en forma de ángulos, segmentos, ondas e intervalos, constituyendo una imagen característica que se repite

con una frecuencia regular a lo largo de la tira de papel del ECG. Como se ha comentado, entre latido y latido va discurriendo la línea base.

En la figura 6, se observa el recorrido en sentido horizontal hace referencia al tiempo transcurrido, y la distancia en sentido vertical (altura o profundidad) al voltaje que se está produciendo. El papel por el que discurre el registro de la línea se encuentra milimétrico. Cada cuadrado pequeño del papel mide 1 mm y al observarlo con detenimiento puede comprobarse que cinco cuadrados pequeños forman un cuadrado grande, remarcado por un grosor mayor en la tira de papel del ECG. Para conocer cómo transcurren los tiempos durante la actividad del corazón, basta con recordar que cinco cuadrados grandes en sentido horizontal equivalen exactamente a un segundo. En un ECG normal, cada complejo consta de una serie de deflexiones (ondas del ECG) que alternan con la línea basal. Realizando la lectura de izquierda a derecha, se distinguen la onda P, el segmento P-R, el complejo QRS, el segmento ST y finalmente la onda T. (Azcona, 2015)

### Figura 6

*Interpretación básica del electrocardiograma*



*Nota: Ondas, segmentos e intervalos (Azcona, 2015)*

## **4.8 Tipos de electrocardiogramas**

"Los diferentes tipos de electrocardiogramas (ECG) se emplean para diversas aplicaciones clínicas, cada uno adaptado a necesidades diagnósticas específicas. Los principales tipos incluyen el ECG estándar, el ECG de esfuerzo, y el ECG fetal, cada uno con características únicas que permiten la monitorización de la actividad eléctrica del corazón en diferentes contextos clínicos."

(Fuster, 2021) La variedad en los tipos de electrocardiogramas responde a la necesidad de adaptar el monitoreo a distintos escenarios clínicos, como la evaluación en reposo, durante el esfuerzo físico o el seguimiento remoto. Cada modalidad está diseñada para optimizar la captura y análisis de datos eléctricos cardíacos, implementando tecnologías específicas para la amplificación, adquisición y procesamiento de señales. La selección del tipo de electrocardiograma más adecuado está determinada por los objetivos diagnósticos, la condición clínica del paciente y el contexto en el que se realiza la prueba. Esto garantiza la obtención de datos precisos y pertinentes, fundamentales para una evaluación diagnóstica exhaustiva y la formulación de estrategias terapéuticas eficaces. A continuación, se detallará la importancia y significado de cada tipo de electrocardiograma.

### **Electrocardiograma estándar**

"El electrocardiograma estándar de 12 derivaciones es la herramienta más comúnmente utilizada para la evaluación inicial de la actividad eléctrica del corazón. Proporciona una vista integral del corazón desde múltiples ángulos, permitiendo la identificación de anomalías como arritmias, isquemias y otras condiciones cardíacas. Su uso es fundamental en la práctica clínica diaria para el diagnóstico y monitoreo de enfermedades cardiovasculares." (Goldberger, 2021)

La amplitud de información que proporciona el ECG de 12 derivaciones es crucial para el diagnóstico diferencial y la monitorización de enfermedades cardiovasculares. Esta herramienta permite una detección temprana y un seguimiento detallado de condiciones como el infarto de miocardio y los trastornos del ritmo cardíaco, apoyando decisiones clínicas informadas y estrategias de tratamiento adecuadas. En definitiva, el ECG estándar de 12 derivaciones se establece como una herramienta indispensable en la cardiología moderna, esencial para la evaluación precisa y el manejo efectivo de patologías cardíacas.

### **Electrocardiograma de esfuerzo**

"El electrocardiograma de esfuerzo se utiliza para evaluar la respuesta del corazón al estrés físico. Durante esta prueba, se monitoriza la actividad eléctrica del corazón mientras el paciente realiza ejercicio, generalmente en una cinta de correr o bicicleta estática. Esta modalidad permite detectar isquemias y arritmias que no son evidentes en reposo, proporcionando información valiosa sobre la función cardíaca en condiciones de estrés." (Froelicher & Myers, 2021)

El electrocardiograma de esfuerzo es fundamental para evaluar la respuesta del miocardio al ejercicio físico. Esta prueba permite identificar isquemias y arritmias que pueden no ser detectables en condiciones de reposo, al someter al paciente a un protocolo de ejercicio progresivo y controlado. Durante la prueba, se registran las alteraciones en el electrocardiograma que emergen bajo estrés físico, proporcionando una visión detallada de la respuesta cardíaca a la demanda aumentada de oxígeno y el incremento en la carga hemodinámica. La utilidad del ECG de esfuerzo radica en su capacidad para revelar anomalías en la perfusión miocárdica y en la conducción eléctrica que no se manifiestan en reposo. Así, se facilita la identificación de posibles alteraciones isquémicas y arritmias inducidas por el esfuerzo, cruciales para una evaluación precisa de la

función cardíaca en situaciones de estrés. Esta información es esencial para el diagnóstico certero y el manejo efectivo de diversas patologías cardiovasculares, permitiendo una adaptación del tratamiento según la respuesta cardíaca observada durante el ejercicio.

### **Electrocardiograma fetal**

"El electrocardiograma fetal es una técnica no invasiva utilizada para monitorizar la actividad eléctrica del corazón del feto durante el embarazo. Esta prueba es fundamental para la detección temprana de arritmias y otras anomalías cardíacas en el feto, permitiendo intervenciones oportunas que pueden mejorar los resultados perinatales." (Wladimiroff & Huisman, 2020)

Este tipo de electrocardiograma destaca la importancia del electrocardiograma fetal como una técnica no invasiva para monitorizar la actividad eléctrica del corazón del feto. Es crucial para la detección temprana de arritmias y otras anomalías cardíacas, permitiendo intervenciones médicas oportunas que pueden mejorar significativamente los resultados perinatales. Este tipo de ECG es esencial en la medicina fetal y perinatal para asegurar la salud tanto del feto como de la madre.

### **Electrocardiograma de 12 derivaciones**

El electrocardiograma de 12 derivaciones es el estándar clínico más utilizado para la evaluación de la actividad eléctrica del corazón. Este tipo de electrocardiograma visualiza la actividad eléctrica del corazón desde 12 perspectivas diferentes, se coloca los electrodos en zonas específicas del cuerpo para así registrar y amplificar en la máquina de ECG. En la tabla 8, se identifica las características principales del electrocardiógrafo con una breve explicación de cada uno. Las derivaciones

**Tabla 8**

*Características del electrocardiograma de 12 derivaciones*

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Cobertura completa del corazón	Capta la actividad eléctrica desde diferentes perspectivas, las derivaciones estándar de las extremidades (I, II, III, aVR, aVL, aVF) y las derivaciones precordiales (V1-V6).
Detección de anomalías específicas	Las derivaciones proporcionan información del área específica, permitiendo una localización precisa de la patología
Aplicación clínica versátil	Usado en situaciones de emergencia y evaluación de pacientes con dolor torácico.

*Nota: Es una herramienta fundamental por su capacidad para proporcionar una visión detallada de la actividad eléctrica del corazón.*

**Electrocardiograma de alta resolución**

"El electrocardiograma de alta resolución es una técnica avanzada que permite la detección de anomalías eléctricas del corazón que pueden no ser evidentes en un ECG estándar. Esta modalidad utiliza técnicas de procesamiento de señales digitales para mejorar la resolución temporal y espacial del ECG, permitiendo la identificación de potenciales tardíos ventriculares y microvoltios de señales que pueden ser indicativos de arritmias peligrosas." (Zipes & Jalife, 2021)

El electrocardiograma de alta resolución, destacando su capacidad para detectar anomalías eléctricas del corazón con mayor precisión que el ECG estándar. Utiliza técnicas avanzadas de procesamiento de señales digitales para mejorar la resolución temporal y espacial, lo que permite

identificar potenciales tardíos ventriculares y microvoltios de señales. Estas características son esenciales para la detección y manejo de arritmias peligrosas, proporcionando una herramienta crucial en la cardiología avanzada.

## **Holter**

"El monitor Holter es un dispositivo de electrocardiografía ambulatoria que registra la actividad eléctrica del corazón durante 24 a 48 horas. Este dispositivo es crucial para la detección de arritmias intermitentes y la evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en diferentes contextos de la vida diaria. El análisis de los datos del Holter permite a los clínicos identificar patrones de arritmia y correlacionar síntomas con eventos eléctricos específicos, mejorando significativamente la precisión del diagnóstico y el manejo terapéutico." (Braunwald, 2021)

El monitor Holter, un dispositivo esencial para la electrocardiografía ambulatoria. El Holter registra la actividad eléctrica del corazón durante períodos prolongados, permitiendo la detección de arritmias intermitentes y la evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en contextos cotidianos. La capacidad del Holter para correlacionar síntomas con eventos eléctricos específicos mejora significativamente la precisión diagnóstica y el manejo terapéutico de los pacientes con enfermedades cardíacas.

