

Plataforma en la nube para diagnóstico remoto de señales cardíacas Cloud-based platform for remote diagnosis of cardiac signals

Fortunato Ramírez-Arzate ^{a,*}, Ángel Humberto Corral-Domínguez ^a, José Ricardo Cárdenas-Valdez ^a

^aDepartamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, TecNM-ITT, Tijuana, Baja California, México.

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de una plataforma médica basada en la nube para el almacenamiento y análisis remoto de señales cardiovasculares, enfocándose en electrocardiogramas (ECG) y fonocardiogramas (FCG). Su objetivo es favorecer la disponibilidad de diagnóstico médico especializado en contextos con limitaciones geográficas o institucionales, mediante una arquitectura cliente-servidor que utiliza una base de datos MySQL, backend en Node.js y un clasificador automático basado en aprendizaje automático. La plataforma incluye interfaces diferenciadas para médicos y pacientes, que permiten cargar, visualizar, comentar y clasificar archivos biomédicos. Las pruebas funcionales demostraron manejo eficiente de datos clínicos y una segmentación de señales validada, en un entorno simulado de telemedicina. Este sistema representa un componente funcional dentro de un ecosistema de salud conectada basado en tecnologías en la nube.

Palabras Clave: Telemedicina, electrocardiograma, fonocardiograma, almacenamiento en la nube, diagnóstico remoto.

Abstract

This article presents the development of a cloud-based medical platform for remote storage and analysis of cardiovascular signals, focusing on electrocardiograms (ECG) and phonocardiograms (FCG). The platform aims to improve access to specialized diagnostics in resource-constrained areas by leveraging the scalability, availability, and security of cloud infrastructure. It is built on a client-server architecture with a MySQL database, a Node.js backend, and a machine-learning-based automatic classifier. Distinct interfaces were designed for physicians and patients, allowing users to upload, visualize, comment on, and classify biomedical records. Functional tests demonstrated efficient clinical data handling and validated signal segmentation within a simulated telemedicine environment. The platform constitutes a functional component for connected healthcare systems enabled by cloud technologies.

Keywords: Telemedicine, electrocardiogram, phonocardiogram, cloud storage, remote diagnosis.

1. Introducción

El acceso equitativo a servicios médicos especializados sigue siendo un desafío en regiones rurales o marginadas, donde las limitaciones geográficas, económicas y de infraestructura restringen el acceso oportuno y continuo a servicios diagnósticos. Esta situación impacta particularmente en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, que representan una de las principales causas de muerte en el mundo (Tan *et al.*, 2024; Collaborators, 2024). México no es la excepción, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en los últimos años las enfermedades del corazón son la principal causa de muerte a nivel nacional (INEGI, 2024, 2025). ¿Qué se

puede hacer para que las personas tengan acceso a un servicio médico especializado si la mayoría de los especialistas se encuentran en zonas urbanas o únicamente en las ciudades más económicamente activas? Una respuesta a este desafío es que los especialistas, sin moverse de sus consultorios, puedan evaluar las señales de los pacientes y ofrecer diagnósticos oportunos. Es decir, una plataforma que concentre los datos y señales de personas que no podrían acceder a un centro médico especializado para ser diagnosticadas. El acceso a señales como el *electrocardiograma* y el *fonocardiograma*, permitiría a los especialistas detectar anomalías cardiovasculares y evitar traslados innecesarios de pacientes hacia centros médicos especializados.

*Autor para correspondencia: fortunato.ramirez@tectijuana.edu.mx

Correo electrónico: fortunato.ramirez@tectijuana.edu.mx (Fortunato Ramírez-Arzate), angel.corral@tectijuana.edu.mx (Ángel Humberto Corral-Domínguez), jose.cardenas@tectijuana.edu.mx (José Ricardo Cárdenas-Valdez).

Historial del manuscrito: recibido el 16/07/2025, última versión-revisada recibida el 05/02/2026, aceptado el 04/02/2026, publicado el 25/03/2026. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial.15525>



1.1. Fonocardiograma

El fonocardiograma (FCG o PCG) es una técnica no invasiva que registra los sonidos cardíacos producidos por las vibraciones mecánicas del cierre valvular y del flujo sanguíneo turbulento, mediante transductores acústicos o estetoscopios digitales que convierten dichas vibraciones en señales eléctricas procesables (Zhu *et al.*, 2024; Springer *et al.*, 2021). En un registro típico, como se observa en la Figura 1, predominan los sonidos S1 (cierre de las válvulas auriculoventriculares al inicio de la sístole) y S2 (cierre de las válvulas semilunares al final de la sístole), mientras que S3 y S4 pueden aparecer en condiciones fisiológicas o patológicas específicas, asociados al llenado ventricular rápido y a la contracción auricular, respectivamente (Springer *et al.*, 2021). Su utilidad clínica radica en que ofrece un registro permanente, reproducible y cuantificable de los sonidos cardíacos, superando la naturaleza subjetiva de la auscultación convencional y permitiendo análisis digitales avanzados, así como su integración con el electrocardiograma para una evaluación multimodal de la función cardíaca (Zhu *et al.*, 2024; Springer *et al.*, 2021). Además, el FCG se ha incorporado en bases de datos públicas como PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge, fomentando el desarrollo de algoritmos de clasificación automática y detección de enfermedades cardíacas. Gracias a esto, el fonocardiograma ha resurgido como una herramienta de utilidad creciente en contextos clínicos y tecnológicos donde se requiere un monitoreo preciso, portátil y de bajo costo.

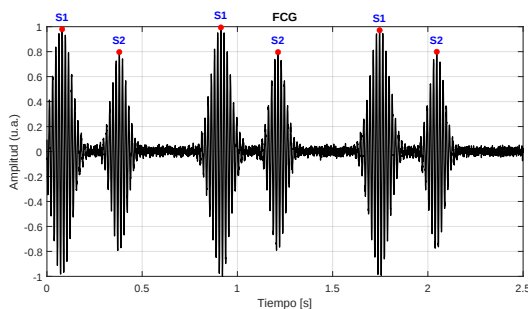


Figura 1: Fonocardiograma. u.a.: unidades arbitrarias, amplitud normalizada al valor máximo de cada señal (escala adimensional).

