








SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS CARDIOVASCULARES BASADO EN IoT Y MQTT PARA ALERTAS MÉDICAS

IoT AND MQTT-BASED CARDIOVASCULAR PARAMETER MONITORING SYSTEM FOR MEDICAL ALERTS

Marcia Bayas Sampedro^{1,*} , Ángela Parra Fernández¹ , Ronald Rovira Jurado¹ ,
 Manuel Montaña Blacio¹ , Óscar Gómez Morales¹ , Junior Figueroa Olmedo¹ 

Recibido: 25-02-2025, Recibido tras revisión: 01-04-2025, Aceptado: 29-04-2025, Publicado: 01-07-2025

Resumen


Este artículo describe el desarrollo de una plataforma informática destinada al monitoreo en tiempo real de parámetros cardiovasculares a partir de señales bioeléctricas. Se realizó un análisis de los usuarios principales y se identificaron los requisitos técnicos y funcionales necesarios. Asimismo, las interfaces fueron diseñadas aplicando la metodología propuesta por Sommerville. La arquitectura del sistema se basa en microservicios, incorporando una base de datos relacional y permitiendo la integración con datos provenientes de dispositivos del internet de las cosas (IoT). La evaluación del sistema se llevó a cabo mediante pruebas de simulación de carga, iniciando con 0 usuarios y aumentando en intervalos de 100 hasta alcanzar los 5000 usuarios. Durante las pruebas, se procesaron 22 132 solicitudes, con una tasa promedio de 440,4 solicitudes por segundo, manteniendo un tiempo de respuesta medio de 930 ms y logrando que el 95 % de las respuestas se ubicaran por debajo de los 2300 ms. Se comprobó que el sistema opera sin errores hasta un umbral de 1700 usuarios concurrentes. Con 5000 usuarios y un total de 26 393 solicitudes, se registró un porcentaje mínimo de error del 0,16 %, lo que evidencia su capacidad para gestionar altas cargas de trabajo de manera estable. Estos resultados confirman la viabilidad de la plataforma para el monitoreo remoto de parámetros biomédicos, ofreciendo una solución eficiente y escalable para la supervisión de la salud en tiempo real.

Palabras clave: HTTP, MQTT, parámetros biomédicos, plataforma informática

Abstract

This paper presents the development of a computing platform for the real-time monitoring of cardiovascular parameters derived from bioelectrical signals. A comprehensive analysis of primary users was conducted, leading to the identification of both technical and functional requirements. The interface design was guided by Sommerville's methodology. The system architecture is based on a microservices model, incorporating a relational database and enabling integration with data transmitted from Internet of Things (IoT) devices. The platform was evaluated through incremental stress testing, starting with zero users and increasing in steps of 100 up to 5,000. A total of 22,132 requests were processed at a peak rate of 440.4 requests per second, with an average response time of 930 ms and 95% of responses occurring within 2,300 ms. The system demonstrated error-free performance with up to 1,700 concurrent users. At 5,000 users and 26,393 total requests, a minimal error rate of 0.16% was recorded, confirming the platform's stability under high workloads. These findings validate the feasibility of the proposed solution for remote biomedical monitoring, offering an efficient, scalable, and robust tool for real-time health supervision.

Keywords: HTTP, MQTT, biomedical parameters, Computing platform

^{1,*}Grupo de Investigación TECED, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.  Autor para correspondencia ✉: mbayas@upse.edu.ec.

Forma sugerida de citación: M. Bayas Sampedro, A. Parra Fernández, R. Rovira Jurado, M. Montaña Blacio, O. Gómez Morales, y J. Figueroa Olmedo, "Sistema de monitoreo de parámetros cardiovasculares basado en IoT y MQTT para alertas médicas," *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.º 34, pp. 75-88, 2025. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n34.2025.06>.

1. Introducción

Los profesionales de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) están transformando de manera progresiva la investigación biomédica, con el fin de mejorar la prevención y el monitoreo de enfermedades [1, 2]. La colaboración entre expertos en TIC, electrónica, automatización y medicina resulta fundamental para fomentar la innovación tecnológica en el ámbito de la salud.