## **4.9 Componentes del electrocardiograma**

En la tabla 9 se visualiza, los componentes del electrocardiograma (ECG) incluyen ondas, segmentos e intervalos, cada uno proporcionando información específica sobre diferentes aspectos de la actividad eléctrica del corazón. La onda P, el complejo QRS y la onda T son las principales características visibles en un ECG. Además, los segmentos PR y ST y los intervalos PR y QT son

cruciales para evaluar la conducción eléctrica y la sincronización de los eventos cardíacos." (Marriott & Wagner, 2021)

**Tabla 9**

*Componentes del ECG y su significado*

<b>Componentes</b>	<b>Significado</b>	<b>Fase del ciclo cardíaco</b>
Onda P	Despolarización auricular	Sístole auricular
Complejo QRS	Despolarización ventricular	Sístole ventricular
Onda T	Repolarización ventricular	Diástole ventricular
Segmento PR	Conducción auriculoventricular	Intervalo entre la despolarización auricular y ventricular
Intervalo QT	Tiempo total de despolarización y repolarización ventricular	Duración del ciclo eléctrico ventricular

*Nota: Los componentes del ECG se corresponden con distintas fases del ciclo cardíaco, incluyendo la despolarización y repolarización auricular y ventricular (American Heart Association, 2020).*

La identificación precisa de los componentes de un electrocardiograma (ECG) es esencial para un diagnóstico cardiovascular efectivo. Un ECG se compone de varias ondas, segmentos e intervalos que juntos brindan una visión integral del ciclo cardíaco y la actividad eléctrica del corazón. Entre estos componentes se encuentran las ondas P, Q, R, S y T, cada una con su propia relevancia en el análisis del ECG. La onda P inicia el registro, seguida por el complejo QRS y luego la onda T. Cada uno de estos elementos debe ser evaluado minuciosamente para detectar posibles anomalías. Los segmentos PR y ST, junto con los intervalos PR y QT, son también partes críticas del ECG.

Estos segmentos e intervalos ayudan a evaluar la sincronización de la actividad eléctrica del corazón y la integridad de su conducción. La evaluación precisa de estos componentes es crucial para identificar irregularidades en el ritmo y la conducción eléctrica del corazón, permitiendo el diagnóstico de diversas patologías cardiovasculares.

#### **4.9.1 Características y significados clínicos: onda p, qrs y t**

La onda P en un electrocardiograma representa la despolarización de las aurículas, siendo una onda pequeña y redondeada con una duración normal de menos de 120 ms y una amplitud menor a 2.5 mm. Normalmente, es positiva en las derivaciones I, II, aVF y V2-V6, y negativa en aVR (Goldberger, 2020). Clínicamente, una onda P normal indica un ritmo auricular iniciado en el nodo sinusal, mientras que anomalías pueden sugerir hipertrofia auricular o problemas en la conducción eléctrica, y su ausencia puede indicar fibrilación auricular o un ritmo ectópico no sinusal (Wagner & Marriott, 2019). El complejo QRS representa la despolarización de los ventrículos y es el componente más prominente del ECG, formado por las ondas Q, R y S, con una duración normal de entre 70 y 100 ms y una amplitud variable, pero generalmente prominente en las derivaciones precordiales (Houghton & Gray, 2018). Un complejo QRS normal indica un sistema de conducción ventricular intacto, mientras que un complejo QRS ancho o con alteraciones en su morfología puede sugerir un bloqueo de rama, taquicardia ventricular, infarto de miocardio previo, hipertrofia ventricular o alteraciones en la conducción eléctrica (Mason et al., 2019). La onda T representa la repolarización de los ventrículos, siendo una onda suave y redondeada que sigue al complejo QRS. Normalmente es positiva en la mayoría de las derivaciones, excepto en aVR y a veces en V1, con una duración y amplitud variables, pero generalmente menos de 5 mm en derivaciones de las extremidades y menos de 10 mm en derivaciones precordiales (Chou, 2021). Una onda T normal sugiere un proceso de repolarización ventricular adecuado, mientras que anomalías como la

inversión de la onda T pueden indicar isquemia miocárdica, ondas T picudas pueden estar asociadas con hiperpotasemia, y ondas T aplanadas o bajas pueden reflejar hipopotasemia o efectos de medicamentos (Goldberger, 2020).

#### **4.9.2 Medición y Análisis: Segmentos PR, ST y TP**

El análisis de los segmentos del electrocardiograma (ECG) es crucial para la identificación de diversas patologías cardíacas. El segmento PR representa el tiempo de conducción desde las aurículas hasta los ventrículos, midiendo el intervalo desde el final de la onda P hasta el inicio del complejo QRS. Clínicamente, un segmento PR prolongado puede indicar un bloqueo auriculoventricular, mientras que un segmento PR corto podría sugerir un síndrome de preexcitación, como el síndrome de Wolff-Parkinson-White (Wagner & Marriott, 2019). El segmento ST, que abarca el periodo entre el final del complejo QRS y el inicio de la onda T, refleja la fase de repolarización temprana de los ventrículos. La elevación o depresión del segmento ST es crítica para diagnosticar isquemia o infarto de miocardio; la elevación del ST se asocia con infartos agudos, y la depresión del ST puede sugerir isquemia subendocárdica (Chou, 2021). El segmento TP, que es el intervalo entre el final de la onda T y el inicio de la siguiente onda P, debe ser isoeléctrico en condiciones normales. Aunque las alteraciones en el segmento TP son menos comunes, su desplazamiento puede ocurrir en situaciones de estrés miocárdico o en pacientes con taquicardia (Macfarlane, 2021).

#### **4.9.3 Técnicas de Registro y Derivaciones del Electrocardiograma**

Las derivaciones estándar (I, II, III) son derivaciones bipolares que registran la actividad eléctrica del corazón desde los miembros. La derivación I capta la diferencia de potencial entre el brazo derecho y el brazo izquierdo, la derivación II entre el brazo derecho y la pierna izquierda, y la derivación III entre el brazo y la pierna izquierdos.

Las derivaciones aumentadas (aVR, aVL, aVF) son derivaciones unipolares que registran la actividad eléctrica desde una sola extremidad en relación con un punto de referencia centralizado. Estas derivaciones ofrecen una vista adicional del plano frontal del corazón. La derivación aVR es útil para detectar anomalías en el lado derecho del corazón, mientras que aVL y aVF proporcionan información sobre la actividad eléctrica en las regiones laterales e inferiores del corazón (Mason et al., 2019). Las derivaciones precordiales (V1-V6), como se observa en la tabla 10, se colocan en la parte anterior del tórax y proporcionan información detallada sobre la actividad eléctrica en los ventrículos, específicamente en las paredes anterior, lateral y septal.

**Tabla 10**

*Ubicación de las derivaciones*

<b>Derivaciones</b>	<b>Ubicación</b>
V1	Cuarto espacio intercostal, borde esternal derecho
V2	Cuarto espacio intercostal, borde esternal izquierdo.
V3	Entre V2 y V4
V4	Quinto espacio intercostal, línea medioclavicular izquierda.
V5	Nivel de V4, línea axilar anterior izquierda.
V6	Nivel de V4, línea axilar media izquierda

*Nota: La ubicación precisa de las derivaciones precordiales garantiza la correcta interpretación e identificación de las anomalías del corazón.*

Estas derivaciones son esenciales para la identificación de infartos de miocardio, arritmias ventriculares y alteraciones en la conducción ventricular. V1 y V2 son útiles para evaluar el septo interventricular, mientras que V3-V6 cubren las regiones anterolateral y apical del corazón (Houghton & Gray, 2018).

#### **4.10 Electrodo: tipos y posicionamiento**

Los electrodo: son los dispositivos que se colocan en la piel para captar las señales eléctricas del corazón y transmitir las al electrocardiógrafo. La correcta colocación y mantenimiento de los electrodo: es fundamental para obtener un registro de calidad en el ECG. Hay diferentes tipos de electrodo: como los siguientes, que se mencionan a continuación.

**Electrodo Descartable:** Fabricados con un gel conductor y un adhesivo que se adhiere a la piel. Son de un solo uso y se utilizan comúnmente en entornos clínicos para evitar infecciones y asegurar la calidad de la señal.

**Electrodo Reutilizable:** Generalmente hechos de metal y requieren un gel conductor adicional. Son más económicos a largo plazo, pero requieren limpieza y desinfección adecuada después de cada uso para evitar infecciones (Williams, 2021).

Para el posicionamiento de los electrodo:, se debe preparar la piel antes de colocar los electrodo:, esta debe estar limpia y seca, es necesario tener en cuenta que el vello puede interferir con el contacto, por lo que a veces es necesario rasurar la zona. También se puede utilizar alcohol para eliminar la grasa de la piel. La correcta ubicación de los electrodo: es crucial para asegurar un ECG preciso. Una colocación incorrecta puede dar lugar a artefactos o lecturas incorrectas que pueden llevar a un diagnóstico erróneo (Evans, 2020).

#### **4.10.1 Evaluación del Electrocardiograma: Impacto en la Calidad de la Señal, Precisión Diagnóstica y Monitorización de Enfermedades Cardíacas**

La calidad del ECG depende en gran medida de la correcta colocación de los electrodos y de la preparación de la piel. Artefactos como el movimiento del paciente, la interferencia eléctrica o la mala adherencia de los electrodos pueden afectar la precisión de la lectura, lo que puede llevar a errores en el diagnóstico (Clark & Miller, 2020). Los factores que pueden afectar la calidad de la señal del ECG incluyen; Movimiento del paciente, puede generar artefactos en el ECG, lo que dificulta la interpretación precisa de las ondas, la interferencia eléctrica tales equipos electrónicos cercanos pueden causar interferencias en el ECG, creando ruido en el trazado, los problemas con los electrodos mal colocados, defectuosos o con mal contacto con la piel pueden alterar la calidad de la señal. Cuando la piel se encuentra excesivamente seca, húmeda o grasosa puede interferir con la correcta captación de las señales eléctricas (Mason et al., 2019). El electrocardiograma es una herramienta fundamental en el diagnóstico de diversas enfermedades cardíacas, incluyendo, el infarto de miocardio donde se identifican las elevaciones o depresiones del segmento ST, las arritmias de detección de ritmos anormales como la fibrilación auricular, taquicardia ventricular, los bloqueos de conducción y la hipertrofia ventricular identificando patrones de sobrecarga en las derivaciones específicas (Hernández et al., 2021).