1.2. Electrocardiograma

El electrocardiograma (ECG o EKG) es una representación gráfica no invasiva de la actividad eléctrica del corazón, obtenida mediante electrodos colocados en extremidades y tórax que registran los cambios de potencial producidos por la despolarización y repolarización del tejido miocárdico a lo largo del ciclo cardíaco (Ose *et al.*, 2024; Sivaraks y Ratanamahatana, 2015). La señal del ECG se compone de ondas que reflejan eventos eléctricos específicos, como se observa en la Figura 2: la onda P corresponde a la despolarización auricular, el complejo QRS a la despolarización ventricular (ondas Q, R y S) y la onda T a la repolarización ventricular, pudiendo aparecer en algunos casos una onda U asociada a repolarización tardía (Sivaraks y Ratanamahatana, 2015; Varon *et al.*, 2021). El análisis morfológico y temporal de estas ondas y de intervalos como PR, QRS y QT convierte al ECG en una herramienta clave para el diagnóstico de arritmias, bloqueos de conducción, hipertrofia ventricular,

isquemia e infarto de miocardio, así como de diversas alteraciones metabólicas y farmacológicas (Ose *et al.*, 2024; Varon *et al.*, 2021).

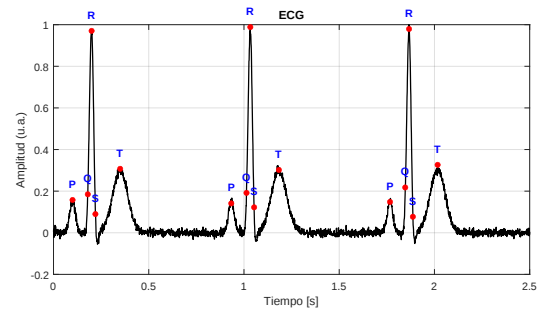


Figura 2: Electrocardiograma. u.a.: unidades arbitrarias, amplitud normalizada al valor máximo de cada señal (escala adimensional).

Las señales descritas anteriormente representan una herramienta clave para que los especialistas puedan diagnosticar problemas cardiovasculares en pacientes remotos sin necesidad de trasladarse. La siguiente pregunta es: ¿Cómo poner estas señales al alcance de cada especialista sin requerir traslados ni de pacientes ni de especialistas? Una respuesta a esta pregunta es el *cómputo en la nube*: desarrollar una plataforma en la nube que almacene los perfiles y las señales de los pacientes, de modo que cada especialista pueda acceder a ellas desde la comodidad de su consultorio, siempre que cuente con acceso a Internet.

1.3. Cómputo en la nube

El cómputo en la nube (cloud computing) es un modelo que permite acceder de forma remota y bajo demanda a recursos de almacenamiento, procesamiento, redes y aplicaciones a través de internet, con escalabilidad y pago por uso (Mell y Grance, 2011; Zhang *et al.*, 2010). Sus servicios se agrupan típicamente en tres modelos: Infraestructura como Servicio, Plataforma como Servicio y Software como Servicio (IaaS, PaaS, SaaS, por sus siglas en inglés, respectivamente), que abarcan desde máquinas virtuales y redes hasta entornos de desarrollo y aplicaciones completas accesibles vía navegador (Armbrust *et al.*, 2010). Entre las plataformas líderes se encuentran AWS, Microsoft Azure y Google Cloud Platform (GCP); en este proyecto se empleó Google Cloud Console para combinar servicios de almacenamiento, bases de datos, autenticación y control de accesos, apoyándose principalmente en PaaS para el backend y en IaaS para el despliegue de instancias virtuales. Esta infraestructura permite centralizar información biomédica en un entorno seguro y accesible para especialistas autorizados, constituyendo la base tecnológica de soluciones de salud conectada y de gestión escalable de datos clínicos en tiempo casi real (Rolim *et al.*, 2010).

En respuesta a la limitada disponibilidad de especialistas, la propuesta de este trabajo se apoya en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y en plataformas de telemedicina capaces de registrar, monitorear y analizar parámetros biomédicos desde ubicaciones remotas (Khan y Gupta, 2025), aprovechando las ventajas de las plataformas web médicas en la nube para optimizar la disponibilidad, escalabilidad y seguridad de los datos clínicos, así como la interacción asincrónica y

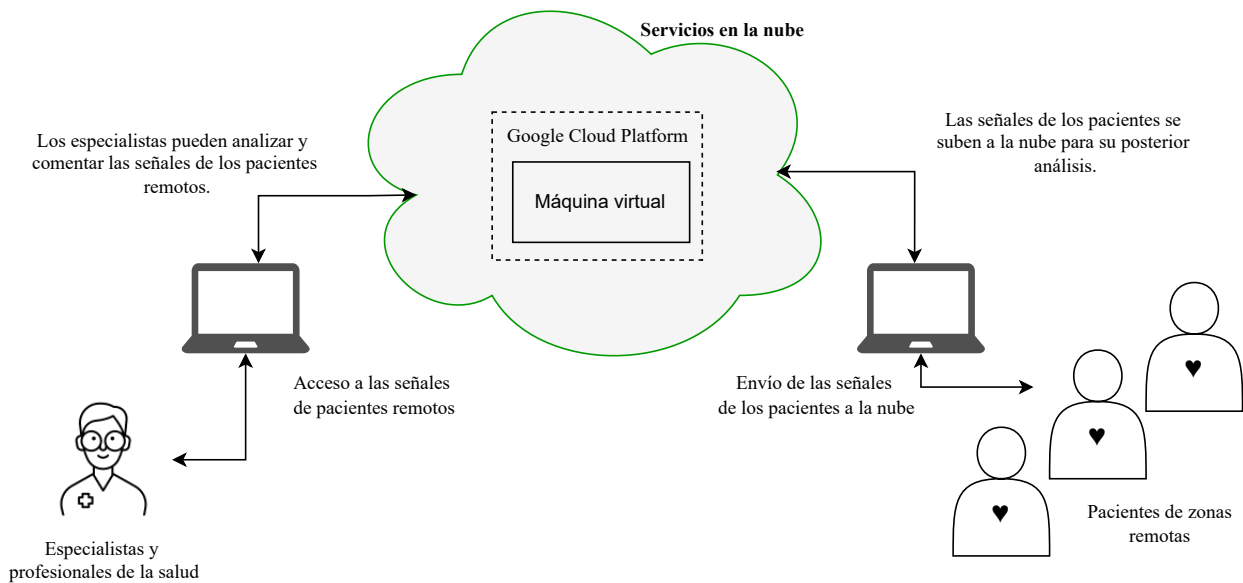


Figura 3: Diagrama general de la plataforma. Se representa el flujo de señales biomédicas desde pacientes en zonas remotas hacia servicios en la nube, donde pueden ser consultadas y analizadas por especialistas a través de una interfaz web.

remota entre profesionales de la salud y pacientes (Lee y Park, 2024).