En Ecuador existen importantes oportunidades para el desarrollo e implementación de plataformas informáticas orientadas al sector sanitario. Las iniciativas actuales, sin embargo, carecen en gran medida de una integración efectiva entre las capacidades del internet de las cosas (IoT) y plataformas de monitoreo en tiempo real. Esta situación evidencia la necesidad de una solución tecnológica que permita el seguimiento accesible y eficiente de los signos vitales a través de dispositivos IoT.

El Dr. Tedros Adhanom, director general de la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha destacado la importancia de aprovechar las tecnologías digitales para garantizar el acceso universal a los servicios de salud. En su visión, estas herramientas no deben entenderse como un fin en sí mismo, sino como medios esenciales para promover la salud [3]. Entre sus aplicaciones más relevantes se encuentra el monitoreo de signos vitales, lo cual representa un impacto significativo para el cuidado médico [4].

Una revisión sistemática de García et al. evaluó la efectividad clínica de intervenciones basadas en TIC para el tratamiento de enfermedades crónicas. El estudio incluyó 24 investigaciones centradas en asma, hipertensión, diabetes, insuficiencia cardíaca y prevención cardiovascular. Los resultados demostraron que el uso de TIC mejora la detección y seguimiento de enfermedades cardiovasculares, reduce la mortalidad y optimiza el uso de los servicios de salud [5].

Parámetros cardiovasculares como la frecuencia cardíaca y la presión arterial proporcionan información crítica sobre el estado sistémico de los pacientes, especialmente tras procedimientos clínicos [6]. Esto resalta la importancia del desarrollo de herramientas tanto de software como de hardware destinadas al cuidado de la salud cardiovascular [7].

En este contexto, el internet de las cosas médicas (IoMT) surge como una tecnología clave, al permitir la interconexión de dispositivos médicos con aplicaciones a través de la red [8]. El IoMT mejora de manera significativa la atención médica mediante el monitoreo, diagnóstico y tratamiento remoto de los pacientes [9, 10].

Adicionalmente, se han desarrollado aplicaciones integradas en relojes y anillos inteligentes que registran datos como frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura corporal. No obstante, estos dispositivos

están orientados principalmente al seguimiento de la actividad física y el sueño. En sus especificaciones se aclara que no son dispositivos médicos, por lo que la información proporcionada es únicamente referencial y no debe utilizarse con fines clínicos, diagnósticos ni investigativos.

En la provincia de Santa Elena se diseñó un dispositivo para la monitorización domiciliar de parámetros biomédicos. Los datos adquiridos se visualizaron en una plataforma IoT de prueba; sin embargo, no se desarrolló una plataforma informática personalizada para la gestión integral de esta información [11]. Pese a ello, estos dispositivos pueden ser aprovechados para involucrar activamente a médicos y especialistas en el seguimiento continuo del estado de salud de los pacientes.

Este artículo presenta los avances de un proyecto de investigación multidisciplinario titulado “Investigación sobre aplicaciones IoT en la adquisición de señales bioeléctricas” (CUP: 91870000.0000.389571), liderado por el Grupo de Investigación Tecnología, Ciencia y Educación (TECED) de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. El proyecto contribuye al objetivo específico de integrar el sistema de adquisición de señales bioeléctricas con una plataforma libre de base de datos. En este contexto, se articulan tecnologías informáticas para desarrollar una herramienta innovadora orientada al monitoreo continuo de pacientes, integrando la valoración médica de su estado de salud.

El objetivo principal fue desarrollar una plataforma informática para el monitoreo de los parámetros de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura corporal, adquiridos a partir de señales bioeléctricas.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la segunda sección se describen los materiales y métodos empleados para el diseño, desarrollo y evaluación de la aplicación móvil y la plataforma web; la tercera sección presenta los resultados obtenidos tras la implementación de la infraestructura propuesta; y en la cuarta sección se exponen las conclusiones y los agradecimientos.

2. Materiales y métodos

2.1. Metodología

Este artículo aborda los aspectos del diseño y desarrollo de una plataforma informática para la visualización de datos transmitidos desde un dispositivo IoT que envía valores de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura corporal, adquiridos a partir de señales bioeléctricas [11, 12].