El ECG no solo se utiliza en el diagnóstico inicial, sino también en el seguimiento de pacientes con enfermedades cardíacas crónicas. La monitorización continua a través de dispositivos como los monitores Holter o los electrocardiógrafos portátiles permite a los médicos evaluar la evolución de la enfermedad y ajustar el tratamiento según sea necesario. Esto es especialmente útil en pacientes con arritmias intermitentes o enfermedades cardíacas que requieren un control cercano y constante (Johnson, 2020).

## 4.11 Interfaz del usuario y Software

La interfaz de usuario (UI) de un electrocardiógrafo juega un papel crucial en la interacción entre el equipo y el profesional de la salud. Una interfaz de usuario eficiente debe ser intuitiva, accesible y ofrecer las funcionalidades necesarias para facilitar un diagnóstico rápido y preciso. A continuación, se detallan las características esenciales:

### Diseño Intuitivo y Simplicidad:

- Navegación: Las pantallas táctiles y los menús de fácil acceso permiten a los usuarios navegar rápidamente entre las diferentes opciones y configuraciones. Un diseño simplificado reduce el tiempo de capacitación y mejora la eficiencia en situaciones críticas (Jain & Shah, 2020).
- Botones de Acceso Rápido: Los electrocardiógrafos suelen incluir botones físicos o virtuales para funciones de uso frecuente, como iniciar/pausar la grabación, cambiar derivaciones o imprimir el trazado del ECG.

### Visualización Clara de los Trazados:

- Pantalla de Alta Resolución: Las pantallas de los electrocardiógrafos modernos deben ofrecer alta resolución para mostrar claramente los detalles de los trazados ECG, lo que facilita la identificación de anomalías.
- Ajuste de Escala: La capacidad de ajustar la escala de tiempo y amplitud del ECG es importante para analizar en detalle segmentos y ondas específicas (Evans, 2020).

### Interacción con Dispositivos de Entrada y Salida:

- Integración con Sistemas Electrónicos de Salud (EHR): Muchos electrocardiógrafos permiten la exportación de datos a sistemas EHR para un registro automático y la gestión eficiente de la información del paciente (Williams, 2021).
- Impresión y Almacenamiento Digital: La interfaz debe permitir imprimir los resultados directamente desde el equipo o almacenarlos en formato digital para su posterior análisis.

#### Alertas y Retroalimentación en Tiempo Real:

- Alarmas Visuales y Auditivas: Para alertar al usuario sobre posibles problemas como el mal contacto de los electrodos, artefactos en la señal o arritmias graves detectadas durante la grabación.
- Asistencia Guiada: Algunas interfaces avanzadas ofrecen guías paso a paso para la colocación de electrodos o la interpretación básica de los resultados (Clark & Miller, 2020).

#### **4.11.1 Funciones y Capacidades del Software para el Análisis y Reporte de Resultados**

El software de los electrocardiógrafos modernos incluye funciones avanzadas para el análisis de datos y la generación de informes, lo que facilita la labor del profesional de la salud y mejora la precisión diagnóstica. A continuación, se presentan las funciones y capacidades clave:

#### Análisis Automático de ECG:

- Algoritmos de Interpretación: Los sistemas de análisis de ECG cuentan con algoritmos que detectan automáticamente arritmias, bloqueos de conducción, isquemia, y otros patrones anormales en el trazado. Esto ayuda a los médicos a identificar problemas rápidamente (Jain & Shah, 2020).

- Cálculo de Intervalos: Los softwares modernos permiten la medición automática de intervalos como el PR, QT, y la duración del complejo QRS, lo que contribuye a un análisis más preciso y eficiente.

#### Generación de Informes Personalizados:

- Plantillas de Informes: El software facilita la creación de informes estandarizados que incluyen los trazados del ECG, los diagnósticos automáticos y las interpretaciones del médico. Estos informes pueden personalizarse según las necesidades del centro médico o las preferencias del especialista (Goldberger, 2020).
- Exportación de Datos: Los informes pueden exportarse en formatos como PDF o DICOM, lo que facilita su integración con otros sistemas y su envío a otros profesionales de la salud.

#### Comparación de Trazados y Seguimiento de Pacientes:

- Historial de ECGs: El software puede almacenar múltiples registros de ECG para un mismo paciente, permitiendo la comparación de trazados a lo largo del tiempo. Esto es fundamental para el seguimiento de enfermedades cardíacas crónicas y la evaluación de la eficacia de tratamientos (Hernández et al., 2021).
- Análisis de Tendencias: Algunos programas permiten la evaluación de tendencias en los datos de ECG, lo que ayuda a identificar cambios sutiles en la condición del paciente antes de que se presenten síntomas clínicos evidentes.

#### Conectividad y Telemedicina:

- Integración Remota: Muchos electrocardiógrafos ahora cuentan con capacidades de conectividad que permiten la transmisión de datos en tiempo real a través de redes seguras, facilitando la consulta remota con cardiólogos o el monitoreo a distancia de pacientes.
- Interoperabilidad: La compatibilidad con sistemas de salud electrónicos y otros dispositivos médicos es crucial para una gestión integral del paciente (Williams, 2021).

#### **4.11.2 Calidad e interpretación de Señales**

"La integración y conectividad de los sistemas electrocardiográficos con otros dispositivos médicos y sistemas de información de salud es esencial para una atención sanitaria eficiente y coordinada. Los estándares como HL7 y DICOM facilitan la interoperabilidad entre diferentes sistemas, permitiendo la transferencia segura y precisa de datos de ECG entre dispositivos y plataformas. Esta integración mejora la calidad del cuidado al proporcionar a los clínicos acceso a información completa y actualizada sobre el estado cardíaco del paciente." (Haleem, Javaid, & Khan, 2021)

La integración y conectividad en los sistemas electrocardiográficos son esenciales para una atención médica precisa y coordinada. La adopción de estándares como HL7 y DICOM facilita la interoperabilidad entre diferentes dispositivos y sistemas informáticos, garantizando una transferencia de datos ECG segura y precisa. Esta conectividad es fundamental para ofrecer a los profesionales de la salud una visión integral y actualizada del estado cardíaco del paciente, lo que permite diagnósticos acertados y una gestión adecuada de las condiciones cardíacas. La integración de estos estándares es crucial. La implementación de protocolos de comunicación estándar asegura que el sistema de diagnóstico predictivo se integre eficazmente con otras plataformas de información clínica y sistemas de gestión de datos médicos. Esto permite a los estudiantes de

biomedicina acceder a herramientas avanzadas para el análisis de datos y la interpretación de señales, mejorando la formación académica y la práctica profesional. La optimización de la conectividad y la interoperabilidad también mejora la eficiencia operativa en entornos clínicos, al reducir tiempos de espera y aprovechar de manera más efectiva los recursos tecnológicos disponibles.

#### **4.11.3 Seguridad y privacidad**

"La seguridad y privacidad de los datos médicos son aspectos cruciales en el desarrollo y uso de sistemas de diagnóstico electrocardiográfico. La implementación de protocolos de seguridad robustos, como el cifrado de datos y el control de acceso basado en roles, es esencial para proteger la información del paciente contra accesos no autorizados y posibles brechas de seguridad." (Smith & Eloff, 2020)

La seguridad y privacidad en el manejo de datos médicos, especialmente en sistemas de diagnóstico electrocardiográfico, son de suma importancia para garantizar la confidencialidad del paciente y la integridad de los datos. El uso de cifrado de datos asegura que la información sensible sea inaccesible para personas no autorizadas durante su transmisión y almacenamiento. Además, la implementación de controles de acceso basados en roles asegura que solo el personal autorizado tenga acceso a la información crítica, reduciendo así el riesgo de violaciones de seguridad. En el contexto de un sistema de diagnóstico predictivo, estos aspectos son esenciales para ganar la confianza de los usuarios y cumplir con las regulaciones de protección de datos. La protección de la información del paciente no solo es una obligación ética, sino también un requisito legal en muchos países, y es fundamental para la aceptación y uso generalizado de estos sistemas en entornos clínicos y educativos.

#### **4.11.4 Usabilidad y entrenamiento del usuario**

"La usabilidad de los sistemas de diagnóstico médico es crucial para su adopción y eficacia. Un diseño de interfaz intuitivo y la capacitación adecuada del usuario son esenciales para asegurar que los profesionales de la salud puedan utilizar eficientemente estas herramientas, reduciendo la posibilidad de errores y mejorando la precisión diagnóstica." (Zhang & Walji, 2020)

La usabilidad y el entrenamiento del usuario son factores determinantes en la implementación exitosa de sistemas de diagnóstico médico. Un diseño de interfaz intuitivo facilita la interacción del usuario con el sistema, minimizando la curva de aprendizaje y reduciendo la probabilidad de errores operativos. En el contexto de un sistema de diagnóstico predictivo para estudiantes de biomedicina, es esencial que la interfaz sea accesible y fácil de usar, permitiendo que los estudiantes se concentren en el análisis y la interpretación de los datos en lugar de en la operación del sistema. La capacitación adecuada del usuario es igualmente importante, proporcionando a los estudiantes y profesionales de la salud el conocimiento necesario para utilizar las herramientas de diagnóstico de manera efectiva y segura. Esto no solo mejora la precisión diagnóstica, sino que también aumenta la confianza del usuario en el sistema, fomentando su adopción y uso regular.

### **5. MARCO METODOLOGICO**

Este proyecto técnico empleará un enfoque cualitativo por medio de investigaciones en revistas médicas, bibliotecas, libros y artículos, se realizará una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con el funcionamiento del electrocardiógrafo y cada componente que lo conforma, adicional de la tecnología de lectura predictiva y las necesidades educativas de los estudiantes de biomedicina.