1.4. Propuesta

En este artículo se presenta el desarrollo de una plataforma web médica en la nube para el almacenamiento, consulta y análisis de señales cardiovasculares (ECG y FCG), basada en una arquitectura cliente-servidor incorporando tecnologías como *Node.js* y *MySQL*, que ofrece interfaces diferenciadas para médicos y pacientes, incorpora un clasificador automático de fonocardiogramas y considera principios de seguridad y control de acceso. Para la etapa de validación, la plataforma se alimentó tanto de registros públicos como de adquisiciones propias: se emplearon electrocardiogramas de bases de datos abiertas de PhysioNet y fonocardiogramas de la Universidad de Michigan (PhysioNet, 2024; University of Michigan, 2025), y se integró un módulo de captura de ECG basado en el sensor analógico AD8232 acoplado a un microcontrolador y electrodos superficiales, configurado a una frecuencia de muestreo de 2000 Hz; aunque este prototipo no corresponde todavía a un dispositivo clínicamente validado, resulta adecuado para probar el flujo de adquisición e integración en la plataforma. En el caso de los fonocardiogramas propios, se utilizó el estetoscopio electrónico Thinklabs One, un dispositivo de uso clínico que permite la adquisición de audio cardíaco en el rango de 20–1500 Hz, registrado a una frecuencia de muestreo de 44.1 kHz y con filtros pasabanda integrados en dicho intervalo. Ensayos preliminares con micrófonos de solapa y estetoscopios analógicos acoplados a sensores de propósito general no ofrecieron una relación señal/ruido adecuada, motivo por el cual se optó por el empleo del Thinklabs One como transductor principal para la adquisición de los fonocardiogramas.

La Figura 3 muestra un panorama general de la arquitectura funcional del sistema. En ella se representa el flujo de informa-

ción biomédica desde los pacientes ubicados en zonas remotas hasta los especialistas que acceden a las señales mediante una interfaz web, utilizando servicios desplegados en la nube como núcleo de procesamiento y almacenamiento.

2. Desarrollo de la plataforma

La plataforma propuesta se implementó como un sistema web cliente-servidor desplegado en la nube, organizado en varios componentes que trabajan de forma integrada para permitir el registro, almacenamiento, consulta y análisis de señales cardiovasculares (ECG y FCG). La arquitectura técnica completa se sintetiza en la Figura 4, donde se observa cómo, dentro de una instancia virtual en Google Cloud Platform, el servidor backend basado en *Node.js/Express* se comunica con la base de datos relacional *MySQL* y con el módulo de clasificación automática de fonocardiogramas implementado en *Python*, mientras que el frontend web —desarrollado con HTML, JavaScript y Bootstrap— expone los servicios a través de peticiones *HTTPS* hacia las computadoras de especialistas y pacientes. En el mismo diagrama se ilustra el repositorio de señales ECG y FCG, así como el flujo de trabajo desde la estación de desarrollo, que accede a la máquina virtual mediante conexiones SSH y SFTP, hasta los canales seguros de comunicación que permiten centralizar el resguardo de los datos, aplicar mecanismos de autenticación y control de acceso por rol y escalar los recursos de cómputo conforme crece la demanda del sistema.

Sobre esta arquitectura se integra, en una fase piloto, un módulo de clasificación automática de fonocardiogramas que procesa los registros de FCG almacenados y devuelve etiquetas diagnósticas para su visualización en la interfaz médica. Además, se habilita el acceso remoto al entorno de desarrollo y administración del servidor, lo que facilita el mantenimiento de la plataforma y la actualización del sistema sin interrumpir

el servicio. En las subsecciones siguientes se detallan los elementos técnicos de cada componente: primero se describe la configuración de la infraestructura en la nube y el acceso remoto al entorno de desarrollo, posteriormente la implementación del backend de la plataforma y el diseño e implementación del frontend web; a continuación, se presenta el modelado y despliegue de la base de datos en la nube y, finalmente, se documenta la integración con el módulo de clasificación automática de fonocardiogramas en su fase piloto.

2.1. Configuración de la infraestructura en la nube y acceso remoto al entorno de desarrollo

Para el desarrollo de la plataforma, se optó por una infraestructura basada en Google Cloud Platform (GCP), aprovechando sus capacidades para crear y administrar máquinas virtuales (VMs) bajo demanda a través del servicio Compute Engine. En particular, se desplegó una instancia del tipo `e2-micro` con sistema operativo Ubuntu LTS (64 bits) y un disco de estado sólido (SSD) de 20 GB, utilizando el resto de parámetros por defecto del servicio. Este entorno resulta suficiente para el prototipo desarrollado y permite estimar los requerimientos mínimos de cómputo para futuras réplicas del sistema en otros entornos.

El entorno de desarrollo local se gestionó mediante Visual Studio Code, una herramienta multiplataforma con extensiones integradas que permiten conexiones remotas mediante protocolos seguros como SSH y SFTP. La combinación de estas tecnologías facilita un flujo de trabajo continuo entre el desarrollo local y la infraestructura en la nube. En términos prácticos, la configuración utilizada (instancia `e2-micro`, Ubuntu LTS y 20 GB de SSD) puede considerarse como un punto de partida razonable para definir los requerimientos mínimos de despliegue de la plataforma.

- **Google Cloud Platform (Compute Engine):** Servicio para la creación y administración de máquinas virtuales personalizadas, utilizado como infraestructura principal de la plataforma.
- **Visual Studio Code:** Entorno de desarrollo con soporte para conexiones remotas seguras mediante SSH y SFTP, con capacidad de sincronización directa del código fuente.
- **Ubuntu Server:** Sistema operativo instalado en la máquina virtual por su estabilidad, seguridad y compatibilidad con herramientas de servidor.
- **Node.js y Express.js:** Conjunto de tecnologías utilizadas para implementar el backend de la plataforma en JavaScript, facilitando el manejo de rutas, peticiones y servicios web.