En el análisis de los usuarios, se consideraron dos perfiles principales: el médico y el paciente. Según un informe publicado por las Naciones Unidas en 2023, más del 75 % de la población mundial dispone de un

teléfono móvil y el 65 % tiene acceso a internet [13]. Con base en estos datos, se consideró más conveniente el desarrollo de una aplicación móvil para los pacientes. Además, estudios recientes [14, 15] indican que los médicos pasan la mayor parte de su jornada frente a computadoras, lo cual justificó la implementación de una aplicación web orientada a profesionales de la salud.

Para la transmisión de datos, se seleccionó el Protocolo de telemetría de cola de mensajes (MQTT), ampliamente utilizado en aplicaciones IoT dentro de la capa de aplicación [16]. Este protocolo se destaca por permitir la transmisión constante de datos, optimizando el ancho de banda y reduciendo el tiempo de envío [17].

Asaad et al. demostraron que un sistema de monitoreo remoto de salud basado en IoT, que integra GSM, wifi y MQTT, es altamente efectivo para el seguimiento de pacientes en áreas rurales, fuera del alcance de redes hospitalarias. El sistema logró una tasa de éxito del 99,89 % en la transmisión de datos, con un tiempo de ida y vuelta de 7,5 ms y un consumo total de energía de 900 mWh, utilizando MQTT como protocolo principal de comunicación [8].

Para la visualización de datos en tiempo real en la interfaz de usuario, se implementó MQTT sobre WebSocket, basándose en investigaciones del Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF), que destacan WebSocket como una solución eficiente para comunicaciones bidireccionales cliente-servidor, evitando múltiples consultas HTTP en aplicaciones web [18]. Oliveira et al. compararon MQTT y WebSocket utilizando módulos ESP8266 y servidores Node.js para intercambio de datos, concluyendo que WebSocket es más recomendable en entornos con tiempos de ida y vuelta superiores a 1 ms [19].

Asimismo, en el diseño de un sistema IoT propuesto por Jun-Oh Seo, se emplearon MQTT para la recolección de datos de sensores y WebSocket para la comu-

nicación bidireccional en escenarios de baja energía, validando la eficiencia de ambos protocolos en conjunto. Por ello, en este proyecto se seleccionó MQTT sobre WebSocket para la visualización en tiempo real en la interfaz de usuario, y MQTT para la comunicación entre el bróker y el servicio PHP encargado del almacenamiento en base de datos, como se muestra en la Figura 1. Esta configuración permite evitar múltiples solicitudes HTTP que se generarían al enviar datos directamente desde la aplicación a la base de datos.

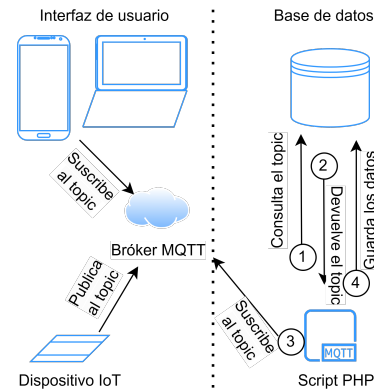


Figura 1. Conexión de los datos

Una vez realizado el análisis correspondiente, se determinó los requerimientos funcionales del sistema. Su propósito es proporcionar una visión general de la plataforma, facilitar una comunicación clara y comprensible entre los involucrados, desarrollar una perspectiva integral del sistema e instaurar una base sólida para la etapa de diseño. Además, se incluye el caso de uso general del sistema, representado en la Figura 2.

Los requerimientos funcionales fueron organizados en módulos específicos según el rol del usuario (por ejemplo, médico o paciente), así como en módulos generales aplicables a todos los usuarios.