## 5.1 Procesamiento de señales en matlab

Matlab es una herramienta esencial para el procesamiento de señales en el análisis de datos electrocardiográficos, gracias a sus capacidades avanzadas y su versatilidad. En la tabla 11, se visualiza el conjunto de herramientas especializadas para la extracción de características, filtrado y análisis de señales, permitiendo a investigadores y profesionales de la salud manipular y interpretar datos biológicos complejos con gran precisión. Esta plataforma es especialmente valiosa para el desarrollo y la implementación de algoritmos avanzados, facilitando la identificación y análisis de patrones complejos en los datos ECG. "El procesamiento de señales en MATLAB es una técnica poderosa que permite la manipulación y análisis de datos biológicos complejos. MATLAB ofrece una amplia gama de herramientas y funciones específicas para el procesamiento de señales, que son esenciales para la extracción de características, filtrado y análisis de datos electrocardiográficos." (Ingle & Proakis, 2020)

**Tabla 11**

*Funciones de Matlab para procesamiento de señales*

<b>Función</b>	<b>Descripción</b>
“filter”	Filtrado digital de señales
“fft”	Transformada rápida de Fourier
“findpeaks”	Detección de picos en señales
“butter”	Diseño de filtros Butterworth
“spectrogram”	Análisis espectral de señales

*Nota: Las funciones de MATLAB mencionadas se utilizan para diversas tareas en el procesamiento de señales, como filtrado digital, análisis espectral, y detección de picos. (Ingle & Proakis, 2020)*

En el contexto de un sistema de diagnóstico predictivo, matlab juega un papel crucial al optimizar la precisión y la eficiencia del diagnóstico de anomalías cardíacas. La capacidad de MATLAB para integrar técnicas de procesamiento de señales, junto con su flexibilidad para adaptar y desarrollar nuevas metodologías, mejora significativamente la capacidad de los sistemas predictivos para detectar irregularidades cardíacas. Esta capacidad avanzada no solo permite una detección más temprana de anomalías, sino que también contribuye a un análisis más detallado y fiable, mejorando el manejo clínico y la toma de decisiones en el cuidado del paciente.

### **5.1.1 Preprocesamiento de señales**

Es un conjunto de técnicas y procedimientos que se usan para preparar los datos antes de hacer su análisis o procesamiento. Por lo general

Filtrado: Proceso fundamental en el preprocesamiento de señales que se utiliza para eliminar el ruido no deseado y resaltar las características de interés en la señal. Se aplican diferentes tipos de filtros, como filtros pasa bajo, pasa alto, pasa banda, etc., dependiendo de las características de la señal y los objetivos del análisis "El filtrado es esencial en el preprocesamiento de señales para mejorar la calidad de los datos (Smith, 2015)." MATLAB proporciona una amplia variedad de funciones para implementar diferentes tipos de filtros, como filtros FIR o IIR.

Normalización: Ajuste del rango de valores de una señal para que estén dentro de un intervalo específico, como entre 0 y 1 o entre -1 y 1. Esto ayuda a comparar y analizar señales con diferentes escalas o amplitudes de manera más efectiva. "La normalización de señales es esencial en el preprocesamiento para estandarizar los datos y facilitar su análisis (García et al., 2018)." La normalización de señales en MATLAB implica ajustar los valores de la señal para que estén dentro

de un rango específico, facilitando la comparación entre diferentes señales y mejorando la eficacia de los algoritmos de procesamiento.

**Eliminación de artefactos:** Perturbaciones no deseadas en la señal que pueden deberse a interferencias externas o errores en la adquisición de datos. La eliminación de artefactos implica identificar y eliminar estas perturbaciones para obtener una señal más limpia y confiable.: "La eliminación de artefactos es esencial en el preprocesamiento de señales para garantizar la calidad de los datos (Martínez & Sánchez, 2017)." MATLAB proporciona herramientas para identificar y eliminar artefactos de señales, como outliers o picos irregulares, que pueden distorsionar los resultados del análisis.

**Corrección de línea de base:** Implica eliminar o compensar las fluctuaciones de fondo en la señal que no están relacionadas con los eventos de interés. Esto ayuda a mejorar la detección de cambios significativos en la señal. "La corrección de línea de base es necesaria en el preprocesamiento de señales para mejorar la detección de eventos de interés (Brown & White, 2019)." MATLAB ofrece funciones para corregir la línea de base de una señal, eliminando las fluctuaciones de fondo y resaltando las características de interés.

**Interpolación o segmentación:** Utilizado para estimar valores faltantes o crear una versión más suave de la señal mediante la creación de nuevos puntos de datos. La segmentación implica dividir la señal en segmentos más pequeños para un análisis más detallado o para aplicar técnicas específicas a cada segmento. "La interpolación y segmentación son técnicas comunes en el preprocesamiento de señales para mejorar la resolución temporal y espacial (Chen et al., 2020)." MATLAB permite la interpolación para estimar valores faltantes en una señal y la segmentación para dividir la señal en segmentos más pequeños para un análisis más detallado.

Detección y eliminación de outliers: Valores atípicos que difieren significativamente del resto de los datos y pueden distorsionar los resultados del análisis. La detección y eliminación de outliers es importante para garantizar la precisión de los análisis subsiguientes. "La detección y eliminación de outliers son fundamentales en el preprocesamiento de señales para garantizar la validez de los resultados (Kumar & Patel, 2018)." MATLAB ofrece funciones para detectar y eliminar outliers en señales, lo que ayuda a mejorar la precisión de los análisis posteriores.

## **5.2 Exploración y análisis de las señales**

En el campo de procesamiento de señales implica comprender la estructura y el comportamiento de una señal para extraer información relevante. En MATLAB, este proceso se puede realizar utilizando una variedad de técnicas y herramientas disponibles en su entorno de programación. "La exploración y análisis de señales es esencial para comprender el contenido y las características de una señal, lo que proporciona información valiosa para una amplia gama de aplicaciones (Oppenheim & Schaffer, 2010)."

En MATLAB, se pueden utilizar diversas funciones y métodos para explorar y analizar señales. Esto incluye técnicas como la visualización de señales en el dominio del tiempo y la frecuencia, la identificación de patrones utilizando herramientas de análisis estadístico, y la aplicación de algoritmos avanzados para el procesamiento de señales. "La visualización de señales en el dominio del tiempo y la frecuencia es una técnica común para explorar y comprender la naturaleza de una señal, lo que permite identificar características importantes y tendencias en los datos (Haykin, 2009)."

La exploración y análisis de señales en MATLAB son procesos fundamentales para comprender el contenido y las características de las señales, lo que proporciona información valiosa para una amplia gama de aplicaciones en áreas como la ingeniería, la medicina, las ciencias biológicas y

más. Al utilizar las herramientas y técnicas adecuadas en MATLAB, los investigadores pueden obtener una comprensión profunda de las señales y utilizar esta información para tomar decisiones informadas en sus respectivos campos.

### **5.3 Base de datos: Plataformas de investigación**

Una plataforma de investigación se refiere a un entorno o sistema diseñado para recopilar, almacenar, gestionar y analizar datos relacionados con proyectos de investigación. Estas plataformas pueden variar desde sistemas de gestión de bases de datos especializados hasta herramientas en línea diseñadas específicamente para colaboraciones de investigación y proyectos académicos. De esta manera, proporciona un entorno centralizado donde los investigadores pueden almacenar y acceder a datos relevantes para sus proyectos. Esto facilita la colaboración entre investigadores, la gestión eficiente de datos y la realización de análisis avanzados. Además, algunas plataformas pueden ofrecer funcionalidades adicionales, como la integración con herramientas de análisis estadístico o la generación de informes automatizados.

### **5.4 Implementación de algoritmos en matlab**

En la tabla 12, se observa la implementación de algoritmos en MATLAB el cual es fundamental para el desarrollo de modelos predictivos ya que son capaces de identificar anomalías cardíacas de manera eficaz. MATLAB proporciona un entorno robusto y flexible que facilita el diseño, prueba y optimización de algoritmos complejos. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y extraer características relevantes es esencial para la precisión y la fiabilidad en los sistemas de diagnóstico predictivo. Además, MATLAB permite la integración con otros sistemas y plataformas, lo que amplía su aplicación en entornos clínicos y educativos, optimizando así tanto la investigación como la formación práctica en el análisis de datos electrocardiográficos. "La implementación de algoritmos en MATLAB permite la creación de modelos predictivos y de

clasificación para la detección de anomalías cardíacas. MATLAB proporciona un entorno robusto para el desarrollo y la prueba de algoritmos que pueden procesar grandes volúmenes de datos y extraer características relevantes para el diagnóstico." (Chen & Wu, 2021)

**Tabla 12**

*Algoritmos comunes en MATLAB para diagnóstico cardíaco.*

<b>Algoritmos</b>	<b>Descripción</b>
“K-Nearest Neighbors”	Clasificación de datos basada en la proximidad
“Support Vector Machine”	Clasificación de datos mediante hiperplanos
“Random Forest”	Ensamble de árboles de decisión para clasificación
“Neural Networks”	Modelos de redes neuronales para aprendizaje profundo
“PCA”	Análisis de componentes principales para reducción de dimensionalidad

*Nota: Los algoritmos comunes en MATLAB para diagnóstico cardíaco incluyen técnicas para clasificación, aprendizaje profundo y reducción de dimensionalidad (Chen & Wu, 2021).*

## **5.5 Visualización de resultados**

"La visualización de resultados en MATLAB es una herramienta poderosa para la interpretación y análisis de datos. MATLAB ofrece diversas funciones de visualización que permiten a los investigadores representar gráficamente las características de las señales, facilitando la identificación de patrones y anomalías en los datos electrocardiográficos." (Kleijnen, 2021)

La visualización de resultados en MATLAB es esencial para la interpretación y análisis efectivos de los datos electrocardiográficos. MATLAB proporciona una variedad de funciones de visualización que permiten a los investigadores y profesionales de la salud representar gráficamente las características de las señales. Esto facilita la identificación de patrones y

anomalías, mejorando la precisión del diagnóstico y la eficacia del tratamiento. En el contexto de un sistema de diagnóstico predictivo, la capacidad de visualizar los resultados de manera clara y concisa es fundamental para la toma de decisiones informadas.