El servicio Google Compute Engine, parte del ecosistema de Google Cloud Platform, permite la creación de máquinas virtuales personalizadas con recursos configurables. Estas instancias funcionan como servidores remotos sobre los cuales se despliegan servicios, bases de datos o aplicaciones web, como la plataforma de análisis biomédico desarrollada en este proyecto de acuerdo con los siguientes pasos:

- **Habilitación de Compute Engine:** Desde la consola de Google Cloud, se accedió a la sección “Compute Engine” y se habilitó el servicio para iniciar la creación de nuevas instancias virtuales. Esto permite definir recursos virtualizados como CPU, memoria, almacenamiento y red.
- **Configuración del sistema operativo y almacenamiento:** Se seleccionó la distribución **Ubuntu Server 22.04 LTS** por su estabilidad, soporte extendido y compatibilidad con entornos backend. El almacenamiento fue configurado con una unidad **SSD persistente**, lo cual mejora notablemente el rendimiento en comparación con discos estándar, especialmente en operaciones de lectura y escritura intensivas.
- **Asignación de dirección IP estática:** Para garantizar una conexión estable y predecible hacia la máquina virtual, se configuró una dirección IPv4 como **estática**. Esta configuración evita que la dirección IP cambie tras reinicios o actualizaciones de la instancia, requisito esencial para mantener la conectividad persistente del sistema.
- **Habilitación del tráfico HTTP y HTTPS:** Como parte de la configuración de red, se habilitaron ambos protocolos de entrada. HTTP permite el acceso básico al servidor, mientras que HTTPS habilita el cifrado de datos durante la transmisión, protegiendo así la información biomédica intercambiada entre cliente y servidor.

Una vez creada y configurada la máquina virtual, el siguiente paso fue establecer un mecanismo de acceso remoto seguro para facilitar el desarrollo y despliegue del sistema desde el entorno local. Para ello, se utilizaron claves SSH para autenticación sin contraseña, y el protocolo SFTP para la sincronización automática de archivos entre Visual Studio Code y la instancia remota en la nube. De acuerdo al siguiente procedimiento:

- **Instalación de extensión SFTP en Visual Studio Code:** Se instaló la extensión oficial “SFTP” desde el Marketplace de Visual Studio Code, la cual permite configurar conexiones remotas hacia servidores mediante archivos `.json` personalizados.
- **Generación de claves SSH:** Utilizando el comando `ssh-keygen -t rsa -C ‘usuario@clave’` en PowerShell, se generó un par de claves (una pública y una privada). Estas claves son necesarias para autenticar conexiones remotas sin necesidad de contraseñas.
- **Configuración del archivo `sftp.json`:** Dentro del directorio del proyecto local, se creó el archivo de configuración de SFTP. En él se definieron parámetros como la IP de la VM, el nombre de usuario, la ruta remota, y la clave privada a utilizar. Adicionalmente, se habilitó la opción `‘uploadOnSave’`: `true` para que cualquier cambio guardado localmente se sincronice automáticamente con la máquina virtual.
- **Carga de clave pública a la VM en Google Cloud:** La clave pública generada localmente fue copiada y pegada en el apartado de claves SSH de la instancia virtual, permitiendo así que cualquier intento de conexión desde

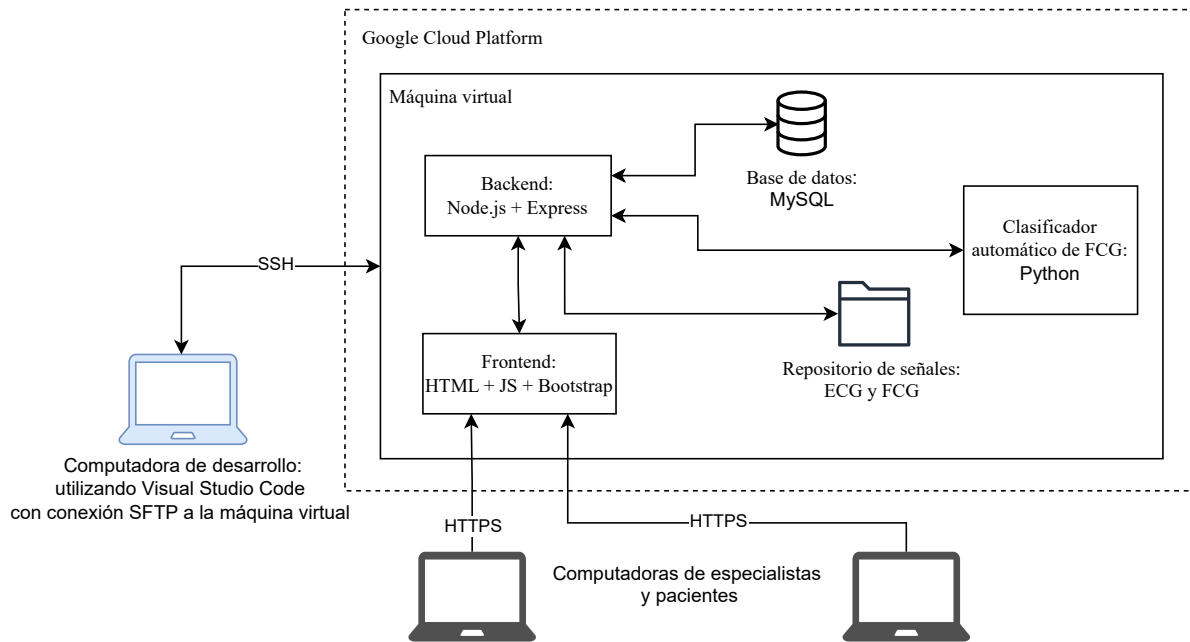


Figura 4: Arquitectura técnica de la plataforma web para almacenamiento y análisis de señales cardiovasculares. La solución se despliega en una máquina virtual de Google Cloud Platform que aloja el backend (Node.js + Express), el frontend (HTML, JavaScript y Bootstrap), la base de datos MySQL, el repositorio de señales ECG/FCG y el módulo de clasificación automática en Python. El desarrollo se realiza desde una computadora local mediante conexión SSH/SFTP, mientras que especialistas y pacientes acceden a la plataforma a través de navegadores web mediante HTTPS.

