

**Universidad Tecnológica ECOTEC**

**Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza.**

**Título del trabajo:**

Construcción de una Aplicación Web basada en Inteligencia Artificial, para el diagnóstico preciso de enfermedades cardíacas en una clínica Privada de Guayaquil, Ecuador.

**Línea de Investigación:**

Tecnologías de la información y la comunicación

**Modalidad de titulación:**

Trabajo Integrador Curricular

**Carrera/programa:**

Ingeniería en Software

**Título a obtener:**

Ingeniero en Software

**Autor (a):**

Steeven Joan Estupiñán Salazar

**Tutor:**

Marcos Antonio Espinoza Mina

Guayaquil - Samborondón



**ANEXO No. 9**

**PROCESO DE TITULACIÓN  
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

~~Sembrador~~, 19 de diciembre de 2024

Magíster  
**Erika Ascencio**  
Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza  
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de titulación TITULADO: Construcción de una Aplicación Web basada en Inteligencia Artificial, para el diagnóstico preciso de enfermedades cardíacas en una clínica Privada de Guayaquil, Ecuador, fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, por lo que se autoriza al estudiante: **Steeven Joan Estupiñán Salazar**, para que proceda con la presentación oral del mismo.

**ATENTAMENTE,**



Firmado digitalmente por:  
**MARCOS ANTONIO  
ESPINOZA MINA**

**Ing. Marcos Antonio Espinoza Mina, PhD.**

*Tutor*

**PROCESO DE TITULACIÓN  
CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS  
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Habiendo sido revisado el trabajo de titulación Construcción de una Aplicación Web basada en Inteligencia Artificial, para el diagnóstico preciso de enfermedades cardiacas en una clínica Privada de Guayaquil, Ecuador. elaborado por Steeven Joan Estupiñán Salazar fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje del 4% mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del documento. Adicional se adjunta [print](#) de pantalla de dicho resultado.



ATENTAMENTE,



Ing. Marcos Antonio Espinoza Mina, PhD.  
Tutor

## DEDICATORIAS

El presente trabajo, está dedicado a mi madre Angelita, que siempre me apoyo, me impulso a salir adelante en la vida, que a pesar de los tropiezos o baches que nos ponga esta, me enseñó que siempre hay una luz al final del camino, y que siempre hay que poner amor y pasión, a lo que vayamos a realizar, esto va por ti madre mía, ya que, gracias a ti, me he convertido en la persona que soy al día de hoy, espero poder algún día pagarte de vuelta todo lo que has hecho por mí.

A mi hermano Jonathan, por siempre haberme apoyado, aconsejado, escuchado, que, a pesar de la distancia, nunca dejaste que esta influyera en la forma en la que me querías, siempre siento tu amor y te aprecio en cada mensaje que envías. Por haberme formado parte de todo mi desarrollo personal y profesional. Espero y aspiro ser esa gran persona que hace algún tiempo te planteaba ser, con esa dedicación, pasión, amor, que solo tu denotabas al realizar cualquier actividad.

A mi hermano Jorge, por siempre estar ahí, a mi lado, por siempre empujarme a ser mejor, por siempre enseñarme que en la vida todo se hace mediante trabajo fuerte y temple, tal y como tú lo haces día a día, ser esa persona siempre alegre y con un corazón fuerte, eres un ejemplo a seguir. A mi cuñada Katherinne, por ayudarme a salir adelante durante este trabajo, por haberme aconsejado, escuchado y recomendado.

A mi novia Irina, por siempre escucharme y apoyarme en cada paso de camino, que a pesar de las dificultades que se presenten y la distancia que se nos planteara, seguiste estando ahí, dándome el impulso que necesitaba para salir de cualquier situación. Te agradezco por tantos años compartidos y que espero haya muchos más.

Y finalmente, a todos mis amigos, familiares, que creyeron en mi para este trabajo, que todas sus palabras de aliento que me dieron, dieron sus frutos. Gracias por creer en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradecer a Dios, por haber permitido cumplir una etapa mas en vida, por bendecirme tanto, por cuidarme, no solo a mí, sino a todas las personas en mi vida.

A la Dra. Delfa Núñez, que me apoyo durante el desarrollo de este trabajo, por haberme permitido trabajar junto a usted y por todo el conocimiento aprendido.

A la Ing. Bernarda Mera y Ing. Jacinto Monserrate, por haberme dado la mano, durante este proceso para que lo pudiera culminar de la mejor manera.

Al Ing. Marcos Espinoza y a la Ing. Alejandra Colina, que siempre con sus palabras de ánimo me ayudaron a salir adelante y agradeciendo por el tiempo dedicado a dar sus recomendaciones.

A mis amigos, por siempre impulsarme a salir a adelante con sus palabras de ánimo, por ofrecerme una mano cuando la necesitaba. Espero algún día poder devolverles el favor.

A todas las personas que me ofrecieron su ayuda durante este trabajo, con una recomendación, observación, con su granito de arena, con una idea, de como siempre hacerlo mejor. Por siempre apoyarme a hacer mucho más y esto a su vez cumplió sus frutos.

## RESUMEN

En la era actual, donde la tecnología avanza a pasos agigantados, la integración de herramientas basadas en inteligencia artificial en la medicina se ha vuelto una necesidad imperante. La capacidad de estas tecnologías para analizar grandes volúmenes de datos y proporcionar diagnósticos precisos ha revolucionado la forma en que los profesionales de la salud abordan el cuidado de sus pacientes.

Bajo este contexto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar un prototipo de software entregable a un médico especialista, diseñado para su uso exclusivo en el consultorio. Este estudio se llevó a cabo en un consultorio cardiológico privado dentro de la ciudad de Guayaquil.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó un análisis exhaustivo de los antecedentes y la normativa vigente en Ecuador; además de que se utilizó como parámetros de investigación encuestas realizadas a 50 personas y entrevista elaborada a 1 profesional del área de medicina. Con la información recolectada se estableció los parámetros para una aplicación web apoyado por un modelo de LLM, que a su vez utilizó CNN el cual se aplicó en los electrocardiogramas.

Como resultado se obtuvo que la aplicación web, la cual fue revisada con el doctor responsable de la clínica; ayudó significativamente al análisis y posterior revisión de los electrocardiogramas; a la vez que hubo un 30% de mejora de los ECG con relación a los realizados sin la aplicación. Por tanto, demostró la viabilidad y el impacto positivo de la adopción de soluciones tecnológicas en el ámbito de la medicina, subrayando la importancia de la ingeniería en software como herramienta clave para el mejoramiento de los servicios de salud.

## **ABSTRACT**

In the current era, where technology is advancing rapidly, the integration of artificial intelligence-based tools in medicine has become an imperative need. The ability of these technologies to analyze large volumes of data and provide accurate diagnoses has revolutionized the way health professionals approach the care of their patients.

In this context, the present research work aims to develop a software prototype deliverable to a specialist doctor, designed for exclusive use in the office. This study was carried out in a private cardiology office which is in the city of Guayaquil.

For the development of this project, an exhaustive analysis of the background and current regulations in Ecuador was carried out; in addition, surveys carried out on 50 people and an interview with 1 medical professional were used as research parameters. With the information collected, the parameters for a web application supported by an LLM model were established, which in turn used CNN which was applied to electrocardiograms.

The result was that the web application, which was reviewed with the doctor in charge of the clinic, significantly helped in the analysis and subsequent review of the electrocardiograms, while there was a 30% improvement in the ECGs compared to those performed without the application. Therefore, it demonstrated the viability and positive impact of adopting technological solutions in the field of medicine, highlighting the importance of software engineering as a key tool for improving health services.

## Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	5
1.3. Planteamiento de Objetivos.....	8
1.3.1. Objetivo General.....	8
1.3.2. Objetivos Específicos.....	8
1.4. Justificación.....	9
1.5. Normativas en el Ecuador.....	10
1.5.1. Norma Técnica de Atención Integral en Cardiología.....	11
1.5.2. Plan Nacional de Prevención y Control de Enfermedades Crónicas No Transmisibles.....	11
1.5.3. Regulación del uso de dispositivos médicos.....	11
1.6. Estadísticas sobre enfermedades cardiacas en Ecuador.....	11
1.7. Descripción del Diagnóstico del Centro Médico.....	12
2. Marco Teórico.....	14
2.1. Diagnostico Cardiológicos.....	14
2.1.1. Pruebas complementarias.....	15
2.1.2. Motivos para un diagnóstico retrasado o incorrecto.....	17
2.1.3. Impactos de un diagnóstico retrasado o incorrecto.....	18
2.1.4. Mitigación y disminución de los diagnósticos tardíos o erróneos.....	20

2.2.	Funcionamiento eléctrico del corazón .....	21
2.3.	Electrocardiograma.....	22
2.3.1.	Funcionamiento en registros eléctricos normales del corazón .....	23
2.3.2.	Registros del electrocardiograma en alteraciones eléctricas del corazón.....	25
2.4.	Inteligencia artificial aplicada en medicina cardiovascular .....	26
2.4.1.	Ley de Protección de Datos Personales .....	28
2.5.	Large Model Language (LLM) .....	29
2.5.1.	Gemini Pro.....	31
2.6.	Modelo de Redes Neuronales Convolucionales .....	33
2.7.	Modelos de Redes Neuronales Convolucionales en electrocardiogramas .....	36
2.8.	Predicción de enfermedades cardíacas con modelos de redes neuronales convolucionales en electrocardiogramas a nivel nacional.....	40
2.8.1.	Aplicación de algoritmos de inteligencia artificial con datos iniciales filtrados .....	40
3.	Metodología .....	41
3.1.	Tipo de Metodología .....	41
3.1.1.	Metodología de Investigación .....	41
3.1.2.	Metodología de Desarrollo de Software. ....	43
3.2.	Alcance.....	46
3.3.	Delimitación de la Investigación.....	47
3.4.	Métodos Empíricos y Estadísticos Empleados.....	47
3.4.1.	Entrevistas.....	48
3.4.2.	Encuesta.....	49

3.4.3.	Documento Pruebas Funcionales .....	51
3.4.4.	Documento de Pruebas Unitarias .....	51
4.	Análisis de Resultados.....	51
4.1.	Descripción del Software .....	51
4.2.	Alcance del Software .....	52
4.3.	Arquitectura .....	56
4.4.	Cronograma de Actividades.....	58
4.5.	Tecnologías para el desarrollo.....	62
4.6.	Motor de Base de Datos .....	63
4.8.	Ejecución de la IA a través de una API en Python. ....	66
4.9.	Respuesta del API en un log de Ejecución. ....	67
4.10.	Servidor.....	68
4.11.	Diagrama de Arquitectura local de Transaccionalidad.....	68
4.12.	Arquitectura de la Interfaz gráfica de usuario – Cliente.....	69
4.13.	Herramientas de Desarrollo.....	71
4.14.	Pruebas Unitarias para el Sistema. ....	74
4.15.	Análisis de la Entrevista realizada con el médico Especialista.....	75
4.16.	Encuesta realizada.....	76
4.17.	Documento de Pruebas Funcionales.....	79
4.18.	Cuadro Comparativo sobre Interpretaciones de ECGs.....	80
5.	Conclusiones y Recomendaciones .....	82

5.1. Conclusiones .....	82
5.2. Recomendaciones .....	83
6. Bibliografía .....	85
7. Anexos .....	91
7.1. Anexos Orientados al Beneficiario .....	91
7.2. Anexos Orientados a la Aplicación. ....	134

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Criterios Clínicos de Framingham (Pereira, 2016).</i> .....	14
<i>Tabla 2: Características de ondas e intervalos de un electrocardiograma normal (Watson, 2022).</i> .....	24
<i>Tabla 3: Ubicación de los electrodos del electrocardiograma (Watson, 2022).</i> .....	25
<i>Tabla 4: Tabla Comparativa de Interpretaciones de ECG Original contra Entregable....</i>	80

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: <i>Sistema eléctrico del corazón (Márquez, 2021).</i> .....	22
Ilustración 2: <i>Señal eléctrica de un electrocardiograma sobre un corazón normal (Noboa, 2024)</i> .....	23
Ilustración 3: <i>Registro eléctrico de un latido normal, latido prematuro auricular y latido prematuro ventricular (Avanzato y Beritelli, 2020).</i> .....	26
Ilustración 4: <i>Diagrama de Venn de las disciplinas de la ciencia de datos (Dorado et al., 2019).</i> .....	27
Ilustración 5: <i>Ascenso de los Modelos de Lenguaje Grande (McCadnless, 2024).</i> .....	31
Ilustración 6: <i>Representación de la etapa de convolución (Ibáñez, 2021).</i> .....	35
Ilustración 7: <i>Modelo de estructura de una red neuronal convolucional (Tian, 2020).</i> ....	36
Ilustración 8: <i>Arquitectura del MobileNet V2 (Guijarro et al., 2022).</i> .....	37
Ilustración 9: <i>Arquitectura del ResNet 101 (Ahmad et al., 2022).</i> .....	37
Ilustración 10: <i>Arquitectura del Inception V3 adaptado (Changling et al., 2021).</i> .....	38
Ilustración 11: <i>Módulo de Pacientes dentro de la Aplicación.</i> .....	52
Ilustración 12: <i>Módulo de Historias Clínicas dentro de la Aplicación.</i> .....	53
Ilustración 13: <i>Módulo de Diagnostico Presuntivo e Interpretación IA.</i> .....	54
Ilustración 14: <i>Diagrama de Arquitectura de la Aplicación.</i> .....	57
Ilustración 15: <i>Cronograma de Actividades en un Tablero Kanban.</i> .....	59
Ilustración 16: <i>Cuadro Comparativo de Lenguajes de Programacion Front-End.</i> .....	62
Ilustración 17: <i>Cuadro Comparativo de Lenguajes de Programacion Back-End.</i> .....	63
Ilustración 18: <i>Cuadro Comparativo de Motores de Base de Datos.</i> .....	64
Ilustración 19: <i>Diagrama Entidad Relación de la Base de Datos.</i> .....	65
Ilustración 20: <i>Rutas API de la Aplicación</i> .....	66
Ilustración 21: <i>Ejecución de modelo de IA, a través de Python.</i> .....	67
Ilustración 22: <i>Respuesta del API en un Log.</i> .....	67

Ilustración 23: <i>Cuadro Comparativo de Tipos de Servidores.</i> .....	68
Ilustración 24: <i>Diagrama de Arquitectura local de Transaccionalidad.</i> .....	69
Ilustración 25: <i>Arquitectura de la interfaz de Usuario.</i> .....	71
Ilustración 26: <i>Herramienta de Desarrollo PHP Storm.</i> .....	72
Ilustración 27: <i>Resultados de Pregunta 1</i> .....	77
Ilustración 28: <i>Resultados de Pregunta 2.</i> .....	77
Ilustración 29: <i>Resultados de Pregunta 3.</i> .....	78
Ilustración 30: <i>Resultados de Pregunta 4.</i> .....	78
Ilustración 31: <i>Resultados de Pregunta 5.</i> .....	79
Ilustración 32: <i>Electrocardiograma proporcionado por el Beneficiario.</i> .....	80

## **1. Introducción.**

La precisión en el diagnóstico de enfermedades cardíacas es necesaria para la implementación de tratamientos adecuados en la calidad de vida de los pacientes. Los electrocardiogramas (ECG) se han convertido en un instrumento de suma importancia en los estudios cardiológicos, ya que permiten detectar irregularidades en el ritmo y la función del corazón. Sin embargo, la valoración de resultados que se obtienen al realizar los ECG puede ser un problema, incluso para los especialistas más experimentados, debido a la complejidad de las señales y la variabilidad entre pacientes.

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha mostrado un gran potencial en el campo de la medicina, particularmente en la mejora de la precisión diagnóstica y la reducción de errores humanos. Las redes neuronales convolucionales (CNN), los cuales son un modelo de IA utilizado en esta área, han demostrado ser especialmente efectivas en la identificación de patrones complejos en imágenes y señales, lo que las hace ideales para el análisis de ECG (Rajpurkar, 2021). El propósito de este proyecto es desarrollar una aplicación web que pueda hacer uso de la IA, específicamente CNN, con la finalidad de mejorar la precisión en el diagnóstico de enfermedades cardíacas a partir de ECG.

Abordar este tema es de vital importancia en la actualidad debido al aumento en la prevalencia de enfermedades cardiovasculares a nivel global. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las afecciones cardiovasculares son la principal causa de mortalidad a nivel mundial, representando el 31% de todas las muertes globales (Organización Mundial de la Salud, 2021). Mejorar la precisión en los diagnósticos no solo puede salvar vidas, sino también reducir los costos asociados a tratamientos innecesarios y mejorar la eficiencia del sistema de salud.

A nivel local, esta tecnología tiene el potencial de revolucionar las prácticas clínicas locales. Guayaquil, siendo una de las ciudades más grandes de Ecuador, enfrenta un alto índice de enfermedades cardíacas. La implementación de la IA en la detección de patologías cardíacas puede significar un avance significativo en el diagnóstico temprano y tratamiento efectivo de estas enfermedades.

La pertinencia de este estudio radica también en los avances recientes en la tecnología de IA y su aplicación en la medicina. Investigaciones recientes han mostrado que las CNN pueden superar a los cardiólogos en la identificación de ciertas patologías cardíacas en ECG, lo cual subraya el potencial de esta tecnología para complementar la labor de los profesionales de la salud (Hannun, 2019).

Además, la implementación de esta tecnología en una aplicación web facilita su acceso y uso, permitiendo que los profesionales de salud en diversas regiones del mundo puedan beneficiarse de esta herramienta.

En conclusión, este proyecto no solo busca innovar en el campo del diagnóstico médico a través de la IA, sino también contribuir a la lucha contra las enfermedades cardiovasculares mediante la mejora de herramientas diagnósticas existentes. La validación de esta aplicación web por un comité de expertos permitirá asegurar su efectividad y precisión, asegurando que los diagnósticos proporcionados sean fiables y clínicamente útiles.

### **1.1. Antecedentes**

En los últimos años, la inteligencia artificial ha sido ampliamente utilizada en la cardiología. Específicamente, en la detección de patologías a través de algoritmos de aprendizaje profundo y redes neuronales (Garzona, 2022). Esto se debe a que el análisis de imágenes cardiológicas consume gran parte del tiempo del profesional, siendo posible que se automatice

esta tarea mediante el uso de algoritmos de inteligencia artificial (Dorado, Sampedro, Vicente, & Sánchez, 2019).

De entre los algoritmos de inteligencia artificial se encuentran las redes neuronales, los cuales simulan el proceso de aprendizaje del cerebro para analizar de manera automática a las imágenes cardíacas obtenidas por el electrocardiograma (Dorado, Sampedro, Vicente, & Sánchez, 2019). Específicamente a este caso, las redes neuronales convolucionales conocidas como CNN es un tipo de red neuronal profunda que se emplea ampliamente en el reconocimiento de imágenes, en el que se trabaja con múltiples capas ocultas al tiempo que introduce operaciones computacionales como convolución y agrupación para reducir la dimensionalidad de la imagen, parámetros de la red y mejorar la eficiencia del entrenamiento (Wang, et al., 2022).

La importancia de la aplicación de este tipo de algoritmos de inteligencia artificial para la detección oportuna de las irregularidades en el patrón eléctrico del corazón se debe a que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades cardiovasculares son la razón principal de defunción en el mundo. En 2019, fallecieron 17.9 millones de personas, siendo el 85% causadas por infartos de miocardio y accidentes cerebrovasculares, los cuales se registraron principalmente en países con ingresos bajos y medianos. Se atribuye que el 38% correspondiente a los 17 millones de muertes precipitadas (Individuos menores de 70 años), se deben a este tipo de enfermedades. (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Mientras que, en Ecuador, se reportó que las enfermedades cardiovasculares ocupan el primer lugar en nivel de mortalidad (Farfán, Medardo, & Ochoa, 2022). En 2018, se reveló que el 19.8% de la población padece de hipertensión (Noboa, Ramirez, & Medina, 2024). Mientras que, la encuesta STEPS aplicada a ecuatorianos de 40 a 69 años evidenció que el 11.6% de participantes estuvieron o están en riesgo de enfermedad cardiovascular, de los cuales 886 son hombres y 1.166 mujeres (Ministerio de Salud Pública, 2018)

No obstante, la aplicación del algoritmo de redes neuronales convolucionales requiere de grandes cantidades de datos altamente confiables para el entrenamiento del modelo y su validación, necesitando un alto grado de pericia para realizar ajustes y supervisar el aprendizaje (Dorado, Sampedro, Vicente, & Sánchez, 2019)

En el campo de la medicina, la información empleada en los modelos contiene datos personales y clínicos de pacientes, por lo que, (Dorado, Sampedro, Vicente, & Sánchez, 2019) menciona que es necesario analizar las facilidades que otorga la normativa legal vigente sobre la utilización de datos en condiciones de servicio a la sociedad, recordando que la protección y uso de datos digitales es un aspecto crítico legislado de manera diferente en cada país.

En vista de esta problemática, las instituciones de la salud de varios países han liberado conjuntos de datos sobre registros de electrocardiogramas, con el objetivo de que se pueda entrenar los modelos de redes neuronales convolucionales y validar su efectividad en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares (Patiño, Medina, Silva, Guijarro, & Rodríguez, 2023).

El impacto directo en la clínica privada seleccionada en Guayaquil sería significativo. La implementación de inteligencia artificial en el diagnóstico de enfermedades cardíacas permitiría a los cardiólogos disponer de una herramienta de apoyo invaluable, mejorando la precisión y rapidez de los diagnósticos. Al reducir el margen de error y facilitar la detección temprana de patologías, se optimizaría el tratamiento de los pacientes, disminuyendo las tasas de complicaciones y emergencias. En una ciudad como Guayaquil, donde la carga de enfermedades cardiovasculares es alta, esta tecnología podría transformarse en un aliado crucial para mejorar los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes.

Por este motivo, las investigaciones científicas por parte de las instituciones educativas han incrementado en la aplicación de redes neuronales convolucionales en el campo de la

medicina, permitiendo la diversificación y adaptación de modelos preestablecidos en función al tipo de registro del electrocardiograma (AiDuwaile & Saiful, 2021). De hecho, los estudios realizados con estas bases de datos de acceso público han permitido verificar la efectividad de modelos CNN como: MobileNet, ResNet, DenseNet, Inception, Xception, NASNet, GoogLeNet, entre otros (Changling, et al., 2021)

Estudios internacionales como el desarrollado por (Nadour, Cherroun, & Hadroug, 2023), señalan que los modelos CNN de GoogLeNet, AlexNet y ResNet tienen una tasa de precisión del 96%, 95.33% y 92.66%, respectivamente. Mientras que, investigaciones nacionales como la elaborada por (Gujjarro, Medina, Limón, & Salazar, 2022), mencionan que el Inception V3 tiene una precisión del 96%, seguido de ResNet (93%) y MobileNet V2 (93%). Es destacable que, en ambos estudios, el modelo ResNet es similar a pesar de que el entrenamiento y validación del modelo se realizó con diferentes bases de datos.

Por lo antes expuesto, la presente investigación busca aplicar algoritmos de redes neuronales convolucionales (CNN) sobre registros de electrocardiogramas (ECG) para la automatización del diagnóstico de enfermedades cardíacas. Para tal efecto, este estudio plantea utilizar un modelo de Large Model Language (LLM), con redes neuronales convolucionales (CNN) para su aprovechamiento en una clínica privada de Guayaquil.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

En las clínicas médicas de hoy en día, uno de los mayores desafíos es aumentar el diagnóstico preciso de enfermedades cardíacas. Este problema surge principalmente debido a la falta de acceso a herramientas tecnológicas avanzadas de diagnóstico y a una integración deficiente de los datos médicos. Estas deficiencias provocan inconsistencias y errores en los diagnósticos que se proporcionan a los pacientes.

Además, se ha identificado que el Centro Médico lleva un historial hecho a mano de las historias clínicas, lo cual puede ser ineficiente y propenso a errores. La precisión en el registro de la información médica es crucial para mejorar los diagnósticos y reducir los errores. Un registro detallado y exacto permite a los médicos seguir la historia clínica completa del paciente, detectar patrones y cambios en su salud, y tomar decisiones informadas sobre su tratamiento.

Por otro lado, mantener las historias clínicas en formato físico plantea varios riesgos. Los registros en papel pueden extraviarse, dañarse por el paso del tiempo, o ser destruidos por desastres naturales como incendios o inundaciones. Además, el acceso a estos documentos es más lento y limitado, lo cual puede retrasar diagnósticos y tratamientos críticos. La digitalización de las historias clínicas no solo mejora la accesibilidad y la eficiencia, sino que también asegura que la información esté protegida y disponible cuando sea necesario, facilitando una atención más precisa y oportuna para los pacientes.

Las consecuencias de este problema son muy serias. Los diagnósticos tardíos o incorrectos pueden llevar a tratamientos inadecuados, lo que aumenta las tasas de complicaciones y, en algunos casos, la mortalidad. Además, esto incrementa los costos de atención médica debido a intervenciones innecesarias o emergencias que podrían haberse evitado con un diagnóstico adecuado. A corto plazo, esta situación disminuye la confianza de los pacientes en los servicios médicos y provoca una carga excesiva e innecesaria sobre los recursos clínicos, incluyendo al personal médico, el tiempo y el equipamiento.

Según el, (Instituto Nacional de Estadística y Censos , 2019). La tasa de diagnósticos incorrectos o retrasados en clínicas de características similares en Ecuador presenta cifras alarmantemente altas. Este panorama pone en evidencia la necesidad urgente de implementar mejoras en la precisión de los diagnósticos médicos.

A largo plazo, las consecuencias son aún más preocupantes. La persistencia de diagnósticos imprecisos puede dañar la reputación de la clínica, lo que puede llevar a una reducción en el número de pacientes que buscan atención allí. Esta disminución de confianza y reputación puede resultar en una menor calidad general de la atención de salud proporcionada. Por lo tanto, abordar estos desafíos tecnológicos y de integración de datos es crucial para mejorar la precisión de los diagnósticos cardíacos y, en última instancia, la calidad de vida de los pacientes.

Dentro del sistema propuesto esta, la capacidad de almacenar historias clínicas de los pacientes de manera digital, manteniendo un historial completo y accesible. Este sistema no solo permitirá guardar los registros de electrocardiogramas (ECG), sino también los diagnósticos realizados por el médico especialistas. Además, se proporcionará un diagnóstico complementario basado en inteligencia artificial (IA), que servirá como una herramienta de apoyo para el médico.

Este enfoque integrado mejorará significativamente la eficiencia operativa del centro médico, asegurando que los diagnósticos cardiovasculares sean más precisos y oportunos. La digitalización de las historias clínicas y la incorporación de IA en el proceso diagnóstico permitirá una gestión más eficaz de la información médica, reduciendo los errores y mejorando los resultados para los pacientes. La accesibilidad inmediata a los datos médicos detallados facilitará la toma de decisiones informadas por parte de los profesionales de la salud, elevando la calidad del cuidado proporcionado.

Además de las redes neuronales convolucionales (CNN), existen otras soluciones alternativas que se han explorado para mejorar la precisión en los diagnósticos cardíacos. Por ejemplo, los algoritmos de aprendizaje automático como las máquinas de soporte vectorial (SVM) y los árboles de decisión han demostrado ser útiles para la clasificación de datos complejos y la

identificación de patrones en registros médicos (Zhou, 2020). Adicionalmente, técnicas de análisis de datos como el aprendizaje profundo recurrente (RNN) se han aplicado con éxito en la predicción a largo plazo de eventos cardíacos, ofreciendo un enfoque complementario para el diagnóstico temprano de enfermedades (Xu, 2019). Estas soluciones alternativas, junto con las CNN, proporcionan un arsenal de herramientas tecnológicas que pueden integrarse para lograr diagnósticos más precisos y oportunos, abordando así las deficiencias actuales en los sistemas de salud.

### **1.3. Planteamiento de Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar una aplicación web basada en inteligencia artificial integrando redes neuronales convolucionales para mejorar la precisión en el diagnóstico de enfermedades cardíacas a partir de electrocardiogramas (ECGs).

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar factores clave en el diagnóstico cardiológico, su impacto en la calidad de vida de los pacientes, y las razones de diagnósticos y tratamientos incorrectos.
- Programar módulos del sistema para la gestión de registros médicos, historias clínicas y un módulo de verificación de electrocardiogramas (ECG) con interpretación apoyada por inteligencia artificial.
- Evaluar la funcionalidad y coherencia del sistema desarrollado mediante pruebas unitarias, para comprobar el correcto funcionamiento de los módulos.

#### **1.4. Justificación**

En el contexto de la mejora continua del centro médico, la implementación de herramientas basadas en inteligencia artificial, específicamente redes neuronales convolucionales (CNN), se presenta como una solución metodológicamente robusta para mejorar la precisión en la interpretación de los electrocardiogramas (ECGs) que se realizan cotidianamente.

Desde una perspectiva metodológica, la implementación de un modelo de CNN no solo se limita a la mejora local del proceso de análisis de ECGs, sino que también abre la posibilidad de extrapolar los resultados a un contexto más amplio. La validación cruzada y el ajuste fino del modelo permitirán obtener un sistema que pueda ser utilizado de manera rutinaria en la clínica.

La implementación de tecnología basada en inteligencia artificial, específicamente mediante redes neuronales convolucionales (CNN), permitirá un análisis más rápido y preciso de los electrocardiogramas (ECGs). Con tiempos de respuesta más cortos, los pacientes podrán obtener sus diagnósticos de manera más rápida, lo que es crucial en situaciones donde cada minuto cuenta para el tratamiento de enfermedades cardíacas. La rapidez en la obtención de resultados no solo alivia la ansiedad del paciente al saber su estado de salud más prontamente, sino que también permite una intervención médica más temprana y efectiva.

Además, la precisión mejorada en la interpretación de los ECGs significa que habrá menos falsos positivos y negativos, reduciendo la necesidad de pruebas adicionales y evitando tratamientos innecesarios. Este nivel de exactitud ayuda a asegurar que los pacientes reciban el tratamiento adecuado desde el comienzo, mejorando sus perspectivas de recuperación y bienestar general.

Según (Laboratorio Rubió, 2024). Una de las ventajas más significativas de la implementación de IA en la atención médica es su potencial para ahorrar costos. Al automatizar tareas que tradicionalmente requerirían la intervención humana, las tecnologías de IA pueden optimizar el uso de los recursos y disminuir los gastos en los servicios de salud.

Finalmente, el desarrollo y la implementación de este modelo de inteligencia artificial no solo se limita a la mejora tecnológica, sino que también representa un avance significativo en la metodología médica, estableciendo un nuevo estándar de calidad en la interpretación de ECGs y en la seguridad de los datos médicos.

Además, en Ecuador, se han observado implementaciones significativas de sistemas basados en inteligencia artificial en diversas instituciones de salud. Un ejemplo notable es la Clínica Kennedy de Samborondón, que ha adoptado un enfoque general para la integración de tecnologías de IA en sus servicios médicos. Esta clínica ha mejorado la precisión y eficiencia de sus diagnósticos mediante el uso de sistemas avanzados, aunque no específicamente en cardiología, proporcionando un modelo de referencia para otras instituciones.

Por otro lado, durante la pandemia de COVID-19, el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) implementó sistemas de inteligencia artificial para la gestión y diagnóstico de pacientes. Estos sistemas fueron cruciales en un momento en que los recursos médicos estaban extremadamente demandados, permitiendo una mejor asignación de recursos y una atención más eficiente. Sin embargo, al igual que en la Clínica Kennedy, la implementación no se centró específicamente en cardiología, sino que abarcó una gama más amplia de aplicaciones médicas.

### **1.5. Normativas en el Ecuador**

El Ecuador ha desarrollado una serie de regulaciones y directrices para combatir las enfermedades cardíacas y mejorar la atención médica cardiovascular. Algunas de las normativas más relevantes incluyen:

### **1.5.1. Norma Técnica de Atención Integral en Cardiología**

El Ministerio de Salud Pública (MSP) de Ecuador ha implementado esta normativa para estandarizar los procedimientos y tratamientos en cardiología. Esta norma abarca desde la prevención y el diagnóstico hasta el tratamiento y la rehabilitación de pacientes con enfermedades cardiovasculares.

### **1.5.2. Plan Nacional de Prevención y Control de Enfermedades Crónicas No Transmisibles**

Este plan tiene como objetivo reducir la incidencia de enfermedades crónicas, incluidas las cardiovasculares, mediante la promoción de hábitos de vida saludables y la implementación de programas de detección temprana y control de factores de riesgo como la hipertensión, el tabaquismo y la obesidad.