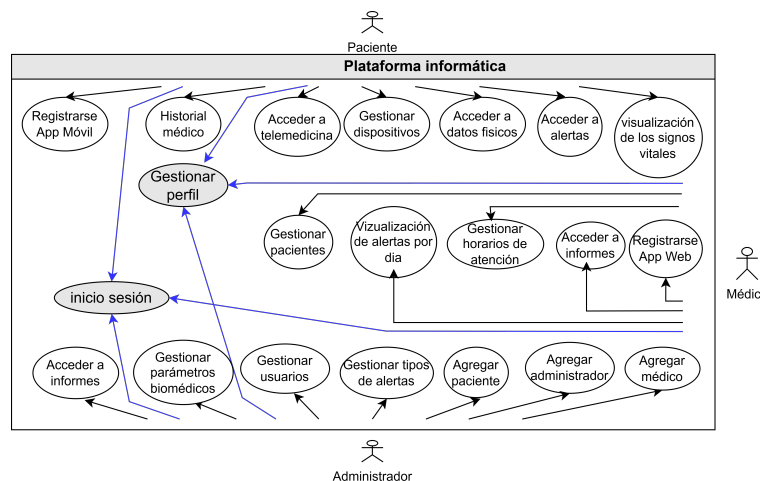


Figura 2. Caso de uso del sistema

Módulos generales

- **Módulo de autenticación.** Para acceder al sistema, todos los usuarios (médicos, pacientes o administradores) deben autenticarse. El acceso y la información visible varían según el rol asignado, garantizando privacidad y seguridad. Los pacientes pueden crear sus cuentas únicamente desde la aplicación móvil, mientras que los médicos deben registrarse a través de la plataforma web. El sistema permite la recuperación de credenciales mediante el ingreso del correo electrónico; se envía un código de verificación que, al ser validado, permite actualizar los datos de acceso.
- **Módulo de perfil.** Permite a los usuarios personalizar y mantener actualizada su información personal, incluyendo número telefónico, correo electrónico y fotografía de perfil. Además, se pueden modificar los parámetros de autenticación.
- **Módulo de reportes.** Los médicos pueden acceder a reportes detallados del número de pacientes atendidos y de las consultas realizadas. Los pacientes pueden visualizar sus recetas médicas y antecedentes clínicos. El administrador puede consultar información global, como el número total de dispositivos, pacientes y médicos registrados. El sistema presenta los datos en formatos tabulares y gráficos para facilitar el análisis.

Módulos del rol administrador

- **Módulo de administración.** El administrador cuenta con herramientas para la gestión integral de usuarios (médicos, pacientes y otros administradores), con funciones para crear, habilitar, inhabilitar o editar cuentas. Además, puede gestionar los tipos de alertas, así como agregar nuevos parámetros biomédicos.

Módulos del rol paciente

- **Módulo médico.** Permite seleccionar médicos por especialidad y centro hospitalario, y configurar los permisos de acceso del profesional a los datos del paciente.
- **Módulo de telemedicina.** Habilita la redirección a WhatsApp y Telegram para realizar consultas, videollamadas y el envío de mensajes directos al médico desde la plataforma.
- **Módulo de datos biomédicos.** Muestra en tiempo real la frecuencia cardíaca, temperatura

corporal y saturación de oxígeno. Permite también gestionar datos como peso y estatura, añadir notas a alertas generadas, y visualizar el historial completo de alertas. Solo el médico asignado tiene acceso a los datos del paciente. El paciente puede inhabilitar un dispositivo dañado y registrar uno nuevo.

Módulos del rol médico

- **Módulo paciente.** Permite acceder al listado completo de pacientes asignados y consultar sus signos vitales (frecuencia cardíaca, temperatura, saturación de oxígeno) junto con el historial de alertas generadas. Durante la consulta, el médico puede registrar observaciones clínicas, emitir recetas médicas electrónicas y generar reportes detallados por cada parámetro biomédico. También puede comunicarse con el paciente a través de WhatsApp o Telegram, o mediante mensajes directos por la plataforma.

Una de las funcionalidades clave representadas en el caso de uso general de la plataforma informática (Figura 2) es la visualización de los parámetros biomédicos. Para comprender mejor la lógica del sistema, se elaboró un diagrama de canal (Figura 3), que representa las actividades necesarias para ejecutar esta acción, así como los actores o clases responsables del proceso: paciente, sistema, servidor e interfaz.