Visual Studio Code utilizando la clave privada asociada fuera reconocido y aceptado.

- **Prueba de conexión mediante SSH:** Con el comando `ssh -i ruta/clave usuario@IP`, se estableció una conexión segura desde la terminal local a la máquina virtual, verificando que la autenticación se realizara correctamente mediante clave y que se tuviera acceso completo a la terminal remota.

Esta configuración permite un flujo de trabajo eficiente: el código se edita de forma local en un entorno cómodo (VS Code), y se sincroniza automáticamente a la nube en cada guardado, eliminando la necesidad de cargas manuales mediante FTP o consola.

2.2. Implementación del backend de la plataforma

El backend de la plataforma fue desarrollado utilizando el entorno de ejecución Node.js en conjunto con el framework Express.js, tecnologías ampliamente adoptadas por su eficiencia, escalabilidad y simplicidad para construir APIs RESTful. Este componente es responsable de gestionar la comunicación entre la interfaz gráfica, la base de datos y los módulos de análisis automático.

El proceso se desarrolló directamente en la máquina virtual configurada en Google Cloud Platform, con los siguientes pasos principales:

- Se instalaron Node.js y NPM mediante el gestor de paquetes del sistema operativo.
- Se inicializó el proyecto y se instaló el framework Express para el manejo de rutas.

- Se organizaron las carpetas y archivos del backend para separar el código según su función (rutas, controladores, modelos y archivos públicos).
- Se crearon funciones específicas para recibir, validar y almacenar datos enviados desde el frontend, así como para responder a solicitudes GET y POST.
- Se habilitó la capacidad de servir archivos estáticos (HTML, CSS, JavaScript) desde la carpeta pública.

Las principales funciones del backend desarrolladas se resumen en la Tabla 1.

2.3. Diseño e implementación del frontend web

La interfaz gráfica de la plataforma fue desarrollada utilizando tecnologías web estándar: HTML para la estructura del contenido, CSS para la presentación visual y JavaScript para la interacción básica. El diseño se centró en garantizar una interacción sencilla y funcional con el sistema, permitiendo a los usuarios ingresar señales, visualizar respuestas del servidor y navegar de forma intuitiva.

La interfaz se compone principalmente de un formulario de entrada para subir señales biomédicas y un área de respuesta donde se presentan los resultados o mensajes de confirmación. Se organizó como un sitio de una sola página alojado en la carpeta pública del backend.

El proceso de implementación se llevó a cabo con los siguientes pasos clave:

- Se creó un documento principal `index.html` que contiene el formulario para introducir los datos del paciente y subir las señales.

Tabla 1: Descripción del backend de la plataforma

Función	Descripción
Recepción de datos	Captura de señales biomédicas enviadas desde el formulario web.
Validación de entradas	Verificación de que los datos recibidos cumplen con el formato esperado.
Enrutamiento	Redirección de peticiones a funciones específicas según la ruta.
Interacción con la base de datos	Insertión y recuperación de registros desde MySQL.
Respuesta al cliente	Envío de confirmaciones o resultados al frontend en formato HTML.
Integración externa	Conexión con el clasificador automático de fonocardiogramas.

- Se aplicaron estilos personalizados mediante una hoja styles.css ubicada en la misma carpeta pública.
- Se utilizó el atributo action del formulario para enviar los datos al backend mediante una petición POST.
- Se incorporaron mensajes de retroalimentación para confirmar al usuario la recepción y el procesamiento de la señal.
- Se verificó la funcionalidad de la interfaz accediendo desde navegadores estándar conectados a la IP pública de la máquina virtual.

La Tabla 2 resume las funciones más relevantes del frontend desarrollado.

2.4. Modelado y despliegue de la base de datos en la nube

La plataforma desarrollada almacena las señales biomédicas y la información relacionada mediante una base de datos relacional implementada en MySQL. Esta base de datos fue alojada directamente en la máquina virtual de Google Cloud, permitiendo acceso inmediato desde el backend y garantizando control total sobre el sistema de almacenamiento.

El modelado de datos partió de un esquema entidad-relación donde se identificaron las entidades principales y sus relaciones. Posteriormente, el modelo fue traducido a comandos SQL para la creación de las correspondientes estructuras de tablas.

Las acciones realizadas para el despliegue fueron las siguientes:

- Instalación del servidor MySQL en la máquina virtual Ubuntu.
- Creación de un usuario específico con permisos limitados para el sistema.
- Ejecución de los scripts .sql de creación de tablas y relaciones.
- Configuración del archivo de conexión desde Node.js para establecer el vínculo con la base de datos.
- Verificación de la integridad y conectividad mediante consultas de prueba.

En la Tabla 3 se muestran las principales tablas que constituyen la base de datos.

2.5. Integración con el módulo de clasificación automática de fonocardiogramas (fase piloto)

Como una extensión experimental del sistema, se integró un bloque externo de clasificación automática de fonocardiogramas desarrollado previamente por el mismo equipo de investigación. Este módulo emplea técnicas de aprendizaje automático para analizar señales cardíacas y sugerir un diagnóstico preliminar, proporcionando soporte en el proceso de revisión clínica por parte del especialista.

Aunque esta funcionalidad aún se encuentra en fase de prueba, su integración representa una etapa preliminar en la automatización del análisis clínico remoto.

Las acciones implementadas para su incorporación fueron las siguientes:

- Se definió un punto de conexión desde el backend para enviar la señal preprocesada al clasificador.
- El clasificador fue alojado en un módulo independiente, implementado como un servicio local en la máquina virtual del backend.
- Se estandarizó el formato de entrada y salida (por ejemplo, archivos .mp3, .wav, .dat, .hea, .txt, .csv, etc. con las muestras).
- El backend interpreta el resultado del clasificador y lo almacena junto al registro del paciente.

Esta integración se plantea como una función complementaria dentro del flujo de análisis, no sustitutiva, y está pensada para facilitar el triaje automatizado de señales, permitiendo a los especialistas enfocar su atención priorizando la atención médica en casos con mayor complejidad diagnóstica.