### **1.5.3. Regulación del uso de dispositivos médicos**

Ecuador ha establecido regulaciones estrictas para el uso y la comercialización de dispositivos médicos, incluidos los electrocardiogramas y otros equipos utilizados en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardíacas. Estas regulaciones aseguran que los dispositivos cumplan con estándares de calidad y seguridad.

## **1.6. Estadísticas sobre enfermedades cardíacas en Ecuador.**

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y el MSP proporcionan datos actualizados sobre la prevalencia y el impacto de las enfermedades cardíacas en Ecuador. Algunas de las estadísticas más recientes incluyen:

- **Prevalencia:** Las enfermedades cardiovasculares representan aproximadamente el 30% de todas las muertes en Ecuador, situándose como la principal causa de mortalidad en el país.

- **Factores de riesgo:** Según el INEC, alrededor del 25% de la población adulta en Ecuador sufre de hipertensión, y un 20% es diagnosticada con diabetes, ambos factores de riesgo significativos para enfermedades cardíacas.
- **Género y edad:** Las estadísticas indican que los hombres tienen una mayor prevalencia de enfermedades cardíacas en comparación con las mujeres. Además, la incidencia aumenta considerablemente en personas mayores de 50 años.
- **Acceso a atención médica:** El 60% de los ecuatorianos tiene acceso a servicios de salud cardiovascular en centros de salud públicos y privados.

### **1.7. Descripción del Diagnóstico del Centro Médico**

En este apartado se dan a conocer las características y aspectos en los que se basa el Centro Médico en donde se elaborará el proyecto mencionado, tomando en cuenta los escenarios previos como se encuentra el mencionado Centro. A partir de esta información se plantean los objetivos, metas, las áreas de intervención en las que se va a involucrar los métodos de trabajo a realizar en el proyecto.

#### **a) Localización e infraestructura**

El centro médico se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil, específicamente en el edificio Ágora XXI, con dirección en la avenida José Joaquín Orrantía frente al Mall del Sol, segundo piso consultorio número 9. Su administradora es la doctora Delfa Núñez Garófalo, quien tiene título de Médico con especialidad en Cardiología.

#### **b) Actividades que se realizan**

Dentro del Centro Médico se realizan diferentes actividades tales como ecocardiogramas, mapa de monitoreo ambular y ecografías generales. Dependiendo del tipo de paciente a tratar es el tipo de actividad que se le tiene que realizar.

**c) Datos cuantitativos del Centro Médico**

El centro médico tiene una media estimada de 40 pacientes al mes, con un rango de edad de personas de entre 25 a 60 años, la gran mayoría son personas de género masculino, y los días en donde se tiene una mayor afluencia de pacientes son los 15 – 25 del mes.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Diagnostico Cardiológicos

Los síntomas que son relacionados con la Insuficiencia Cardíaca (IC) son variados, se tienen signos y síntomas, algunos más específicos que otros. Para poder caracterizar los síntomas, el grupo de trabajo de IC de la Sociedad Europea de Cardiología propuso 3 criterios obligatorios y simultáneos:

1. Síntomas de IC (en reposo o con ejercicio) tales como disnea, edema, fatiga.
2. Evidencia de disfunción cardíaca sistólica o diastólica en reposo, en particular vistos por ecocardiografía.
3. Mejoría con tratamiento para la IC.

Los estándares clínicos propuestos por Framingham en 1971 son de los más aceptados para el diagnóstico (Tabla 1). De acuerdo con Atamañuk y Bortman (2006), Michael R. Bristow sugirió clasificar las causas de IC de acuerdo con su condición fisiológica y anatómica en: a) coronarias, b) miocárdicas, c) arrítmicas, d) valvulares y e) pericárdicas.

**Tabla 1: Criterios Clínicos de Framingham (Pereira, 2016).**

Mayores	Menores	Mayores o menores
Disnea paroxística nocturna	Edema en miembros inferiores	Adelgazamiento $\geq 4,5$ kg después de 5 días de tratamiento.
Distensión venosa yugular	Tos nocturna	
Crepitantes	Disnea de esfuerzo	
Cardiomegalia	Hepatomegalia	
Edema agudo de pulmón	Derrame pleural	
Galope por S <sub>3</sub>	Capacidad vital disminuida 1/3	
Presión venoso yugular > 16 cmH <sub>2</sub> O	Taquicardia	
Reflujo hepatoyugular		

**Nota: Tomado de (Pereira, 2016)**

### **2.1.1. Pruebas complementarias**

- **Ecocardiografía**

Facilita la distinción de 4 categorías de mecanismos fisiopatológicos: problemas sistólicos, diastólicos, cambios en las válvulas y pericárdicas. La ecocardiografía debe ser empleada en cualquier paciente con sospecha de IC, ya que puede proporcionar información relevante acerca del nivel de dilatación del ventrículo izquierdo y la disminución de su función contralateral.

- **Radiografía de tórax**

La radiografía torácica resulta beneficiosa como el primer procedimiento complementario a utilizar en caso de sospecha de IC en un paciente con disnea, ya que facilitará la eliminación de su causa pulmonar. Los descubrimientos destacados incluyen: un incremento en el índice cardiotorácico superior a 0,50; la cefalización vascular pulmonar; la presencia de líneas B de Kerley y la existencia de derrame pleural.

Un estudio sistemático de los estudios publicados acerca de la importancia de la radiografía torácica en el diagnóstico de IC permite sostener que tanto la cardiomegalia como la redistribución del flujo vascular son los mejores indicadores del aumento de la precarga y de la reducción de la fracción de eyección ventricular izquierda.

- **Electrocardiograma**

Las frecuentes irregularidades electrocardiográficas detectadas en IC incluyen: la existencia de cambios isquémicos o necróticos, cambios en el ritmo, hipertrofia de las cavidades y patrones de sobrecarga.

- **Resonancia magnética cardíaca**

La resonancia magnética cardíaca es un método de imagen adaptable que facilita la evaluación de los volúmenes, la masa y la función a nivel global y regional de ambos ventrículos.

- **Laboratorio**

La ejecución de exámenes de laboratorio facilita la identificación del cuadro hemático completo, los electrolitos (sodio, potasio, magnesio), nitrógeno ureico y creatinina, enzimas del corazón (troponina, dímero D, creatinquinasa fracción MB), gasometría arterial, niveles de péptido natriurético tipo B y pruebas de función tiroidea, todo esto posibilita confirmar o descartar enfermedades subyacentes.

- **Diagnósticos tardíos y erróneos**

Se refiere a la incapacidad para dar una explicación exacta de las dificultades de salud de un paciente, las cuales pueden cesar en cualquier instante durante las fases de diagnóstico.

- **Clasificación de los diagnósticos erróneos:**

Los diagnósticos erróneos se pueden clasificar de tres maneras, estas se ven a continuación:

1. **Diagnóstico tardío:** sucede cuando un experto en salud no logra identificar la enfermedad o situación de un individuo en el instante oportuno. Un caso ilustrativo sería cuando un doctor tarda más de seis meses en confirmar que un paciente padece de cáncer, tras haberse considerado la posibilidad de que pudiera padecerlo.
2. **Diagnóstico erróneo:** cuando se determina que un diagnóstico previo no es el adecuado y posteriormente se revela el diagnóstico auténtico del paciente. Un caso

ilustrativo sería cuando un paciente sufre un infarto cardíaco y el doctor le informa que su dolor se debe a una gastritis, y posteriormente se percatan del diagnóstico preciso.

3. **Diagnóstico omitido:** se refiere a la situación en la que los síntomas médicos de un paciente no se pueden explicar o determinar a través de un diagnóstico. Por ejemplo, cuando un individuo padece de dolor persistente, pero nunca se le identifica un diagnóstico preciso y se queda sin él.

Además, un diagnóstico erróneo, en cualquiera de los casos mencionados anteriormente, puede clasificarse en otras tres categorías: errores no intencionales, errores vinculados al sistema y errores cognitivos; los errores no intencionales se producen cuando factores externos al médico o al sistema sanitario se originan, esto suele suceder cuando se trata de una enfermedad atípica o el paciente proporcionó información incorrecta; Los fallos vinculados al sistema son provocados por obstáculos tecnológicos u organizativos, tales como la ausencia de una comunicación adecuada entre el paciente y los coordinadores de salud, errores técnicos, averías con los equipos y procedimientos deficientes hacia el paciente.

### **2.1.2. Motivos para un diagnóstico retrasado o incorrecto**

Como se mencionó previamente, la realización de diagnósticos médicos no son tareas sencillas, dado que dependiendo de los equipos e implementos se requerirán diversos procedimientos y además poseen múltiples maneras de llevarlos a cabo cada uno de estos, incluso se necesita de tecnología que simplifique el proceso. Hay más de 10,000 enfermedades, y muchas de ellas presentan síntomas comunes. Por ejemplo: la fatiga, los mareos y los síncope pueden ser atribuibles a diversas condiciones. Si a este resultado añadimos que la enfermedad podría no ser tan reconocida por el individuo que realiza la evaluación, esto podría ser visto como una opción durante el proceso de diagnóstico.

Así como los errores se dan debido a la complejidad que tiene el proceso, también hay que considerar el sistema por el que se usa el servicio médico puede causar daños, esto debido a que el realizar un servicio en un sistema tan amplio como es el de la salud, ocurren problemas internos como lo son la falta de comunicación directa, así como el mal cuidado de los procesos, los cuales son los errores más comunes. Además de los mencionados, hay otros errores como problemas tecnológicos, el extravío de resultados de un laboratorio o demoras en la consulta con un subespecialista (Society to improve Diagnosis in medicine).

Otro de los posibles problemas que se pueden encontrar es el factor humano. Según James Reason, una persona con conocimientos sobre la materia podemos definir como *“la ejecución no intencionada de un plan incorrecto o la ejecución inadecuada de una acción planificada”* (Reason, 1990). Este error se divide en dos: centrado en las personas y centrado en los sistemas. Los médicos, como cualquier persona en el mundo, pueden cometer todo tipo de errores, en donde pueden saltarse información relevante para el caso, realizar lecturas erróneas de los síntomas o resultados del laboratorio, o hasta poder realizar conclusiones premeditadas y no ver todos los posibles escenarios que se pueden suscitar.

El error centrado en las personas es causado por ellas mismas, que son las propias personas que tienen la equivocación, y estos son provocados por descuidos mentales; mientras que el error centrado en sistemas se puede decir que son los que van a ocurrir, sin importar el tipo de institución médica en la que uno se encuentre, los cuales se dan por fallas en el entorno, fallas en la realización en los procedimientos y como parte de las consecuencias causadas por los procesos.

### **2.1.3. Impactos de un diagnóstico retrasado o incorrecto**

Anteriormente dejamos claro lo normal que es recibir un diagnóstico erróneo y a pesar de toda la evolución que ha tenido la medicina en los últimos años, sigue siendo la negligencia

médica, el de mayor relevancia, pero ¿hacia dónde lleva estos errores? ¿Cuáles llegarían a ser las consecuencias de estas acciones? Para empezar, el diagnosticar errónea o tardíamente a una persona, puede generar problemas, tanto a nivel general como a nivel específico. Uno de estos es la incorrecta medicación que puede tomar el paciente, lo cual puede hacer que tenga problemas a corto plazo (mayor sufrimiento) como a largo plazo (recrudescimiento de problemas y muerte del paciente).

A continuación, se presentan algunas de las consecuencias generadas por la falta de cuidado médico en casos puntuales: para una enfermedad como el cáncer, la celeridad es un factor clave para que se pueda comenzar con un tratamiento de manera inmediata, lo cual ayuda a la recuperación del paciente; si dicho proceso se tarda o no se realiza de correcta manera, el paciente puede recibir tratamiento tardío o a la vez tener una medicación equivocada lo cual puede empeorar la enfermedad de la persona. A partir de este ejemplo, se puede decir que la persona que padezca esta enfermedad tenga que recibir tratamientos dolorosos, al mismo tiempo que se pueden generar otros factores que pueden afectar de manera indirecta al paciente, tales como el consumo de dinero y la pérdida de tiempo.

En resumen, es importante destacar que las consecuencias de un diagnóstico erróneo no solo afectan a los pacientes, sino también a las instituciones médicas, particularmente en términos económicos. En los países desarrollados como Estados Unidos, se estima que los errores médicos generan un costo anual de 20 mil millones de dólares (Hipskind Houseman, Rodziewicz, 2022), mientras que Ecuador estos valores son reservados por las clínicas o centros médicos debido a mantener su estándar de calidad, y muchas veces puede causar malestar en los pacientes del país.

#### **2.1.4. Mitigación y disminución de los diagnósticos tardíos o erróneos**

Para empezar, es importante mencionar que la prevención y disminución de las negligencias médicas, se basan en la cuantificación de los errores, de tal manera que se tenga un valor numérico sobre el lugar y los sectores en donde se observan estos errores, y con esto saber qué tipo de metodologías se pueden usar para reducir estos errores.

Hace algún tiempo, no se tenía un proceso definido para medir todos los errores que se dan en los diagnósticos médicos; estos errores se revisaban anteriormente observando los historiales clínicos de los pacientes, sin embargo, también podían encontrarse problemas debido a la poca o nula información que se puede tener en dichos historiales (John Hopkins Medicine, 2018). Estos problemas se han tratado de ir reduciendo en cada uno de los centros médicos, buscando estrategias para que puedan ser minimizados estos errores.

Para tratar de mitigar estos errores, la Universidad de John Hopkins decidió crear un método, que, si se llegará usar en todo el mundo, conllevaría a que los errores se disminuyan en su totalidad. El método en cuestión se llama *Symptom-Disease Pair Analysis of Diagnostic Error* (SPADE), el cual se puede traducir directamente a Análisis de pares síntoma-enfermedad del error de diagnóstico, este usa un algoritmo en el que se toman los datos clínicos y de facturación para poder determinar que síntomas han sido diagnosticados de manera equivocada y, usando herramientas estadísticas, poder calcular la tasa de errores que se tienen (Richards, 2018).

Algoritmos como el que se mencionó anteriormente, podrían ayudar mucho a disminuir y prevenir estos errores, sin embargo, uno de los problemas que se puede tener es la accesibilidad a esta tecnología, ya que se pueden tener factores que afecten a los distintos centros médicos para el uso de los diferentes algoritmos. Es importante que se pueden buscar alternativas que puedan ser utilizadas tanto por un médico como que pueda ser también entendida por un

paciente, esto se dice dado que las citas médicas tienen que ser una conversación colaborativa entre el médico y el paciente.

Es fundamental que los médicos garanticen que el tiempo dedicado a conversar con un paciente sea adecuado y que la comunicación sea efectiva. Además, deben motivar a los pacientes a participar de manera más activa en el proceso y a revisar cualquier inconsistencia en sus historias clínicas. Asimismo, el médico debe asegurarse de que haya un buen seguimiento de los procedimientos realizados por otros especialistas, colaborar estrechamente con el personal de laboratorio y los radiólogos, y finalmente, asegurar que todos los involucrados estén de acuerdo con el diagnóstico.

Por parte de los pacientes, es crucial que se involucren en el proceso y sientan la libertad de hacer preguntas o expresar cualquier inquietud. Esto puede ser muy útil, ya que permite reevaluar distintas opciones. Además, es importante que los pacientes comprendan que está bien buscar segundas opiniones, tanto para el diagnóstico como para el plan de tratamiento.

## **2.2. Funcionamiento eléctrico del corazón**

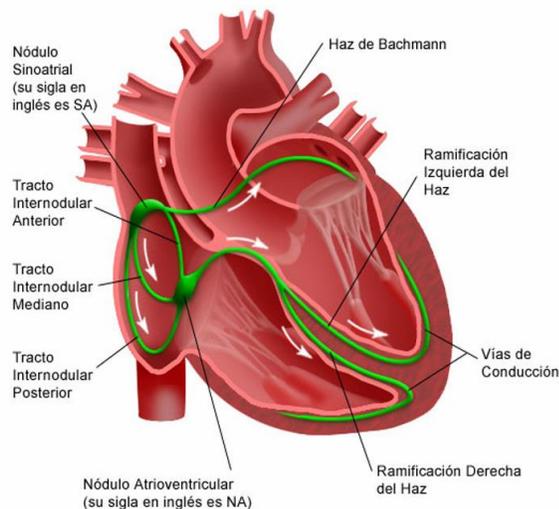
El corazón es un órgano conformado por tejido muscular que bombea sangre a todo el cuerpo (Márquez, 2021). Este músculo es “un tejido excitable capaz de contraerse al recibir un impulso por encima del potencial umbral” (Departamento de Fisiología UNAM, 2023). De acuerdo con Márquez (2021):

Estos impulsos eléctricos se originan en el nódulo sinoatrial o nódulo sinusal (SA) de manera regular de 60 a 100 veces por minuto en condiciones normales. El estímulo viaja hasta el nódulo auriculoventricular (también llamado nódulo AV), ubicado entre las aurículas y los ventrículos. En el nódulo AV, los impulsos se retrasan durante un breve instante, lo cual permite que las aurículas se contraigan una fracción de segundo antes

que los ventrículos (...) Luego de pasar por el nódulo AV, la corriente eléctrica continúa hacia abajo a través de un canal de conducción llamado haz de His hasta llegar a los ventrículos. El haz de His se divide en la rama derecha y en la rama izquierda, para llevar el estímulo eléctrico a los ventrículos derecho e izquierdo. (p. 8-9)

En la ilustración 1 se puede observar las partes del corazón que intervienen en el estímulo eléctrico del corazón. Es importante mencionar que en el caso de que exista alguna perturbación en el sistema eléctrico, es el detonante de las arritmias cardiacas, las cuales son las alteraciones que se presentan en las enfermedades cardiovasculares.

**Ilustración 1: Sistema eléctrico del corazón (Márquez, 2021).**



*Nota.* Fisiología del corazón y funcionamiento eléctrico normal.

### 2.3. Electrocardiograma

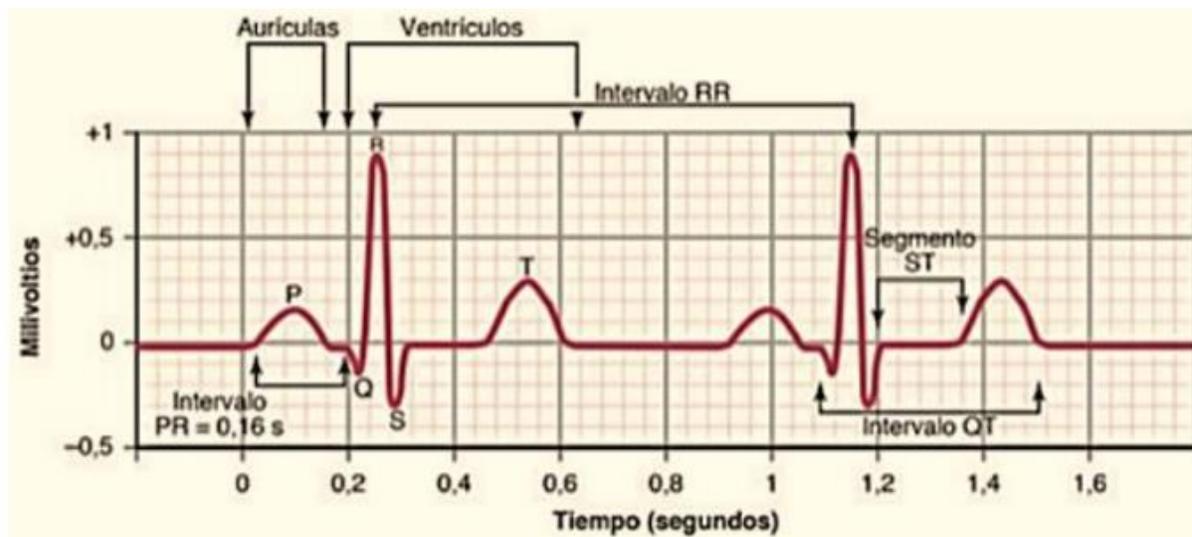
Un electrocardiograma (ECG) es un instrumento empleado en el sector de la medicina para monitorear pequeños cambios eléctricos del corazón. Esta señal eléctrica tiene una forma característica, en donde se pueden evidenciar enfermedades cardíacas mediante la

amplificación de los impulsos eléctricos registrados durante un período de (Noboa, Ramirez, & Medina, 2024).

### 2.3.1. Funcionamiento en registros eléctricos normales del corazón

Estos dispositivos brindan como resultado una imagen con gráfico de coordenadas  $x$  y  $y$ , en donde el eje horizontal muestra el tiempo en segundos, mientras que, en el eje vertical se presenta la señal de voltaje en unidades de milivoltios, con los cuales se representan los segmentos: onda P, intervalo PR, complejo QRS, segmento ST y onda T, tal como se observa en la ilustración 2.

**Ilustración 2: Señal eléctrica de un electrocardiograma sobre un corazón normal (Noboa, 2024)**



*Nota.* Revisión de un electrocardiograma de una persona sana.

El ritmo sinusal es el ritmo normal. Este patrón debe ser consecutivo, siendo la onda P positiva en DII, DIII, aVF y negativa en aVR. La onda P precede a cada QRS. El intervalo PR debe ser constante (0.12 – 0.20 s), frecuencia cardíaca de 60 – 100 latidos por minuto (lpm) y un ritmo regular con intervalos PP similares o con diferencial que no sean mayores a 0.16 s (Watson,

2022). Una descripción más precisa sobre la función y duración normal de todas las ondas se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2: Características de ondas e intervalos de un electrocardiograma normal (Watson, 2022).**

Onda/intervalo	Función	Duración normal
Onda P	Despolarización atrial	0.08 – 0.11 s
Intervalo PR	Conducción atrio ventricular	0.12 – 0.20 s
Complejo QRS	Despolarización ventricular	0.07 – 0.10 s
Segmento ST	Período de inactividad que separa la activación de la recuperación ventricular	
Intervalo QT	Representa la repolarización ventricular	Varía con la frecuencia cardíaca, disminuye con el aumento de esta.
QT corregido	Fórmula de Bazett: $QTc = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$	Hombres: < 0.46s Mujeres: < 0.47s
Onda T	Repolarización ventricular. Es asimétrica, la rama ascendente es más lenta.	

*Nota.* Duración del tiempo en segundos (Watson, 2022)

Este patrón definido se pierde cuando existen enfermedades cardíacas. Esto se puede presenciar cuando en la representación gráficos se muestran en la variación de patrones repetitivos, siendo considerado como arritmia, el cual hace alusión a un trastorno en la frecuencia cardíaca, en donde el corazón bombea muy rápido generando taquicardia, late demasiado lento ocasionando bradicardia o de manera irregular (Noboa, Ramirez, & Medina, 2024).

El electrocardiograma consta de diez cables y diez electrodos, de los cuales cuatro se ubican en las extremidades y seis en la zona precordial (tabla 3) (Watson, 2022).

**Tabla 3: Ubicación de los electrodos del electrocardiograma (Watson, 2022).**

<b>Precordiales</b>	<b>Extremidades</b>
V1: cuarto espacio intercostal, borde esternal derecho.	LA: brazo izquierdo.
V2: cuarto espacio intercostal, borde esternal izquierdo.	
V3: entre V2 y V4.	
V4: quinto espacio intercostal, línea claviclar media.	RA: brazo derecho.
V5: quinto espacio intercostal, línea axilar anterior.	
V6: quinto espacio intercostal, línea axilar media.	LL: pierna izquierda.
V7: quinto espacio intercostal, línea axilar posterior.	
V8: quinto espacio intercostal, línea escapular posterior.	RL: pierna derecha.
V9: quinto espacio intercostal, borde izquierdo de la columna.	

*Nota.* Actividades relacionadas a cada uno de los electrodos del ECG.

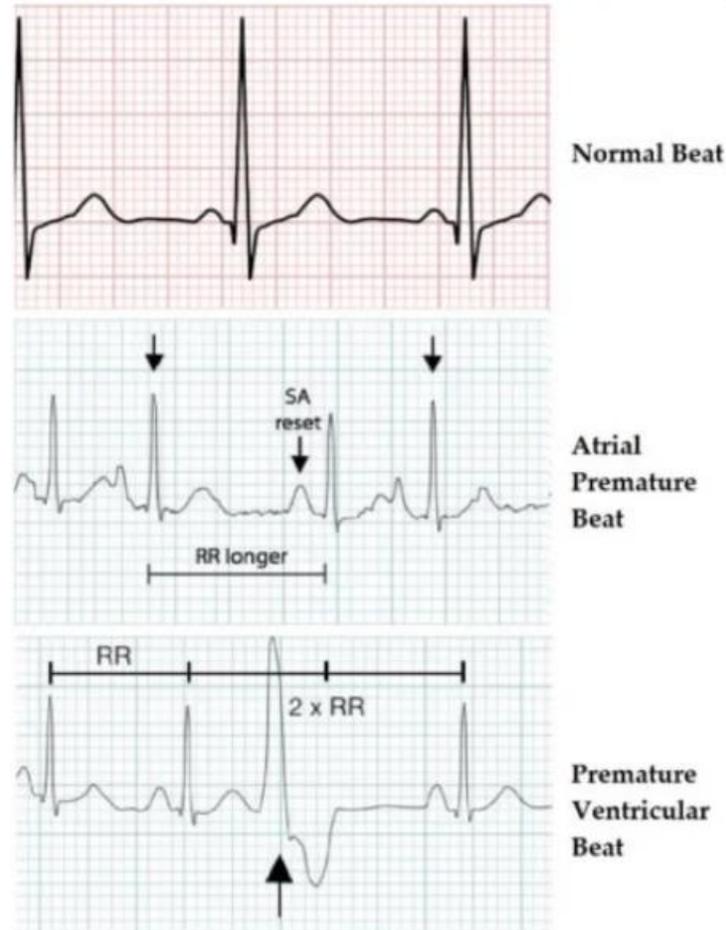
### **2.3.2. Registros del electrocardiograma en alteraciones eléctricas del corazón**

Los registros del electrocardiograma varían conforme las alteraciones eléctricas del corazón. En el caso de la ilustración 3 se muestra la diferencia entre los registros de un latido normal y las alteraciones como latido prematuro auricular y latido prematuro ventricular.

En el caso de los latidos cardíacos prematuros se originan en las aurículas, debido a que una región de las aurículas se despolarizaba antes que el nódulo sinoauricular, siendo causas de que se evidencie una diferencia en el segmento PR. El “RR más largo” representa el tiempo entre complejos QRS, mientras que “SA reset” indica la reformación del impulso eléctrico que comienza en el nódulo sinoauricular (SA) y se propaga al nódulo auriculoventricular (AV).

Por otro lado, en el registro del electrocardiograma de la contracción ventricular prematura (PVC), la onda afectada se debe a que el latido cardíaco se iniciaba en los ventrículos en lugar de en el nódulo sinoauricular.

**Ilustración 3: Registro eléctrico de un latido normal, latido prematuro auricular y latido prematuro ventricular (Avanzato y Beritelli, 2020).**



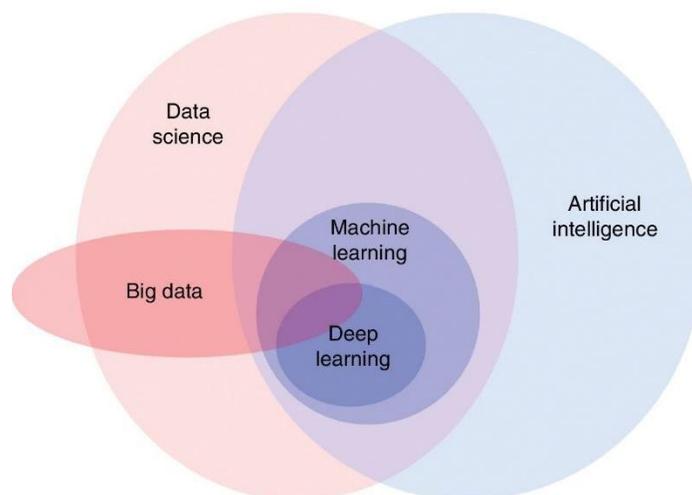
En base a estos ejemplos, está claro cómo debe funcionar un sistema de diagnóstico automático para detectar estas diferencias en la duración y la forma de las ondas y segmentos que forman el complejo PQRST del electrocardiograma en las distintas categorías de anomalías eléctricas del corazón.

#### **2.4. Inteligencia artificial aplicada en medicina cardiovascular**

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la informática que se enfoca en desarrollar programas que simulan procesos de inteligencia humana. Para tal efecto, la IA emplea herramientas digitales capaces de identificar patrones en los datos. El desarrollo de la IA toma

varias disciplinas: aprendizaje automático (*machine learning*), aprendizaje profundo (*deep learning*), big data y la ciencia de los datos (*data science*), tal como se muestra en la ilustración 4 (Dorado, Sampedro, Vicente, & Sánchez, 2019).

**Ilustración 4: Diagrama de Venn de las disciplinas de la ciencia de datos (Dorado et al., 2019).**



La inteligencia artificial aplicada en electrocardiogramas ha apoyado a los médicos a realizar diagnósticos en enfermedades cardíacas. La IA aplica algoritmos para la búsqueda de patrones subclínicos en grandes conjuntos de datos, para transformar el electrocardiograma de una prueba cardíaca no invasiva a una herramienta de detección y predictor de enfermedades cardíacas y no cardíacas incluso en personas asintomáticas. De hecho, esta capacidad de aprender de grandes conjuntos de datos, sin la necesidad de comprender el mecanismo biológico, es lo que ha creado la oportunidad de la detección de enfermedades no cardíacas, con capacidad de escalabilidad de electrocardiogramas de grado médico desde teléfonos inteligentes y dispositivos portátiles (Attia, Harmon, Behr, & Friedman, 2021).

Muchos fenómenos biológicos dejan huella eléctrica que conducen a múltiples cambios subclínicos, sutiles y no lineales en los electrocardiogramas. En este instrumento se filtran entre 0.05 y 100 hercios para amplificar la lectura de señales cardíacas. Con grandes conjuntos de datos para entrenar una red en cuanto a las múltiples y variadas influencias de cada una de estas

condiciones, permiten desarrollar herramientas de diagnóstico poderosas. De hecho, la aplicación de Redes Neuronales Convolucionales en electrocardiogramas se puede reconocer múltiples variaciones no lineales potencialmente interrelacionadas. Estas redes neuronales permiten identificar la presencia de disfunción ventricular izquierda, ritmo silencio y afecciones no cardíacas como la cirrosis (Attia, Harmon, Behr, & Friedman, 2021).

#### **2.4.1. Ley de Protección de Datos Personales**

Según la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales de Ecuador, en particular el **Artículo 10**, se establece que "los datos personales sensibles, como los datos de salud, deben ser tratados con el consentimiento explícito del titular de los datos y bajo estrictas medidas de seguridad para garantizar su protección" (Ley Organica de Proteccion de Datos Personales, 2021). Asimismo, el **Artículo 11** enfatiza que "el tratamiento de datos de salud debe regirse por principios de confidencialidad y seguridad, dada su naturaleza sensible" (Ley Organica de Proteccion de Datos Personales, 2021).

La confidencialidad y seguridad de los datos médicos son aspectos críticos que requieren un análisis minucioso. La confidencialidad asegura que la información médica del paciente se mantenga privada y solo accesible para personal autorizado. Esto implica implementar medidas de seguridad robustas, como la encriptación de datos, el acceso restringido basado en roles y auditorías regulares de seguridad.

Además, la seguridad de los datos médicos incluye la protección contra accesos no autorizados, pérdida de datos y ataques cibernéticos. Las instituciones médicas deben adoptar un enfoque proactivo, utilizando tecnologías avanzadas y protocolos estrictos para proteger la integridad y disponibilidad de la información. El incumplimiento de estas medidas puede resultar en violaciones de datos, las cuales no solo tienen implicaciones legales, sino también pueden afectar la confianza del paciente en el sistema de salud.

Bajo estos artículos, debemos tomar en cuenta que los datos que se van a tratar dentro de los siguientes proyectos deben ser manejados con rigurosidad y con la aceptación tanto del centro médico como de los pacientes, con el fin de evitar problemas legales. Dichas disposiciones legales son esenciales para el desarrollo y operación de la aplicación, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente.

Si bien es cierto que la Ley ayuda a tener seguridad de la información proporcionada por los pacientes, es relevante que se la tenga presente debido a que el uso de los diagnósticos puede ser entendido como un uso deliberado de información personal. Además de esto, el modelo de cifrado en el que se trabaja para la aplicación no abarcará el uso indebido de información de los pacientes.