Cada actor es responsable de acciones específicas, representadas mediante rectángulos de actividad que describen el flujo desde la adquisición de datos hasta su presentación al usuario final. El diagrama está dividido verticalmente en segmentos paralelos que delimitan las responsabilidades de cada actor, permitiendo visualizar de forma clara cómo se desarrolla el proceso de visualización de signos vitales [20].

Para que el usuario pueda visualizar los signos vitales en la interfaz, primero debe colocar el dedo en el dispositivo IoT. Una vez que el dispositivo procesa los datos, estos son publicados en el bróker MQTT. Posteriormente, en la plataforma, el usuario selecciona la opción correspondiente a signos vitales, lo que activa una conexión interna con el tópic específico del usuario. De este modo, los datos son recibidos y presentados en tiempo real en la interfaz.

Además de la visualización de los signos vitales, los datos adquiridos son almacenados en la base de datos y utilizados para la generación automática de alertas. Para detectar valores anómalos de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura corporal, se establecieron rangos de referencia basados en estudios previos [21–23]. Estos límites permitieron definir criterios de activación de alertas.

Una vez que los valores son enviados desde el dispositivo IoT, atraviesan un conjunto de filtros de validación. Si alguno de los parámetros se encuentra fuera

del rango normal, se genera una alerta que es registrada en la base de datos y, simultáneamente, notificada al contacto de emergencia y al médico asignado.

En el caso de la frecuencia cardíaca, el sistema verifica internamente el tipo de parámetro recibido. Si corresponde a este indicador, se analiza el género del paciente (femenino o masculino) y, en función de la edad, se clasifica el valor como adecuado o inadecuado. Los umbrales establecidos para dicha clasificación se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Frecuencia cardíaca: (pulsaciones por minuto)

Frecuencia cardíaca		
Edad (años)	Hombre	Mujeres
20-29	86 o más	96 o más
30-39	86 o más	98 o más
40-49	90 o más	100 o más
50 o más	90 o más	104 o más

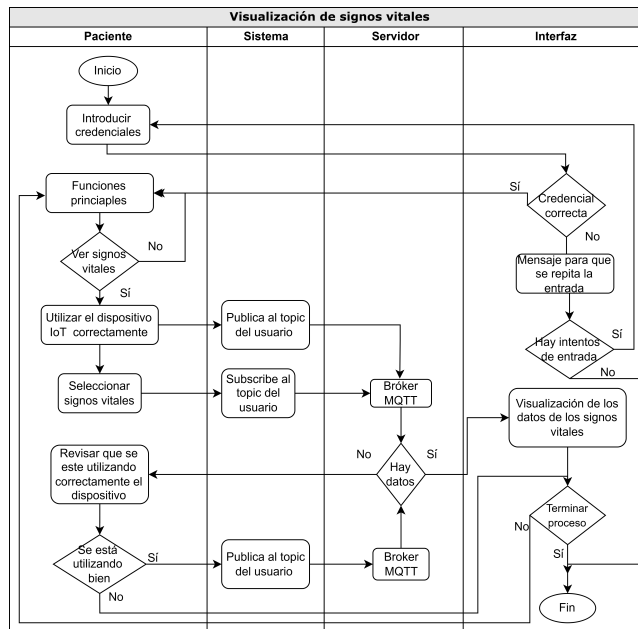


Figura 3. Diagrama de canal

Si el parámetro corresponde a saturación de oxígeno y el valor registrado es inferior al 90 %, se genera una alerta automática, ya que dicho nivel es considerado como hipoxemia grave (ver Tabla 2).

Tabla 2. Saturación de oxígeno

Saturación de oxígeno	
Edad (años)	Valor
Hipoxemia leve	90-94 %
Hipoxemia grave	< 90 %

Por último, si el parámetro corresponde a temperatura corporal, el sistema puede generar dos tipos de alertas: hipotermia y fiebre, según los umbrales establecidos en la Tabla 3.