3. Resultados

La plataforma web desarrollada fue sometida a pruebas funcionales que permitieron evaluar su comportamiento en un entorno simulado de telemedicina cardiovascular. En estas pruebas se verificó el flujo completo de interacción entre los tres tipos de usuarios (paciente, médico y administrador), desde el registro y autenticación hasta la carga, almacenamiento, consulta y análisis de señales cardíacas (ECG y FCG), así como la emisión y visualización de comentarios clínicos asociados.

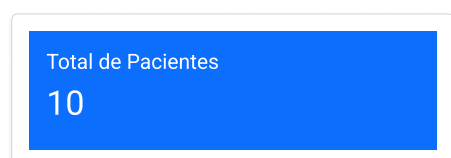
Adicionalmente, se evaluó la correcta gestión de los formatos de archivo aceptados por el sistema (.dat, .hea, .mp3 y .wav), la representación gráfica de las bioseñales en el navegador, la reproducción de fonocardiogramas, el funcionamiento del módulo de clasificación automática y la coherencia de

Tabla 2: Descripción del frontend de la plataforma

Función	Descripción
Formulario de envío	Recolecta los datos del paciente y la señal a analizar.
Conexión con el backend	Envía la información mediante POST al servidor Express.
Visualización de resultados	Presenta respuestas del servidor en formato HTML.
Estilización de la página	Mejora visual mediante reglas CSS personalizadas.
Compatibilidad multiplataforma	Accesible desde navegadores web comunes en cualquier dispositivo.

Tabla 3: Tablas principales de la base de datos

Tabla	Descripción
usuarios	Almacena credenciales, roles y datos de acceso.
pacientes	Registra datos personales básicos de cada paciente.
senales	Guarda las señales fonocardiográficas capturadas o subidas.
diagnosticos	Contiene observaciones, comentarios y resultados de especialistas.
historial	Vincula pacientes con sus registros y diagnósticos.



Pacientes Registrados por Médico			
Nombre del Médico	Total de Pacientes	Pacientes Asignados	Eliminar Médico
Médico 1	3	Paciente 1, Paciente 2, Paciente 3	<button>Eliminar</button>
Médico 2	1	Paciente 4	<button>Eliminar</button>
Médico 3	1	Paciente 5	<button>Eliminar</button>
Médico 4	0	Sin pacientes registrados	<button>Eliminar</button>
Médico 5	0	Sin pacientes registrados	<button>Eliminar</button>

Figura 5: Captura de pantalla del panel de administración de la plataforma web, donde se observa una tabla con el identificador de cada registro, el nombre del paciente, el nombre del médico asignado y los controles para editar o eliminar cada relación.

los permisos según el rol de cada usuario. En los apartados siguientes se describen los resultados observados para cada una de estas funcionalidades clave.

3.1. Carga de señales por parte de los usuarios

Los usuarios autenticados (paciente, médico o administrador) pudieron cargar señales biomédicas desde la interfaz web siguiendo un flujo guiado. Tras iniciar sesión, el paciente accedió al módulo *Mis señales* y seleccionó la opción *Subir archivo*, eligiendo desde su dispositivo la bioseñal correspondiente y completando un formulario con metadatos básicos (tipo de señal —ECG o FCG—, canal, fecha de adquisición y comentarios opcionales). La versión actual de la plataforma acepta archivos en los formatos .dat y .hea (compatibles con el estándar de PhysioNet) para registros de señales, así como archivos de audio .wav y .mp3 para fonocardiogramas. Durante el proceso de carga, el sistema valida la extensión y el contenido básico de los archivos, mostrando notificaciones claras en caso de error de formato o de carga incompleta, y confirmando explícitamente las cargas exitosas. Una vez validada la señal, esta se almacena en la base de datos y queda asociada al perfil del paciente (y, en su caso, al médico responsable), como se observa en la Figura 5.

3.2. Análisis clínico y comentarios del especialista

El profesional de la salud accedió, mediante su cuenta, a la lista de pacientes disponibles o a aquellos que le fueron asignados. En la vista de detalle de cada paciente, el sistema mostró la ficha clínica básica (datos demográficos, motivo de consulta, antecedentes médicos y familiares) y una tabla con los archivos de bioseñales previamente cargados, indicando para cada registro el nombre del archivo, el tipo de señal (electrocardiograma o fonocardiograma), la fecha de subida y las acciones disponibles (*ver* y *clasificar señal*).

Al seleccionar uno de los registros, el especialista pudo visualizar la señal en forma de gráfico de tiempo–amplitud dentro del navegador, reproducir el audio en el caso de fonocardiogramas, y, cuando correspondía, consultar el resultado del módulo de clasificación automática. En un panel lateral se habilitó un cuadro de texto para redactar observaciones clínicas estructuradas, las cuales se almacenaron junto con la fecha y la identificación del médico responsable. Esta interfaz permitió combinar la inspección visual y auditiva de la señal con la documentación del juicio clínico, como se observa en la Figura 6.

3.3. Retroalimentación visualizada por el paciente

Posteriormente, el paciente pudo ingresar nuevamente al sistema y acceder a su perfil para revisar el estado de sus estudios. Desde esta vista, la plataforma presentó tanto su información básica (datos de contacto, antecedentes, motivo de consulta) como la lista de archivos previamente cargados, organizada en una tabla que muestra el tipo de señal, la fecha de subida y las acciones asociadas a cada registro.

Para cada señal analizada, el paciente tuvo acceso a los comentarios emitidos por el médico, los cuales se mostraron en un panel de texto junto al gráfico correspondiente de la bioseñal. De esta manera, pudo visualizar de forma integrada la señal (por ejemplo, un ECG con su eje de tiempo y amplitud)

y el informe clínico en lenguaje comprensible, incluyendo recomendaciones de seguimiento o indicaciones para valoración presencial. Esta funcionalidad establece un canal de comunicación asincrónica que ofrece seguimiento clínico a distancia y refuerza el componente educativo de la plataforma, como se observa en la Figura 7.