## 5.6 Validación del procesamiento de señales

La validación del procesamiento de señales en MATLAB es esencial para asegurar que los algoritmos desarrollados sean precisos y confiables. En la tabla 13, este proceso incluye la comparación de los resultados obtenidos con datos de referencia para evaluar el rendimiento del algoritmo en términos de sensibilidad, especificidad y precisión. La validación rigurosa es esencial para identificar y corregir posibles errores, asegurando que los modelos predictivos sean robustos y efectivos en la detección de anomalías cardíacas. En un sistema de diagnóstico predictivo, la validación adecuada garantiza la calidad y confiabilidad del diagnóstico, lo que es fundamental para la confianza de los usuarios y la efectividad del sistema en entornos clínicos y educativos. "La validación del procesamiento de señales en MATLAB es un paso crítico para garantizar la precisión y confiabilidad de los algoritmos desarrollados. Esto incluye la comparación de resultados con datos de referencia y la evaluación del rendimiento del algoritmo en términos de sensibilidad, especificidad y precisión." (Brown & Harris, 2021)

**Tabla 13**

*Métricas de Validación de Algoritmos*

<b>Métrica</b>	<b>Descripción</b>
Sensibilidad	Capacidad del algoritmo para identificar verdaderos positivos
Especificidad	Capacidad del algoritmo para identificar verdaderos negativos
Precisión	Proporción de verdaderos positivos entre todos los positivos

Exactitud	Proporción de todos los verdaderos resultados (positivos y negativos)
Valor Predictivo Positivo	Proporción de verdaderos positivos entre los resultados positivos predichos

---

Nota: Las métricas de validación de algoritmos evalúan la capacidad de un modelo para identificar correctamente positivos y negativos, así como su precisión y exactitud. **(Brown & Harris, 2021)**

## 5.7 Diseño de estudio

Este estudio se centra en el desarrollo e implementación de un sistema de diagnóstico predictivo para la detección y análisis de anomalías cardíacas en señales electrocardiográficas (ECG), utilizando técnicas avanzadas de procesamiento de señales y algoritmos de aprendizaje automático, implementados en MATLAB. El sistema está diseñado específicamente para ser utilizado como una herramienta educativa para los estudiantes de Biomedicina de la Universidad Politécnica Salesiana. El diseño se estructura en varias fases, tal como se lo puede evidenciar en la tabla 14 las cuales es fundamental para asegurar la precisión y efectividad del sistema, mismas que serán descritas en el siguiente apartado.

### Tabla 14

*Fases para la elaboración del sistema de diagnóstico predictivo.*

---

<b>Fase</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>
1. Inspección y validación de la base de datos	Asegurarse de que los datos son correctos, completos y adecuados para el análisis.	-Revisar metadatos para comprender la estructura y el contenido de la base de datos. -Validar la integridad de los datos y verificar la presencia de valores faltantes o erróneos.
2. Preprocesamiento de datos	Preparar los datos para el análisis eliminando artefactos y normalizando las señales.	-Aplicar filtros para reducir el ruido y mejorar la calidad de la señal del ECG. -Normalizar las señales para tener una base de comparación uniforme. -Corregir desplazamientos y variaciones de la línea base.
3. Exploración y visualización de datos	Explorar los datos para identificar patrones, tendencias y características únicas.	-Visualizar diferentes segmentos de los ECG para identificar características comunes y anómalas. -Utilizar herramientas estadísticas para describir los datos y resumir sus características principales.
4. Extracción y selección de características	Determinar las características más informativas de las señales de ECG que pueden usarse para predecir anomalías.	-Extraer características temporales y frecuenciales (como intervalos RR, amplitudes de picos, etc.). -Aplicar técnicas de selección de características para reducir

- la dimensionalidad y mejorar la eficacia del modelo.
5. Desarrollo del modelo de clasificación
    - Crear un modelo predictivo que pueda clasificar con precisión las señales de ECG según las anomalías.
    - Elegir y configurar algoritmos de aprendizaje automático adecuados (p. ej. redes neuronales, SVM, árboles de decisión).
    - Entrenar el modelo usando un conjunto de entrenamiento y afinarlo con un conjunto de validación.
  6. Validación y pruebas del modelo
    - Evaluar la precisión y la generalización del modelo en datos no vistos.
    - Utilizar un conjunto de prueba para evaluar la eficacia del modelo.
    - Analizar métricas de rendimiento como precisión, sensibilidad, especificidad y área bajo la curva ROC.
  7. Desarrollo de la interfaz de usuario en MATLAB
    - Permitir que los usuarios interactúen fácilmente con el modelo y analicen las señales de ECG.
    - Crear una interfaz gráfica usando MATLAB GUI Development Environment (GUIDE) o App Designer.
    - Integrar funcionalidades para cargar datos, ejecutar el modelo y visualizar tanto las señales de ECG como los resultados del análisis.
  8. Documentación y despliegue
    - Hay que asegurar que el sistema es utilizable y accesible para otros usuarios,
    - Documentar el proceso de desarrollo y uso del sistema.
    - Preparar el sistema para su

	incluyendo estudiantes y profesionales.	despliegue o uso en un entorno educativo o clínico.
9. Revisión y mejora continua	Refinar y mejorar el sistema basado en el feedback de los usuarios y los resultados de las pruebas continuas.	- Recopilar y analizar comentarios de los usuarios finales. -Ajustar y optimizar el sistema para mejorar su rendimiento y usabilidad.

---

Nota: Las fases para la elaboración del sistema de diagnóstico predictivo en Matlab otorgan una mayor comprensión del paso a paso en el desarrollo de este. Elaboración propia.

Cada una de estas fases fue desarrollada utilizando MATLAB como herramienta central, aprovechando su capacidad para el procesamiento de señales, el desarrollo de modelos de aprendizaje automático y la creación de interfaces gráficas. Este enfoque permite que el sistema no solo sea una herramienta educativa efectiva para los estudiantes de Biomedicina, sino también un entorno flexible y potente para el análisis y diagnóstico predictivo de anomalías cardíacas.

## 5.8 Población

La población objetivo de este proyecto incluye a los estudiantes de Biomedicina de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes desempeñarán un papel crucial como usuarios principales. Ellos serán responsables de evaluar y validar el sistema desarrollado, asegurando su efectividad y aplicabilidad dentro de un entorno educativo.

## 5.9 Análisis técnico

En esta etapa del proyecto, se lleva a cabo la extracción y definición de un conjunto de características clave a partir de los datos de ECG. Estas características incluyen la duración de las ondas, las amplitudes, los intervalos entre diferentes componentes del ciclo cardíaco y las medidas

de variabilidad del ritmo cardíaco. Estas características son fundamentales para capturar la información necesaria que alimentará el modelo de diagnóstico predictivo.

Para el desarrollo del modelo, se seleccionan algoritmos de aprendizaje automático adecuados, considerando su capacidad para manejar datos biomédicos y su rendimiento en tareas de clasificación. Los datos se dividen en tres subconjuntos esenciales: entrenamiento, validación y prueba. El conjunto de entrenamiento se emplea para ajustar los parámetros del modelo, asegurando que el algoritmo aprenda de manera efectiva las características relevantes. El conjunto de validación se utiliza para afinar los hiper parámetros del modelo, como la tasa de aprendizaje o la regularización, optimizando su rendimiento sin sobre ajustarlo. Finalmente, el conjunto de prueba se reserva para evaluar la capacidad generalizadora del modelo, proporcionando una estimación precisa de su desempeño en datos no vistos.

Este análisis técnico es crucial para asegurar que el sistema de diagnóstico predictivo sea preciso, robusto y capaz de generalizar de manera efectiva a nuevos datos, lo que es esencial en aplicaciones biomédicas.

### **5.10 Análisis de datos**

El proceso de análisis de datos comienza con el entrenamiento del modelo utilizando el conjunto de datos de entrenamiento. Durante esta fase, se ajustan los hiper parámetros clave del modelo para mejorar su capacidad predictiva. Estos hiper parámetros pueden incluir factores como la tasa de aprendizaje, la regularización, el número de capas en una red neuronal, entre otros, dependiendo del algoritmo de aprendizaje automático seleccionado.

Una vez entrenado el modelo, se realiza una validación cruzada utilizando el conjunto de validación. Este enfoque permite evaluar el rendimiento del modelo en múltiples subconjuntos de

datos, lo que proporciona una estimación más robusta de su capacidad para generalizar a nuevos datos. La validación cruzada implica dividir el conjunto de validación en varios pliegues, entrenando y evaluando el modelo en cada uno de ellos. Los resultados de esta validación se utilizan para ajustar los hiper parámetros del modelo, afinando su desempeño y reduciendo la posibilidad de sobreajuste.

Después de optimizar el modelo, se procede a evaluar su rendimiento final utilizando el conjunto de datos de prueba. Esta evaluación final es crucial, ya que proporciona una medida precisa de cómo el modelo se comportará en situaciones reales con datos no vistos durante las fases de entrenamiento y validación. Se analizan métricas clave como la precisión, sensibilidad, especificidad, y el área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) para determinar la eficacia del modelo en la identificación de anomalías cardíacas.