Tabla 3. Rangos de temperatura corporal

Temperatura corporal	
Edad (años)	Valor
Hipotermia	< 35 °C
Febrícula o fiebre	37,2 a 38,9 °C
Hipertermia	> 40,6 °C

Para facilitar la comprensión del proceso de generación de alertas, se elaboró el diagrama mostrado en la Figura 4.

Después de definir claramente los requerimientos del sistema, se seleccionó el tipo de arquitectura. La plataforma informática se basa en un modelo de arquitectura de microservicios. En este enfoque, la capa de clientes interactúa mediante solicitudes HTTP, las cuales permiten realizar peticiones y recibir respuestas desde una API compatible con FHIR, desarrollada en Node.js y PHP. Esta API implementa recursos como Patient, conforme a la especificación HL7 FHIR, y cuenta con endpoints RESTful que consumen datos en formato application/fhir+json, integrados con una base de datos MySQL.

Asimismo, cuando los clientes ingresan a la aplicación, se suscriben a los tópicos publicados en el bróker MQTT. La conexión se realiza a través del protocolo MQTT sobre WebSocket, lo cual permite la visualización de los datos en tiempo real. Un script en PHP obtiene los tópicos desde la base de datos, gestiona la suscripción y guarda los valores recibidos.

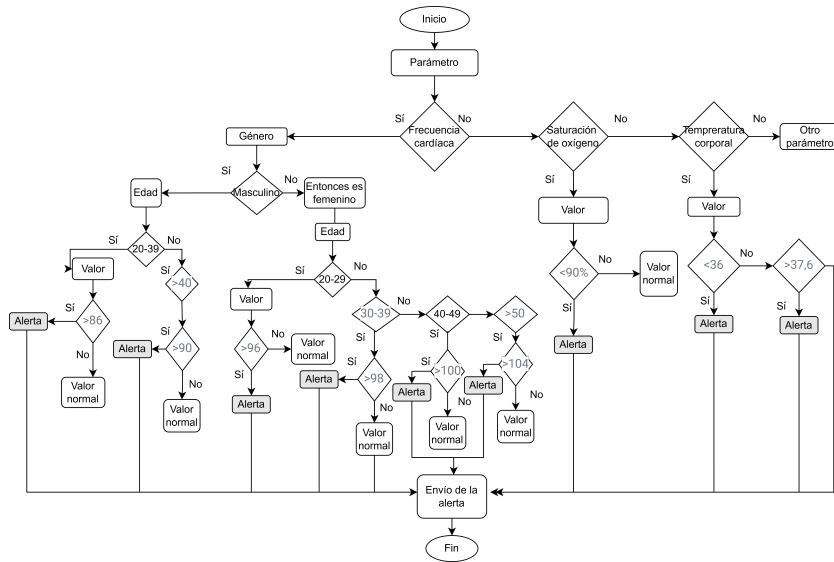


Figura 4. Diagrama de generación de alertas

Además, otro script en PHP se encarga del envío automático de alertas por correo electrónico, una vez que los datos son almacenados. Esta arquitectura fue seleccionada por su capacidad para gestionar los recursos de forma distribuida mediante servicios independientes. De este modo, el cliente solicita un recurso a través de la red, y el servidor correspondiente procesa y responde según el servicio requerido, como se muestra en la Figura 5.

Debido al manejo de datos en tiempo real y con el objetivo de evitar la saturación de la API por múlti-

ples consultas, se desarrolló un script en PHP que se suscribe al bróker, obtiene los datos y los almacena en la base de datos. A su vez, se activan disparadores (triggers) que generan información adicional, la cual es procesada posteriormente por otros scripts independientes para realizar acciones específicas.

Gracias a este modelo, varios usuarios pueden acceder simultáneamente a los recursos sin provocar saturación del sistema. Las múltiples ventajas de esta arquitectura se detallan en el trabajo [24].