3.4. Prueba piloto del clasificador automático

Se integró además un módulo preliminar de clasificación automática de fonocardiogramas, como prueba piloto. El clasificador no se describe a detalle, ya que se encuentra en proceso de protección intelectual. Tiene la capacidad de detectar cinco patologías: clic Sistólico, soplo temprano, soplo medio, soplo tardío y soplo holosistólico, así como fonocardiogramas normales. Con una precisión superior al 90 % en señales con bajo nivel de ruido. Demostró ser una herramienta muy útil para los tres tipos de usuarios, médicos, pacientes y administradores. Este clasificador preliminar se visualiza como un complemento útil en el análisis automático de fonocardiogramas. Se planea, además, el desarrollo de un clasificador automático para señales de electrocardiograma, actualmente en etapa inicial.

En la parte inferior de la Figura 8, se muestra como se selecciona uno de los fonocardiogramas de un paciente y se manda clasificar de manera automática. En ese momento el backend se envía la señal al clasificador automático, el cual contesta con el padecimiento encontrado de ser así, o con la respuesta de señal normal, dependiendo el caso.

4. Conclusiones

La plataforma desarrollada permite a pacientes en zonas geográficamente remotas almacenar señales biomédicas y facilitar su consulta por parte de especialistas a distancia. Este sistema constituye una herramienta funcional dentro de un ecosistema de telemedicina en construcción, orientado a mejorar el acceso a servicios de diagnóstico clínico.

Actualmente, la plataforma permite el almacenamiento y visualización de señales cardíacas, así como su análisis asistido mediante un clasificador automático de fonocardiogramas. No obstante, aún no ha sido validada por las instituciones correspondientes, por lo tanto, su aplicación clínica permanece restringida a escenarios controlados de validación experimental. En el contexto del cómputo en la nube y su esquema de pago por uso, se identificó la necesidad de optimizar el tamaño de los archivos enviados y almacenados, así como los tiempos de procesamiento, con el fin de reducir costos operativos y mejorar los tiempos de respuesta del sistema. Durante la fase de desarrollo se hizo uso del periodo de prueba de Google Cloud Platform, mientras que la continuidad en el uso de la máquina virtual actualmente se gestiona con recursos propios, lo que refuerza la importancia de dichas optimizaciones para la sostenibilidad del sistema.

Como parte del desarrollo continuo, se trabajará en la compresión eficiente de las señales biomédicas (ECG, FCG y futuras modalidades) antes de su envío y almacenamiento en la nube, de manera que se disminuya el ancho de banda requerido y el espacio ocupado sin perder información relevante para el diagnóstico. Paralelamente, se planea integrar un clasificador automático de ECG y ampliar la capacidad de la plataforma para manejar otros tipos de señales biomédicas, que

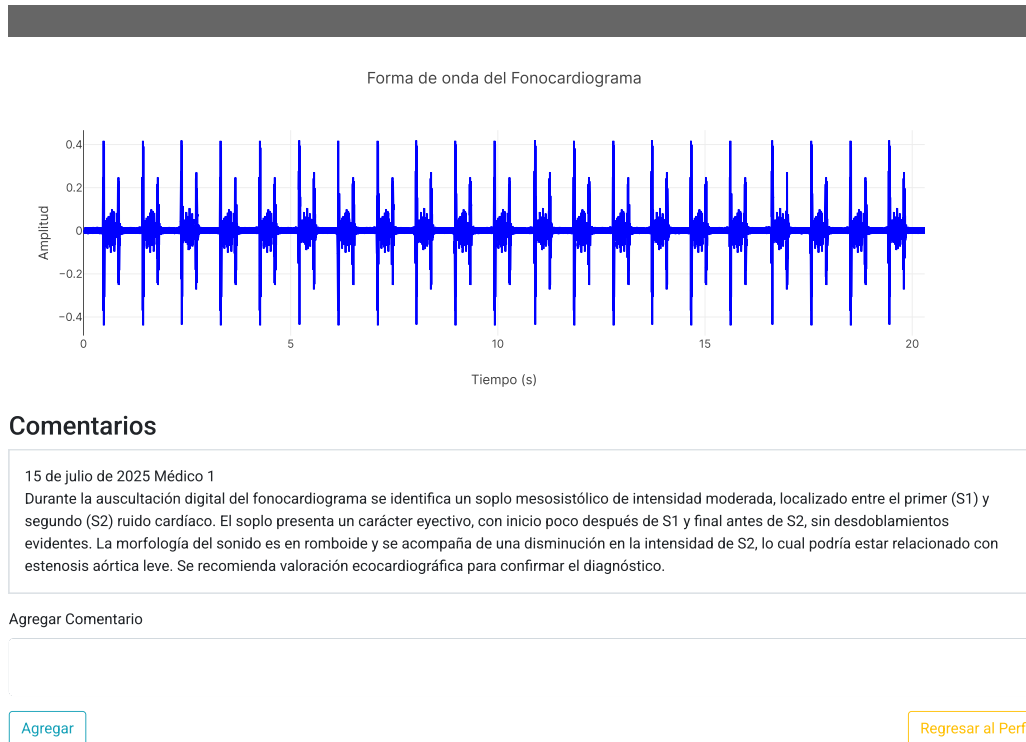


Figura 6: Interfaz del médico para análisis clínico de señales remotas. El profesional de la salud visualiza la señal cardíaca (ECG o FCG) en forma de gráfico y dispone de un panel para registrar comentarios estructurados asociados a cada registro. Esta vista integra la exploración visual de la bioseñal con la anotación clínica, permitiendo documentar hallazgos, sospechas diagnósticas y recomendaciones de seguimiento para el paciente.