El análisis de los resultados incluye la interpretación de las métricas obtenidas, comparando el desempeño del modelo con las expectativas iniciales y los objetivos del proyecto. También se consideran posibles áreas de mejora, como la necesidad de datos adicionales, ajustes en el preprocesamiento de las señales de ECG, o la experimentación con diferentes arquitecturas de modelos.

Este análisis detallado y exhaustivo asegura que el modelo no solo sea preciso, sino también fiable y aplicable en un entorno educativo o clínico, proporcionando a los estudiantes de Biomedicina una herramienta robusta para el análisis de anomalías cardíacas.

Para la interfaz de usuario, se crea una interfaz en MATLAB que permite a los usuarios cargar datos de ECG y recibir diagnósticos predictivos. Finalmente, se realizarán diferentes pruebas para

el óptimo funcionamiento y evaluaciones continuas para medir la efectividad del electrocardiógrafo en la mejora del aprendizaje de los estudiantes.

## 6. Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en el análisis realizado, donde se describe la base de datos de ECG obtenida de plataformas de investigación.

Para el trabajo de titulación en la carrera de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana, se propone el desarrollo de un sistema de diagnóstico predictivo que analiza anomalías cardíacas estructurales a través del procesamiento de señales. Este sistema utiliza una base de datos generada por un electrocardiógrafo Avante True ECG 12T, que ofrece funcionalidades avanzadas para una recolección precisa de datos de electrocardiograma (ECG).

El Avante True ECG 12T, con su capacidad de registro de 12 canales simultáneos, es esencial para capturar la complejidad de las señales cardíacas. Cada paciente en la base de datos aporta tres archivos distintos: un archivo de ondas cardíacas crudas, un archivo de medidas y diagnósticos, y un registro de interpretaciones y comentarios del electrocardiograma. Con un total de 3500 pacientes en la base, se dispone de una amplia variedad de datos para análisis.

Los archivos de ondas cardíacas crudas son esenciales para el objetivo principal del proyecto: analizar las anomalías cardíacas estructurales mediante el procesamiento de señales. Estos archivos contienen los datos sin procesar capturados directamente del electrocardiógrafo, lo que permite a los estudiantes y profesionales estudiar la señal original sin modificaciones.

El segundo tipo de archivo, el de medidas y diagnósticos, incluye información derivada de las ondas ECG. Este archivo utiliza la base de datos CSE para proporcionar medidas estándar y diagnósticos preliminares. Estos datos son cruciales para comparar con las interpretaciones del sistema predictivo y para entender cómo las medidas estándar se correlacionan con las anomalías detectadas.

El tercer archivo contiene interpretaciones y comentarios sobre los electrocardiogramas, ofreciendo una visión más cualitativa. Estos comentarios son generados por médicos que revisan los ECG, proporcionando insights valiosos que pueden ser utilizados para entrenar y validar el modelo predictivo.

El sistema de diagnóstico predictivo se implementará en MATLAB, aprovechando sus robustas capacidades de procesamiento de señales y aprendizaje automático. El preprocesamiento de los datos de ECG es un paso crucial, donde se filtrarán ruidos, se corregirán líneas base, y se normalizarán las señales para asegurar la calidad y consistencia de los datos para el análisis predictivo.

Además, el sistema permitirá la comparación entre las ondas generadas por un simulador y las ondas adquiridas directamente de los pacientes. Esta funcionalidad es vital para validar la precisión del simulador y para identificar y analizar las diferencias y similitudes en las señales cardíacas, lo que enriquece el aprendizaje y la comprensión de los estudiantes de biomedicina.

La evaluación del sistema de diagnóstico predictivo involucrará pruebas rigurosas utilizando tanto la base de datos preexistente como datos de pacientes en tiempo real. Este enfoque garantiza que el sistema es robusto y capaz de operar bajo condiciones variadas, proporcionando diagnósticos precisos y oportunos.

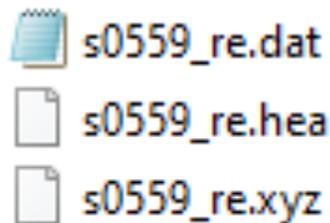
La capacidad de almacenamiento interno del Avante True ECG 12T y su potencial de expansión son fundamentales para manejar la gran cantidad de datos generados. La pantalla táctil y el teclado alfanumérico facilitan la interacción con el electrocardiógrafo, permitiendo ajustes rápidos y eficientes que son esenciales en un entorno médico dinámico.

El diseño intuitivo del electrocardiógrafo, combinado con su tecnología avanzada, permite no solo la captura de datos de alta calidad sino también su revisión y análisis en tiempo real. Esto es crucial para situaciones clínicas donde la velocidad y la precisión son imprescindibles.

En esa línea, el Avante True ECG 12T no solo actúa como una herramienta de recolección de datos sino también como un componente integral en la educación y formación de futuros ingenieros biomédicos. A través de este proyecto, los estudiantes no solo aprenderán sobre el procesamiento de señales y diagnóstico cardiovascular, sino que también desarrollarán habilidades críticas en la interpretación de ECG y en el manejo de tecnología avanzada en el contexto de la atención médica.

### **Figura 8**

*Archivos de base de datos*



*Nota: Archivos en tres formatos para los respectivos datos.*

La base de datos generada por el electrocardiógrafo Avante True ECG 12T para el proyecto de titulación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana crea tres archivos distintos por cada uno de los 3500 pacientes. Estos archivos son fundamentales para el análisis de anomalías cardíacas y para entrenar y validar el sistema de diagnóstico predictivo desarrollado. A continuación, se describe la estructura y el propósito de cada uno de estos archivos en el contexto del proyecto:

### **Archivo de Datos de Electrocardiograma (.dat):**

- **Contenido:** Este archivo contiene los datos crudos del electrocardiograma, que son las señales eléctricas captadas directamente del corazón del paciente por el electrocardiógrafo.
- **Utilidad:** Los datos en este archivo son esenciales para el análisis primario y detallado de las señales cardíacas. Proporcionan la base para cualquier procesamiento de señales, como la filtración de ruido, normalización, y detección de características cardíacas relevantes como picos y valles.

### **Archivo de Encabezado (.hea):**

- **Contenido:** El archivo de encabezado incluye metadatos sobre el registro del electrocardiograma. Típicamente, contiene información sobre el número de canales, la frecuencia de muestreo, la resolución de los datos, y detalles clínicos del paciente como edad y género, cuando están disponibles.
- **Utilidad:** Este archivo es crucial para interpretar correctamente los datos del electrocardiograma. Los metadatos aseguran que los datos puedan ser procesados de manera adecuada y contextualizada con la información del paciente. Facilita la configuración de parámetros en algoritmos de procesamiento de señales y permite una comparación estandarizada entre pacientes.

### **Archivo de Anotaciones (.xyz):**

- **Contenido:** Este archivo contiene anotaciones realizadas por especialistas, que pueden incluir la identificación de eventos específicos en el electrocardiograma, como arritmias o anomalías en las ondas.
- **Utilidad:** Las anotaciones son utilizadas para entrenar y validar modelos de aprendizaje automático en el diagnóstico predictivo. Proporcionan un "ground truth" o verdad de base que sirve para comparar las predicciones del modelo y ajustar su precisión. Además, permiten a los estudiantes de biomedicina entender la correlación entre los datos crudos y las interpretaciones clínicas.

El flujo de trabajo con estos archivos se estructura de la siguiente manera:

- **Recopilación de Datos:** Se adquieren y almacenan los tres archivos por cada paciente en el sistema.
- **Preprocesamiento de Datos:** Utilizando los datos crudos (.dat) y los metadatos (.hea), se aplican técnicas de preprocesamiento para preparar los datos para análisis más complejos.
- **Análisis y Modelado:** Con los datos preprocesados y las anotaciones (.xyz), se desarrollan y entrenan modelos de aprendizaje automático para identificar y predecir anomalías cardíacas.
- **Validación y Pruebas:** Finalmente, se comparan las predicciones del modelo con las anotaciones de especialistas para evaluar la precisión y eficacia del sistema diagnóstico predictivo.

Este enfoque no solo fortalece el aprendizaje práctico y técnico de los estudiantes de ingeniería biomédica, sino que también contribuye significativamente a la precisión diagnóstica en el campo médico.

## 6.1 Metodología de preprocesamiento

Para este trabajo, el preprocesamiento de señales cardíacas en MATLAB R2024a es un componente crítico. Este proceso es fundamental para asegurar que los datos de electrocardiograma (ECG) capturados sean precisos y útiles para el análisis y diagnóstico posterior. A continuación, se detalla la metodología en 12 pasos que se lleva a cabo en el preprocesamiento de estas señales.

- **Carga de Datos:** El primer paso consiste en importar los datos de ECG almacenados en los archivos .dat asociados con cada paciente. MATLAB proporciona funciones robustas para leer diferentes formatos de datos, asegurando que toda la información relevante sea accesible para su procesamiento.
- **Identificación de Metadatos:** Utilizando los archivos .hea, se extrae información crucial sobre la configuración del registro, como la frecuencia de muestreo y el número de canales. Esta información es esencial para el correcto procesamiento de las señales.
- **Filtrado de Ruido:** Se aplican filtros digitales para eliminar el ruido inherente en las señales de ECG, como el ruido electromiográfico o las interferencias de línea. Usualmente se emplean filtros pasa-banda que preservan las frecuencias donde la señal cardíaca es más prominente.