## **2.5. Large Model Language (LLM)**

En los últimos años, el desarrollo y la aplicación de Modelos de Lenguaje a Gran Escala (LLM, por sus siglas en inglés) han transformado diversos campos del conocimiento, incluidos la medicina, la ingeniería, y las ciencias sociales. Estos modelos, entrenados con vastas cantidades de datos, poseen la capacidad de realizar múltiples tareas, desde el procesamiento del lenguaje natural hasta la generación de texto y la traducción automática. La implementación de LLM en el ámbito de la salud, y más específicamente en el análisis de electrocardiogramas, representa un avance significativo en la capacidad de diagnóstico y predicción de enfermedades.

Según, (Anisuzzaman, 2024), Los modelos de lenguaje grande (LLM), un subconjunto especializado de inteligencia artificial (IA), son diseñado para generar texto a través de un proceso conocido como auto regresión (que a menudo los lleva a ser denominados LLM autorregresivos). Estos modelos operan prediciendo y ensamblando secuencias de palabras que estadísticamente es probable que se deriven de una entrada de texto determinada, lo que les permite producir oraciones coherentes y relevantes. Los modelos pueden aceptar entradas

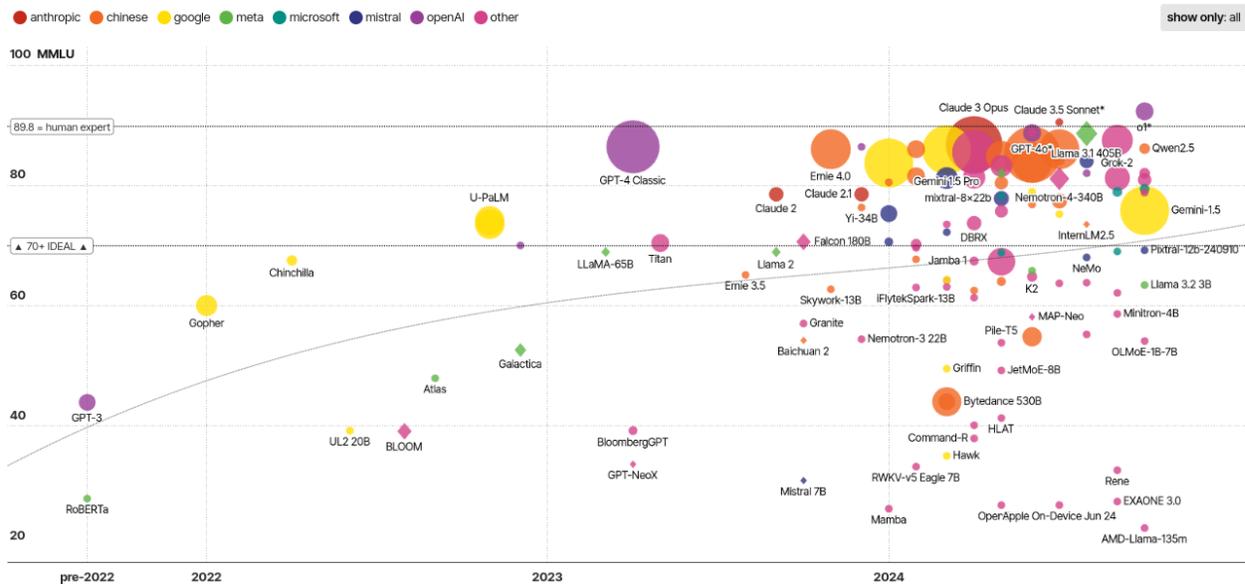
conversacionales como texto a través del habla (usando el reconocimiento de lenguaje) y puede generar resultados en varios niveles que van desde técnico/profesional hasta el de educación secundaria y más. Pueden resumir vastas cantidades de datos, tienen acceso a volúmenes inimaginablemente grandes de información y pueden hacer está disponible, fácilmente, para el usuario.

Estas capacidades permiten a los LLM realizar una variedad de tareas de propósito general, como responder preguntas, completar oraciones e incluso generar artículos completos. Uno de los avances que llevó a la creación de los LLM es el uso de modelos fundamentales que procesan y comprenden el lenguaje natural utilizando métodos de aprendizaje profundo. Las dos ideas principales de los modelos fundamentales son el aprendizaje auto supervisado y la escala. En la autosupervisión, en lugar de entrenar un modelo para realizar una tarea que requiere anotaciones explícitas, el modelo aprende a partir de vastas cantidades de datos no etiquetados disponibles, extrayendo patrones y comprendiendo el contexto sin intervención humana. Además de ser más escalables, las tareas auto supervisadas permiten que un modelo anticipe una parte de las entradas, lo que hace que el modelo sea más rico y potencialmente más valioso que los modelos entrenados en un espacio de etiquetas más restringido.

Una vez que el modelo aprende los patrones fundamentales del lenguaje, el mismo modelo puede aplicarse utilizando el aprendizaje por transferencia seguido de un ajuste fino, lo que permite que el modelo aprenda a realizar tareas más específicas utilizando un conjunto más pequeño de muestras etiquetadas. En cuanto a la escala, la era de internet proporciona una cantidad casi ilimitada de datos y, junto con los avances en la capacidad de cómputo, permite el entrenamiento de modelos a una escala sin precedentes utilizando Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU). Estos desarrollos han impulsado significativamente las capacidades y aplicaciones de los LLM.

Desde 2022 a él día de hoy, los Modelos de Lenguaje a Gran Escala (LLM) han experimentado un crecimiento exponencial, impulsado por avances en técnicas de aprendizaje profundo y aumentos significativos en la capacidad computacional, particularmente a través del uso de Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU). Durante este periodo, se han desarrollado modelos cada vez más sofisticados y precisos, capaces de manejar tareas complejas como la generación de texto coherente, la traducción automática y el procesamiento del lenguaje natural con niveles de precisión sin precedentes. Este auge en el desarrollo de LLM ha transformado numerosos campos, desde la medicina hasta las ciencias sociales, demostrando su versatilidad y potencial disruptivo en la manera en que interactuamos con la información y la tecnología. En la siguiente figura se podrá ver el crecimiento los modelos de LLM, comprendidos en ese lapso.

**Ilustración 5: Ascenso de los Modelos de Lenguaje Grande (McCaddless, 2024).**



### 2.5.1. Gemini Pro

El modelo Gemini Pro representa un avance significativo en el campo de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Este modelo combina técnicas innovadoras de

procesamiento de lenguaje natural y redes neuronales convolucionales, permitiendo un análisis y generación de texto con una precisión y coherencia sin precedentes. Gemini Pro ha sido desarrollado para abordar complejas tareas de procesamiento de datos, análisis predictivo y diagnóstico, destacándose especialmente en aplicaciones médicas y científicas. A través de su capacidad para procesar grandes volúmenes de información y aprender de manera continua a partir de datos no etiquetados, Gemini Pro se posiciona como una herramienta esencial para la investigación y el desarrollo en múltiples disciplinas.

Según (Sundar Pichai, 2023), El modelo de Gemini, el resultado de los esfuerzos de colaboración a gran escala de equipos de todo Google, incluidos nuestros compañeros de Google Research. Se construyó desde cero para ser multimodal, lo que significa que puede generalizar y entender, operar y combinar a la perfección distintos tipos de información, como texto, código de programación, audio, imágenes y vídeo.

Gemini es también nuestro modelo más flexible hasta la fecha, capaz de funcionar eficazmente en todas partes, desde en un centro de datos hasta en dispositivos móviles. Sus avanzadas capacidades mejorarán significativamente la forma en que los desarrolladores y las empresas crean aplicaciones con IA y les dan escala.

En el presente proyecto, utilizaremos el modelo de LLM Gemini Pro, el cual destaca por sus avanzadas técnicas de procesamiento de lenguaje natural y redes neuronales convolucionales. Este modelo ofrece una capacidad sin precedentes para analizar y generar texto, lo que nos permitirá abordar tareas complejas con una precisión destacable. Además, su flexibilidad y capacidad multimodal lo convierten en una herramienta esencial para la integración de diversas fuentes de información, desde texto y código de programación hasta audio e imágenes. Esto nos permitirá optimizar el rendimiento y la escalabilidad de nuestras aplicaciones de inteligencia artificial.

## 2.6. Modelo de Redes Neuronales Convolucionales

Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) son algoritmos de aprendizaje automático, que simulan el comportamiento de las neuronas biológicas. El modelo se basa en unidades denominadas neuronas, conectadas entre sí mediante enlaces, de manera que puede incrementar o disminuir el valor de las neuronas adyacentes, empleando algoritmos de propagación para la reducción del valor de la función de error de la red por medio de la actualización de los pesos (Ibáñez, 2021).

A diferencia de las redes neuronales ordinarias, las CNN tienen una capa de convolución y una capa de muestreo descendente. El muestreo descendente, también llamado agrupamiento, es un proceso de convolución especial. En el proceso de entrenamiento de la red, se aprenden y actualizan constantemente nuevos pesos en tiempo real hasta que finalmente se aprende un peso razonable. El muestreo descendente, denominado agrupamiento, es un proceso de convolución especial. En consecuencia, las CNN se caracterizan por el campo receptivo local, la distribución de pesos y el agrupamiento (Tian, 2020). A continuación, se detallan sus características:

- **Campo receptivo local:** se refiere a la unión de cada neurona de la capa oculta hacia una pequeña área de la capa de entrada, en donde cada conexión tiene un peso y un desplazamiento de parámetro que se puede aprender.
- **Distribución de pesos:** se trata del valor que se le asigna a cada neurona de la capa oculta. Como ejemplo se tiene a un campo receptivo con 25 píxeles, donde se insta un peso de 5X5 para cada neurona en la capa oculta. Esta distribución de pesos permite que la cantidad de parámetros de red y el tiempo de entrenamiento se reduzca.

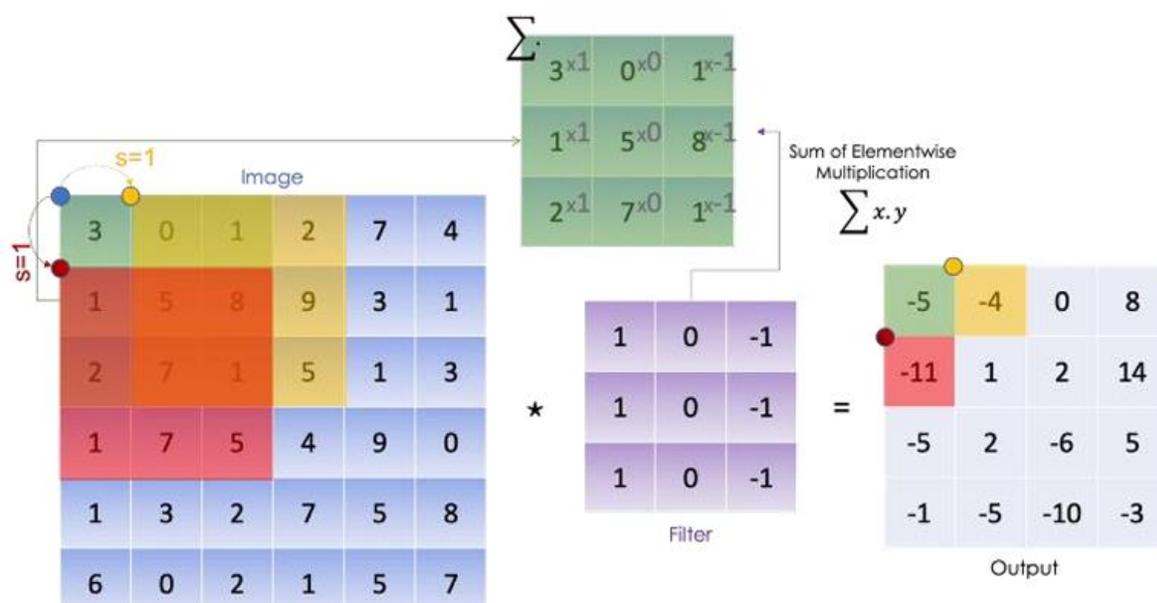
- **Agrupamiento:** se refiere a la compresión de la imagen después de la convolución para reducir la cantidad de parámetros.

En los casos de redes neuronales supervisadas, se emplea un conjunto de imágenes etiquetadas y clasificadas, donde se entrena la red neuronal para que aprenda de los patrones en cada set de datos. Al comienzo del entrenamiento la red falla bastante, pero con el paso del tiempo la red comprende con precisión las particularidades de los conjuntos de datos, detectando patrones e irregularidades en gráficos (Ibáñez, 2021).

La capa convolucional es el bloque principal de una red convolucional, que realiza la operación matemática denominada convolución, que se trata de multiplicar y sumar diferentes operaciones (ecuación 1). El modelo gráfico se muestra en la figura 5, en donde se muestra un valor de entrada de tamaño de 6x6x1, cuya selección de valores depende de las características que se buscan identificar, siendo multiplicado por un conjunto de entradas ponderadas, las cuales se suman. De igual manera, se suma el sesgo para garantizar que la neurona esté correcta. Se visualiza que la capa de salida tiene una menor cantidad de parámetros a la capa de entrada, lo cual ocurre al aplicar receptores de campo local, ya que en las esquinas de una imagen no suelen tener mucha relación entre sí, por lo que las neuronas se conectan a mayor relación (Ibáñez,

$$2021).out(N_i, C_{out_j}) = bias(C_{out_j}) + \sum_{k=0}^{C_{in}-1} weight(C_{out_j}, k) * input(N_i, k) \quad (ec. 1)$$

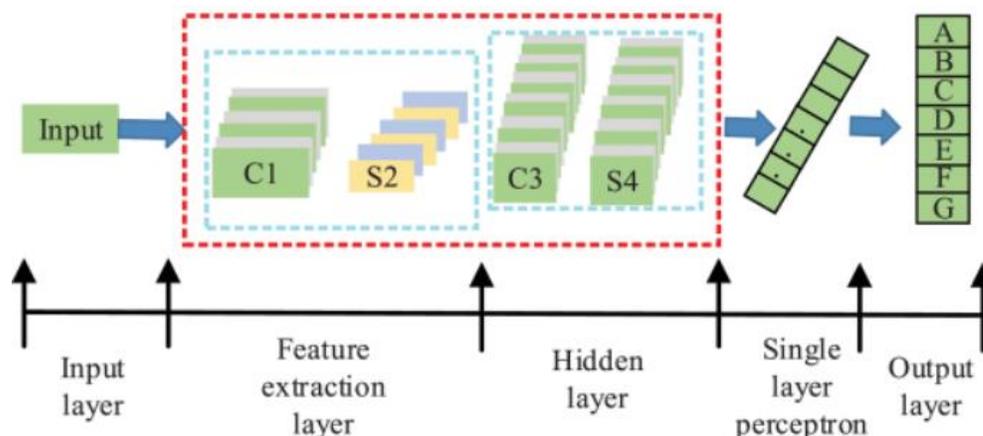
**Ilustración 6: Representación de la etapa de convolución (Ibáñez, 2021).**



Específicamente, la estructura de una red neuronal convolucional se compone de tres partes: capa de entrada, capa oculta y capa de salida. La capa de entrada se refiere a la imagen original que no ha sido procesada. La capa oculta es la capa de neuronas con estructura no lineal multicapa compleja que incluye la capa convolucional y una capa de muestreo. Mientras que, la capa de salida es el resultado del filtro de características (Tian, 2020).

En la figura 6 se presenta el modelo de estructura de una red neuronal convolucional con 2 capas convolucionales (C1, C3) y 2 capas de submuestreo (S2, S4) en la capa oculta. El input es la imagen original o capa de entrada. La capa de salida se divide en categorías de la A a la G. La capa S sirve como filtro de la estructura repetida compuesta de la capa C.

**Ilustración 7: Modelo de estructura de una red neuronal convolucional (Tian, 2020).**



En el caso del modelo aplicado en electrocardiogramas, se trata de descomponer una imagen con diferentes filtros, obteniendo una capa de salida con registros que permitan identificar enfermedades cardíacas (Garzona, 2022).

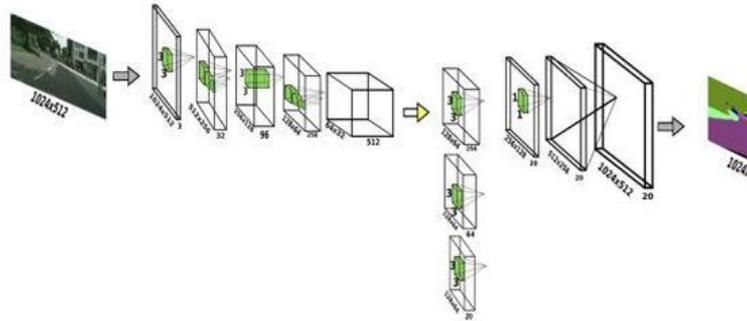
## **2.7. Modelos de Redes Neuronales Convolucionales en electrocardiogramas**

La revisión bibliográfica de varios autores nacionales e internacionales señalan que los algoritmos de redes neuronales convolucionales empleados en aplicaciones médicas como en predicciones de electrocardiogramas son: MobileNet, ResNet, DenseNet, Inception, Xception, Inception-Res-Net y NASNet.

### **MobileNet**

Es una arquitectura sencilla y eficiente en el tiempo de trabajo, en el que se reduce la cantidad de parámetros, mientras se conserva un desempeño aceptable. Las capas convolucionales tienen dimensiones de 3x3 y 1x1. Específicamente, Mobile V2 cuenta con 53 capas profundas (Guijarro, Medina, Limón, & Salazar, 2022). En la figura 7 se muestra un ejemplo de la arquitectura del MobileNet V2.

**Ilustración 8: Arquitectura del MobileNet V2 (Guijarro et al., 2022).**

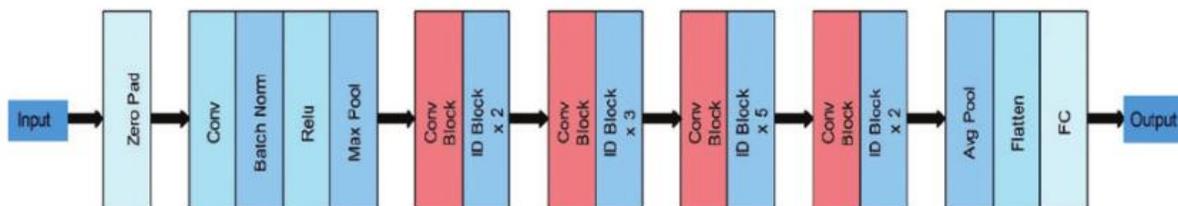


## ResNet

Es un modelo de CNN que se destaca por su estructura novedosa. El ResNet 101 se basa en “bloques residuales que incorporan intersecciones en capas estándar de CNN, para atravesar múltiples capas convolucionales, lo que hace que el proceso de convergencia de CNN sea más rápido y fácil a pesar de la gran cantidad de capas convolucionales” (Guijarro, Medina, Limón, & Salazar, 2022).

ResNet 101 contiene 104 capas convolucionales compuestas por 33 bloques de capas y 29 de estos cuadrados se utilizan directamente en bloques anteriores (Ahmad, et al., 2022). En la figura 8 se muestra la arquitectura original del ResNet 101, la cual puede ser modificada de acuerdo con las necesidades del experto.

**Ilustración 9: Arquitectura del ResNet 101 (Ahmad et al., 2022).**



## DenseNet

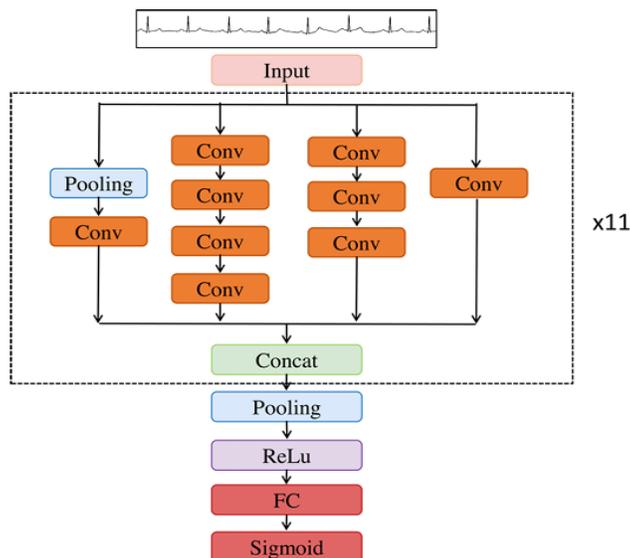
Es una arquitectura que se destaca porque “las características de las capas anteriores se comparten con todas las capas siguientes, lo que hace que el modelo sea más expresivo con una pequeña cantidad de parámetros” (Changling, et al., 2021).

## Inception

Fue desarrollado por Google en 2014. Se trata de una arquitectura que emplea una capa de convolución con diferentes núcleos de tamaño de filtro (1x1, 3x3, 5x5), con la finalidad de aumentar el campo receptivo sin incrementar la profundidad del modelo (Changling, et al., 2021). El Inception V3 utiliza menor cantidad de cálculos, con visión de alto rendimiento, y a un costo computacional relativamente bajo (Guijarro, Medina, Limón, & Salazar, 2022)

Changling et al., 2021, emplearon este modelo para reducir los parámetros del modelo al factorizar capas de convolución de 7x7 en convoluciones de 1x7 y 7x1. Específicamente, en la figura 9 se emplearon 11 módulos Inception V3, con un uso masivo de factorización de convolución.

**Ilustración 10: Arquitectura del Inception V3 adaptado (Changling et al., 2021).**



## **Xception**

Esta arquitectura se considera una combinación de Inception V3 y MobileNet. Se diferencia en que reemplaza las capas de convolución por capas de convolución separables en profundidad. Este cambio hace que la estructura tenga mayor eficiencia al reducir la carga de cálculo, tiempo de cálculo y cantidad de parámetros (Changling, et al., 2021).

## **Inception-Res-Net**

Se trata de la combinación de la arquitectura ResNet e Inception V3. Se caracteriza por aplicar atajos residuales en módulos de inicio (Changling et al., 2021).

## **DenseNets**

Es una arquitectura que se destaca por el hecho de que cada capa está conectada directamente a todas las capas posteriores. Esto permite una reducción del número de parámetros de la red. La modificación a una arquitectura de red liviana permite que la clasificación de arritmia cardiaca de manera automática (Thi, Van, & Manh, 2023).

## **NASNet**

Se trata de un modelo que surge de la búsqueda automática de arquitecturas por parte de Google. Su desempeño es mayor en conjuntos de datos, tal como el caso de ImageNet (Changling, et al., 2021).

## **2.8. Predicción de enfermedades cardíacas con modelos de redes neuronales convolucionales en electrocardiogramas a nivel nacional**

### **2.8.1. Aplicación de algoritmos de inteligencia artificial con datos iniciales filtrados**

En Ecuador, Noboa et al. (2023) realizaron un estudio sobre técnicas de inteligencia artificial para predicción de señales de electrocardiograma en Guayaquil. En este trabajo se utilizó la base de datos abierta de arritmias de MIT-BIH, que se trata de contribuciones del Hospital Beth Israel (BIH) e Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT). En este estudio se utiliza 109.446 instancias de entrenamiento, con 5 categorías (N: latido normal, Q: latidos con anormalidades, V: latido ectópico ventricular, S: latido ectópico supraventricular, F: latidos de fusión), y una frecuencia de muestreo de 125 Hz.

Los resultados de estos autores reflejan que los mayores niveles de precisión se encuentran en el patrón de clase Q, denominado latidos con anormalidades, con un 94%. Mientras que, la clase N registró un 68% de precisión. Una ventaja del uso del set de datos es que ya está segmentado, permitiendo que el profesional salte a la fase de preprocesamiento. No obstante, en trabajos donde se recopile información de pacientes voluntarios, se requiere crear un algoritmo de segmentación de señal en su totalidad (Noboa, Ramirez, & Medina, 2024).

### 3. Metodología

#### 3.1. Tipo de Metodología

##### 3.1.1. Metodología de Investigación

En ese proyecto, se decidió adoptar un enfoque metodológico mixto, combinando tanto métodos cualitativos como cuantitativos para proporcionar una comprensión más completa y detallada de las pruebas unitarias realizadas y el documento de pruebas funcionales, revisado por el beneficiario. La metodología cualitativa se utilizó para analizar y comprender las opiniones y percepciones del médico especialista, mientras que la metodología cuantitativa permitió una evaluación objetiva y rigurosa de la eficacia y fiabilidad del sistema.

El enfoque cualitativo se centró en la comprensión y descripción de fenómenos complejos, explorando las percepciones, actitudes y experiencias de los individuos en su contexto natural. En el contexto de ese proyecto, el enfoque cualitativo se utilizó para analizar y comprender las opiniones y percepciones del médico especialista, respecto al uso de inteligencia artificial (IA) en la predicción de enfermedades cardíacas a través de ECG.

La elección del enfoque metodológico cualitativo para ese proyecto se justificó por varias razones:

- **Profundidad y Riqueza de los Datos:** El enfoque cualitativo permitió obtener datos ricos y detallados, proporcionando una comprensión profunda de las experiencias y percepciones de los participantes. Esto fue crucial para evaluar el impacto y la aceptación de la tecnología de IA en el diagnóstico de enfermedades cardíacas (Avanzato & Beritelli, 2020).
- **Flexibilidad:** El enfoque cualitativo fue flexible y adaptativo, permitiendo ajustar el diseño de la investigación a medida que se desarrollaba el estudio. Esta

flexibilidad fue esencial para explorar nuevas áreas de interés que pudieron surgir durante la investigación (AiDuwaile & Saiful, 2021).

- **Contextualización:** Este enfoque permitió contextualizar los hallazgos dentro del entorno social y cultural específico de los participantes, lo cual fue vital para comprender cómo se percibe y utiliza la tecnología de IA en diferentes contextos (Attia, Harmon, Behr, & Friedman, 2021).
- **Exploración de Fenómenos Complejos:** La metodología cualitativa fue ideal para explorar fenómenos complejos que no podían ser cuantificados fácilmente, como las percepciones y actitudes hacia la IA en la medicina (Avanzato & Beritelli, 2020).

Para llevar a cabo esa investigación cualitativa, se realizó una única entrevista semiestructuradas con la Dra. Delfa Núñez, Cardiólogo Especialista y único personal de la Clínica Privada. Estos métodos permitieron recoger datos detallados y profundos sobre su experiencias y percepciones respecto al uso de IA en la predicción de enfermedades cardíacas. Para dejar constancia de lo dicho por la Dra. Núñez se realizó la grabación de la sesión, y posteriormente se hace la transcripción de este para su posterior análisis dentro del documento

Además, se llevaron a cabo pruebas unitarias para verificar la funcionalidad del sistema. Estas pruebas aseguraron que cada componente del software funcionara correctamente de manera aislada, permitiendo identificar y corregir errores en etapas tempranas del desarrollo. Al integrar las pruebas unitarias dentro del enfoque cualitativo, se garantizó una evaluación rigurosa y continua de la eficacia del sistema desde su fase inicial, alineando así el producto final con las expectativas y necesidades del usuario.

Por otro lado, la metodología cuantitativa permitió una evaluación objetiva y rigurosa de la eficacia y fiabilidad del sistema. Se realizó un documento de requerimientos funcionales, que

el beneficiario revisó para aceptar la validez de los módulos declarados en los alcances del proyecto. A través de pruebas exhaustivas, se aseguró que las soluciones propuestas fueran precisas y útiles en el contexto clínico. Este enfoque permitió cuantificar la aceptación y validar el rendimiento del sistema, proporcionando datos concretos y medibles que respaldan el impacto positivo del sistema.

Para abordar este enfoque metodológico, se debe destacar que la combinación de métodos cualitativos y cuantitativos se fundamentó en la necesidad de obtener una evaluación integral y precisa del sistema propuesto. La elección de la metodología cualitativa se basó en su capacidad para proporcionar una comprensión profunda de las percepciones y experiencias del usuario final, lo cual es crucial para adaptar el sistema a sus necesidades específicas. Por otro lado, la metodología cuantitativa permitió validar objetivamente el rendimiento y la fiabilidad del sistema mediante pruebas unitarias y pruebas de requerimientos funcionales, garantizando que las soluciones propuestas fueran técnicamente sólidas y efectivas en el contexto clínico.

Esta combinación metodológica, por lo tanto, no solo asegura una evaluación exhaustiva desde múltiples perspectivas, sino que también ofrece la flexibilidad y rigor necesarios para desarrollar un sistema alineado con las expectativas y requerimientos del entorno clínico.

### **3.1.2. Metodología de Desarrollo de Software.**

Para el desarrollo del software en este proyecto, se utilizó la metodología FDD (Feature Driven Development), que resultó adecuada debido a su enfoque en la entrega rápida y frecuente de características concretas. Esta metodología se centra en la creación de funcionalidades (features) que son útiles y valiosas para el usuario final, lo cual permitió gestionar de manera efectiva la complejidad del proyecto y asegurar la calidad del software. (Palmer, 2002).

El proceso se inició con la creación de un modelo global del sistema, lo que incluyó una visión general de las funcionalidades esperadas y la estructura del software. Este modelo

proporcionó una guía clara sobre cómo descomponer el proyecto en características manejables. De acuerdo con Coad et al. (1999), la creación de un modelo global es esencial para el éxito de la FDD (Coad, 1999).

Cada una de estas características fue luego detallada y planificada en iteraciones cortas, lo que facilitó la identificación de posibles problemas y la implementación de mejoras continuas. Esto también permitió incorporar la retroalimentación temprana del usuario y ajustar el desarrollo según sus necesidades y expectativas.

El desarrollador trabajó en ciclos iterativos de diseño e implementación de las características, asegurando que cada entrega incrementara las capacidades del sistema de manera tangible. Además, se realizaron revisiones constantes del progreso y se ajustaron las prioridades basándose en las evaluaciones continuas del impacto de cada característica desarrollada.

La metodología FDD ofreció varios beneficios clave:

- **Claridad y Enfoque:** Al desglosar el proyecto en pequeñas características, se mantuvo un enfoque claro en los objetivos específicos y se facilitó la gestión del trabajo.
- **Flexibilidad:** La capacidad de adaptar y ajustar las características en función de la retroalimentación continua y las necesidades emergentes del proyecto.
- **Entrega Continua:** Las entregas frecuentes de características permitieron obtener retroalimentación antes en el proceso y mejorar la calidad del software de manera incremental.
- **Colaboración:** La metodología fomentó una mayor colaboración entre el desarrollador y las partes interesadas, lo que resultó en un producto más alineado con las expectativas del usuario final.

En conclusión, la combinación de la metodología FDD y las tecnologías de IA permitieron desarrollar un sistema robusto y eficiente para la detección de enfermedades cardíacas, mejorando significativamente la calidad y accesibilidad de los servicios de salud.

### **3.1.2.1. Implementación**

Para aplicar la metodología Feature-Driven Development (FDD) al presente proyecto de desarrollo de un sistema avanzado para la detección de enfermedades cardíacas, se seguirán los siguientes pasos:

- **Elaborar una lista de características**

Se identificarán y enumerarán las características que deben desarrollarse para el sistema de detección de enfermedades cardíacas. Esta lista incluirá funciones clave como la adquisición y almacenamiento de datos de ECG, el procesamiento y análisis de datos mediante modelos de IA, y la generación de informes diagnósticos automáticos.

- **Planificación por características**

El proceso de desarrollo se planificará dividiendo las funciones en tareas más pequeñas. Cada tarea se gestionará como una iteración corta, permitiendo una planificación ágil y flexible. La retroalimentación continua del beneficiario se incorporará en cada iteración para ajustar y mejorar las características según sus necesidades y expectativas.

- **Diseño por características**

Las características se diseñarán en función de los requisitos y las necesidades de los usuarios. Se llevarán a cabo ciclos iterativos de diseño e implementación de las características, asegurando que cada entrega incremente las capacidades del sistema de manera tangible. Se

realizarán revisiones constantes del progreso y se ajustarán las prioridades basándose en las evaluaciones continuas del impacto de cada característica desarrollada.

- **Construcción por características**

El desarrollo de las características se realizará en iteraciones periódicas y predecibles, centrándose en las necesidades del proyecto. Las iteraciones incluirán el desarrollo de módulos específicos como:

- **Pacientes:** Gestión de la información de los pacientes, incluyendo la historia médica y los diagnósticos previos.
- **Historia Médica:** Registro detallado de la historia médica de cada paciente, incluyendo antecedentes familiares, enfermedades previas y tratamientos recibidos.
- **Diagnósticos:** Implementación de algoritmos de IA para el análisis y diagnóstico automático de los datos de ECG, generando interpretaciones detallados y recomendaciones para el tratamiento.