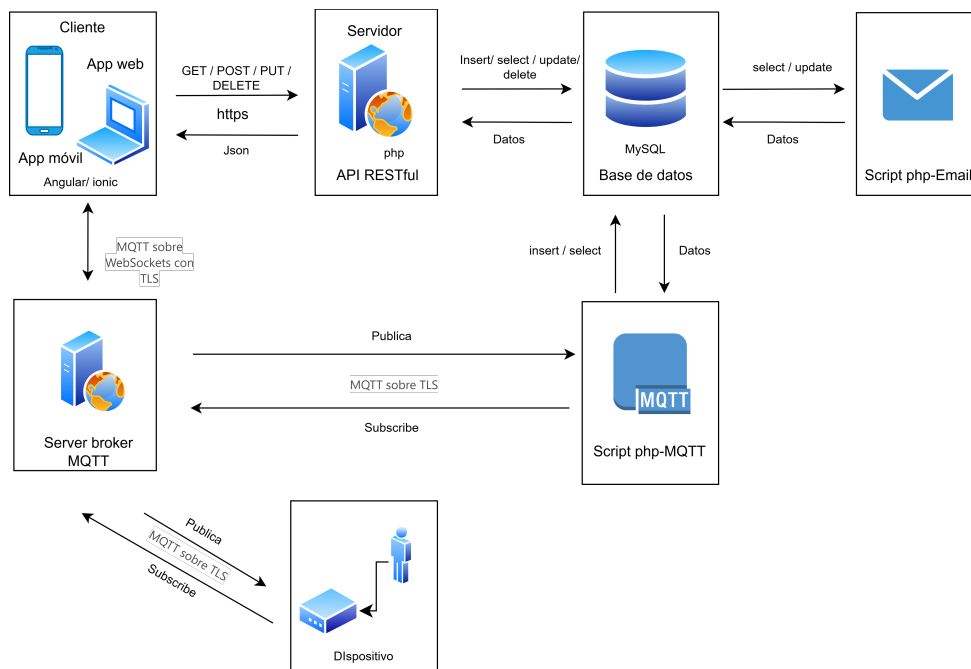


Figura 5. Arquitectura del sistemas

Aunque este artículo se centra en el desarrollo de la aplicación informática, en esta sección se describen los componentes utilizados (Figura 6) para la creación del dispositivo encargado de adquirir tres señales bioeléctricas: frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura corporal.

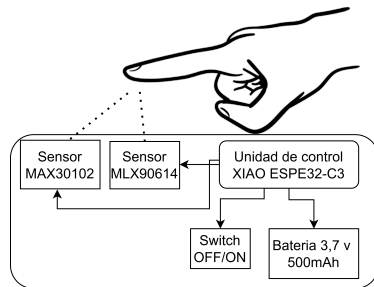


Figura 6. Componentes del dispositivo

Para su funcionamiento, se empleó una batería de 3,7 V y un interruptor (switch), así como una unidad de control XIAO ESP32C3. Esta es una miniplaca de desarrollo IoT de alto rendimiento, adecuada para aplicaciones de bajo consumo energético y dispositivos portátiles inalámbricos.

Se incorporó además el sensor MAX30100, encargado de captar la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno. Este sensor cuenta con un filtro de tiempo discreto que permite rechazar interferencias de

50/60 Hz, así como ruidos de baja frecuencia y del entorno ambiental.

Para obtener la temperatura corporal se empleó el sensor MLX90614, el cual posee alta precisión en un rango de temperaturas entre $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+380\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una resolución de $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, un campo de visión de 90° y una precisión de hasta $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente.

Cada sensor obtiene los valores correspondientes de los parámetros biomédicos, los cuales son publicados en el bróker MQTT. La plataforma se comunica con el dispositivo a través de dicho intermediario, y el tiempo requerido para visualizar los datos depende del propio dispositivo, ya que este realiza cálculos internos para evitar el envío de valores erróneos. El tiempo aproximado para la recepción de datos, una vez que el dispositivo está en funcionamiento, es de un minuto. Luego de este proceso, los datos se presentan de forma inmediata en la interfaz del usuario.

Con el fin de cumplir con los requisitos de la plataforma, se realizó el modelado de datos (Figura 7), seleccionando un modelo de base de datos relacional [25]. Dado que existen dos tipos principales de usuarios – pacientes y médicos –, fue necesario establecer una relación entre ambos, así como registrar los datos específicos de cada uno. Se aprovechó la ventaja que ofrecen las bases de datos relacionales, en las cuales las tablas se vinculan mediante claves primarias y secundarias.