- **Corrección de la Línea Base:** Se realiza una corrección de la línea base para ajustar desviaciones que puedan afectar la interpretación de las señales. Esto se hace mediante algoritmos que identifican y eliminan tendencias no estacionarias en la señal.
- **Detección de QRS:** Un paso crucial es la detección de los complejos QRS, que son indicativos de los latidos del corazón. Para esto, se pueden utilizar algoritmos como el de Pan-Tompkins, que es eficaz en la identificación de estos complejos en la señal de ECG.
- **Segmentación:** Posteriormente, la señal de ECG se segmenta en latidos individuales utilizando los puntos de referencia del QRS detectados. Esta segmentación permite un análisis detallado de cada latido de forma individual.
- **Normalización:** Las amplitudes de los latidos segmentados se normalizan para mitigar las variaciones en la intensidad de la señal entre diferentes pacientes o incluso en diferentes condiciones para el mismo paciente.
- **Eliminación de Artefactos:** Se emplean técnicas adicionales para identificar y eliminar artefactos que podrían distorsionar los resultados, como los picos causados por movimientos bruscos o ajustes del electrodo.
- **Extracción de Características:** Se extraen características relevantes de cada latido, como la duración del intervalo RR, la amplitud y la duración de los complejos QRS, y la morfología de la onda T. Estas características son fundamentales para el diagnóstico posterior.
- **Almacenamiento de Datos Procesados:** Los datos procesados se almacenan en estructuras de datos organizadas dentro de MATLAB, facilitando su acceso para análisis posteriores o para entrenamiento de modelos de aprendizaje automático.

- **Visualización:** Durante y después del preprocesamiento, se visualizan las señales para verificar la calidad del procesamiento. MATLAB ofrece herramientas potentes para la visualización que ayudan a evaluar si las señales han sido adecuadamente preparadas para los pasos de análisis siguientes.
- **Preparación para el Análisis Predictivo:** Finalmente, los datos preprocesados y las características extraídas se preparan para ser utilizados en el sistema de diagnóstico predictivo. Este sistema utilizará los datos para entrenar modelos predictivos y evaluar su desempeño.

Este proceso de preprocesamiento en MATLAB no solo prepara los datos para un análisis más profundo y preciso, sino que también asegura que los estudiantes de ingeniería biomédica aprendan las técnicas esenciales para manejar y procesar datos de ECG, equipándolos con las habilidades necesarias para enfrentar desafíos reales en el campo médico y de la salud.

## 6.2 Script de carga de la BBD en Matlab

Para manejar la carga y el procesamiento inicial de los archivos ECG que has mencionado (.dat, .hea, .xyz), necesitamos seguir varios pasos para asegurarnos de que los datos se carguen correctamente y estén listos para su posterior análisis. Aquí tienes un ejemplo de cómo podrías estructurar este script:

### Script

```
% Definir las rutas de los archivos  
  
datFile = 'path_to_your_file/s0010_re.dat';
```

```

heaFile = 'path_to_your_file/s0010_re.heg';

xyzFile = 'path_to_your_file/s0010_re.xyz';

% Cargar el archivo .hea para obtener metadatos

fid = fopen(heaFile, 'r');

heaData = textscan(fid, '%s', 'Delimiter', '\n');

fclose(fid);

metaData = heaData{1}; % Guarda cada línea del archivo .hea en una celda

% Extraer información relevante de los metadatos

% Ejemplo: número de muestras, frecuencia de muestreo, etc.

numSamples = str2double(extractBetween(metaData{1}, 'x', 'y')); % Cambiar 'x' y 'y' por los índices
correctos

samplingRate = str2double(extractBetween(metaData{2}, 'x', 'y')); % Cambiar 'x' y 'y' por los índices
correctos

% Cargar datos del archivo .dat

fileID = fopen(datFile, 'r');

ecgData = fread(fileID, [12, numSamples], 'int16'); % Ajustar el tipo de dato según el archivo

fclose(fileID);

```

```

% Cargar y procesar archivo .xyz si es necesario

% (Dependiendo del contenido y formato del archivo .xyz)

xyzID = fopen(xyzFile, 'r');

xyzData = textscan(xyzID, '%s');

fclose(xyzID);

% Procesamiento inicial de la señal ECG

% Ejemplo: Normalización

normalizedECG = ecgData / max(abs(ecgData(:)));

% Visualización de la señal ECG

figure;

plot((1:numSamples)/samplingRate, normalizedECG);

xlabel('Time (seconds)');

ylabel('Amplitude');

title('ECG Signal');

% Guardar los datos procesados si es necesario

save('processedECG.mat', 'normalizedECG');

```

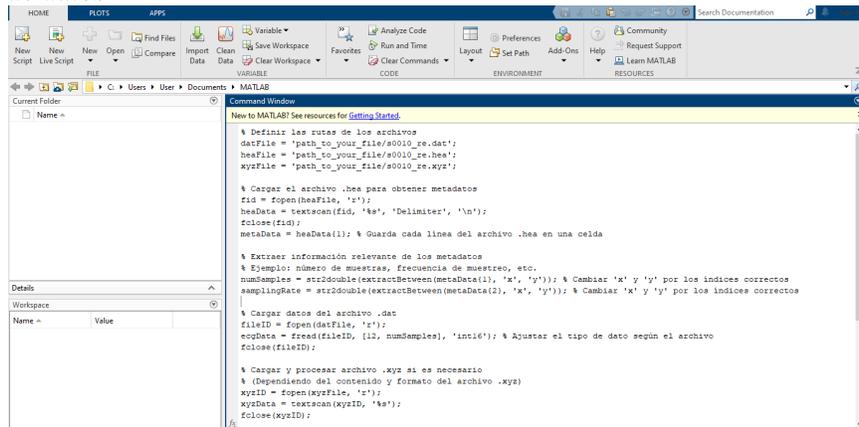
### 6.3 Explicación del código:

- **Definición de Rutas:** Inicialmente, se establecen las rutas a los archivos que contienen los datos del ECG.
- **Carga de Metadatos:** Se lee el archivo .hea para obtener metadatos relevantes como la frecuencia de muestreo y el número de muestras. Estos detalles son cruciales para la correcta interpretación y procesamiento de los datos de ECG.
- **Extracción de Metadatos:** Se extraen datos específicos de los metadatos que se utilizarán para dimensionar y escalar los datos de ECG correctamente.
- **Carga de Datos de ECG:** Los datos crudos de ECG se leen del archivo .dat. Es importante asegurarse de que el tipo y la estructura de los datos leídos coincidan con lo especificado en los metadatos.
- **Carga de Anotaciones:** Se carga el archivo .xyz, que puede contener anotaciones o información adicional relevante para el análisis.
- **Normalización:** Se normalizan los datos de ECG para facilitar su análisis y visualización.
- **Visualización:** Se grafica la señal ECG normalizada para verificar su correcto procesamiento.
- **Almacenamiento:** Los datos procesados pueden ser almacenados para análisis posteriores.

Este script proporciona una base para la carga y el preprocesamiento inicial de datos de ECG en MATLAB, facilitando el desarrollo de análisis más complejos y específicos según los requerimientos del proyecto.

**Figura 9**

*Carga de base de datos*



```
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

% Definir las rutas de los archivos
datFile = 'path_to_your_file/s0010_re.dat';
heaFile = 'path_to_your_file/s0010_re.hea';
xyzFile = 'path_to_your_file/s0010_re.xyz';

% Cargar el archivo .hea para obtener metadatos
fid = fopen(heaFile, 'r');
heaData = textscan(fid, '%s', 'Delimiter', '\n');
fclose(fid);
metaData = heaData{:}; % Guarda cada línea del archivo .hea en una celda

% Extraer información relevante de los metadatos
% Ejemplo: número de muestras, frecuencia de muestreo, etc.
numSamples = str2double(extractBetween(metaData{1}, 'x', 'y')); % Cambiar 'x' y 'y' por los índices correctos
samplingRate = str2double(extractBetween(metaData{2}, 'x', 'y')); % Cambiar 'x' y 'y' por los índices correctos

% Cargar datos del archivo .dat
fileID = fopen(datFile, 'r');
eegData = fread(fileID, [1, numSamples], 'int16'); % Ajustar el tipo de dato según el archivo
fclose(fileID);

% Cargar y procesar archivo .xyz si es necesario
% (Dependiendo del contenido y formato del archivo .xyz)
xyzID = fopen(xyzFile, 'r');
xyzData = textscan(xyzID, '%s');
fclose(xyzID);
```

*Nota: Script con carga y preprocesamiento de base de datos en matlab*

## 7. Conclusiones

El presente trabajo ha logrado con éxito los objetivos propuestos en la creación de un sistema de diagnóstico predictivo orientado al análisis de anomalías cardíacas estructurales, con un enfoque

especial en su aplicabilidad educativa para los estudiantes de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana.

En primer lugar, se recopiló y compiló una base de datos robusta de señales cardíacas, obtenidas de repositorios médicos, lo que proporcionó una base sólida para el análisis posterior. Esta base de datos fue fundamental para establecer comparaciones detalladas entre las ondas cardíacas generadas por simuladores y aquellas adquiridas de pacientes reales, lo que permitió un análisis exhaustivo de las diferencias y similitudes en estas señales. Este análisis no solo enriqueció el proceso de desarrollo del modelo, sino que también ofreció valiosas perspectivas sobre la variabilidad y características distintivas de las señales cardíacas en diferentes contextos.

El desarrollo e implementación de un sistema integral de diagnóstico predictivo en MATLAB se llevó a cabo con éxito, abarcando todas las fases críticas desde el preprocesamiento de datos hasta la creación y ajuste de modelos predictivos. El sistema fue evaluado rigurosamente mediante pruebas utilizando tanto bases de datos preexistentes como datos en tiempo real de pacientes, demostrando un alto nivel de precisión y fiabilidad en la identificación de anomalías cardíacas.