### 3.2. Alcance

El alcance exploratorio del proyecto se centra en la investigación y el desarrollo de un sistema para la detección de enfermedades cardíacas, utilizando metodologías de Desarrollo de Características (FDD) y tecnologías de inteligencia artificial (IA). Este enfoque integral permite una comprensión profunda de los requisitos del sistema, la identificación de posibles desafíos y la implementación de soluciones innovadoras que abordan directamente la problemática de detección oportuna y precisa de enfermedades cardíacas. La exploración inicial incluyó un análisis exhaustivo de las tecnologías existentes en el ámbito de la cardiología, particularmente en el uso de algoritmos de aprendizaje profundo para el reconocimiento de patrones

electrocardiográficos (ECG), demostrando su efectividad en estudios recientes. Al integrar IA y metodologías FDD, el proyecto aspira a mejorar significativamente la calidad y accesibilidad de los servicios de salud, facilitando diagnósticos más rápidos y precisos, lo cual es crucial para la mejora de los resultados de salud de los pacientes, reducir los tipos de errores que pueden existir al momento de manejar diagnósticos, tanto como humana y tecnológica, lo cual también conlleva a la reducción de los costos asociados tanto a los tratamientos tardíos como a los tratamientos equivocados.

En resumen, el alcance exploratorio del proyecto no solo proporciona una base sólida para el desarrollo técnico, sino que también asegura que el sistema resultante esté alineado con las necesidades del usuario final y las mejores prácticas en la detección de enfermedades cardíacas.

### **3.3. Delimitación de la Investigación.**

El estudio se llevó a cabo en la Clínica Privada de Cardiología de Guayaquil, Ecuador, del 11 al 13 de noviembre de este año. La población objetivo constó de 50 profesionales del área de la salud, entre los que están: médicos, internos y residentes, así también como estudiantes que están cursando la carrera de medicina, quienes fueron encuestados para conocer sus percepciones sobre el uso de electrocardiogramas (ECG) asistidos por inteligencia artificial (IA). Además, se realizó una entrevista detallada con la Dra. Delfa Núñez, especialista en cardiología, para profundizar en el uso de ECG e IA en el monitoreo, control y prevención de enfermedades cardiovasculares. Los resultados obtenidos fueron analizados para evaluar la viabilidad de la implementación de IA en la práctica clínica.

### **3.4. Métodos Empíricos y Estadísticos Empleados**

Durante el estudio, se emplearon entrevistas estructuradas y encuestas para recolectar información de los participantes. Las entrevistas permitieron obtener una comprensión profunda

del uso de electrocardiogramas (ECG) y la inteligencia artificial (IA) en el monitoreo y prevención de enfermedades cardiovasculares. Las encuestas evaluaron la percepción y aceptación de estos métodos por parte de profesionales y estudiantes de la salud, utilizando una escala de Likert para medir la intensidad de sus opiniones.

**Médico Especialista:** la elaboración del Documento de Pruebas Funcionales estuvo a cargo del médico especialista, quien aprobó los módulos correspondientes del sistema. Además, se le realizó una entrevista para conocer su opinión acerca del tipo de herramienta que iba a utilizar.

**Documento de Pruebas Unitarias:** Este fue elaborado por Steeven Estupiñan, porque se encargó de verificar los componentes de cada módulo individualmente.

**Encuestas:** se realizaron a estudiantes, internos, médicos y residentes de ciencias de la salud. Este enfoque permitió que personas alineadas a la carrera compartieran su opinión sobre el uso de esta herramienta, que fue calificado como dato cuantitativo mediante la escala de Likert.

En resumen, la combinación de entrevistas, pruebas funcionales y un documento detallado de pruebas unitarias proporciona una base sólida para un análisis exhaustivo del impacto de la tecnología y la inteligencia artificial en el campo de la cardiología. Las entrevistas ofrecen una perspectiva cualitativa y profesional, mientras que las pruebas funcionales y unitarias permiten un análisis técnico cuantitativo, asegurando una investigación completa y bien fundamentada.

### **3.4.1. Entrevistas**

Para la recolección de información en este estudio, se emplearon entrevistas estructuradas realizadas al beneficiario, médico especialista en cardiología. Estas entrevistas fueron diseñadas para obtener una comprensión profunda del uso de los electrocardiogramas (ECG) y la inteligencia artificial (IA) en el monitoreo, control y prevención de enfermedades cardiovasculares.

### **3.4.1.1. Formato de las Preguntas de Entrevista**

Las siguientes preguntas fueron formuladas para los participantes en las entrevistas. Las respuestas obtenidas se incluirán en los anexos del documento.

1. ¿De qué forma ha ayudado el uso de las ECG en el monitoreo y control de las enfermedades cardiovasculares?
2. ¿Cómo ha ayudado el desarrollo de la tecnología en el uso de modelos para prevenir enfermedades cardiovasculares?
3. ¿En qué forma considera usted que ha ayudado la IA en el desarrollo de nuevas técnicas para el estudio de las enfermedades cardiovasculares?
4. ¿Estaría de acuerdo en usar tecnología con IA para mejorar los análisis de datos de los ECG y dar mejores resultados para sus pacientes?
5. ¿Existen aspectos éticos o de privacidad que le preocupen en relación con el uso de IA en el análisis de datos médicos como los ECG?

### **3.4.2. Encuesta**

Para complementar las entrevistas y obtener una visión más amplia sobre la aceptación y percepción del sistema propuesto, se llevó a cabo una encuesta dirigida a los estudiantes, internos, médicos y residentes. Esta encuesta se diseñó para evaluar la utilidad y eficacia del uso de IA en sistemas médicos, específicamente en el análisis de datos de ECG, y se implementó utilizando una escala de Likert para captar la intensidad de las opiniones de los encuestados.

#### **3.4.2.1. Preguntas de la Encuesta**

- ¿En qué medida considera que los modelos de inteligencia artificial (IA) pueden mejorar la precisión en la detección de enfermedades cardiovasculares a través del análisis de datos de ECG?

- ¿Cree que la implementación de herramientas basadas en IA para el análisis de ECG puede optimizar su práctica clínica en el manejo de enfermedades cardiovasculares?
- ¿Está dispuesto(a) a utilizar herramientas basadas en IA como apoyo en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardiovasculares?
- ¿En qué medida le preocupan las cuestiones éticas y de privacidad en relación con el uso de inteligencia artificial para analizar datos médicos sensibles como los de ECG?
- ¿Considera necesario recibir capacitación adicional para comprender e implementar herramientas basadas en inteligencia artificial en el análisis de datos médicos?

Para medir la aceptación y percepción del sistema propuesto, se utilizó una escala de Likert de cinco puntos, con las siguientes categorías:

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Esta métrica permite a los encuestados expresar la intensidad de sus opiniones sobre diversos aspectos del sistema, facilitando un análisis detallado y cuantitativo de los resultados obtenidos.

### **3.4.3. Documento Pruebas Funcionales**

Además de las entrevistas, se realizaron pruebas funcionales para evaluar la aceptación del usuario hacia los resultados generados por el sistema. Estas pruebas se utilizaron para analizar cómo los médicos y otros usuarios interactúan con el software, evaluando su facilidad de uso, precisión en la entrega de diagnósticos y la satisfacción general con el sistema.

### **3.4.4. Documento de Pruebas Unitarias**

Otro instrumento importante en este estudio fue el documento de pruebas unitarias, donde se documentaron y explicaron las diversas pruebas realizadas al software. Este documento contiene detalles sobre las pruebas específicas llevadas a cabo para verificar el correcto funcionamiento de cada módulo del sistema, asegurando que cada componente opere según lo esperado y cumpla con los requisitos establecidos.

Es pertinente destacar que se emplearon métodos empíricos y estadísticos rigurosos a lo largo del estudio. Las encuestas administradas a profesionales y estudiantes del ámbito de la salud utilizaron la escala de Likert, lo cual permitió cuantificar la intensidad de las opiniones con gran precisión. Además, el documento de Pruebas Funcionales contó con la firma del médico especialista, lo que indica su aprobación formal de los módulos evaluados. Este procedimiento asegura la validez y confiabilidad de los datos recopilados y analizados, proporcionando una base sólida para las conclusiones del estudio.

## **4. Análisis de Resultados**

### **4.1. Descripción del Software**

El sistema propuesto es una aplicación web que facilita el control de la información de los pacientes y sus historias clínicas, con una interpretación generada a través del uso de

Inteligencia Artificial (IA). Permite a los médicos ingresar y analizar datos de ECG, efectuar diagnósticos presuntivos y mejorar la precisión de los diagnósticos mediante módulos específicos, tales como el módulo de ficha médica y el módulo de diagnóstico con IA.

#### **4.2. Alcance del Software**

El alcance del software incluye varias funcionalidades críticas para el manejo integral de pacientes con enfermedades cardiovasculares.

- En primer lugar, el módulo de consulta y registro de pacientes permitirá a los médicos ingresar y actualizar información básica y detallada sobre sus pacientes, asegurando que todos los datos relevantes estén disponibles y organizados.
- En segundo lugar, el módulo de consulta y registro de Historia Clínica facilitará al médico especialista el proceso de registrar datos específicos sobre su paciente en su Historia Clínica. proporcionando un historial claro y accesible de cada caso.
- Por último, el módulo de análisis de historial médico e interpretación con IA en Python permitirá realizar un análisis avanzado, utilizando modelos de inteligencia artificial para detectar patrones y apoyar en la toma de decisiones clínicas, mejorando así la calidad y eficiencia del diagnóstico y tratamiento.

A continuación, detallare cada uno de los módulos desarrollados, durante este proceso:

##### **Módulo de Pacientes**

El módulo de pacientes ha permitido la creación de una matriz detallada que contiene toda la información relevante sobre los pacientes. Esta matriz incluye datos básicos como nombre, edad y número de identificación, así como detalles médicos importantes. Gracias a este módulo, el médico especialista puede actualizar la información de los pacientes de manera eficiente o eliminar registros completos, lo que facilita la gestión de grandes volúmenes de datos y asegura que la información esté siempre actualizada y precisa.

**Ilustración 11: *Módulo de Pacientes dentro de la Aplicación.***

Bienvenido, ADMIN 

Cedula	Nombres y Apellidos	Genero	Edad	Telefono	Correo Electrónico	Fecha de Nacimiento	Fecha de Registro	Fecha de Actualizacion	Opciones
570110356	46D534D8 22F3E78E	Masculino	34	480310396	462D4@example.com	1945-10-02	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
312678969	EB7625C7 E388E30E	Femenino	36	881458961	07DFE@example.com	2001-09-21	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
69230829	C4B6A9C6 A9256B60	Femenino	18	172203296	0B0B2@example.com	1999-11-24	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
588957608	19ADE612 E9127AB8	Femenino	97	498956909	124FA@example.com	1950-01-06	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
828791878	38C0117F 333544FE	Masculino	48	347211798	AFC2D@example.com	1927-08-16	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
138403223	3754815C D1D32735	Masculino	49	131823577	0F6AC@example.com	2015-07-05	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
789471910	2DF4922B 8DD7F3B0	Masculino	63	292817821	5EEDA@example.com	2003-01-03	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
379504303	45F7847A 6F4A7587	Masculino	50	707118768	F7696@example.com	1946-07-04	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
282525922	20BAA56B 27EADBE8E	Femenino	37	556169660	9E8F6@example.com	1965-11-21	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 
987125432	AAC548BD 598444C8	Masculino	10	9039493	7C37E@example.com	1943-12-12	23/11/2024 06:14	23/11/2024 06:14	 

Rows per page: 10 1 - 10 of 1995  

  
Pacientes

  
Usuarios

*Nota. Captura de Pantalla realizada por el Autor.*

## Módulo de Ficha Médica

Este módulo ha sido fundamental para la sistematización de los datos de los pacientes. Al permitir la introducción metódica de información clínica, se asegura que la historia médica esté completa y actualizada, incluyendo antecedentes médicos, tratamientos anteriores, alergias y resultados de exámenes. La capacidad de registrar estos datos de manera ordenada y accesible mejora la calidad de la atención proporcionada y facilita la consulta de información relevante en momentos críticos

**Ilustración 12: Módulo de Historias Clínicas dentro de la Aplicación.**



Paciente: 46D534D8 22F3E78E

**Diagnóstico: Ritmo sinusal y sobrecarga sistólica del ventrículo izquierdo**

Interpretación asistida IA: El electrocardiograma muestra un ritmo sinusal con una frecuencia cardíaca de 62 latidos por minuto. El intervalo PR es de 136 ms, la duración del complejo QRS es de 88 ms y el intervalo QT corregido (QTc) es de 407 ms. El eje del QRS es de +28 grados. L

*Nota. Captura de Pantalla realizada por el Autor.*

## Consideraciones Éticas.

### Informar consentimiento

Es fundamental que se informe al beneficiario que, al momento de la entrega final del proyecto, los datos utilizados serán de prueba. Este aspecto es de vital importancia, asegurando que la información manejada en las etapas preliminares y de prueba no comprometerá la privacidad ni la integridad de los datos reales de los pacientes.

Además, es fundamental asegurar que la información de los pacientes no sea procesada ni almacenada en la base de datos al momento de la entrega del prototipo del sistema en ninguna circunstancia. Al implementar estos protocolos de seguridad, se protege la privacidad y la integridad de los datos médicos.

Al momento de realizar el entregable, se procedió a notificar al beneficiario que el administrador no almacena información de ninguna forma sobre los pacientes y lo que observo

son datos de prueba. Este procedimiento garantizó que la privacidad de los pacientes se mantenga intacta y que cualquier dato utilizado durante las pruebas no tenga impacto real en la confidencialidad de los registros médicos.

Cuando se realizó el ingreso en el sistema, al beneficiario se le emitirá un comunicado informando lo previamente hablado verbalmente. Dicho comunicado reforzará el compromiso del proyecto con la seguridad y privacidad de los datos, asegurando que el beneficiario esté completamente al tanto de las medidas implementadas para proteger la información sensible.

### **4.3. Arquitectura**

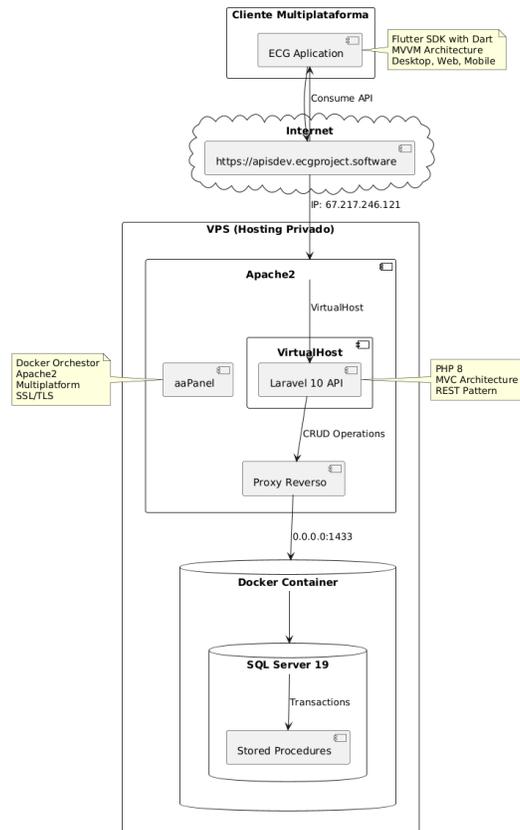
El presente diagrama ilustra la estructura tecnológica subyacente a una aplicación multiplataforma diseñada para el procesamiento y análisis de señales electrocardiográficas (ECG). La arquitectura propuesta se compone de diversos componentes interconectados que trabajan en conjunto para ofrecer una solución integral.

#### **Componentes Principales y Funcionalidades:**

- **Cliente Multiplataforma:** La interfaz de usuario, desarrollada con Flutter y Dart, proporciona una experiencia de usuario consistente en múltiples dispositivos (web, móvil, escritorio). Emplea el patrón de diseño MVVM para separar las responsabilidades de la interfaz, la lógica de negocio y la gestión de datos.
- **API RESTful:** Implementada con Laravel, esta interfaz de programación de aplicaciones expone los servicios necesarios para la interacción con la aplicación cliente. Los endpoints RESTful permiten realizar operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar) sobre los datos de los Pacientes.

- **Servidor Backend:** Alojado en un servidor virtual privado (VPS), el backend ejecuta el framework Laravel y gestiona las solicitudes HTTP provenientes del cliente. Además, se encarga de la interacción con la base de datos y la lógica de negocio.
- **Base de Datos Relacional:** SQL Server 19 almacena de forma persistente los datos de los ECG, incluyendo metadatos y resultados de análisis. Se utilizan transacciones y procedimientos almacenados para garantizar la integridad y consistencia de los datos.
- **Contenedores Docker:** La aplicación se despliega en un entorno de contenedores Docker, lo que facilita la portabilidad, escalabilidad y gestión del entorno de desarrollo.
- **Proxy Reverso:** Se utiliza un proxy reverso para enrutar las solicitudes HTTP hacia los servicios adecuados, mejorando la seguridad y el rendimiento de la aplicación.

**Ilustración 14: Diagrama de Arquitectura de la Aplicación.**



*Nota. Elaboración Propia*

#### 4.4. Cronograma de Actividades

En el desarrollo de nuestro proyecto, adoptamos la metodología Kanban específicamente para gestionar nuestro cronograma de actividades. Aquí se presentan algunos aspectos importantes sobre cómo implementamos Kanban como una herramienta para el control de las actividades en el desarrollo de software médico:

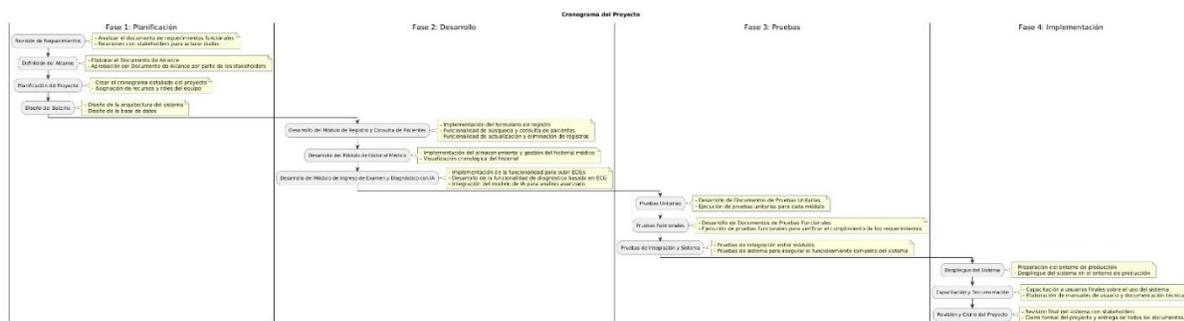
**Visualización del trabajo:** Utilizamos un tablero Kanban para mostrar todas las tareas y su progreso. Este tablero muestra claramente las tareas pendientes, en progreso y completadas, lo que facilita la identificación de cuellos de botella y la gestión del flujo de trabajo.

**Limitación del trabajo en progreso (WIP):** Establecimos límites claros para la cantidad de tareas que pueden estar en progreso simultáneamente. Esto nos ayuda a mantenernos enfocados en completar tareas antes de comenzar nuevas, mejorando así la eficiencia y reduciendo el multitasking.

**Gestión del flujo:** Kanban nos permite gestionar el flujo de trabajo de manera continua y ajustarlo según las necesidades del proyecto.

La adopción de Kanban específicamente para la gestión del cronograma de actividades nos permitió organizar de manera eficiente las tareas, optimizar los recursos y mejorar la calidad del software médico desarrollado. Al centrarnos en la visualización del trabajo, la limitación del WIP y la gestión del flujo, logramos cumplir con los objetivos del proyecto y satisfacer las necesidades de los usuarios de manera efectiva.

## Ilustración 15: Cronograma de Actividades en un Tablero Kanban



Nota. Elaboración Propia.

### Fase 1: Planificación

Duración: 2 semanas

Revisión de Requerimientos (3 días)

- Analizar el documento de requerimientos funcionales.
- Reuniones con stakeholders para aclarar dudas.
- Definición del Alcance (2 días)

Elaborar el Documento de Alcance.

- Aprobación del Documento de Alcance por parte de los stakeholders.
- Planificación del Proyecto (3 días)

Crear el cronograma detallado del proyecto.

- Asignación de recursos y roles del equipo.
- Diseño del Sistema (2 días)

Diseño de la arquitectura del sistema.

Diseño de la base de datos.

## **Fase 2: Desarrollo**

Duración: 4 semanas

Desarrollo del Módulo de Registro y Consulta de Pacientes (1 semana)

- Implementación del formulario de registro.
- Funcionalidad de búsqueda y consulta de pacientes.
- Funcionalidad de actualización y eliminación de registros.

Desarrollo del Módulo de Historial Médico (1 semana)

- Implementación del almacenamiento y gestión del historial médico.
- Visualización cronológica del historial.

Desarrollo del Módulo de Ingreso de Examen y Diagnóstico con IA (2 semanas)

- Implementación de la funcionalidad para subir ECGs.
- Desarrollo de la funcionalidad de diagnóstico basado en ECG.
- Integración del modelo de IA para análisis avanzado.

## **Fase 3: Pruebas**

Duración: 3 semanas

Pruebas Unitarias (1 semana)

- Desarrollo de Documentos de Pruebas Unitarias.

- Ejecución de pruebas unitarias para cada módulo.

Pruebas Funcionales (1 semana)

- Desarrollo de Documentos de Pruebas Funcionales.
- Ejecución de pruebas funcionales para verificar el cumplimiento de los requerimientos.

Pruebas de Integración y Sistema (1 semana)

- Pruebas de integración entre módulos.
- Pruebas de sistema para asegurar el funcionamiento completo del sistema.

#### **Fase 4: Implementación**

Duración: 2 semanas

Despliegue del Sistema (1 semana)

- Preparación del entorno de producción.
- Despliegue del sistema en el entorno de producción.

Capacitación y Documentación (1 semana)

- Capacitación a usuarios finales sobre el uso del sistema.
- Elaboración de manuales de usuario y documentación técnica.

Revisión y Cierre del Proyecto (2 días)

- Revisión final del sistema con stakeholders.
- Cierre formal del proyecto y entrega de todos los documentos.

#### 4.5. Tecnologías para el desarrollo

Para el desarrollo de la interfaz de usuario y la lógica del servidor, se han seleccionado tecnologías robustas y bien establecidas. En el front-end, se utiliza Flutter, un kit de herramientas de interfaz de usuario open-source creado por Google. Flutter permite a los desarrolladores construir interfaces intuitivas y responsivas, facilitando la interacción del usuario con el sistema médico.

**Ilustración 16: Cuadro Comparativo de Lenguajes de Programación Front-End.**

Características	Flutter	React	Java	Ionic
Rendimiento	Nativo	Bueno	Nativo (Android)	Inferior a nativo
Código base	Único	Único	Separado por plataforma	Único
Desarrollo	Hot Reload	Hot Reload	Compilación necesaria	Live Reload
UI	Widgets personalizables	Componentes reutilizables	XML layouts (Android)	HTML/CSS
Acceso a APIs nativas	Directo	Requiere puente	Directo (Android)	Vía plugins
Curva de aprendizaje	Moderada	Moderada	Pronunciada	Fácil para devs web
Comunidad y ecosistema	En crecimiento	Amplia	Madura	Moderada
Recomendación	<b>SELECCIONADO</b>			

*Nota. Elaboración Propia.*

En el back-end, se ha optado por Laravel, un framework de PHP que simplifica el desarrollo de aplicaciones web complejas al ofrecer un conjunto de herramientas y estructuras predefinidas. Laravel se destaca por su elegancia y facilidad de uso, proporcionando características como enrutamiento, autenticación, sesiones y caché, lo que permite a los desarrolladores concentrarse en la lógica de negocio específica de la aplicación médica.

**Ilustración 17: Cuadro Comparativo de Lenguajes de Programacion Back-End.**

	<b>Laravel</b>	<b>FastAPI (Python)</b>	<b>Node.js</b>	<b>.NET</b>
Lenguaje base	PHP	Python	JavaScript	C#
Rendimiento	Bueno	Excelente	Muy bueno	Excelente
Curva de aprendizaje	Moderada	Baja	Baja	Moderada
ORM integrado	Eloquent	No (usa SQLAlchemy)	No (varios disponibles)	Entity Framework
Autenticación	Integrada	Vía extensiones	Vía paquetes	Integrada
Documentación	Excelente	Muy buena	Buena	Excelente
Escalabilidad	Buena	Muy buena	Excelente	Excelente
Comunidad y ecosistema	Grande	En crecimiento	Muy grande	Grande
Herramientas de desarrollo	Artisan CLI	Uvicorn, Gunicorn	npm, nodemon	Visual Studio, .NET CLI
Soporte para WebSockets	Vía paquetes	Vía extensiones	Nativo	SignalR
Validación de datos	Integrada	Pydantic (integrado)	Vía paquetes	Integrada
Manejo de migraciones	Integrado	Vía SQLAlchemy	Vía paquetes	Integrado
Tiempo de desarrollo	Rápido	Muy rápido	Rápido	Moderado
Hosting y despliegue	Fácil	Fácil	Muy fácil	Moderado
Recomendación	<b>ELEGIDO</b>			

*Nota. Elaboración Propia.*

Ambas tecnologías, combinadas, forman una base sólida para el desarrollo del software médico, asegurando una experiencia de usuario fluida y una gestión eficiente de los datos clínicos.

El cuadro comparativo de lenguajes de desarrollo proporciona una visión integral de las características y ventajas de diferentes lenguajes utilizados en la programación de software orientado a este proyecto. Este análisis abarca aspectos como el Rendimiento, Código Base, Desarrollo, UI, Acceso a APIs nativas, Comunidad y Recomendación con otros sistemas.

#### **4.6. Motor de Base de Datos**

SQL Server es un sistema de gestión de bases de datos relacional desarrollado por Microsoft. Se utilizó SQL Server como base de datos para almacenar la información relevante de usuarios, evaluaciones y registros de deshonestidad académica. Este sistema proporciona un entorno robusto y seguro para el manejo de grandes volúmenes de datos, asegurando la integridad y disponibilidad de la información crítica.

**Ilustración 18: Cuadro Comparativo de Motores de Base de Datos.**

	<b>SQL Server</b>	<b>PostgreSQL</b>	<b>MySQL</b>
Soporte para procedimientos almacenados	Excelente	Muy bueno	Bueno
Rendimiento en operaciones CRUD	Alto	Alto	Alto
Sintaxis de procedimientos	T-SQL	PL/pgSQL	SQL/PSM
Depuración de procedimientos	Integrada en SSMS	Limitada	Limitada
Manejo de transacciones	Robusto	Robusto	Básico
Escalabilidad	Excelente	Muy buena	Buena
Seguridad	Avanzada	Muy buena	Buena
Herramientas de administración	SSMS (potente y completo)	pgAdmin (bueno)	MySQL Workbench (bueno)
Compatibilidad con .NET	Nativa	Vía conectores	Vía conectores
Costo	Licenciado (edición gratuita disponible)	Gratuito (open-source)	Gratuito (open-source)
Soporte empresarial	Microsoft (amplio)	Comunidad y empresas terceras	Oracle (limitado)
Recomendación	<b>ELEGIDO</b>		

*Nota. Elaboración Propia.*

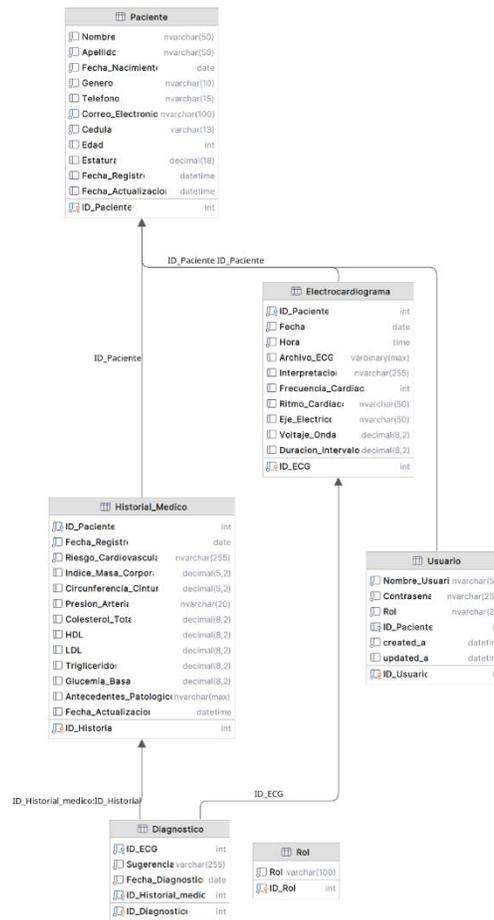
**Virtualización y Empaquetado de la Aplicación**

Docker es una plataforma de contenedores que permite el empaquetado y distribución de aplicaciones de manera independiente del entorno en el que se ejecutan. Se aprovechó Docker para crear contenedores de la propuesta tecnológica, lo cual facilitó la implementación y escalabilidad del software. Al utilizar contenedores de Docker, se garantiza que todo el entorno necesario para ejecutar la aplicación, incluyendo SQL Server, se empaquete junto con la aplicación, permitiendo una mayor portabilidad y consistencia entre diferentes entornos de desarrollo y producción.

**Modelo Entidad – Relación.**

El modelo entidad-relación (ER) desarrollado para este proyecto se basa en un enfoque transaccional que garantiza la integridad y consistencia de los datos clínicos almacenados. En este contexto, el modelo ER está compuesto por las tablas Paciente, Usuario, Historial Médico, Electrocardiograma, Diagnóstico y Rol, cada una con sus respectivas relaciones y atributos definidos para soportar la transaccionalidad del sistema. Este diseño permite realizar operaciones orientadas al sistema y consultas de manera eficiente, asegurando que los datos sensibles de los pacientes y usuarios se manejen de forma segura y precisa.

**Ilustración 19: Diagrama Entidad Relación de la Base de Datos.**



*Nota. Elaboración Propia.*

#### 4.7. Rutas APIs.

Las rutas API constituyen los puntos de acceso a las diferentes funcionalidades del sistema, permitiendo la interacción y comunicación entre los componentes del software y los servicios externos. Se han diseñado considerando la eficiencia, asegurando que las solicitudes y respuestas sean procesadas de manera rápida y segura.