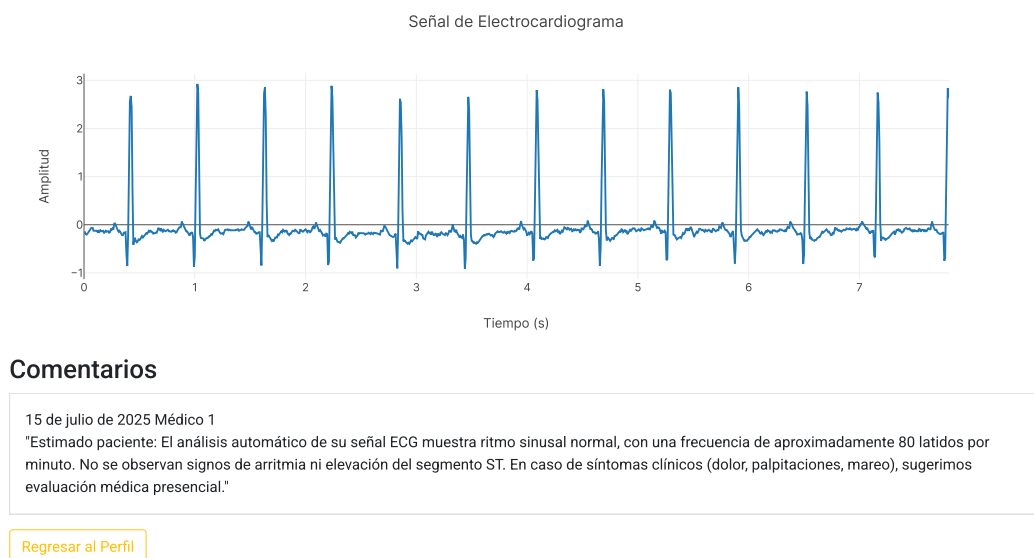


Figura 7: Vista de la retroalimentación desde la cuenta del paciente. El usuario autenticado puede consultar las señales previamente cargadas y leer los comentarios emitidos por su médico tratante en un formato claro y accesible. Esta interfaz materializa el canal de comunicación asincrónica entre ambas partes, favoreciendo el seguimiento remoto, la comprensión del estado de salud y la toma de decisiones informada por parte del paciente.

Paciente Nombre

Fecha de Nacimiento:

Género:

Teléfono:

Email:

Peso:

Estatura:

Motivo de consulta

Fecha de inicio de síntomas:

Antecedentes médicos y familiares

Enfermedades diagnosticadas:

Antecedentes familiares:

Archivos

Nombre del Archivo	Tipo de Archivo	Fecha de Subida	Acciones	
16265.dat	electrocardiograma	15/7/2025	Ver	Clasificar señal
fonocardiograma_2.mp3	fonocardiograma	15/7/2025	Ver	Clasificar señal
fonocardiograma_2.wav	fonocardiograma	15/7/2025	Ver	Clasificar señal
fonocardiograma_3.wav	electrocardiograma	15/7/2025	Ver	Clasificar señal

La señal de fonocardiograma presenta un SOPLO MEDIO.

Cerrar

Figura 8: Módulo de clasificación automática de fonocardiogramas. Se muestra el resumen de datos (ocultados para esta imagen) del paciente y, debajo, una tabla con los archivos biomédicos asociados (nombre, tipo de archivo y fecha de subida), junto con las acciones *Ver* y *Clasificar señal*. En la parte inferior aparece el resultado de la clasificación para el fonocardiograma seleccionado, indicando el posible hallazgo auscultatorio (por ejemplo, “La señal de fonocardiograma presenta un SOPLO MEDIO”).

podrán ser analizadas tanto por profesionales de la salud como por módulos automatizados basados en aprendizaje automático. Finalmente, se explorará la migración de componentes críticos del pipeline de procesamiento —actualmente implementados en Python— hacia lenguajes compilados, como C o C++, con el fin de incrementar la velocidad de ejecución y aprovechar de forma más eficiente los recursos de cómputo disponibles en la nube.

Referencias

- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., y Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4):50–58.
- Collaborators, G. . R. F. (2024). Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990–2023. *The Lancet*, 403(10322):1269–1324.
- INEGI (2024). Estadísticas de defunciones registradas (edr) 2023. Comunicado de prensa. Las enfermedades del corazón fueron la primera causa de muerte en México en 2023, con 189210 defunciones registradas.
- INEGI (2025). Estadísticas de defunciones registradas (edr): enero–junio 2024. Comunicado de prensa. Las enfermedades del corazón fueron la primera causa de muerte en México durante el primer semestre de 2024, con 100710 defunciones.
- Khan, S. y Gupta, R. (2025). The role and prospects of telemedicine in the treatment of heart failure. *Eastern Mediterranean Health Journal*. doi:10.12771/emj.2025.00360.
- Lee, K. y Park, M. (2024). Cloud-based platforms for health monitoring: A review. *Informatics*, 11(1):2.
- Mell, P. y Grance, T. (2011). The nist definition of cloud computing.
- Ose, B., Sattar, Z., Gupta, A., Toquica, C., Harvey, C., y Noheria, A. (2024). Artificial intelligence interpretation of the electrocardiogram: A state-of-the-art review. *Current Cardiology Reports*, 26(6):561–580.
- PhysioNet (2024). Physionet databases. Accedido el 15 de noviembre de 2025.
- Rolim, C., Koch, F., Westphall, C., Werner, J., Fracalossi, A., y Salvador, G. (2010). A cloud computing solution for patient's data collection in health care institutions. En *Second International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine*, pp. 95–99.
- Sivaraks, H. y Ratanamahatana, C. A. (2015). Robust and accurate anomaly detection in ecg artifacts using time series motif discovery. *Computers in Biology and Medicine*, 59:1–13.
- Springer, D. B., Tarassenko, L., y Clifford, G. D. (2021). Logistic regression-hsmm-based heart sound segmentation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(4):822–832.
- Tan, S., Sumner, J., Wang, Y., y Yip, A. (2024). A systematic review of the impacts of remote patient monitoring (rpm) interventions on safety, adherence, quality-of-life and cost-related outcomes. *npj Digital Medicine*, 7(192).
- University of Michigan (2025). Fonocardiogram dataset. <https://deepblue.lib.umich.edu/items/d9d03331-12f5-414e-9c19-3c5985bedb49>. Repositorio Deep Blue, University of Michigan. Accedido el 15 de noviembre de 2025.
- Varon, C., Acharya, R. U., Mincholé, A., Llamedo, M., y Martínez, J. P. (2021). Deep learning for ecg analysis: Bench to bedside. *Computers in Biology and Medicine*, 132:104296.
- Zhang, Q., Cheng, L., y Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1(1):7–18.
- Zhu, B., Zhou, Z., Yu, S., Liang, X., Xie, Y., y Sun, Q. (2024). Review of Phonocardiogram signal analysis: Insights from the physionet/cinc challenge 2016 database. *Electronics*, 13(16):3222.