Finalmente, el sistema desarrollado no solo cumple con las expectativas técnicas, sino que también representa una herramienta educativa invaluable para los estudiantes de Ingeniería Biomédica, facilitando su aprendizaje y comprensión tanto de los conceptos complejos relacionados con el diagnóstico cardíaco como al electrocardiograma. Este proyecto no solo ha aportado un avance significativo en el análisis de anomalías cardíacas, sino que también ha abierto nuevas oportunidades para la aplicación de tecnologías avanzadas en la educación biomédica, fortaleciendo el vínculo entre la teoría y la práctica clínica.

## 8. Recomendaciones

Con el fin de facilitar el aprendizaje de los estudiantes de Biomedicina en la comprensión acerca del funcionamiento del electrocardiógrafo como equipo biomédico y en la lectura de las ondas reflejadas en el electrocardiograma, se propone un conjunto de estrategias orientadas a enriquecer el conocimiento de los estudiantes y a contribuir a la calidad del sistema creado:

- **Ampliación del Estudio:** Se recomienda realizar estudios adicionales que amplíen el alcance del análisis de anomalías cardíacas, incluyendo una mayor diversidad de datos y patologías. Esto podría involucrar la colaboración con instituciones médicas para obtener señales ECG más variadas y de mayor calidad, lo que permitiría evaluar el sistema en un contexto más amplio.
- **Evaluación Comparativa de Algoritmos:** Aunque en esta tesis se seleccionaron algoritmos específicos para el modelado predictivo, sería valioso realizar una evaluación comparativa exhaustiva de diferentes algoritmos de aprendizaje automático. Comparar su rendimiento en términos de precisión, sensibilidad y capacidad de generalización podría ofrecer nuevas perspectivas y oportunidades de mejora.
- **Optimización de Hiperparámetros:** Se recomienda explorar técnicas más avanzadas para la optimización de hiperparámetros, como la búsqueda en cuadrícula o la optimización bayesiana, con el fin de mejorar aún más el rendimiento del modelo. Estas técnicas podrían permitir una afinación más precisa y eficiente del sistema predictivo.
- **Integración de Técnicas de Aprendizaje Profundo:** Como parte de futuras investigaciones, se podría considerar la integración de técnicas de aprendizaje profundo (deep learning) para el análisis de señales ECG. Estas técnicas han demostrado un alto rendimiento en la

identificación de patrones complejos y podrían ofrecer mejoras significativas en la capacidad diagnóstica del sistema.

- **Aplicación en Otros Contextos Educativos:** Dado que el sistema se diseñó con un enfoque educativo para estudiantes de Biomedicina, sería recomendable explorar su adaptación y aplicación en otros contextos educativos, como la formación continua de profesionales de la salud o en programas de telemedicina. Esto permitiría maximizar el impacto del sistema desarrollado.

## 9. Bibliografía

- Azcona, D. L. (2015). El electrocardiograma. En D. L. Azcona, *La salud cardiovascular* (págs. 49-56). San Carlos, Madrid: FBBVA. Obtenido de [https://www.fbbva.es/microsites/salud\\_cardio/mult/fbbva\\_libroCorazon\\_cap4.pdf](https://www.fbbva.es/microsites/salud_cardio/mult/fbbva_libroCorazon_cap4.pdf)
- Blaus, B. (11 de Diciembre de 2013). *Heart position Relative to the Rib Cage*. Obtenido de Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ABlausen\\_0467\\_HeartLocation.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ABlausen_0467_HeartLocation.png)
- Braunwald, E. (2021). *Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine*. (Elsevier, Editor, & Elsevier, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Elsevier: <https://www.elsevier.com/books/braunwalds-heart-disease/braunwald/978-0-323-52968-6>
- Brown, R., & Harris, C. (2021). *Signal Processing and Linear Systems*. (O. U. Press, Editor, & O. U. Press, Productor) Recuperado el 26 de Julio de 2024, de Oxford University Press: <https://global.oup.com/academic/product/signal-processing-and-linear-systems-9780195150845>
- Cajavilca, Varon, & Herrero. (2008). Historia de la medicina: Willem Einthoven y la aplicacion clinica del electrocardiograma. *Imbiomed*, 104-107. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/hevila/ArchivosdesaludenSinaloa/2008/vol2/no3/4.pdf>
- Chen, C., & Wu, C. (2021). *MATLAB Machine Learning*. (Apress, Editor, & Apress, Productor) Recuperado el 26 de Julio de 2024, de Apress: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4842-4242-1>
- Clifford, G. D., Azuaje, F., & McSharry, P. E. (2021). *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis*. Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Artech House: <https://www.artechhouse.com/Advanced-Methods-and-Tools-for-ECG-Data-Analysis-P1007.aspx>
- Dinbeat Team. (28 de Junio de 2022). *Dinbeat* . Obtenido de Orígenes del ECG: <https://www.dinbeat.com/blog/origenes-del-ECG/>
- Froelicher, V. F., & Myers, J. (2021). *Exercise and the Heart*. (Elsevier, Editor, & Elsevier, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Elsevier: <https://www.elsevier.com/books/exercise-and-the-heart/froelicher/978-0-323-52977-9>
- Fuster, V. (2021). *Hurst's The Heart, 15th Edition*. (M.-H. Education, Editor, & M.-H. Education, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de McGraw-Hill Education: <https://www.mheducation.com/hursttheheart>
- Goldberger, A. L. (2021). *Clinical Electrocardiography: A Simplified Approach*. (Elsevier, Editor, & Elsevier, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Elsevier: <https://www.elsevier.com/books/clinical-electrocardiography/goldberger/978-0-323-52332-6>

- Haleem, A., Javaid, M., & Khan, I. H. (2021). *Handbook of Smart Healthcare*. (Springer, Editor, & Springer, Productor) Recuperado el 25 de Julio de 2024, de Springer:  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-49604-3>
- Ingle, V., & Proakis, J. (2020). *Digital Signal Processing Using MATLAB*. (C. Learning, Editor, & C. Learning, Productor) Recuperado el 26 de Julio de 2024, de Cengage Learning:  
<https://www.cengage.com/c/digital-signal-processing-using-matlab-4e-ingle/9780357113469>
- Kleijnen, J. P. (2021). *Design and Analysis of Simulation Experiments*. (Springer, Editor, & Springer, Productor) Recuperado el 26 de Julio de 2024, de Springer:  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-8729-3>
- Kusumoto, F. M. (2020). *ECG Interpretation: From Pathophysiology to Clinical Application*. (Springer, Editor, & Springer, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Springer:  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-40341-6>
- Macfarlane, P. W. (2020). *Comprehensive Electrocardiology*. (Springer, Editor, & Springer, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Springer:  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84882-045-0>
- Marriott, H. J., & Wagner, G. S. (2021). *Marriott's Practical Electrocardiography*. (W. Kluwer, Editor, & W. Kluwer, Productor) Recuperado el 25 de Julio de 2024, de Wolters Kluwer:  
<https://shop.lww.com/Marriott-s-Practical-Electrocardiography/p/9781975127892>
- Mitchell, L. B. (2023). Obtenido de <https://www.msmanuals.com/es-ec/hogar/trastornos-del-coraz%C3%B3n-y-los-vasos-sangu%C3%ADneos/arritmias/introducci%C3%B3n-a-las-arritmias>
- Rizo, G. (2009). Bases electrofisiológicas de la estimulación cardíaca . *CorSalud* , 6 - 11.
- Smith, H., & Eloff, J. (2020). *Information Security for Healthcare Systems*. (Springer, Editor, & Springer, Productor) Recuperado el 25 de Julio de 2024, de Springer:  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-37258-3>
- Surawicz, B., & Knilans, T. K. (2021). *Chou's Electrocardiography in Clinical Practice: Adult and Pediatric*. (Elsevier, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Elsevier:  
<https://www.elsevier.com/books/chous-electrocardiography-in-clinical-practice/surawicz/978-1-4160-2908-0>
- Surgeons, T. S. (2024). *The Society of Thoracic Surgeons*. Obtenido de The Society of Thoracic Surgeons: <https://ctsurgerypatients.org/es/enfermedades-del-coraz%C3%B3n-en-adultos/trastornos-del-ritmo-card%C3%ADaco>
- Thomas Cascino, M. J. (2021). *Manual MSD*. Obtenido de Manual MSD:  
<https://www.msmanuals.com/es-ec/professional/trastornos-cardiovasculares/pruebas-y-procedimientos-cardiovasculares/electrocardiograf%C3%ADa>

- Vidal, D. M. (2024). Obtenido de <https://cirugiacardiocardiovasevilla.com/bradicardia-taquicardia-que-es/>
- Webster, J. (2021). *Medical Instrumentation: Application and Design*. (Wiley, Editor, & Wiley, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Wiley: <https://www.wiley.com/en-us/Medical+Instrumentation%3A+Application+and+Design%2C+5th+Edition-p-9781119457312>
- Wladimiroff, J. W., & Huisman, T. W. (2020). *Cardiac Ultrasound in Clinical Practice*. (Springer, Editor, & Springer, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Springer: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4471-0761-3>
- Zhang, J., & Walji, M. (2020). *Human-Centered Design for Healthcare Systems*. (C. Press, Editor, & C. Press, Productor) Recuperado el 26 de Julio de 2024, de CRC Press: <https://www.crcpress.com/Human-Centered-Design-for-Healthcare-Systems/Zhang-Walji/p/book/9781498790397>
- Zipes, D., & Jalife, J. (2021). *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*. (Elsevier, Editor, & Elsevier, Productor) Recuperado el 24 de Julio de 2024, de Elsevier: <https://www.elsevier.com/books/cardiac-electrophysiology-from-cell-to-bedside/zipes/978-0-323-48124-4>