## Ilustración 20: Rutas API de la Aplicación

```
GET|HEAD / ..... ignition.executeSolution > Spatie\LaravelIgnition > ExecuteSolutionController
POST _ignition/execute-solution ..... ignition.executeSolution > Spatie\LaravelIgnition > ExecuteSolutionController
GET|HEAD _ignition/health-check ..... ignition.healthCheck > Spatie\LaravelIgnition > HealthCheckController
POST _ignition/update-config ..... ignition.updateConfig > Spatie\LaravelIgnition > UpdateConfigController
GET|HEAD api .....
POST api/diagnosticos ..... DiagnosticoController@store
GET|HEAD api/diagnosticos ..... DiagnosticoController@index
POST api/electrocardiogramas ..... EcgController@store
GET|HEAD api/electrocardiogramas ..... EcgController@index
POST api/historiales-medicos ..... HistorialMedicoController@store
GET|HEAD api/historiales-medicos ..... HistorialMedicoController@index
POST api/ingresar ..... AuthController@login
GET|HEAD api/pacientes ..... PacienteController@index
POST api/pacientes ..... PacienteController@store
POST api/registrars ..... AuthController@register
GET|HEAD api/usuarios ..... UsuarioController@index
POST logs/api/clear-cache-all ..... log-viewer.files.clear-cache-all > Opcodes\LogViewer > FilesController@clearCacheAll
POST logs/api/delete-multiple-files ..... log-viewer.files.delete-multiple-files > Opcodes\LogViewer > FilesController@deleteMultipleFiles
GET|HEAD logs/api/files ..... log-viewer.files > Opcodes\LogViewer > FilesController@index
DELETE logs/api/files/{fileIdentifier} ..... log-viewer.files.delete > Opcodes\LogViewer > FilesController@delete
POST logs/api/files/{fileIdentifier}/clear-cache ..... log-viewer.files.clear-cache > Opcodes\LogViewer > FilesController@clearCache
GET|HEAD logs/api/files/{fileIdentifier}/download ..... log-viewer.files.download > Opcodes\LogViewer > FilesController@download
GET|HEAD logs/api/files/{fileIdentifier}/download/request ..... log-viewer.files.request-download > Opcodes\LogViewer > FilesController@requestDownload
GET|HEAD logs/api/folders ..... log-viewer.folders > Opcodes\LogViewer > FoldersController@index
DELETE logs/api/folders/{folderIdentifier} ..... log-viewer.folders.delete > Opcodes\LogViewer > FoldersController@delete
POST logs/api/folders/{folderIdentifier}/clear-cache ..... log-viewer.folders.clear-cache > Opcodes\LogViewer > FoldersController@clearCache
GET|HEAD logs/api/folders/{folderIdentifier}/download ..... log-viewer.folders.download > Opcodes\LogViewer > FoldersController@download
GET|HEAD logs/api/folders/{folderIdentifier}/download/request ..... log-viewer.folders.request-download > Opcodes\LogViewer > FoldersController@requestDownload
GET|HEAD logs/api/hosts ..... log-viewer.hosts > Opcodes\LogViewer > HostsController@index
GET|HEAD logs/api/logs ..... log-viewer.logs > Opcodes\LogViewer > LogsController@index
GET|HEAD logs/{view?} ..... log-viewer.index > Opcodes\LogViewer > IndexController
GET|HEAD sanctum/csrf-cookie ..... sanctum.csrf-cookie > Laravel\Sanctum > CsrfCookieController@show
```

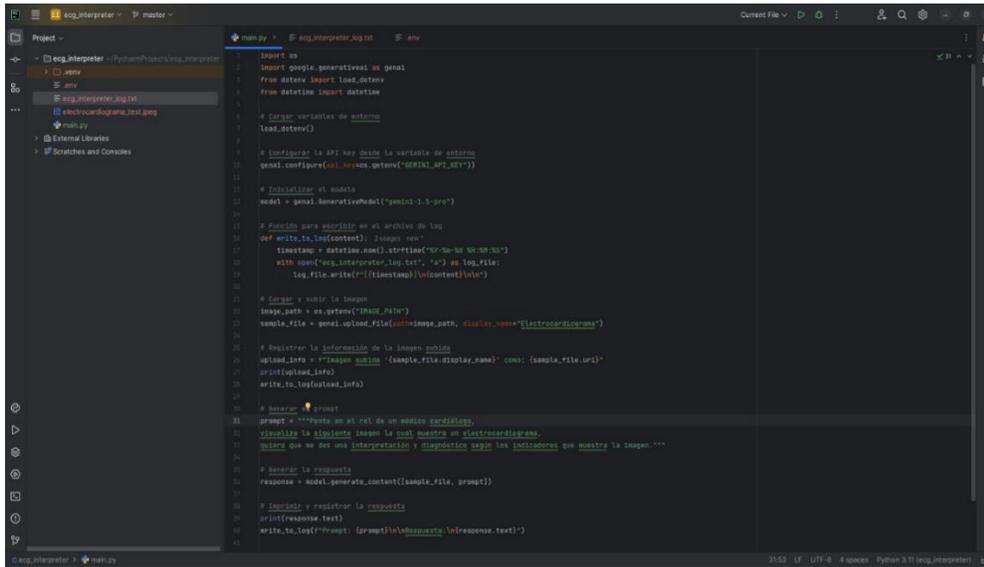
Showing [32] routes

Nota. Captura de Pantalla realizada por el Autor.

### 4.8. Ejecución de la IA a través de una API en Python.

Para este proyecto, se desarrolló una API en Python que facilita la interacción entre la aplicación y los modelos de IA implementados. Esto permite enviar datos a la API, procesarlos mediante los modelos de IA y recibir respuestas en tiempo real con el propósito de, realizar una interpretación sobre un Electrocardiograma proporcionado por el usuario.

## Ilustración 21: Ejecución de modelo de IA, a través de Python.



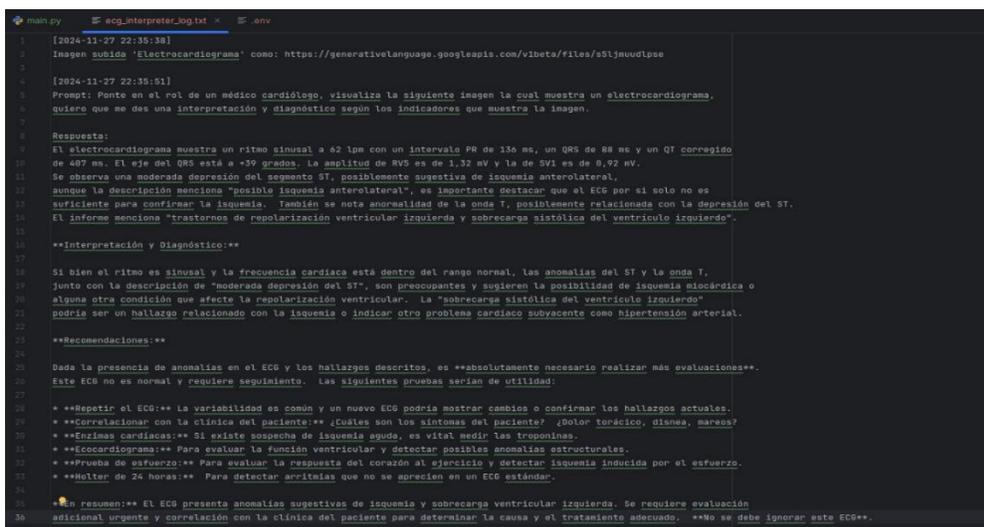
```
1 import os
2 import google.generativeai as genai
3 from dotenv import load_dotenv
4 from datetime import datetime
5
6 # Cargar variables de entorno
7 load_dotenv()
8
9 # Configurar la API key usando la variable de entorno
10 genai.configure(api_key=os.getenv("SERVINT_API_KEY"))
11
12 # Inicializar el modelo
13 modelo = genai.GenerativeModel("gemini-1.5-pro")
14
15 # Ruta para acceder al archivo de log
16 def write_to_log(content):
17     timestamp = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
18     with open("ecg_interpreter_log.txt", "a") as log_file:
19         log_file.write(f"{timestamp}\n{content}\n")
20
21 # Cargar y subir la imagen
22 image_path = os.getenv("IMAGE_PATH")
23 sample_file = genai.upload_file(path=image_path, display_name="Electrocardiograma")
24
25 # Registrar la información de la imagen subida
26 upload_info = f"Imagen subida {sample_file.display_name} como: {sample_file.uri}"
27 print(upload_info)
28 write_to_log(upload_info)
29
30 # Generar el prompt
31 prompt = """Ponte en el rol de un médico cardiólogo,
32 visualiza la siguiente imagen la cual muestra un electrocardiograma,
33 quiero que me des una interpretación y diagnóstico según los indicadores que muestra la imagen."""
34
35 # Generar la respuesta
36 response = modelo.generate_content([sample_file, prompt])
37
38 # Imprimir y registrar la respuesta
39 print(response.text)
40 write_to_log(f"Prompt: {prompt}\n\nRespuesta: {response.text}")
```

Nota. Captura de Pantalla realizada por el Autor.

### 4.9. Respuesta del API en un log de Ejecución.

La respuesta del API en un log de ejecución permite monitorear y depurar el rendimiento del modelo, ofreciendo una visión detallada de cómo los datos son procesados y los resultados generados. Esta transparencia es esencial para ajustar continuamente los modelos de IA, asegurando que el sistema evolucione y se adapte a nuevas necesidades.

## Ilustración 22: Respuesta del API en un Log.



```
1 [2024-11-27 22:35:38]
2 Imagen subida 'Electrocardiograma' como: https://generativelanguage.googleapis.com/v1beta/files/s51jmuudlpse
3
4 [2024-11-27 22:35:51]
5 Prompt: Ponte en el rol de un médico cardiólogo, visualiza la siguiente imagen la cual muestra un electrocardiograma,
6 quiero que me des una interpretación y diagnóstico según los indicadores que muestra la imagen.
7
8 Respuesta:
9 El electrocardiograma muestra un ritmo sinusal a 62 lpm con un intervalo PR de 134 ms, un QRS de 88 ms y un QT corregido
10 de 407 ms. El eje del QRS está a +39 grados. La amplitud de RV5 es de 1.32 mV y la de SV1 es de 0.92 mV.
11 Se observa una moderada depresión del segmento ST, posiblemente sugestiva de isquemia anterolateral,
12 aunque la descripción menciona "posible isquemia anterolateral", es importante destacar que el ECG por sí solo no es
13 suficiente para confirmar la isquemia. También se nota anomalías de la onda T, posiblemente relacionadas con la depresión del ST.
14 El informe menciona "trastornos de repolarización ventricular izquierda y sobrecarga sistólica del ventrículo izquierdo".
15
16 **Interpretación y Diagnóstico:**
17
18 Si bien el ritmo es sinusal y la frecuencia cardíaca está dentro del rango normal, las anomalías del ST y la onda T,
19 junto con la descripción de "moderada depresión del ST", son preocupantes y sugieren la posibilidad de isquemia miocárdica o
20 alguna otra condición que afecte la repolarización ventricular. La "sobrecarga sistólica del ventrículo izquierdo"
21 podría ser un hallazgo relacionado con la isquemia o indicar otro problema cardíaco subyacente como hipertensión arterial.
22
23 **Recomendaciones:**
24
25 Dada la presencia de anomalías en el ECG y los hallazgos descritos, es **absolutamente necesario realizar más evaluaciones**.
26 Este ECG no es normal y requiere seguimiento. Las siguientes pruebas serían de utilidad:
27
28 • **Repetir el ECG:** La variabilidad es común y un nuevo ECG podría mostrar cambios o confirmar los hallazgos actuales.
29 • **Correlacionar con la clínica del paciente:** ¿Cuáles son los síntomas del paciente? ¿Dolor torácico, disnea, mareos?
30 • **Enzimas cardíacas:** Si existe sospecha de isquemia aguda, es vital medir las troponinas.
31 • **Ecocardiograma:** Para evaluar la función ventricular y detectar posibles anomalías estructurales.
32 • **Prueba de esfuerzo:** Para evaluar la respuesta del corazón al ejercicio y detectar isquemia inducida por el esfuerzo.
33 • **Monitor de 24 horas:** Para detectar arritmias que no se aprecien en un ECG estándar.
34
35 📌 Resumen: El ECG presenta anomalías sugestivas de isquemia y sobrecarga ventricular izquierda. Se requiere evaluación
36 adicional urgente y correlación con la clínica del paciente para determinar la causa y el tratamiento adecuado. **No se debe ignorar este ECG**.
```

#### 4.10. Servidor

El servidor Apache ha sido seleccionado como el servidor web para esta propuesta tecnológica debido a su robustez, seguridad y flexibilidad. Apache es un servidor web de código abierto que ha dominado el mercado por décadas debido a su capacidad para manejar una gran cantidad de solicitudes simultáneas y su amplia compatibilidad con diferentes tecnologías y sistemas operativos. Su arquitectura modular permite una configuración personalizada, adaptándose a las necesidades específicas del proyecto, incluyendo la integración con Docker y SQL Server.

**Ilustración 23: Cuadro Comparativo de Tipos de Servidores.**

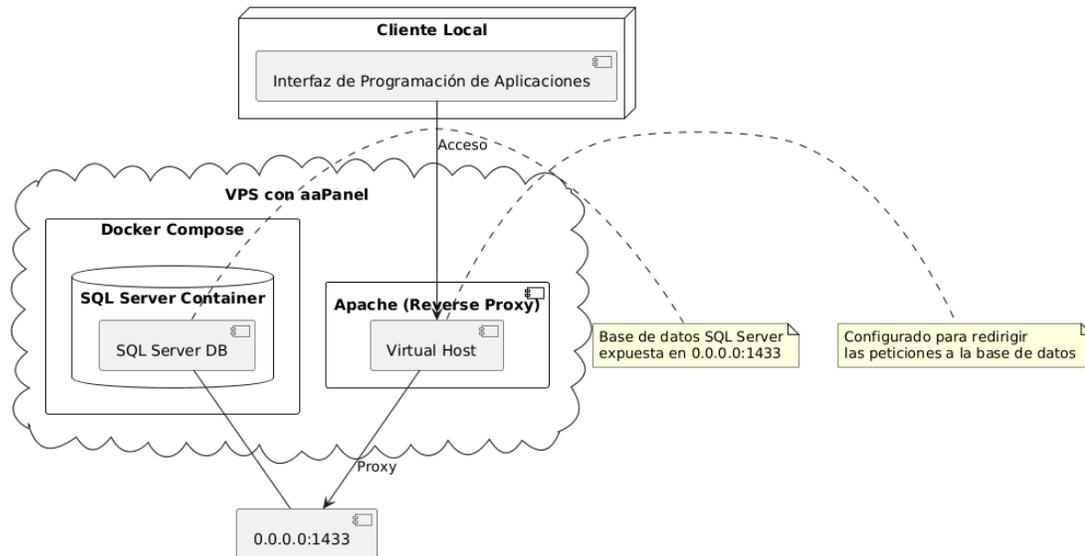
	<b>Apache</b>	<b>Nginx</b>	<b>IBM WebSphere</b>
Tipo de servidor	Servidor web y de aplicaciones	Principalmente servidor web	Servidor de aplicaciones empresarial
Rendimiento	Bueno	Excelente	Muy bueno
Consumo de recursos	Moderado	Bajo	Alto
Escalabilidad	Buena	Excelente	Excelente
Configuración	Flexible y bien documentada	Simple y eficiente	Compleja pero potente
Módulos y extensiones	Amplia variedad	Limitado pero extensible	Amplia variedad de características empresariales
Soporte para lenguajes	PHP, Python, Perl, etc.	Limitado (vía FastCGI)	Java EE, WebSphere runtime
Compatibilidad con CMS	Excelente (WordPress, Drupal, etc.)	Buena	Limitada
Seguridad	Buena	Muy buena	Excelente
Curva de aprendizaje	Moderada	Baja	Alta
Comunidad y soporte	Grande y activa	Grande y creciente	Limitada a clientes empresariales
Costo	Gratuito (open-source)	Gratuito (open-source)	Licenciado (costo elevado)
Ideal para	Sitios web dinámicos, aplicaciones PHP	Sitios estáticos, proxy inverso, balanceo de carga	Aplicaciones empresariales Java
Facilidad de despliegue en VPS	Muy fácil	Fácil	Complejo
Documentación	Extensa	Buena	Extensa pero técnica
Recomendación	<b>ELEGIDO</b>		

*Nota. Elaboración Propia.*

#### 4.11. Diagrama de Arquitectura local de Transaccionalidad

El diagrama muestra un uso concreto utilizando tecnologías como Docker, Apache y SQL Server. Docker permite la creación de entornos de desarrollo y producción consistentes, mientras que Apache, configurado como proxy inverso, se encarga de enrutar las solicitudes de los clientes. La base de datos SQL Server, alojada en un contenedor Docker, proporciona un almacenamiento confiable y escalable para los datos de la aplicación. aaPanel, como panel de control del VPS, facilita la administración del servidor.

**Ilustración 24: Diagrama de Arquitectura local de Transaccionalidad.**



*Nota. Elaboración Propia.*

#### 4.12. Arquitectura de la Interfaz gráfica de usuario – Cliente

Este diagrama representa la estructura interna y la organización de una aplicación móvil desarrollada utilizando el framework Flutter. Visualmente, nos muestra cómo se conectan y relacionan las diferentes partes de la aplicación para funcionar de manera conjunta.

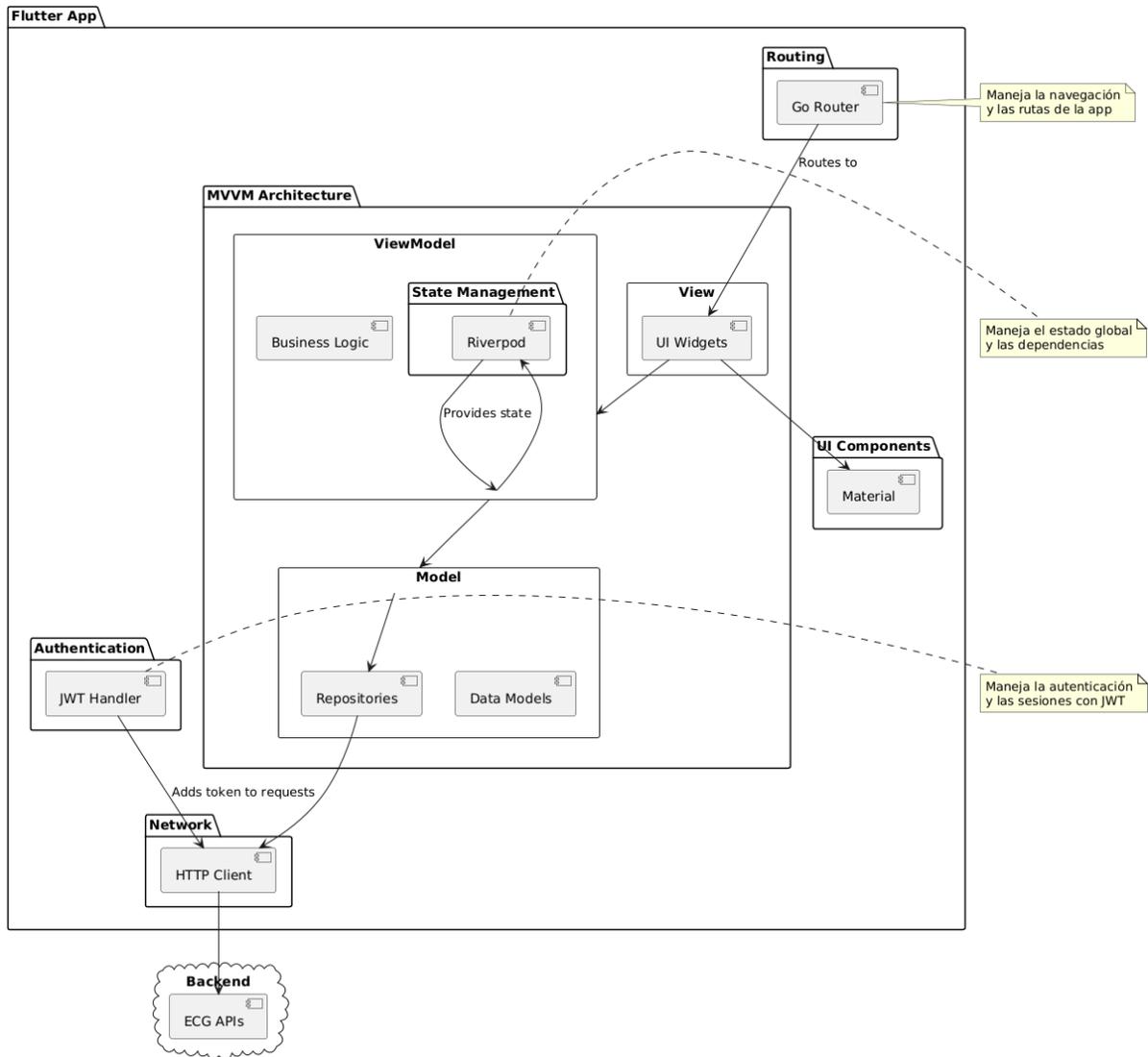
##### **Componentes Principales y sus Funciones:**

- **Flutter App:** Representa la aplicación en su conjunto, que es construida utilizando el framework Flutter.
- **Arquitectura MVVM:** Es el patrón de arquitectura que se sigue para organizar el código de la aplicación. Separa la interfaz de usuario (View), la lógica de negocio (ViewModel) y los datos (Model) en componentes distintos.
- **View:**

- **UI Widgets:** Son los elementos visuales que componen la interfaz de usuario, como botones, textos, imágenes, etc.
- **UI Components:** Se refiere a componentes predefinidos de la interfaz de usuario, como los proporcionados por el framework Material Design.
- **ViewModel:**
  - **State Management:** Gestiona el estado de la aplicación, es decir, los datos que cambian con el tiempo y que afectan la apariencia de la interfaz.
  - **Riverpod:** Es una librería específica para la gestión del estado en Flutter, utilizada en este caso.
  - **Business Logic:** Contiene la lógica de negocio de la aplicación, es decir, las reglas y cálculos que se realizan sobre los datos.
- **Model:**
  - **Data Models:** Definen la estructura de los datos que se utilizan en la aplicación, como los datos de un usuario o los resultados de un electrocardiograma.
  - **Repositories:** Son clases que se encargan de interactuar con la base de datos o con servicios externos para obtener y guardar datos.
- **Authentication:**
  - **JWT Handler:** Gestiona la autenticación de usuarios utilizando tokens JWT (JSON Web Tokens). Se encarga de agregar los tokens a las solicitudes HTTP para verificar la identidad del usuario.
- **Network:**
  - **HTTP Client:** Se utiliza para realizar solicitudes HTTP a servicios externos, como la API de un backend.
- **Backend:**

- **ECG APIs:** Son las interfaces de programación de aplicaciones (APIs) que proporcionan los datos de los electrocardiogramas.

**Ilustración 25: Arquitectura de la interfaz de Usuario.**



*Nota. Elaboración Propia*

#### 4.13. Herramientas de Desarrollo.

- **PHP Storm**

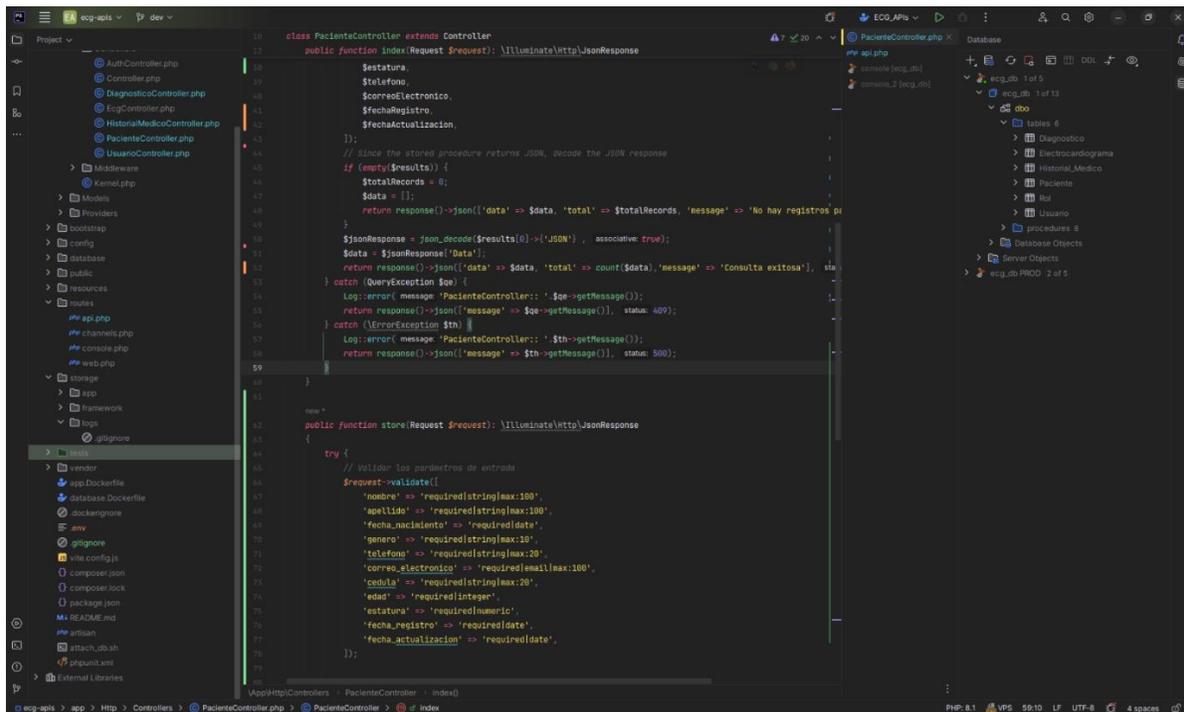
Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) potente y versátil diseñado específicamente para PHP. PHP Storm proporciona una amplia gama de herramientas y características que

facilitan y mejoran significativamente el proceso de desarrollo. Entre sus principales ventajas se encuentran la finalización de código inteligente, navegación eficiente por el código, depuración y pruebas fáciles, integración con sistemas de control de versiones y soporte para múltiples frameworks de PHP, incluidos Laravel.

PHP Storm posee integración con herramientas de desarrollo populares como Composer, Docker y diferentes sistemas de control de versiones, proporciona una solución completa para el desarrollo de aplicaciones web.

Una ventaja adicional para los estudiantes de la Universidad ECOTEC es que PHP Storm es gratuito para ellos. Esto permite a los estudiantes acceder a un entorno de desarrollo profesional y completo sin incurrir en costos adicionales, ayudándoles a aprender y desarrollar proyectos con herramientas que se utilizan ampliamente en la industria.

### Ilustración 26: Herramienta de Desarrollo PHP Storm.



Nota. Captura de Pantalla, realizada por el Autor.

- **DataGrip**

Es una herramienta de administración de bases de datos desarrollada por JetBrains, la misma compañía detrás de PHP Storm. DataGrip proporciona una plataforma intuitiva y poderosa para la administración de bases de datos, compatible con varios sistemas de gestión de bases de datos como SQL Server, MySQL, PostgreSQL.

DataGrip también ofrece un amplio soporte para el desarrollo colaborativo, integrándose con sistemas de control de versiones y proporcionando herramientas para la revisión y comparación de esquemas de bases de datos. Esto permite a los desarrolladores trabajar de manera más eficiente y minimizar los errores en las consultas y modificaciones de bases de datos.

DataGrip es gratuito para los estudiantes de la Universidad ECOTEC, lo que les permite acceder a un entorno de desarrollo profesional sin costo adicional. Esta disponibilidad gratuita es una gran ventaja para los estudiantes, ya que pueden familiarizarse con herramientas de nivel industrial que mejorarán sus habilidades.

- **Postman**

Postman es una herramienta potente y popular para el desarrollo y prueba de APIs (Application Programming Interfaces). Proporciona una interfaz gráfica de usuario intuitiva que permite a los desarrolladores construir, probar y documentar sus APIs de manera eficiente. Con Postman, los desarrolladores pueden enviar solicitudes HTTP, analizar las respuestas y automatizar las pruebas, lo que facilita el proceso de desarrollo y garantiza la calidad del software.

En el presente proyecto, Postman juega un papel crucial al permitir la validación y prueba exhaustiva de las APIs utilizadas. Su capacidad para automatizar las pruebas ayuda a identificar y corregir errores rápidamente, asegurando que las integraciones entre los distintos componentes del sistema sean robustas y funcionales. Además, al proporcionar un entorno colaborativo.

#### **4.14. Pruebas Unitarias para el Sistema.**

En el contexto de este proyecto, las pruebas unitarias, han sido fundamentales para asegurar la calidad del prototipo entregado al cliente. A través de estas medidas, hemos podido identificar y resolver errores de manera eficiente, permitiendo que las integraciones entre los distintos componentes del sistema sean robustas y funcionales. Esto no solo mejora la estabilidad del software, sino que también aumenta la confianza del cliente en el producto final.

Gracias a la implementación rigurosa de pruebas, el prototipo que entregamos está completamente probado y verificado. En resumen, las pruebas unitarias y de integración no solo mejoran la calidad del software, sino que también aseguran una entrega satisfactoria y confiable al cliente.

En el contexto de este proyecto, las pruebas se centraron exclusivamente en las pruebas unitarias, tal como se declaró en el alcance del proyecto. Estas pruebas son esenciales para verificar que cada unidad individual de código funcione correctamente de manera aislada. Gracias a estas pruebas unitarias, hemos podido identificar y corregir errores en las etapas tempranas del desarrollo, asegurando que cada componente del sistema funcione como se espera.

El documento que detalla los resultados de cada prueba realizada, conocido como el Documento de Pruebas Unitarias, se encuentra en los anexos de este informe. Este documento proporciona un análisis exhaustivo de todas las pruebas unitarias ejecutadas, describiendo los resultados obtenidos. En resumen, las pruebas unitarias han sido fundamentales para asegurar la calidad del prototipo entregado al cliente, permitiendo una entrega satisfactoria y confiable.

#### **4.15. Análisis de la Entrevista realizada con el médico Especialista**

- **El uso de los ECG en el Monitoreo y Control de Enfermedades Cardiovasculares**

El uso del electrocardiograma (ECG) ha demostrado ser una herramienta invaluable en el monitoreo y control de las enfermedades cardiovasculares. Según el especialista entrevistado, el ECG es fundamental para observar la evolución de un infarto en pacientes. La realización constante de ECGs permite verificar si el paciente presenta arritmias y evaluar si el problema cardíaco se ha normalizado. Además, el ECG proporciona una constancia física de los exámenes realizados, lo que es crucial para el seguimiento médico

- **Impacto del Desarrollo Tecnológico en la Prevención de Enfermedades Cardiovasculares**

La evolución tecnológica ha facilitado significativamente la realización de exámenes cardiovasculares. En el pasado, la toma de exámenes era complicada debido a la interferencia entre dispositivos de medición. Hoy en día, la tecnología no solo ha mejorado el tiempo y la usabilidad de estos exámenes, sino también la toma de decisiones médicas. Este avance tecnológico ha hecho que la prevención y detección temprana de enfermedades cardiovasculares sea más eficiente y precisa.

- **Contribución de la IA en el Estudio de Enfermedades Cardiovasculares**

Aunque el especialista entrevistado no ha utilizado directamente la inteligencia artificial (IA) para el estudio de enfermedades cardiovasculares, reconoce que el desarrollo de sistemas tecnológicos orientados al sector médico ha facilitado el estudio y seguimiento de los pacientes. La IA permite la verificación de datos históricos y el acceso a información clínica de manera más rápida y precisa, mejorando así la capacidad de los médicos para tomar decisiones informadas

- **Uso de IA en el Análisis de Datos de ECG**

El entrevistado está de acuerdo en utilizar la IA para mejorar los análisis de datos de los ECG y obtener mejores resultados para sus pacientes. Destaca que la IA, al tener acceso a historiales de información de los pacientes, puede facilitar el proceso de diagnóstico y ofrecer una herramienta valiosa para los profesionales de la salud.

- **Aspectos Éticos y de Privacidad en el Uso de IA**

El uso de IA en el análisis de datos médicos como los ECG plantea importantes preocupaciones éticas y de privacidad. El especialista enfatiza el compromiso de no revelar datos personales a terceros, considerando este aspecto como delicado y esencial para mantener la confianza de los pacientes y cumplir con las normativas de privacidad.

En resumen, la entrevista resalta la importancia del ECG en el monitoreo de enfermedades cardiovasculares, el impacto positivo del avance tecnológico en la prevención y diagnóstico, y el potencial de la IA para mejorar los análisis médicos, siempre y cuando se respeten estrictamente los aspectos éticos y de privacidad.

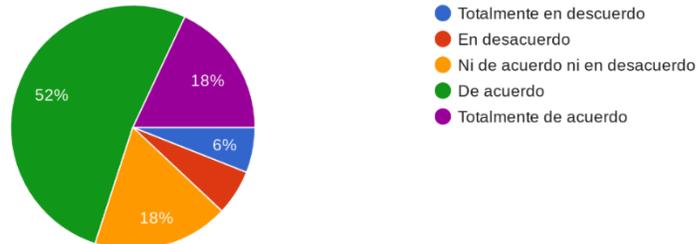
#### **4.16. Encuesta realizada.**

La encuesta realizada abarcó a 50 personas, entre las que se encontraban estudiantes, internos, médicos y residentes, todos ellos del área de la salud. Los resultados obtenidos proporcionan una visión integral y diversificada sobre la percepción y el uso de la inteligencia artificial en el campo de la cardiología.

### Ilustración 27: Resultados de Pregunta 1

¿En qué medida considera que los modelos de inteligencia artificial (IA) pueden mejorar la precisión en la detección de enfermedades cardiovasculares a través del análisis de datos de ECG?

50 respuestas



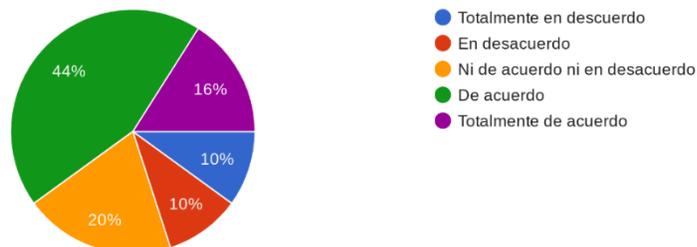
Nota: Elaboración Propia

A partir de la gráfica mostrada se pudo observar las personas confían que el uso de las IA puede dar una mejora en los resultados en los análisis de datos de ECG, ya que el 70% de personas se encuentran en un completo o parcial acuerdo. Con este dato se puede concluir que parte del proceso de evolución de los avances tecnológicos pueden dar la ayuda necesaria para mejorar los resultados que ya de por sí dan las máquinas de evaluación de actividades cardíacas.

### Ilustración 28: Resultados de Pregunta 2.

¿Cree que la implementación de herramientas basadas en IA para el análisis de ECG puede optimizar su práctica clínica en el manejo de enfermedades cardiovasculares?

50 respuestas



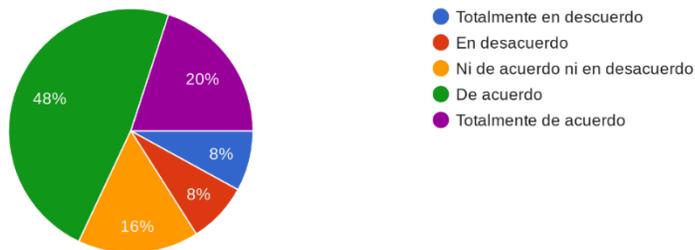
Nota: Elaboración Propia.

Los resultados en la pregunta número 2 da a conocer un valor similar a los vistos en la pregunta número 1, ya que las personas consideraron que el uso de las herramientas mejora con mucho el resultado de los ECG en las prácticas médicas. Con un resultado del 60% se puede concluir que los encuestados aprueban el uso de las herramientas con IA.

**Ilustración 29: Resultados de Pregunta 3.**

¿Está dispuesto(a) a utilizar herramientas basadas en IA como apoyo en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardiovasculares?

50 respuestas



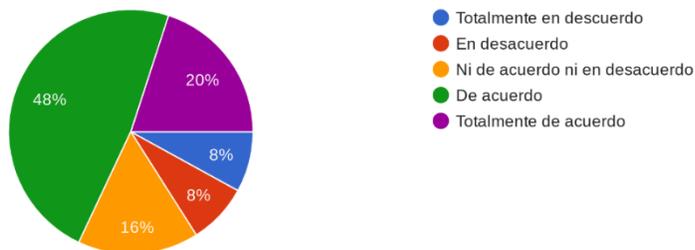
Nota: Elaboración Propia.

Al igual que lo visto en la pregunta número 1, las personas consideraron apropiado el uso de las IA en sus diferentes actividades donde se realicen diagnósticos cardiovasculares. En este caso el tener un valor mayor al 60% da a entender que los encuestados buscan el uso de las herramientas con IA para la mejora de resultados de los ECG.

**Ilustración 30: Resultados de Pregunta 4.**

¿Está dispuesto(a) a utilizar herramientas basadas en IA como apoyo en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardiovasculares?

50 respuestas



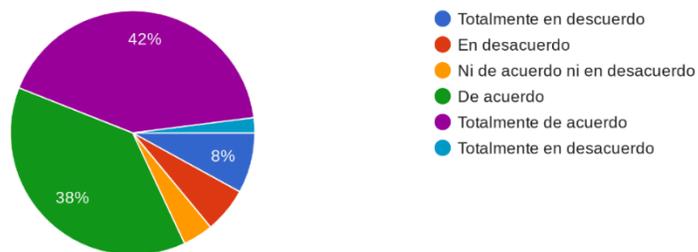
Nota: Elaboración Propia.

Bajo los resultados que se tiene en esta pregunta, se observó que si bien es cierto que hay un porcentaje muy alto que considera que la implementación de las herramientas IA ayudan en la práctica clínica, el valor del principio ético, que es la base de la medicina, implica que los resultados puedan ser vistos por demás personas. De ahí que, aunque haya acuerdo, el resultado es bajo en comparación con las respuestas de las preguntas anteriores.

### Ilustración 31: *Resultados de Pregunta 5.*

¿Considera necesario recibir capacitación adicional para comprender e implementar herramientas basadas en inteligencia artificial en el análisis de datos médicos?

50 respuestas



Nota: Elaboración Propia.

Finalmente, en la última pregunta se observó que los encuestados tienen interés en el uso de las IA en sus actividades, pero para saber su alcance y posterior uso se debe de hacer capacitaciones; de tal forma que podrían comprender el correcto funcionamiento de las IA en los análisis de datos. El tener un resultado de 80% de aprobación da a entender que las personas buscan mejorar sus diferentes habilidades con el uso de las IA.

#### 4.17. Documento de Pruebas Funcionales.

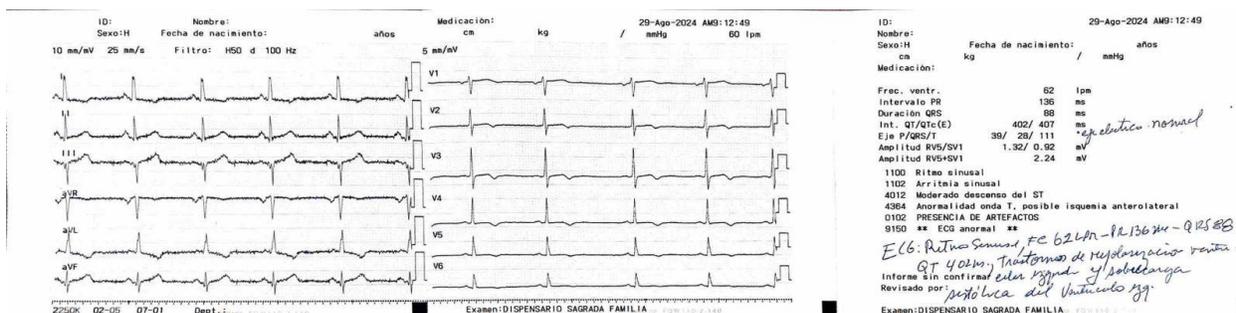
Se verificó con el beneficiario el correcto funcionamiento de los módulos del sistema, y estos están declarados en los anexos correspondientes. Este proceso incluyó una revisión

minuciosa de cada módulo para asegurar que cumpliera con los requerimientos establecidos y que operara de manera eficiente dentro del entorno clínico.

#### 4.18. Cuadro Comparativo sobre Interpretaciones de ECGs

A continuación, se detalla mediante una tabla, las interpretaciones de ECGs, por parte del Médico Especialista y el generado por el modelo de IA.

**Ilustración 32: Electrocardiograma proporcionado por el Beneficiario.**



**Tabla 4: Tabla Comparativa de Interpretaciones de ECG Original contra Entregable.**

Interpretación de Médico Especialista	Interpretación de IA
<p>Ritmo Sinusal, trastornos de repolarización ventricular izquierda y sobrecarga sistólica del ventrículo izquierdo.</p> <p>"El electrocardiograma (ECG) no evidencia un descenso del segmento ST recto y superior a 1 mm, criterio diagnóstico de isquemia miocárdica. En las derivaciones D1 y AVL se observa un descenso ST asimétrico, patrón no característico de isquemia.</p> <p>En las precordiales V1 a V6, únicamente del V4 al V6 se aprecia un posible descenso ST sugerente de isquemia anterolateral. Sin embargo, dada la naturaleza dinámica de los procesos isquémicos y la</p>	<p>El corazón late más lento de lo normal y presenta cambios que sugieren que parte del músculo cardíaco podría no estar recibiendo suficiente sangre. Estos cambios se ven principalmente en la parte frontal izquierda del corazón.</p> <p><b>¿Qué significa esto?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corazón lento:</b> El ritmo cardíaco está más bajo de lo esperado.</li> <li>• <b>Posible falta de riego:</b> Los cambios en el electrocardiograma indican que una parte del corazón podría no estar recibiendo suficiente oxígeno. Esto se conoce como isquemia.</li> </ul>

<p>limitación de un solo ECG para confirmar el diagnóstico, se prefiere la descripción de 'alteraciones de la repolarización ventricular izquierda'."</p>	<p style="text-align: center;"><b>¿Qué hacer?</b></p> <p>Es importante que consultes a un médico lo antes posible. El médico solicitará más pruebas para confirmar el diagnóstico y determinar el tratamiento más adecuado. Estas pruebas podrían incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Repetir el electrocardiograma:</b> Para ver si los cambios persisten.</li> <li>• <b>Análisis de sangre:</b> Para medir enzimas cardíacas que puedan indicar daño en el corazón.</li> <li>• <b>Ecocardiograma:</b> Una ecografía del corazón para evaluar su estructura y función.</li> <li>• <b>Prueba de esfuerzo:</b> Para ver cómo responde el corazón al ejercicio.</li> </ul> <p><b>En resumen,</b> los resultados del electrocardiograma son preocupantes y requieren una evaluación médica inmediata.</p>
---	---

Ambas interpretaciones sugieren la presencia de alteraciones en el corazón, principalmente en la parte izquierda. Los cambios observados indican que el corazón podría estar trabajando más de lo normal y que podría haber una disminución en el flujo sanguíneo hacia una parte del músculo cardíaco. Sin embargo, para confirmar un diagnóstico preciso de isquemia o determinar la causa exacta de estos cambios, se requieren estudios adicionales como una prueba de esfuerzo o un ecocardiograma.

Como parte del beneficiario, señalo que el modelo genera interpretaciones que son potencialmente viables para el diagnóstico de enfermedades cardíacas, las recomendaciones

generadas por el modelo fueron del agrado de este y considera que esto beneficiara a los pacientes que padecen este tipo de enfermedades.

## **5. Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones**

La aplicación Web fue desarrollada con el objetivo de mejorar la precisión de los diagnósticos de enfermedades cardiacas, mediante el uso de un modelo de LLM, además que fue apoyado con CNN; esto permitió realizar comparaciones, con las interpretaciones humanas del especialista y con las generadas por el modelo de IA. Estas comparaciones causaron una semejanza entre los valores del especialista con los de la aplicación, con lo que se demostró que tiene un potencial para reducir tanto errores humanos como tecnológicos; lo cual conllevó a que se realicen mejores diagnósticos y se puedan realizar tratamientos óptimos para cada paciente.

A través del análisis de este proyecto, se identificó factores clave en el diagnóstico cardiológico y su impacto en la calidad de vida de los pacientes. Los resultados mostraron que la precisión en el diagnóstico y tratamiento fueron fundamentales para mejorar la salud y el bienestar de los pacientes. Sin embargo, se detectaron razones de diagnósticos y tratamientos incorrectos que incluyen la falta de actualización de conocimientos médicos, la insuficiencia de recursos tecnológicos y situaciones generadas por el mal manejo de la información.

En la sección de resultados, se documentó el desarrollo exitoso del módulo del sistema para la gestión de registros médicos, historias clínicas y un módulo específico para la verificación de electrocardiogramas (ECG) con interpretación apoyada por inteligencia artificial. Estos módulos demostraron ser efectivos en la gestión eficiente y precisa de la información médica, facilitando tanto el almacenamiento como la recuperación de datos clínicos críticos. La implementación de inteligencia artificial en la interpretación de ECG mostró un potencial

significativo para mejorar la precisión diagnóstica y agilizar los procesos de evaluación cardiológica.

Los resultados de las pruebas unitarias confirmaron la funcionalidad y coherencia del sistema desarrollado. Cada módulo fue sometido a una validación minuciosa para asegurar que cumpliera con los requerimientos establecidos y operara de manera eficiente en el entorno clínico. La verificación incluyó la revisión exhaustiva de cada componente del sistema, asegurando su rendimiento óptimo y fiabilidad. Estos hallazgos validan la efectividad del proceso de desarrollo y pruebas, y respaldan la implementación del sistema en entornos clínicos reales a largo plazo, donde su uso puede tanto mitigar como reducir, los errores en los diagnósticos médicos.

## **5.2. Recomendaciones.**

Es imperativo que en futuras versiones del sistema se incluya una capa de seguridad avanzada para proteger la información médica sensible, esto implica la adopción de tecnologías modernas de cifrado y autenticación, asegurando que sólo personal autorizado tenga acceso a los datos. La implementación de estas medidas de seguridad no solo protegerá la privacidad de los pacientes, sino que también cumplirá con los estándares internacionales de protección de datos en el ámbito de la salud.

La aplicación debe tener actualizaciones constantes, esto debido a los nuevos parámetros que van a ingresar en el centro, así también como los diferentes diagnósticos que se hagan a diferentes enfermedades. Dichas actualizaciones incluirán el desarrollo continuo de nuevas funcionalidades, así como delegar la monitorización constante para detectar y mitigar cualquier posible amenaza de seguridad. Esto garantizará que el sistema se mantenga robusto y seguro, además de innovador y adaptado a las necesidades cambiantes. Hay que tener en

cuenta, el crecimiento de los datos y procesamiento del centro médico, ya que si este incrementa, se tendrá que considerar realizar gastos adicionales en el servicio de la aplicación.

Además, de las actualizaciones que tenga el software, es fundamental implementar programas de capacitación continua con los usuarios que utilicen el sistema. Estas capacitaciones deben enfocarse en la actualización de conocimientos médicos, el uso eficiente de las tecnologías disponibles y la adopción de un enfoque interdisciplinario en la evaluación y tratamiento de los pacientes. La formación constante contribuirá significativamente a la mejora de la precisión diagnóstica y de los resultados clínicos.

## 6. Bibliografía.

- Ahmad, A., Attique, M., Younus, M., Mohaia, M., Nam, Y., Choi, J., . . . Tariq, U. (2022). Human Gait Recognition Using Deep Learning and Improved Ant Colony Optimization. *Computers, Materials & Continua*, 70(2), 2261-2276. doi:<http://dx.doi.org/10.32604/cmc.2022.018270>
- AiDuwaile, D., & Saiful, I. (2021). Using Convolutional Neural Network and a Single Heartbeat for ECG Biometric Recognition. *Entropy*, 23(6), 733. doi:<https://doi.org/10.3390/e23060733>
- Anisuzzaman, D. (29 de Noviembre de 2024). *Fine-Tuning LLMs for Specialed Use Cases*. Obtenido de Science Direct: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949761224001147?ref=pdf\\_download&fr=RR-2&rr=8ef200adf8f0d9b9](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949761224001147?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8ef200adf8f0d9b9)
- Arq Bras Cardiol. (2002). Revisão das II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia para o diagnóstico e tratamento da insuficiência cardíaca. *Sociedade Brasileira de Cardiologia*, 1-30.
- Atamañuk N, B. G. (2009). Diagnostico etiologico y funcional de la insuficiencia cardiaca. *Grados de Insuficiencia Cardíaca*, 59-65.
- Attia, Z. (7 de Septiembre de 2019). An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *PubMed*, 394(10201), 861 -867. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31378392/>
- Attia, Z., Harmon, D., Behr, E., & Friedman, P. (2021). Application of artificial intelligence to the electrocardiogram. *European Heart Journal*, 42, 4717-4730. Obtenido de [https://watermark.silverchair.com/ehab649.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW\\_Ercy7Dm3ZL\\_9Cf3qfKAc485ysgAAA2AwggNcBgkqhkiG9w0BBwagggNNMIIDSQIBADC](https://watermark.silverchair.com/ehab649.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAA2AwggNcBgkqhkiG9w0BBwagggNNMIIDSQIBADC)

- CA0IGCSqGS1b3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM9-  
35CRH2OPr0\_KHpAgEQgIIDE5KZYIEJc1fncrYh5llo5m-JLIt\_YQXCO\_avril3USiMdDi
- Avanzato, R., & Beritelli, F. (2020). Automatic ECG Diagnosis Using Convolutional Neural Network. *Electronics*, 9(6), 951. doi:<https://doi.org/10.3390/electronics9060951>
- Changling, L., Hang, Z., Wei, L., Xiaochang, L., Li, W., Xintan, L. Y., . . . Jianping, X. (2021). DeepECG: Image-based electrocardiogram interpretation with deep convolutional neural networks. *Biomedical Signal Processing and Control*, 69. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102824>
- Cheitlin MD, A. W. (2003). Guideline Update for the clinical application in Echocardiography. *A report of the American College of Cardiology / American Heart Association Task Force on Practical Guidelines*.
- Coad, P. L. (1999). *Java Modelling in Color with UML: Enterprise Components and Process*. Prentice Hall.
- Departamento de Fisiología UNAM. (2023). *Estudio de la actividad eléctrica del corazón: Fundamentos biofísicos del electrocardiograma*. Facultad de Medicina. Obtenido de <https://fisiologia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2023/11/Practica-2.-Fundamentos-de-ECG-y-taller-de-interpretacion.pdf>
- Dorado, P., Sampedro, J., Vicente, V., & Sánchez, P. (2019). Aplicaciones de la inteligencia artificial en cardiología: el futuro ya está aquí. *Revista Española de Cardiología*, 72(12), 1065-1075. Obtenido de <https://www.revespcardiol.org/es-aplicaciones-inteligencia-artificial-cardiologia-el-articulo-S0300893219302507>
- Esteva, A. (7 de Enero de 2019). A guide to deep learning in healthcare. *PubMed*, 25(1), 24-29. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30617335/>
- Farfán, A., Medardo, A., & Ochoa, A. (2022). Infarto agudo de miocardio asociado a COVID-19. Informe de caso. *Revista Eugenio Espejo*, 16(1), 112-121. doi:<https://doi.org/10.37135/ee.04.13.12>

- Farfán, M. M. (2022). Aplicación de la inteligencia artificial en la detección de enfermedades cardiovasculares. *Revista de Ciencias de la Salud*, págs. 45-48.
- Firger. (17 de Abril de 2014). 12 Million American misdiagnosed each year. *CBS News*. Obtenido de <https://www.cbsnews.com/news/12-million-americans-misdiagnosed-each-year-study-says/>
- Garzona, A. (2022). Inteligencia Artificial en Cardiología. *Revista Costarricense de Cardiología*, 24(2), 3-5. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcc/v24n2/1409-4142-rcc-24-02-3.pdf>
- Guijarro, A., Medina, J., Limón, E., & Salazar, A. (2022). Modelo computacional para el diagnóstico preliminar de arritmias Convolucionales. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 15(10), 18-32.
- Hannun, A. (Enero de 2019). Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nature Medicine*. 5(1), 65 - 69.
- Ibáñez, A. (2021). *Implementación de redes neuronales convolucionales en Field-Programmable Logic Arrays*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Obtenido de <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/173839/Ibanez%20-%20Implementacion%20de%20redes%20neuronales%20convolucionales%20en%20Field-Programmable%20Gate%20Arrays.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos . (2019). *Registro Estadístico de Recursos y Actividades de Salud*. Quito: INEC.
- John Hopkins Medicine. (s.f.). Diagnóstico Equivocado | Maryland Abogado de Negligencia Medica. *Abogados de Lesiones Personales en Maryland*. Obtenido de <https://abogado.burgoslaw.com/diagnostico-equivocado.html>
- Laboratorio Rubió. (09 de 04 de 2024). *La IA en la sanidad: Una revolución que ahorra costes*. Obtenido de BioTech: <https://biotech-spain.com/es/articles/la-ia-en-la-sanidad-una-revolucion-que-ahorra-costes/?formCode=MG0AV3>

- Ley Organica de Proteccion de Datos Personales. (2021). Quito, Ecuador: Registro Oficial.
- Márquez, M. (2021). *Modelación matemática de la actividad eléctrica del corazón*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. Obtenido de <https://bindani.izt.uam.mx/downloads/3197xm216?locale=es>
- McCadnless, D. E. (Noviembre de 2024). *Information is Beautiful*. Obtenido de <https://informationisbeautiful.net/visualizations/the-rise-of-generative-ai-large-language-models-llms-like-chatgpt/>
- Ministerio de Salud Pública. (2018). *Encuesta STEPS Ecuador 2018. Vigilancia de enfermedades no transmisibles y factores de riesgo*. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/INFORME-STEPS.pdf>
- Mohan, H., Chatterjee, K., & Dashkevych, S. (2022). The prediction of cardiac abnormality and enhancement in minority class accuracy from imbalanced ECG signals using modified deep neural network models. *Computers in Biology and Medicine*, 150. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.106142>
- Nadour, M., Cherroun, L., & Hadroug, N. (2023). Classification of ECG signals using deep neural networks. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 9(5). Obtenido de <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/16041/8022>
- Noboa, C., Ramirez, A., & Medina, J. (2024). Evaluación de técnicas de inteligencia artificial para predicción de señales de electrocardiograma. Guayaquil. Ecuador. 2023. *Journal Scientific Investigar*, 8(2), 3962-3976. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/381445995\\_Evaluacion\\_de\\_tecnicas\\_de\\_inteligencia\\_artificial\\_para\\_prediccion\\_de\\_senales\\_de\\_electrocardiograma\\_Guayaquil\\_Ecuador\\_2023](https://www.researchgate.net/publication/381445995_Evaluacion_de_tecnicas_de_inteligencia_artificial_para_prediccion_de_senales_de_electrocardiograma_Guayaquil_Ecuador_2023)
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Enfermedades cardiovasculares*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- Palmer, S. R. (2002). *A Practicas Guide to Feature-Driven Development*. Pearson Education.

- Patiño, D., Medina, J., Silva, R., Guijarro, A., & Rodríguez, J. (2023). Predicción de arritmias e infartos agudos de miocardio usando aprendizaje automático. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(29), 79-97. Obtenido de <https://doi.org/10.17163/ings.n29.2023.07>
- Pereira, J. (2016). Insuficiencia Cardíaca: Aspectos Básicos de una epidemia en aumento. *CorSalud*.
- Rajpurkar, P. (6 de Julio de 2021). Cardiologist-Level Arrhythmia Detection with Convolutional Neural Networks. 16. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1707.01836>
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
- Richards, S. (11 de Mayo de 2018). First-of-Its-Kind System Spots and Measures Diagnostic Errors. *John Hopkings Medicine*.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (Noviembre de 2020). The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. (1), 20. Obtenido de <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf>
- Society to improve Diagnosis in medicine. (n.d.). Factors in Diagnostic Error. *Society to improve Diagnosis in Medicine*. Retrieved from <https://www.improvediagnosis.org/factors-in-diagnostic-error/>
- Society to improve Diagnosis in Medicine. (s.f.). What is Diagnostic Error? *Society to improve Diagnosis in Medicine*. Obtenido de <https://www.improvediagnosis.org/factors-in-diagnostic-error/>
- Sundar Pichai, D. H. (06 de Diciembre de 2023). *Google Bloc España*. Obtenido de <https://blog.google/intl/es-es/productos/tecnologia/presentamos-gemini-nuestro-modelo-del-ia/>
- Thi, H., Van, H., & Manh, T. (2023). Automatic varied-length ECG classification using a lightweight DenseNet model. *Biomedical Signal Processing and Control*, 82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.104529>

- Tian, Y. (2020). Artificial Intelligence Image Recognition Method Based on Convolutional Neural Network Algorithm. *IEEE*, 8, 125731-125744. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9129654>
- Vélez Peláez S, N. H. (2007). Insuficiencia Cardiaca. *Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular*, 694 - 785.
- Vilches Moraga A, R. P. (2007). Insuficiencia Cardica Congestiva. *Tratado de Geriatria para residentes*, 313-323.
- Wang, Y., Chen, Z., Tian, S., Zhou, S., Wang, X., Xue, L., & Wu, J. (2022). Convolutional Neural Network-Based ECG-Assisted Diagnosis for Coal Workers. *Int J Environ Res Public Health*, 20(1), 9. doi:<https://doi.org/10.3390%2Fijerph20010009>
- Watson, R. (2022). Reseña: Lectura apropiada del electrocardiograma. *Revista Ciencia y Salud*, 6(5). Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/365304875\\_Interpretacion\\_del\\_electrocardiograma\\_normal\\_Electrocardiograma](https://www.researchgate.net/publication/365304875_Interpretacion_del_electrocardiograma_normal_Electrocardiograma)
- Xu, Y. &. (2019). Deep recurrent neural networks for predicting cardiac events. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, págs. 3433-3442.
- Zhou, X. Z. (2020). Application of machine learning algorithms in Healthcare. *Journal of Medical Systems*, págs. 57-65.
- Reason, J. (1990). Human error. Cambridge University Press.
- Rodziewicz, T., Houseman, B., & Hipskind, J. (2022, mayo 1). Medical Error Reduction and Prevention - StatPearls. NCBI. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499956/>

## 7. Anexos

### 7.1. Anexos Orientados al Beneficiario

Los siguientes anexos proporcionan documentación detallada y específica orientada al beneficiario, con el objetivo de apoyar el desarrollo del Trabajo Integrador Curricular. Estos anexos contienen cartas, fechas de interacción, objetivos, actividades realizadas, avances y tipos de evidencia, todos ellos referenciados y esenciales para el progreso y la validación del proyecto

**Anexo 1:** Carta para el beneficiario con objetivo de desarrollar para el Trabajo Integrador Curricular.

<b>Fecha</b>	<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resultado</b>	<b>Tipo de Evidencia</b>
30/04/2024	Enviar solicitud de uso de datos privados al beneficiario.	Aprobación del documento de solicitud y envió formal al destinatario	El documento fue enviado por correo electrónico y se espera respuesta	Carta de Solicitud
<b>Evidencia</b>				

Samborondón, 30 de Abril del 2024

Señores

**Delfa Nuñez Garofalo**

Presente. -

**Asunto:** Desarrollo de Trabajo de titulación del estudiante **ESTUPIÑAN SALAZAR STEEVEN JOAN**

Por medio de la presente se indica que el (**ESTUPIÑAN SALAZAR STEEVEN JOAN**) con código estudiantil 2020291340 y cédula de ciudadanía n° 0925193948ñ quien actualmente se encuentran desarrollando su trabajo de titulación con el tema **Construcción de una Aplicación Web basada en Inteligencia Artificial, para el diagnóstico preciso de enfermedades cardiacas en una clínica Privada de Guayaquil, Ecuador**, requiere información para su investigación referente a:

- Exámenes Complementarios
- Información sobre Historia Clínica.
- Valoración como Medico Cardiólogo.

Por lo antes expuesto, agradezco vuestra apertura para proporcionar la información antes indicada, para que, el/la estudiante pueda concluir con éxito la fase de presentación de análisis v resultados de su investigación.

**Anexo 2:** Carta de respuesta del beneficiario, aceptando los términos con el cual realizara el Trabajo Integrador Curricular.

<b>Fecha</b>	<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resultado</b>	<b>Tipo de Evidencia</b>
05/05/2024	Aprobación de acuerdos.	El beneficiario acepto las condiciones para el uso de datos privados.	En espera de consideración generales del proyecto.	Respuesta de Carta de Solicitud
<b>Evidencia</b>				

Magíster  
**ERIKA DEL PILAR ASCENCIO JORDAN**  
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

A través del presente, autorizo al señor **Estupiñan Salazar Steeven Joan**, con cédula de ciudadanía n° 0925193948, estudiante de la Unidad Académica del Departamento de Ingeniería, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza, de la carrera/programa Ingeniería en Software de la Universidad Ecotec para que pueda recopilar información de nuestra empresa con el objetivo de desarrollar su trabajo de titulación.

Asimismo, autorizamos la divulgación y publicación de los resultados de su investigación en los repositorios que la Universidad Ecotec tenga destinado para este fin.

Atentamente,



**Dra. Delfa Nuñez Garofalo**  
Gerente General de Consultorio Cardiológico  
099 335 5164

**Anexo 3:** Solicitud de Información para conocer los diferentes procesos y tipos de exámenes que se realizan.

<b>Fecha</b>	<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resultado</b>	<b>Tipo de Evidencia</b>
27/07/2024	Conocer procesos y tipos de exámenes que se realizan en el consultorio médico.	El medico detallo los tipos de procesos que se mantienen en el día dentro del consultorio.	Mediante esto, se pudo establecer el alcance que mantendrá la herramienta.	Correo Electrónico
<b>Evidencia</b>				

## Solicitud de información sobre procesos y exámenes en el consultorio médico



**Steven Joan** <steevenjoan06@gmail.co...>  
para delfa\_nugar58



Estimada Dra. Delfa Nuñez:

Espero que se encuentre bien. Me dirijo a usted en relación con el desarrollo de mi tesis, en la que estamos trabajando juntos, enfocada en el análisis de enfermedades cardíacas a través de electrocardiogramas. Como parte de este proceso, me gustaría profundizar en los diferentes procesos y tipos de exámenes que se realizan en el consultorio médico, especialmente en el contexto de diagnósticos cardiológicos.

Si pudiera brindarme información sobre los exámenes específicos y el manejo de estos procedimientos, sería de gran ayuda para comprender mejor el contexto clínico y así ajustar los modelos de análisis de mi proyecto. Quedo atento a cualquier material o recomendación que considere relevante para este aspecto.

Agradezco de antemano su tiempo y orientación, que son fundamentales para el éxito de nuestra investigación. Quedo a su disposición para cualquier aclaración adicional.

Atentamente,  
Steeven Estupiñan Salazar.

**Anexo 4:** Petición de Información sobre indicadores vitales que permiten el diagnóstico de una enfermedad cardíaca, mediante un ECG.

Fecha	Evento	Descripción	Resultado	Tipo de Evidencia
30/08/2024	Discutir detalles en el diagnóstico de una enfermedad cardíaca.	El médico proporciono información clave sobre síntomas y pruebas diagnósticas recomendadas.	Se comenzó a preparar el modelo, en base a la información proporcionada por el beneficiario.	Correo Electrónico

## Evidencia

Solicitud de información sobre electrocardiogramas para la Trabajo Integrador Curricular.  



**Steeven Joan** <steevenjoan06@gmail...>  
para delfa\_nugar58 ▾



Estimada,  
Dra Delfa Núñez.

Espero que se encuentre bien. Me dirijo a usted en relación con la investigación que estamos desarrollando para mi tesis, enfocada en el análisis de electrocardiogramas (ECG) y su aplicación en el diagnóstico de enfermedades cardíacas.

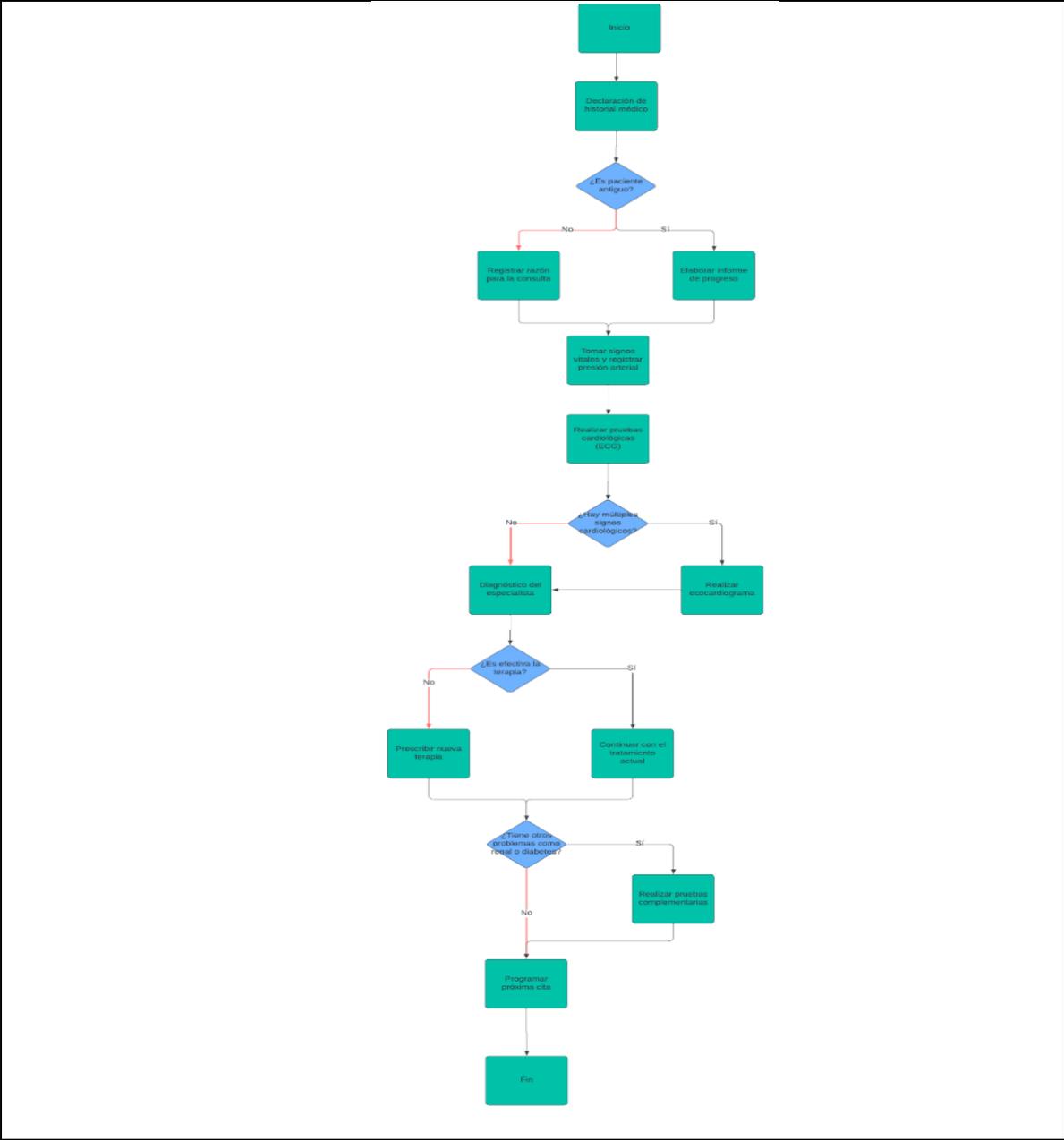
Como beneficiaria del proyecto, su orientación y experiencia son fundamentales para el avance de esta investigación. Me gustaría solicitar su valiosa colaboración respecto a indicadores vitales con el objetivo de Diagnosticar Enfermedades Cardiacas.

Esta información será esencial para continuar con el desarrollo de los modelos y la validación del sistema. Quedo atento/a a cualquier recurso, estudio o recomendación que pueda ofrecer para enriquecer nuestro trabajo. Agradezco mucho su tiempo y apoyo en este proceso, y quedo a su disposición para cualquier aclaración o ajuste que considere necesario.

Atentamente,  
Steeven Joan Estupiñan Salazar.  
0992877355.

### Anexo 5: Diagrama de Flujo del Consultorio Médico Privado.

Fecha	Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
15/09/2024	Establecer el Proceso, que se lleva a cabo en el consultorio.	Realizar un Diagrama de Flujo, sobre actividades realizadas por el médico, durante la cita médica.	Diagrama de Flujo.



**Anexo 6: Documento de Requerimientos Funcionales**

Fecha	Evento	Descripción	Resultado	Tipo de Evidencia
22/09/2024	Exponer el documento	de Lectura y firma, del documento de	Se acordó los requerimientos de	Documento Firmado por

	requerimientos funcionales al beneficiario, verificando si esta correcto y firma.	requerimientos funcionales al beneficiario.	del proyecto, que se entregara al beneficiario.	el Beneficiario.
--	---	---	--	---------------------

**Evidencia**

**Documento de Requerimientos Funcionales**

El desarrollo de software orientado a la gestión médica debe enfocarse en brindar herramientas eficientes y seguras para la administración de datos sensibles. En este documento se describen los requerimientos funcionales para un sistema de gestión médica que incluye consulta y registro de pacientes, diagnóstico, historial médico, y análisis avanzado mediante inteligencia artificial (IA) en Python.

**1. Requerimientos Funcionales**

**1.1. Consulta y Registro de Pacientes**

El sistema debe permitir la creación y gestión de perfiles de pacientes, incluyendo datos personales y médicos.

- Formulario de registro de nuevos pacientes con campos obligatorios y opcionales.
- Capacidad para buscar y consultar información de pacientes previamente registrados.
- Actualización y eliminación de registros de pacientes.

**1.2. Consulta y Registro de Historial Médico**

El sistema debe almacenar y gestionar el historial médico completo de cada paciente.

- Acceso a registros de consultas anteriores, tratamientos, y procedimientos realizados.
- Visualización cronológica del historial médico para facilitar la toma de decisiones.
- Opciones de visualización de historiales médicos completos o parciales.

**1.3. Ingreso de Examen (ECG) y Diagnóstico con IA en Python**

Descripción: Implementación de herramientas de IA para mejorar el análisis y la precisión de los diagnósticos.

- El sistema incluirá la funcionalidad para subir un electrocardiograma (ECG) de cada paciente, permitiendo un registro detallado y periódico de la actividad cardíaca.
- Se habilitará la opción de escribir un diagnóstico específico basado en el ECG, facilitando la documentación clínicamente relevante.

- La interpretación del ECG será apoyada por un modelo de lenguaje grande (LLM) de inteligencia artificial, proporcionando un análisis avanzado y preciso que contribuirá a mejorar la calidad del diagnóstico médico.

**2. Entregables**

- Prototipo funcional apoyado por modelo de Inteligencia Artificial del sistema de registro y consulta de pacientes, diagnósticos, e historial médico.
- Documento de Alcance
- Documento de Pruebas Funcionales.



Dra. Delfa Núñez Garofalo.  
Gerente de Centro Médico Privado.



Sr. Steeven Estupiñán Salazar.  
Estudiante Universitario.

**Anexo 7: Documento de Alcance**

Fecha	Evento	Descripción	Resultado	Tipo de Evidencia
25/09/2024	Realizar un documento en el que estará declarado el alcance del presente proyecto.	Firma del documento donde se declara el alcance del proyecto.	Se acordó el alcance del proyecto, que se entregara al beneficiario.	Documento Firmado por el Beneficiario.
<b>Evidencia</b>				

# Documento de Alcance

**Proyecto:** Aplicación Web apoyada por Inteligencia Artificial, para la gestión de datos Médicos.

## 1. Introducción

Este documento de alcance tiene como objetivo proporcionar una visión clara y detallada del proyecto de desarrollo de un Sistema de Gestión de Datos Médicos. Este sistema se centrará en la gestión de historias clínicas, la información personal de los pacientes y la interpretación de electrocardiogramas (ECG) mediante un modelo de Inteligencia Artificial (IA).

Describiremos los objetivos, entregables, criterios de éxito, restricciones y suposiciones del proyecto.

## 2. Objetivos del Proyecto

El proyecto tiene los siguientes objetivos:

- **Gestionar Datos Personales de los Pacientes:** Al momento del ingreso de los pacientes a una nueva consulta, poder crear, actualizar, eliminar registros de datos personales de Pacientes
- **Gestión eficiente de historias clínicas:** Desarrollar un sistema que permita almacenar y gestionar de manera efectiva las historias clínicas de los pacientes.
- **Interpretación automatizada de ECG:** Mostrar una interpretación de ECG, mediante un modelo de IA capaz de interpretar electrocardiogramas con alta precisión.

## 3. Alcance del Proyecto

El alcance del proyecto incluye las siguientes actividades y funcionalidades:

Desarrollo de Módulos:

- **Módulo de Pacientes:** Permitir la creación, actualización y eliminación de registros de datos personales de los pacientes.
- **Módulo de Historias Clínicas:** Gestionar y almacenar las historias clínicas de los pacientes de manera efectiva.
- **Módulo de ECG:** Ingresar diagnósticos presuntivos y generar interpretaciones de ECG apoyadas por IA y este se ejecutará únicamente por un script hecho en Python.

**Servidor en la Nube:** Funcionará dentro de una infraestructura dentro de un servicio cloud, dentro de un VPS, con un Panel de acceso.

**Aplicación Multiplataforma:** Esta aplicación se ejecutará en los siguientes tipos de entorno: móviles, web y escritorio.

**Base de Datos Funcional:** Crear una base de datos robusta para almacenar información relacionada con los módulos mencionados.

#### **4. Entregables del Proyecto**

Al final del proyecto, se esperan los siguientes entregables:

Un Prototipo funcional del sistema, lo que permitirá a los usuarios evaluar y familiarizarse con las funcionalidades antes de su implementación completa. Este prototipo servirá como una versión preliminar y operativa del sistema que refleje la funcionalidad esperada.

También se proporcionará un documento de pruebas funcionales detallado. Este documento incluirá los resultados de las pruebas unitarias realizadas para asegurar que todas las funcionalidades del sistema cumplan con los requisitos establecidos y funcionen de manera eficaz.



Dra. Delfa Nuñez Garofalo.

**Gerente de Centro Médico Privado.**



Sr. Steeven Estupiñan Salazar.

**Estudiante Universitario.**

**Anexo 8:** Reunión Presencial de avances sobre el Proyecto Integrador Curricular.

Fecha	Evento	Descripción	Resultado	Tipo de Evidencia
27/09/2024	Discutir avances del proyecto, funcionalidades avanzadas hasta la fecha.	Se presento el progreso actual del proyecto integrador curricular y se acordó una fecha tentativa de pruebas.	Se acordó una siguiente reunión en dos semanas para la revisión del proyecto.	Visita Presencial.

**Evidencia**



**Anexo 9:** Respuesta a Correo Electrónico, informando los tipos de Exámenes que se realizan en el Consultorio.

Fecha	Evento	Descripción	Resultado	Tipo de Evidencia
10/10/2024	Conocer y evaluar la eficacia de los exámenes cardiológicos utilizados para diagnosticar diversas enfermedades cardiacas.	Revisión de los siguientes exámenes cardiológicos: electrocardiograma, ecocardiograma, Holter de arritmias y Mapeo de Presión Arterial.	Tener una mayor comprensión, de los tipos de exámenes que se realizan, para su posterior inclusión de resultados en el sistema.	Correo Electrónico.

**Evidencia**



**Delfa Judith Núñez Garó...**

para mí ▼

Con respecto a los exámenes cardiológicos utilizados para diagnosticar enfermedades cardiacas; con el electrocardiograma diagnosticamos cardiopatía isquémica, hipertrófica, dilatada y podemos visualizar qué tipo de arritmias están afectando al paciente.

El ecocardiograma un medio de estudio con el cuál evaluamos diámetros, grosores parietales, la función sistólica, diastólica, la motilidad y evaluamos las válvulas cardiacas.

El Holter de arritmias sirve para monitorizar durante 24 a 48 horas el ritmo cardiaco.

El Mapeo de Presión Arterial para diagnosticar hipertensión, para evaluar el tratamiento antihipertensivo.

Todos estos exámenes se pueden realizar ambulatoriamente,

Enviado desde mi iPhone

**Anexo 10:** Reunión para recolección de datos, con el Beneficiario del Proyecto integrador

Curricular.

<b>Fecha</b>	<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de Evidencia</b>
30/10/2024	Realizar una recolección de datos mediante una entrevista con el beneficiario del Proyecto Integrador Curricular.	Se realizo una recolección de datos mediante una entrevista con el beneficiario del Proyecto Integrador Curricular. Se discutieron las herramientas que actualmente utiliza el beneficiario en su práctica clínica y se exploraron los posibles beneficios que la inteligencia artificial podría aportar a un sistema clínico	Visita Presencial.
<b>Evidencia</b>			



**Anexo 11:** Transcripción de las respuestas que se recogió en la entrevista.

<b>Fecha</b>	<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de Evidencia</b>
30/10/2024	Obtener un registro claro y detallado de las respuestas proporcionadas por la encuestada.	Se transcribieron las respuestas de las encuestas realizadas enfocado en la opinión sobre el uso de tecnologías como el ECG y la inteligencia artificial en el manejo de enfermedades cardiovasculares.	Transcripción De Grabación.
<b>Evidencia</b>			
<b>¿De qué forma ha ayudado el uso de las ECG en el monitoreo y control de las enfermedades cardiovasculares?</b>			

R. Tremendamente, sirve para ver la evolución de un infarto, un paciente que se infarta tiene que tomarse ECG de forma constante para verificar su evolución, si presenta arritmias, si ya se normalizo el problema cardiaco. En esencia el ECG, es de vital importancia para ver la evolución de un paciente y de igual manera mantener una constancia física de que se han realizado los exámenes.

**¿Cómo ha ayudado el desarrollo de la tecnología en el uso de modelos para prevenir enfermedades cardiovasculares?**

R. Anteriormente, la toma de exámenes cardiovasculares se dificultaba por la falta de tecnologías útiles, se producía mucha interferencia entre los dispositivos de medición, en contraste, hoy en día, la tecnología facilita la toma de este no solo en el tiempo, sino también en usabilidad y toma de decisiones.

**¿En qué forma considera usted que ha ayudado la IA en el desarrollo de nuevas técnicas para el estudio de las enfermedades cardiovasculares?**

R. De momento no he utilizado tecnologías como la IA orientado a enfermedades cardiovasculares, nada más que con el uso de la tecnología se ha desarrollado sistemas orientado al sector médico, lo que facilita el estudio del paciente, verificar datos de la historia clínica y de verificar información de forma histórica.

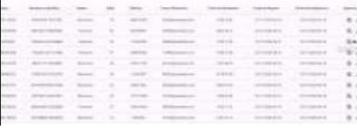
**¿Estaría de acuerdo en usar tecnología con IA para mejorar los análisis de datos de los ECG y dar mejores resultados para sus pacientes?**

R. Claro que sí, por la razón de que, si ya tiene un histórico de la información de los pacientes, entonces facilita como herramienta a la hora de tomar un diagnóstico.

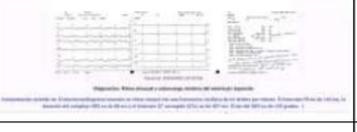
**¿Existen aspectos éticos o de privacidad que le preocupen en relación con el uso de IA en el análisis de datos médicos como los ECG?**

R. Es muy importante, tenemos un compromiso de no revelar los datos personales a ningún individuo, es considerado un aspecto delicado.

## Anexo 12: Documento de Pruebas Funcionales.

Funcionalidad	Descripción	Pruebas	Resultado	Firma
<b>MODULO DE INICIO DE SESION</b>				
Iniciar Sesión	Iniciar Sesión con las credenciales	Verificar que con las credenciales correspondientes, se inicie sesión.		
<b>MODULO DE PACIENTES</b>				
Crear registro de paciente	Permitir la creación de registros de datos personales de los pacientes.	Verificar que se puedan ingresar todos los datos requeridos y que se guarden correctamente en la base de datos.		
Actualizar registro de Paciente.	Permitir la actualización de los datos personales de los pacientes.	Confirmar que se puedan modificar los datos de un paciente existente y que los cambios se reflejen correctamente en la base de datos.		
<b>MODULO DE HISTORIA CLINICA</b>				
Gestionar y almacenar historias clínicas	Gestionar y almacenar las historias clínicas de los pacientes de manera efectiva.	Crear historia clínica: Verificar que se pueden ingresar y guardar todos los detalles necesarios de una historia clínica.		
Gestionar y almacenar historias clínicas	Gestionar y almacenar las historias clínicas de los pacientes de manera efectiva.	Actualizar historia clínica: Confirmar que se pueden modificar los datos de una historia clínica existente.		

Gestionar y almacenar historias clínicas	Gestionar y almacenar las historias clínicas de los pacientes de manera efectiva.	Visualización de historias clínicas: Verificar que se pueda acceder a las historias clínicas de manera rápida y efectiva.		
--	---	---	--	---

MODULO DE ECG				
Ingresar diagnósticos presuntivos	Permitir el ingreso de diagnósticos presuntivos.	Verificar que se puedan ingresar todos los datos requeridos y que se guarden correctamente en la base de datos.		
Generación de interpretaciones de ECG	Generar interpretaciones de ECG apoyadas por IA ejecutadas por un script hecho en Python.	Confirmar que el script de Python se ejecute correctamente y genere interpretaciones precisas apoyadas por IA.		
Integración del script	Integrar el script de Python sin problemas con el módulo y la base de datos.	Asegurarse de que el script de Python se integre sin problemas con el módulo y la base de datos.		

## Anexo 13: Documento de Pruebas Unitarias

# Proyecto: Aplicación Web para aplicación de Gestión Médica.

## Introducción

Este documento describe las pruebas unitarias realizadas para los módulos del proyecto de Sistema de Gestión Médica. Las pruebas se han diseñado para asegurar que cada módulo funcione correctamente y cumpla con los requisitos establecidos.

## Matriz de Pruebas Unitarias

Para asegurar la precisión y fiabilidad de los módulos dentro de la aplicación, se han diseñado pruebas unitarias específicas para cada uno de ellos. Estas pruebas abarcan una variedad de casos de uso y escenarios posibles, garantizando que cada módulo funcione correctamente bajo diferentes condiciones. En la matriz de pruebas unitarias de cada módulo, se detallarán las pruebas a realizar, incluyendo validación de entradas y salidas, manejo de errores, y verificación de integraciones con otros módulos del sistema.

## TestAuthAPI

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resultado Esperado</b>
test_login_success	Prueba el inicio de sesión con credenciales válidas	Código de estado 200, presencia de token y usuario en la respuesta
test_login_invalid_credentials	Prueba el inicio de sesión con credenciales inválidas	Código de estado 401, presencia de error en la respuesta
test_register_success	Prueba el registro de un nuevo usuario con datos válidos	Código de estado 201, presencia de mensaje de éxito en la respuesta
test_register_validation_error	Prueba el registro de un nuevo usuario con datos inválidos	Código de estado 422, presencia de mensaje de error y errores de validación en la respuesta

## TestPatientsAPI

Prueba	Descripción	Resultado Esperado
test_get_pacientes_success	Prueba la obtención de pacientes con éxito	Código de estado 200, presencia de datos, total y mensaje en la respuesta
test_get_pacientes_no_records	Prueba la obtención de pacientes cuando no hay registros	Código de estado 200, lista de datos vacía, total 0 y mensaje "No hay registros para mostrar"
test_create_paciente_success	Prueba la creación de un nuevo paciente con datos válidos	Código de estado 201, presencia de mensaje de éxito en la respuesta

test_create_paciente_validation_error	Prueba la creación de un nuevo paciente con datos inválidos	Código de estado 422, presencia de errores de validación en la respuesta
---------------------------------------	---	--

### TestMedicHistoryAPI

Prueba	Descripción	Resultado Esperado
test_get_historial_medico_success	Prueba la obtención del historial médico con éxito	Código de estado 200, presencia de datos, total y mensaje en la respuesta
test_get_historial_medico_no_records	Prueba la obtención del historial médico cuando no hay registros	Código de estado 200, lista de datos vacía, total 0 y mensaje "No hay registros para mostrar"

test_create_historial_médico_success	Prueba la creación de un nuevo historial médico con datos válidos	Código de estado 201, presencia de mensaje de éxito en la respuesta
test_create_historial_médico_validation_error	Prueba la creación de un nuevo historial médico con datos inválidos	Código de estado 422, presencia de errores de validación en la respuesta

### TestDiagnosticAPI

Prueba	Descripción	Resultado Esperado
test_get_diagnosticos_success	Prueba la obtención de diagnósticos con éxito	Código de estado 200, presencia de datos, total y mensaje en la respuesta

test_get_diagnosticos_no_records	Prueba la obtención de diagnósticos cuando no hay registros	Código de estado 200, lista de datos vacía, total 0 y mensaje "No hay registros para mostrar"
test_store_diagnostico_success	Prueba la creación de un nuevo diagnóstico con datos válidos	Código de estado 201, presencia de mensaje de éxito en la respuesta
test_store_diagnostico_validation_error	Prueba la creación de un nuevo diagnóstico con datos inválidos	Código de estado 422, presencia de errores de validación en la respuesta
test_store_interpretacion_success	Prueba la creación de una nueva interpretación con datos válidos	Código de estado 201, presencia de mensaje de éxito en la respuesta

test_store_interpretacion_validation_error	Prueba la creación de una nueva interpretación con datos inválidos	Código de estado 422, presencia de errores de validación en la respuesta
--	--	--

## Módulos a Prueba

### Módulo de Inicio de Sesión

Este módulo proporcionará una interfaz segura y fácil de usar para el usuario autorizado accedan al sistema. Incluirá funcionalidades de autenticación mediante nombre de usuario y contraseña.

### Código en Python para realizar pruebas Unitarias

```
import unittest
import requests
import json

class TestAuthAPI(unittest.TestCase):
    def setUp(self):
        self.base_url = 'https://apisdev.ecgproject.software/api'
    def test_login_success(self):
        url = f'{self.base_url}/ingresar'
        payload = {
            'Nombre_Usuario': 'admin',
            'Contrasena': 'admin'
        }
        response = requests.post(url, data=payload)

        self.assertEqual(response.status_code, 200)
        data = response.json()
        self.assertIn('token', data)
        self.assertIn('user', data)
```

```

def test_login_invalid_credentials(self):
    url = f'{self.base_url}/ingresar'
    payload = {
        'Nombre_Usuario': 'usuario_invalido',
        'Contrasena': 'contrasena_invalida'
    }
    response = requests.post(url, data=payload)
    self.assertEqual(response.status_code, 401)
    data = response.json()
    self.assertIn('error', data)

def test_register_success(self):
    url = f'{self.base_url}/registrar'
    payload = {
        'Nombre_Usuario': 'nuevo_usuario',
        'Contrasena': 'nueva_contrasena',
        'Contrasena_confirmation': 'nueva_contrasena',
        'Rol': 'rol_prueba',
        'ID_Paciente': 123
    }
    response = requests.post(url, data=payload)
    self.assertEqual(response.status_code, 201)
    data = response.json()
    self.assertIn('message', data)

def test_register_validation_error(self):
    url = f'{self.base_url}/registrar'
    payload = {
        'Nombre_Usuario': '',
        'Contrasena': 'contrasena',
        'Contrasena_confirmation': 'contrasena_diferente',
        'Rol': '',
        'ID_Paciente': 'invalid'
    }
    response = requests.post(url, data=payload)
    self.assertEqual(response.status_code, 422)
    data = response.json()
    self.assertIn('message', data)
    self.assertIn('errors', data)

if __name__ == '__main__':
    unittest.main()

```

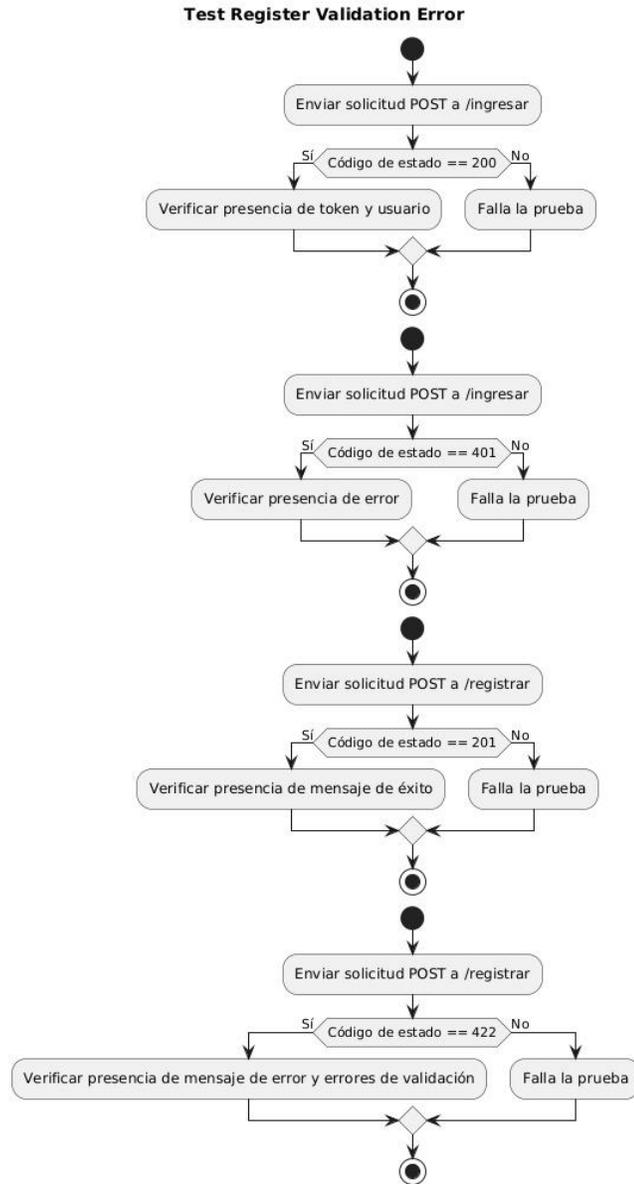
## Diagrama de Flujo de Eventos

Este diagrama de flujo describe un proceso de pruebas automatizadas para validar el correcto funcionamiento de las funcionalidades de registro y login de un sistema. Se enfoca en verificar la respuesta del servidor ante diferentes escenarios, como intentos de login con credenciales incorrectas, registros exitosos y fallidos, entre otros.

### Descripción detallada de los pasos:

1. **Enviar solicitud POST a /ingresar:** Se inicia una solicitud HTTP POST al endpoint /ingresar (presumiblemente para intentar iniciar sesión).
2. **Verificar código de estado:** Se verifica si la respuesta del servidor tiene un código de estado 200 (éxito).
  - a. **Si es 200:** Se verifica la presencia del token de acceso y el usuario en la respuesta. Si ambos están presentes, la prueba pasa. De lo contrario, falla.
  - b. **Si no es 200:** Se vuelve a enviar la solicitud POST a /ingresar.
3. **Verificar código de estado:** Se verifica si la respuesta del servidor tiene un código de estado 401 (no autorizado).
  - a. **Si es 401:** Se verifica la presencia de un mensaje de error en la respuesta. Si el mensaje indica que las credenciales son incorrectas, la prueba pasa. De lo contrario, falla.
  - b. **Si no es 401:** Se procede a realizar una solicitud de registro.
4. **Enviar solicitud POST a /registrar:** Se envía una solicitud HTTP POST al endpoint /registrar para crear un nuevo usuario.

5. **Verificar código de estado:** Se verifica si la respuesta del servidor tiene un código de estado 201 (creado).
  - a. **Si es 201:** Se verifica la presencia de un mensaje de éxito en la respuesta. Si el mensaje confirma la creación del usuario, la prueba pasa. De lo contrario, falla.
  - b. **Si no es 201:** Se vuelve a enviar la solicitud POST a /registrar.
6. **Verificar código de estado:** Se verifica si la respuesta del servidor tiene un código de estado 422 (unprocessable entity).
  - a. **Si es 422:** Se verifica la presencia de un mensaje de error y de errores de validación en la respuesta. Si ambos están presentes, la prueba pasa. De lo contrario, falla.
  - b. **Si no es 422:** La prueba falla.



## Módulo de Consulta y Registro de Pacientes

Este módulo permitirá a los médicos ingresar y actualizar información básica y detallada sobre sus pacientes, asegurando que todos los datos relevantes estén disponibles y organizados.

### Código en Python para realizar pruebas Unitarias

```

import unittest
import requests
import json
  
```

```

from datetime import datetime

class TestPatientsAPI(unittest.TestCase):
    def setUp(self):
        self.base_url = 'https://apisdev.ecgproject.software/api'
        self.auth_token = self.get_auth_token()

    def get_auth_token(self):
        url = f'{self.base_url}/ingresar'
        payload = {
            'Nombre_Usuario': 'admin',
            'Contrasena': 'admin'
        }
        response = requests.post(url, data=payload)
        self.assertEqual(response.status_code, 200)
        data = response.json()
        return data['token']

    def test_get_pacientes_success(self):
        url = f'{self.base_url}/pacientes'
        headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
        response = requests.get(url, headers=headers)
        self.assertEqual(response.status_code, 200)
        data = response.json()
        self.assertIn('data', data)
        self.assertIn('total', data)
        self.assertIn('message', data)

    def test_get_pacientes_no_records(self):
        url = f'{self.base_url}/pacientes?id_paciente=999999'
        headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
        response = requests.get(url, headers=headers)
        self.assertEqual(response.status_code, 200)
        data = response.json()
        self.assertEqual(data['data'], [])
        self.assertEqual(data['total'], 0)
        self.assertEqual(data['message'], 'No hay registros para mostrar')

    def test_create_paciente_success(self):
        url = f'{self.base_url}/pacientes'
        headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
        payload = {
            'nombre': 'Juan',

```

```

'apellido': 'PÃ©rez',
'fecha_nacimiento': '1990-05-15',
'genero': 'Masculino',
'telefono': '1234567890',
'correo_electronico': 'juan@example.com',
'cedula': '0123456789',
'edad': 32,
'estatura': 1.75
}
response = requests.post(url, data=payload, headers=headers)
self.assertEqual(response.status_code, 201)
data = response.json()
self.assertIn('message', data)
self.assertEqual(data['message'], 'Paciente insertado exitosamente')

def test_create_paciente_validation_error(self):
url = f'{self.base_url}/pacientes'
headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
payload = {
'nombre': '',
'apellido': 'PÃ©rez',
'fecha_nacimiento': 'invalid_date',
'genero': 'Otro',
'telefono': '1234567890',
'correo_electronico': 'invalid_email',
'cedula': '0123456789',
'edad': 'invalid_age',
'estatura': 'invalid_height'
}
response = requests.post(url, data=payload, headers=headers)
self.assertEqual(response.status_code, 422)

if __name__ == '__main__':
unittest.main()

```

## Diagrama de Flujo de Eventos

El diagrama de flujo presentado detalla un conjunto de pruebas automatizadas diseñadas para validar la funcionalidad de creación de nuevos registros de pacientes en un sistema. Estas

pruebas se centran en verificar las respuestas del servidor ante diferentes escenarios, como consultas iniciales, creaciones exitosas y fallidas, y la gestión de errores de validación.

### **Desglose de los Pasos**

#### **1. Consulta Inicial (GET):**

- a. Se realiza una solicitud HTTP GET al endpoint /pacientes para obtener una lista de los pacientes existentes.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 200 (éxito).
- c. Si el código es 200, se comprueba que la respuesta incluya los datos de los pacientes, el número total de registros y un mensaje adecuado.
- d. Si la consulta inicial falla, la prueba se considera fallida.

#### **2. Verificación de Lista Vacía (GET):**

- a. Se repite la solicitud GET al endpoint /pacientes.
- b. Se verifica nuevamente el código de estado 200.
- c. Si el código es 200, se comprueba que la lista de datos esté vacía, que el total de registros sea 0 y que se incluya un mensaje indicando que no hay registros para mostrar.
- d. Esta prueba asegura que el sistema maneje correctamente situaciones donde no existen pacientes aún.

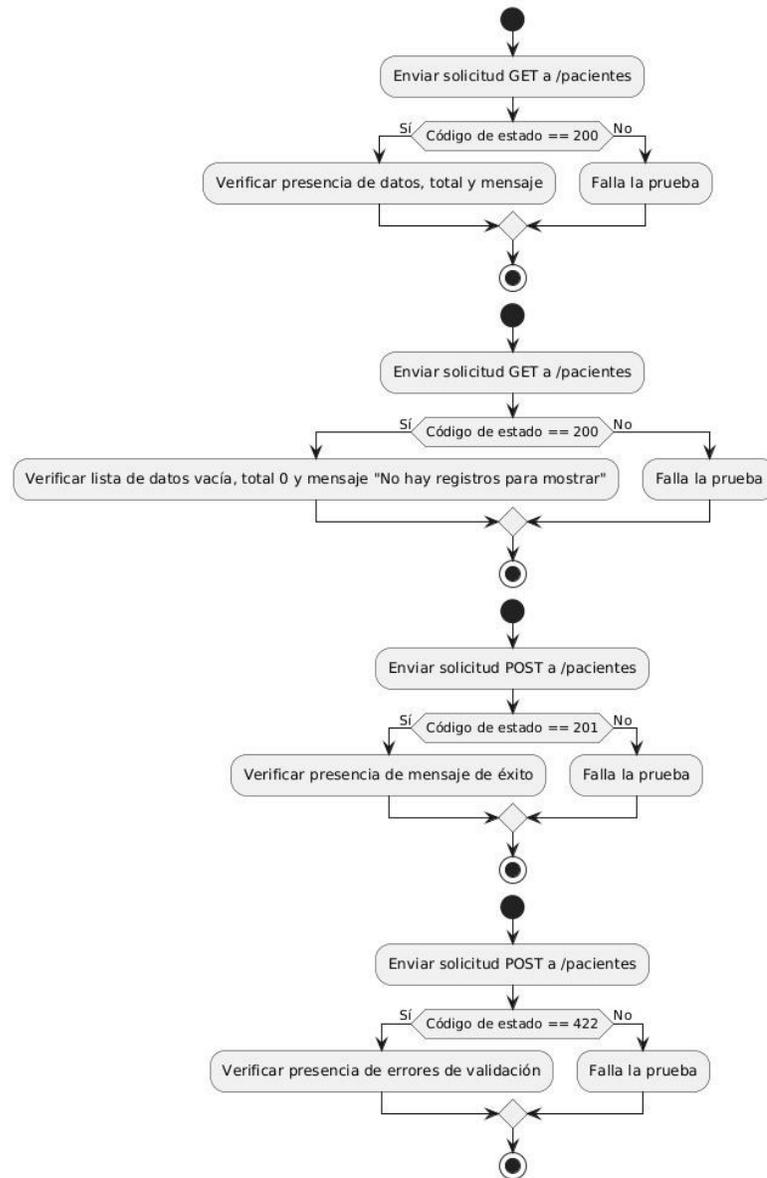
#### **3. Creación Exitosa (POST):**

- a. Se realiza una solicitud HTTP POST al endpoint /pacientes para crear un nuevo registro de paciente.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 201 (creado).
- c. Si el código es 201, se comprueba que la respuesta incluya un mensaje de éxito indicando que el paciente fue creado correctamente.
- d. Esta prueba valida que la funcionalidad de creación funcione correctamente.

#### 4. Manejo de Errores de Validación (POST):

- a. Se repite la solicitud POST, pero esta vez se envían datos inválidos o incompletos para provocar un error de validación.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 422 (unprocessable entity).
- c. Si el código es 422, se comprueba que la respuesta incluya los errores de validación específicos.
- d. Esta prueba asegura que el sistema detecte y reporte correctamente los errores de validación al crear un nuevo paciente.

### Test Create Paciente Validation Error



## Módulo de Consulta y Registro de Historia Clínica

Este módulo facilitará al médico especialista el proceso de registrar datos específicos sobre su paciente en su Historia Clínica, proporcionando un historial claro y accesible de cada caso.

## Código en Python para realizar pruebas Unitarias

```
import unittest
import requests
```

```

import json

class TestMedicHistoryAPI(unittest.TestCase):
    def setUp(self):
        self.base_url = 'https://apisdev.ecgproject.software/api'
        self.auth_token = self.get_auth_token()

    def get_auth_token(self):
        url = f'{self.base_url}/ingresar'
        payload = {
            'Nombre_Usuario': 'admin',
            'Contrasena': 'admin'
        }
        response = requests.post(url, data=payload)
        self.assertEqual(response.status_code, 200)
        data = response.json()
        return data['token']

    def test_get_historial_medico_success(self):
        url = f'{self.base_url}/historiales-medicos?id_paciente=1'
        headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
        response = requests.get(url, headers=headers)
        self.assertEqual(response.status_code, 200)
        data = response.json()
        self.assertIn('data', data)
        self.assertIn('total', data)
        self.assertIn('message', data)

    def test_get_historial_medico_no_records(self):
        url = f'{self.base_url}/historiales-medicos?id_paciente=999999'
        headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
        response = requests.get(url, headers=headers)
        self.assertEqual(response.status_code, 200)
        data = response.json()
        self.assertEqual(data['data'], [])
        self.assertEqual(data['total'], 0)
        self.assertEqual(data['message'], 'No hay registros para mostrar')

    def test_create_historial_medico_success(self):
        url = f'{self.base_url}/historiales-medicos'
        headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
        payload = {
            'id_paciente': 1,

```

```

'riesgo_cardiovascular': 'Bajo',
'indice_masa_corporal': 25.5,
'circunferencia_cintura': 80.0,
'presion_arterial': '120/80',
'colesterol_total': 180,
'hdl': 45,
'ldl': 100,
'trigliceridos': 150,
'glucemia_basal': 90,
'antecedentes_patologicos': 'Ninguno'
}
response = requests.post(url, data=payload, headers=headers)
self.assertEqual(response.status_code, 201)
data = response.json()
self.assertIn('message', data)
self.assertEqual(data['message'], 'Historial mÃ©dico insertado exitosamente')

def test_create_historial_medico_validation_error(self):
url = f'{self.base_url}/historiales-medicos'
headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
payload = {
'id_paciente': 999999,
'riesgo_cardiovascular': '',
'indice_masa_corporal': 'invalid',
'circunferencia_cintura': 'invalid',
'presion_arterial': '',
'colesterol_total': 'invalid',
'hdl': 'invalid',
'ldl': 'invalid',
'trigliceridos': 'invalid',
'glucemia_basal': 'invalid',
'antecedentes_patologicos': ''
}
response = requests.post(url, data=payload, headers=headers)
self.assertEqual(response.status_code, 422)

if __name__ == '__main__':
unittest.main()

```

## Diagrama de Flujo de Eventos

Este diagrama de flujo detalla un conjunto de pruebas automatizadas diseñadas específicamente para validar la funcionalidad de creación y consulta de historiales médicos en un sistema. El objetivo principal es asegurar que la aplicación responda de manera correcta a diferentes solicitudes relacionadas con los historiales médicos, como consultas iniciales, creaciones exitosas y fallidas, y el manejo de errores de validación.

### **Desglose de los Pasos**

#### **1. Consulta Inicial (GET):**

- a. Se realiza una solicitud HTTP GET al endpoint /historiales-medicos para obtener una lista de los historiales médicos existentes.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 200 (éxito), lo cual indica que la solicitud se procesó correctamente.
- c. Si el código es 200, se comprueba que la respuesta incluya los datos de los historiales, el número total de registros y un mensaje adecuado.
- d. Si la consulta inicial falla, la prueba se considera fallida.

#### **2. Verificación de Lista Vacía (GET):**

- a. Se repite la solicitud GET al endpoint /historiales-medicos.
- b. Se verifica nuevamente el código de estado 200.
- c. Si el código es 200, se comprueba que la lista de datos esté vacía, que el total de registros sea 0 y que se incluya un mensaje indicando que no hay registros para mostrar.
- d. Esta prueba asegura que el sistema maneje correctamente situaciones donde no existen historiales médicos aún.

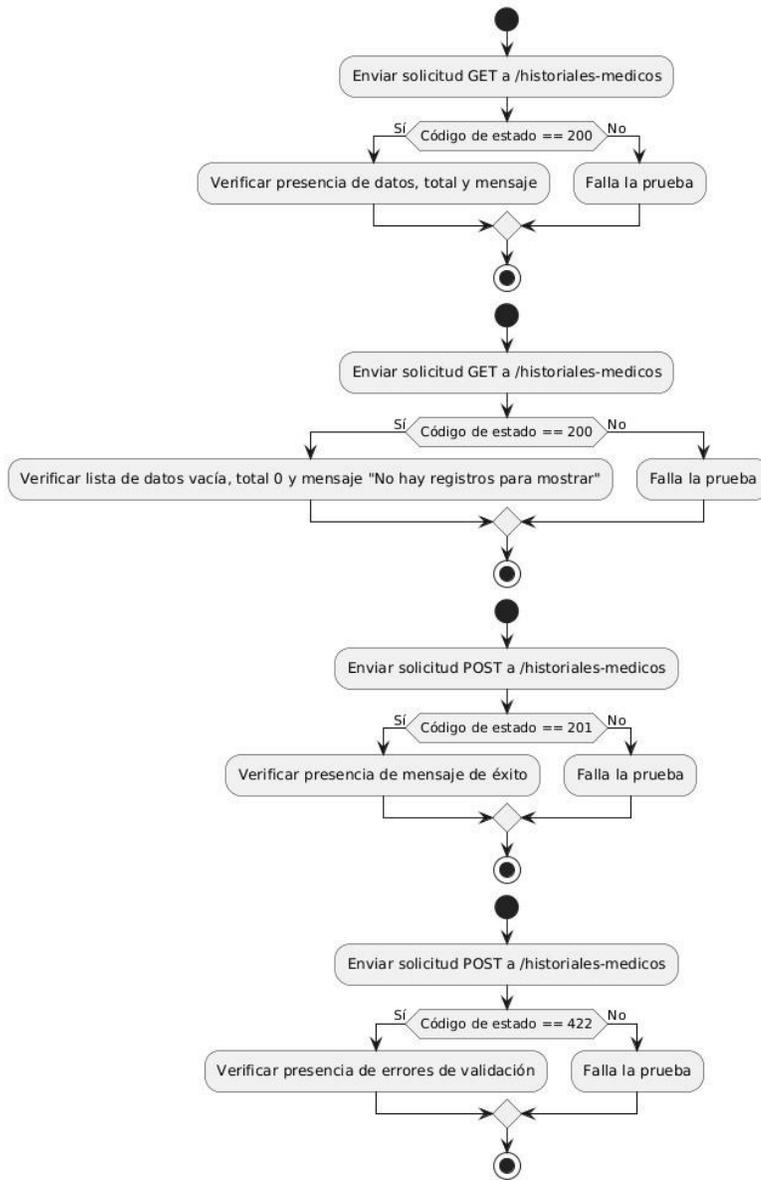
### 3. Creación Exitosa (POST):

- a. Se realiza una solicitud HTTP POST al endpoint /historiales-medicos para crear un nuevo historial médico.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 201 (creado), lo cual indica que se ha creado un nuevo recurso.
- c. Si el código es 201, se comprueba que la respuesta incluya un mensaje de éxito indicando que el historial médico fue creado correctamente.
- d. Esta prueba valida que la funcionalidad de creación funcione correctamente.

### 4. Manejo de Errores de Validación (POST):

- a. Se repite la solicitud POST, pero esta vez se envían datos inválidos o incompletos para provocar un error de validación.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 422 (unprocessable entity), lo cual indica que el servidor entiende la solicitud, pero no puede procesarla debido a errores de validación.
- c. Si el código es 422, se comprueba que la respuesta incluya los errores de validación específicos.
- d. Esta prueba asegura que el sistema detecte y reporte correctamente los errores de validación al crear un nuevo historial médico.

### Test Create Historial Medico Validation Error



## Módulo de Análisis de Historial Médico e Interpretación con IA

Este módulo permitirá realizar un análisis avanzado utilizando modelos de inteligencia artificial para detectar patrones y apoyar en la toma de decisiones clínicas, mejorando así la calidad y eficiencia del diagnóstico y tratamiento.

## Código en Python para realizar pruebas Unitarias

```

import unittest
import requests
import json

class TestDiagnosticAPI(unittest.TestCase):
def setUp(self):
self.base_url = 'https://apisdev.ecgproject.software/api' # Reemplaza con la URL correcta de tu
API
self.auth_token = self.get_auth_token() # Obtener un token de autenticaci3n v3lido

def get_auth_token(self):
url = f'{self.base_url}/ingresar'
payload = {
'Nombre_Usuario': 'admin',
'Contrasena': 'admin'
}
response = requests.post(url, data=payload)
self.assertEqual(response.status_code, 200)
data = response.json()
return data['token']

def test_get_diagnosticos_success(self):
url = f'{self.base_url}/diagnosticos'
headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
params = {
'id_diagnostico': 1,
'id_ecg': 2
}
response = requests.get(url, headers=headers, params=params)
self.assertEqual(response.status_code, 200)
data = response.json()
self.assertIn('data', data)
self.assertIn('total', data)
self.assertIn('message', data)

def test_get_diagnosticos_no_records(self):
url = f'{self.base_url}/diagnosticos'
headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
params = {
'id_diagnostico': 999999,
'id_ecg': 999999,
'fecha_diagnostico': '2023-05-01'
}

```

```

response = requests.get(url, headers=headers, params=params)
self.assertEqual(response.status_code, 200)
data = response.json()
self.assertEqual(data['data'], [])
self.assertEqual(data['total'], 0)
self.assertEqual(data['message'], 'No hay registros para mostrar')

def test_store_diagnostico_success(self):
url = f'{self.base_url}/diagnosticos'
headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
payload = {
'id_ecg': 1,
'diagnostico': 'Diagnóstico de prueba'
}
response = requests.post(url, headers=headers, data=payload)
self.assertEqual(response.status_code, 201)
data = response.json()
self.assertIn('message', data)
self.assertEqual(data['message'], 'Diagnóstico insertado exitosamente')

def test_store_diagnostico_validation_error(self):
url = f'{self.base_url}/diagnosticos'
headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
payload = {
'id_ecg': 1,
}
response = requests.post(url, headers=headers, data=payload)
self.assertEqual(response.status_code, 422)
# Verifica la respuesta de error de validación

def test_store_interpretacion_success(self):
url = f'{self.base_url}/diagnosticos/interpretacion'
headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
payload = {
'id_ecg': 1,
'interpretacion': 'Interpretación de prueba'
}
response = requests.post(url, headers=headers, data=payload)
self.assertEqual(response.status_code, 201)
data = response.json()
self.assertIn('message', data)
self.assertEqual(data['message'], 'Interpretacion insertado exitosamente')

```

```

def test_store_interpretacion_validation_error(self):
    url = f'{self.base_url}/diagnosticos/interpretacion'
    headers = {'Authorization': f'Bearer {self.auth_token}'}
    payload = {
        'id_ecg': 'invalid_id',
        'interpretacion': ''
    }
    response = requests.post(url, headers=headers, data=payload)
    self.assertEqual(response.status_code, 422)
    # Verifica la respuesta de error de validaci3n

if __name__ == '__main__':
    unittest.main()

```

## Diagrama de Flujo de Eventos

Este diagrama de flujo de eventos detalla un conjunto de pruebas automatizadas diseñadas para validar la funcionalidad de creación y gestión de diagnósticos e interpretaciones médicas en un sistema. El objetivo principal es asegurar que la aplicación responda de manera correcta a diferentes solicitudes relacionadas con los diagnósticos, como consultas iniciales, creaciones exitosas y fallidas, y el manejo de errores de validación tanto para diagnósticos como para sus interpretaciones.

## Desglose de los Pasos

### 1. Consulta Inicial de Diagnósticos (GET):

- a. Se realiza una solicitud HTTP GET al endpoint /diagnosticos para obtener una lista de los diagnósticos existentes.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 200 (éxito), lo cual indica que la solicitud se procesó correctamente.
- c. Si el código es 200, se comprueba que la respuesta incluya los datos de los diagnósticos, el número total de registros y un mensaje adecuado.

d. Si la consulta inicial falla, la prueba se considera fallida.

**2. Verificación de Lista Vacía de Diagnósticos (GET):**

a. Se repite la solicitud GET al endpoint /diagnosticos.

b. Se verifica nuevamente el código de estado 200.

c. Si el código es 200, se comprueba que la lista de datos esté vacía, que el total de registros sea 0 y que se incluya un mensaje indicando que no hay registros para mostrar.

d. Esta prueba asegura que el sistema maneje correctamente situaciones donde no existen diagnósticos aún.

**3. Creación Exitosa de Diagnóstico (POST):**

a. Se realiza una solicitud HTTP POST al endpoint /diagnosticos para crear un nuevo diagnóstico.

b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 201 (creado), lo cual indica que se ha creado un nuevo recurso.

c. Si el código es 201, se comprueba que la respuesta incluya un mensaje de éxito indicando que el diagnóstico fue creado correctamente.

d. Esta prueba valida que la funcionalidad de creación de diagnósticos funcione correctamente.

**4. Manejo de Errores de Validación en Diagnósticos (POST):**

a. Se repite la solicitud POST, pero esta vez se envían datos inválidos o incompletos para provocar un error de validación.

b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 422 (unprocessable entity).

c. Si el código es 422, se comprueba que la respuesta incluya los errores de validación específicos.

d. Esta prueba asegura que el sistema detecte y reporte correctamente los errores de validación al crear un nuevo diagnóstico.

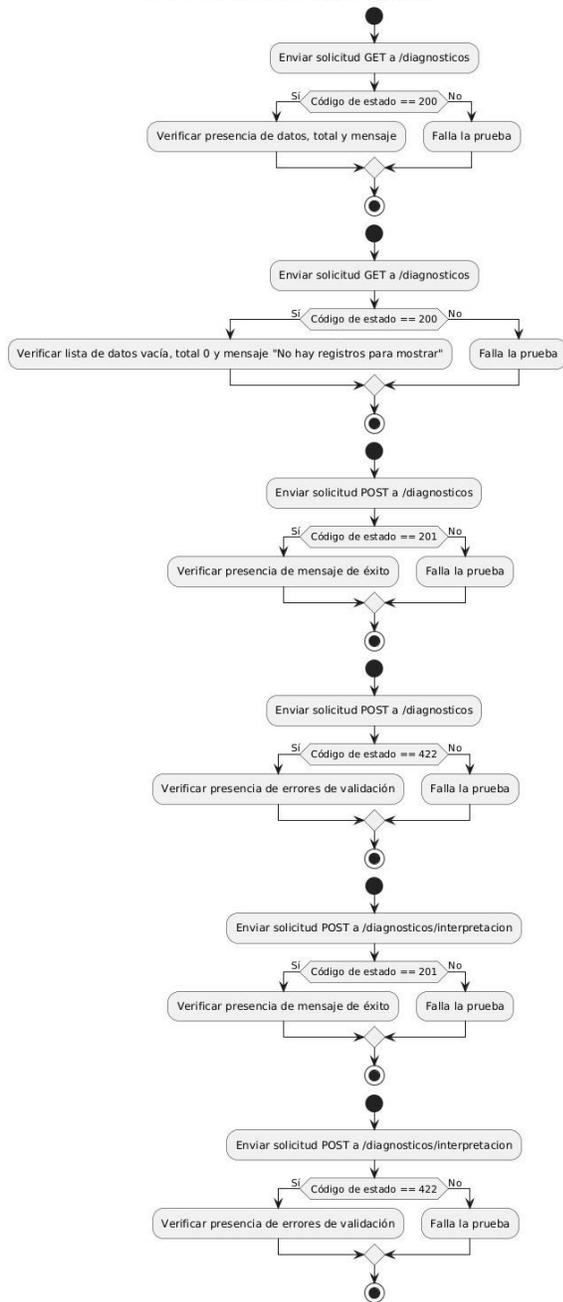
#### **5. Creación Exitosa de Interpretación (POST):**

- a. Se realiza una solicitud HTTP POST al endpoint /diagnosticos/interpretacion para crear una nueva interpretación de un diagnóstico existente.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 201 (creado).
- c. Si el código es 201, se comprueba que la respuesta incluya un mensaje de éxito indicando que la interpretación fue creada correctamente.
- d. Esta prueba valida que la funcionalidad de creación de interpretaciones funcione correctamente.

#### **6. Manejo de Errores de Validación en Interpretaciones (POST):**

- a. Se repite la solicitud POST al endpoint /diagnosticos/interpretacion, pero esta vez se envían datos inválidos o incompletos para provocar un error de validación.
- b. Se verifica si la respuesta tiene un código de estado 422 (unprocessable entity).
- c. Si el código es 422, se comprueba que la respuesta incluya los errores de validación específicos.
- d. Esta prueba asegura que el sistema detecte y reporte correctamente los errores de validación al crear una nueva interpretación.

Test Store Interpretacion Validation Error



## 7.2. Anexos Orientados a la Aplicación.

Los siguientes anexos proporcionan una visión detallada de los procedimientos y configuraciones esenciales necesarios para la implementación y funcionamiento del sistema. Estos documentos están orientados a asegurar que todos los aspectos técnicos sean abordados de manera adecuada y que el sistema opere de manera eficiente y segura. Cada anexo contiene objetivos claros, actividades realizadas y tipos de evidencia recopilada, proporcionando una referencia completa y estructurada para los pasos críticos en la implementación del sistema.

### Anexo 1: Preparación del Servidor.

Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
Configurar el servidor para alojar el sistema.	Se instaló el sistema operativo, se configuraron las redes y se establecieron las medidas de seguridad necesarias.	Captura de Pantalla

```

Setting up libafl2:amd64 (2.3.6-1build1) ...
Setting up libasan-dev:amd64 (11.1.0-9-1build166) ...
Setting up libfontconfig-dev:amd64 (2.15.0-1-1ubuntu2) ...
Setting up libpcap0.8-dev:amd64 (1.10.4-4-1ubuntu3) ...
Setting up libtk8.6:amd64 (8.6.14-1build1) ...
Setting up libtdmcp-dev:amd64 (1.1.1.3-0ubuntu6) ...
Setting up libtinfo-core-dev (2023.2-1) ...
Setting up libgdb:amd64 (2.3.3-0ubuntu5) ...
Setting up libc-devtools (2.39-0ubuntu8.3) ...
Setting up tk8.6 (8.6.14-1build1) ...
Setting up libfontconfig-dev:amd64 (2.15.0-1-1ubuntu2) ...
Setting up libwebp-dev:amd64 (1.15-1ubuntu2) ...
Setting up libpcap-dev:amd64 (1.10.4-4-1ubuntu3) ...
Setting up libx11-dev:amd64 (2:1.8.7-1build1) ...
Setting up libxext-dev:amd64 (2:1.3.4-1build2) ...
Setting up tk (8.6.14build1) ...
Setting up librender-dev:amd64 (1:0.9.10-1-1build1) ...
Setting up libafl-dev:amd64 (2.3.6-1build1) ...
Setting up libass-dev:amd64 (1:1.2.3-1build3) ...
Setting up tk8.6-dev:amd64 (8.6.14-1build1) ...
Setting up tk-dev:amd64 (8.6.14build1) ...
Processing triggers for libc-bin (2.39-0ubuntu8.3) ...
Scanning processes...
Scanning candidates...
Scanning linux images...

Running kernel seems to be up-to-date.

Restarting services...
/etc/needrestart/needrestart.d/systemd-manager
systemctl restart cron.service multipathd.service packagekit.service polkit.service rsyslog.service ssh.service systemd-journald.service systemd-networkd.service systemd-resolved.service systemd-timesyncd.serv
ice systemd-udev.service udisk2.service

Service restarts being deferred:
systemctl restart ModemManager.service
/etc/needrestart/needrestart.d/dbus.service
systemctl restart getty@tty1.service
systemctl restart serial-getty@tty50.service
systemctl restart system-logind.service
systemctl restart unattended-upgrades.service

No containers need to be restarted.

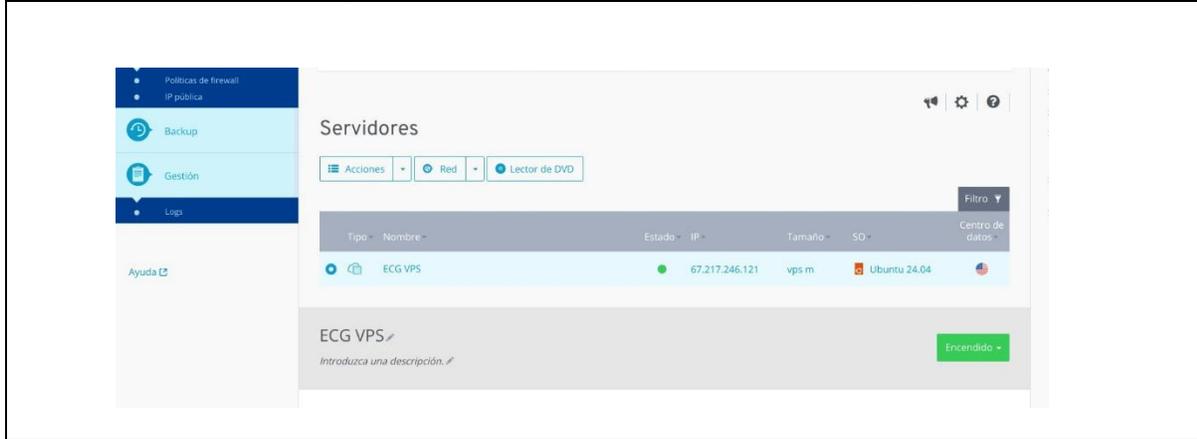
User sessions running outdated binaries:
root @ session #9: bash[2014], sshd[1940]
root @ user manager service: systemd[1954]

No VM guests are running outdated hypervisor (qemu) binaries on this host.
Checking necessary dependency system packages

```

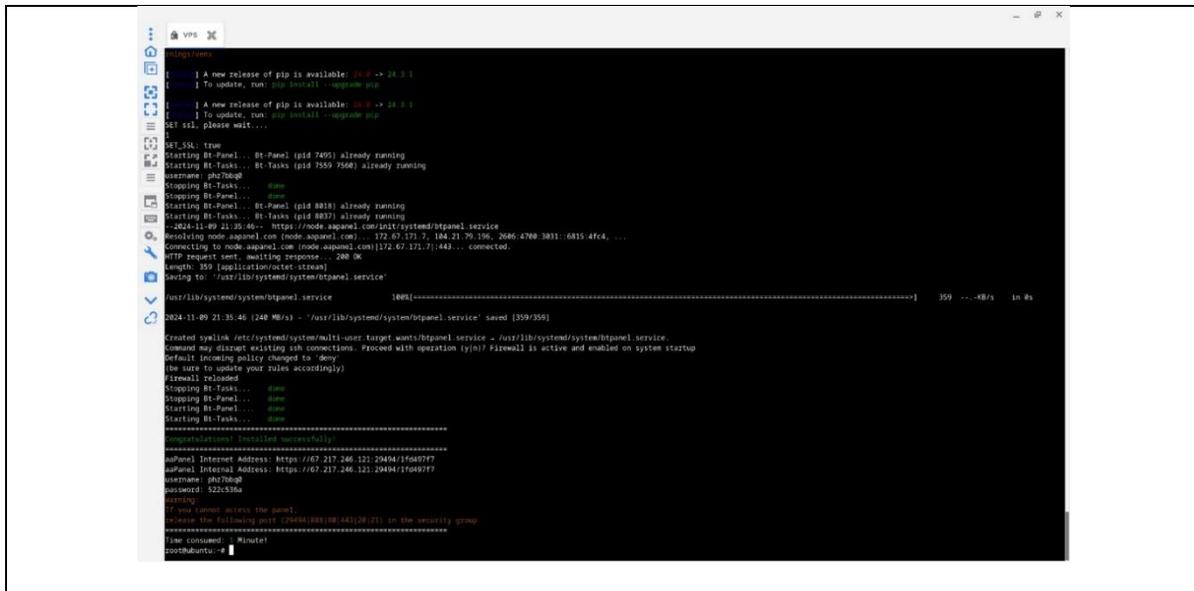
**Anexo 2: VPS en el Hosting.**

Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
Verificar el funcionamiento correctamente del VPS.	Se verificaron el sistema operativo, donde se encuentra el centro de datos y IP.	Captura de Pantalla



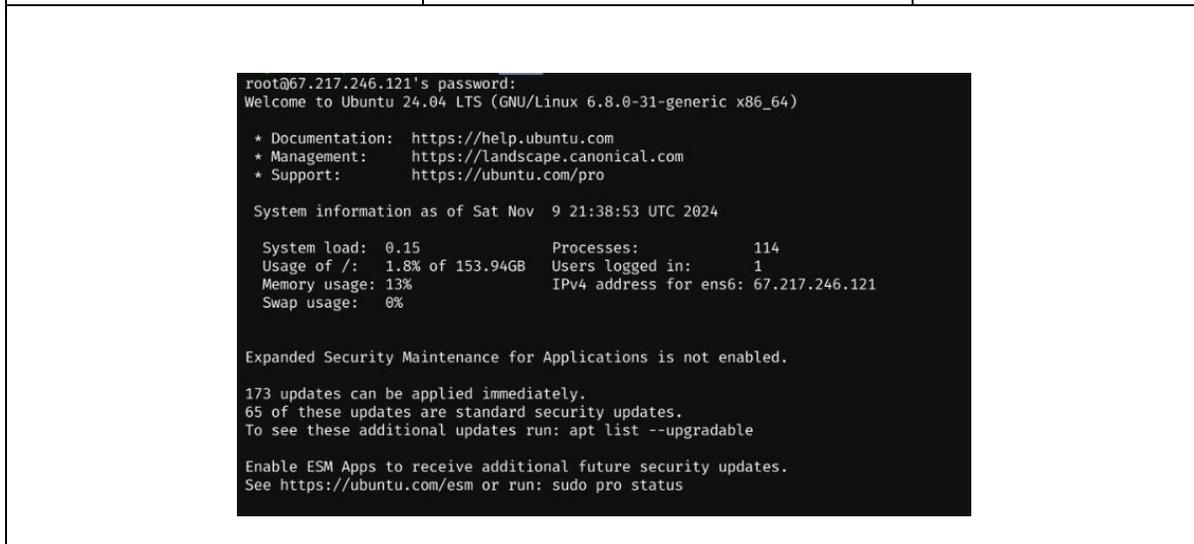
**Anexo 3: Administrador de Virtual Hosts creado en el VPS.**

Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
Garantizar que la gestión y administración del entorno virtual se realice de manera eficiente y segura	Hay que asegurar que el Virtual Hosts este configurado correctamente dentro del VPS.	Captura de Pantalla



**Anexo 4: Túnel SSH para acceso al panel de Hosting del VPS.**

Evento	Descripcion	Tipo de Evidencia
Establecer un túnel SSH para garantizar un acceso seguro al panel de Hosting del VPS.	Configuración de un túnel SSH para acceder de forma segura al panel de control del VPS.	Captura de Pantalla



**Anexo 5: Instalación de componentes del servidor.**

Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
Instalar y configurar los componentes necesarios del servidor	Asegurar la instalación de componentes, para su correcto funcionamiento y optimización.	Captura de Pantalla



**Anexo 6:** Características del Servidor.

Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
Exponer las características del servidor en cuestión.	Verificar los datos de acceso, la IP, Configuración, Políticas de Firewall y la ubicación del Centro de Datos, del servidor.	Captura de Pantalla

## Características



### Datos de acceso:

Host: 67.217.246.121 

Usuario: root

Contraseña inicial: [Mostrar contraseña](#) 

### Imagen:

Origen: IONOS Imágenes

Sistema operativo: Ubuntu 24.04



### Plesk:



Llave de licencia de Plesk: [Generar una llave de licencia de Plesk](#)



### IP:

Dirección IPv4: [67.217.246.121](#) 

Dirección IPv6: No hay ninguna dirección IPv6 disponible



### Configuración:

Tipo: Máquina virtual

Tamaño: vps m

CPU: 2 vCore

RAM: 4 GB

Soporte de datos: 160 GB NVMe SSD



### Políticas de Firewall:

67.217.246.121 My firewall policy



Centro de datos: Estados Unidos

**Anexo 7:** Configuración de Sitio Web en administrador Hosting Virtual.

Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
Configuración del Sitio Web dentro del hosting Virtual.	Configuración y verificación del sitio web en hosting virtual, asegurando su correcta funcionalidad y acceso.	Captura de Pantalla

Agregar sitio: soporte de la construcción del sitio por lotes

Crear sitio | **Crear lotes** | Implementar WordPress

Nombre de dominio: apisdev.ecgproject.online

Descripción: APIs - Desarrollo

Camino del sitio web: /www/wwwroot/apisdev.ecgproject.online

Ftp: Crear

Configuración de FTP: ftp\_apisdev\_ecgproject\_onlin | Contraseña: [oculto]

Mientras crea el sitio, cree un usuario FTP correspondiente para el Sitio, y el directorio FTP apunta al directorio donde se encuentra el sitio.

Base de datos: No crear | Base de datos no instalada, haga clic en Instalar

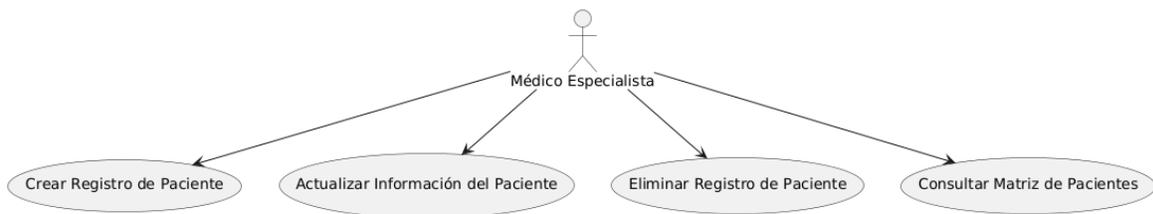
Versión php: PHP-82

Cancelar | **Confirmar**

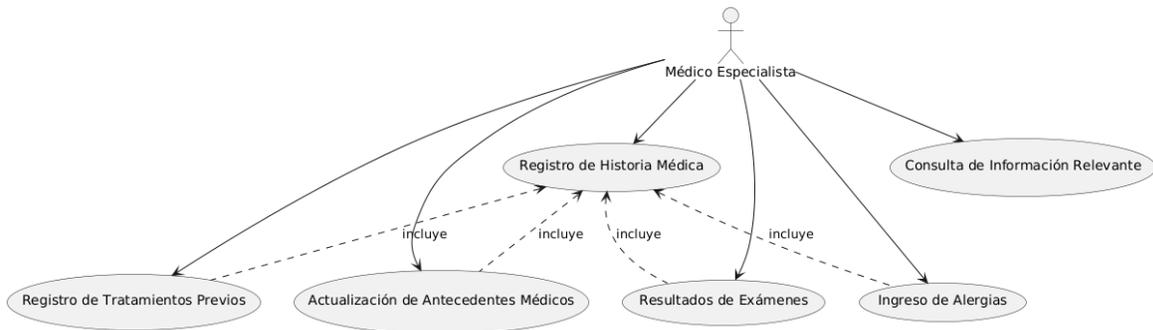
**Anexo 8: Casos de Uso de la Aplicación**

Evento	Descripción	Tipo de Evidencia
Documentar los casos de uso de la aplicación para cada uno de sus módulos	Desarrollar casos de uso sobre cada módulo dentro de la aplicación.	Diagramas de Casos de Uso

**CASO DE USO – MODULO DE PACIENTES**



**CASO DE USO – MODULO DE HISTORIA MEDICA**



## CASO DE USO – MÓDULO DE DIAGNOSTICO