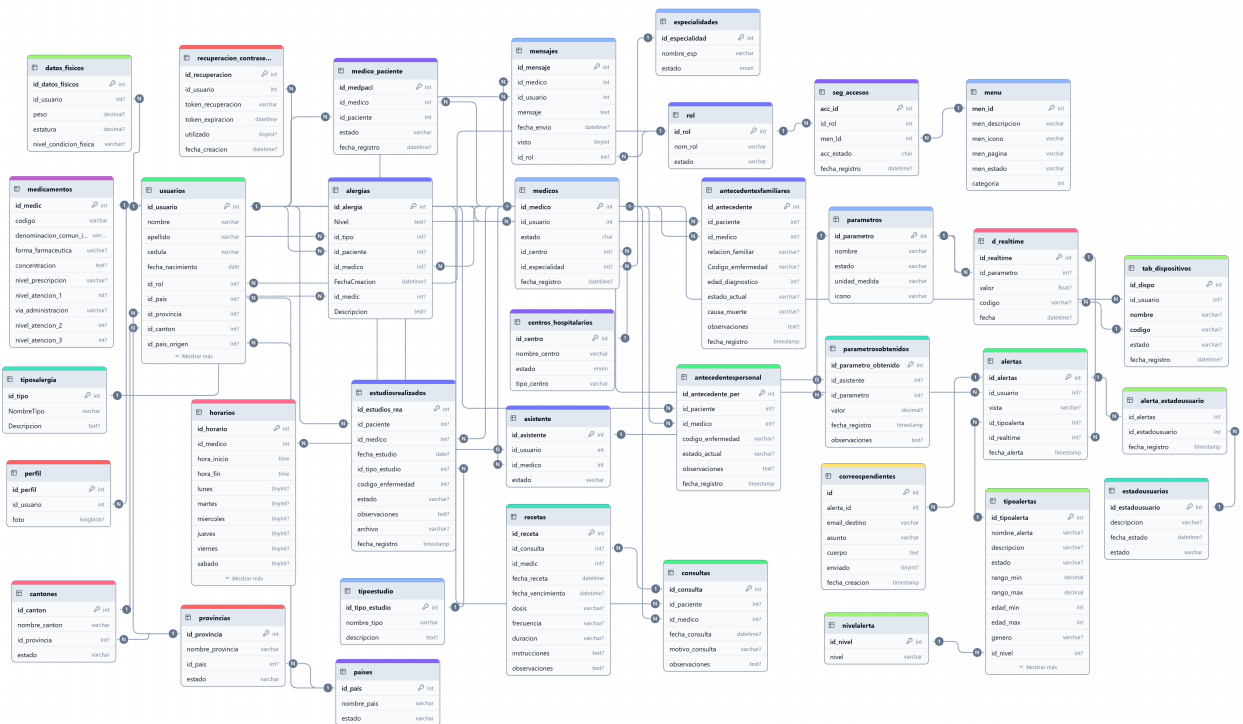


Figura 7. Modelado de datos

Para realizar un modelado adecuado, se aplicaron los principios de normalización con el objetivo de organizar los datos de manera eficiente, evitando redundancias e inconsistencias. La normalización, propuesta por Edgar F. Codd, establece una serie de reglas que garantizan la separación de conceptos y minimizan las anomalías derivadas de las dependencias entre atributos, lo que contribuye a reducir la redundancia.

El diseño del modelo contempla las tres primeras formas normales (1FN, 2FN y 3FN). La primera forma normal asegura que los atributos sean atómicos, es decir, sin duplicidad ni subdivisiones. La segunda forma normal elimina las dependencias parciales, de modo que todos los atributos no clave dependan exclusivamente de la clave primaria. La tercera forma normal elimina las dependencias transitivas.

Estos principios orientaron la construcción del modelo de base de datos, lo cual permitió evitar la redundancia y aprovechar las relaciones para implementar disparadores (triggers) que ejecutan diversas funciones.

2.2. Diseño de las interfaces

El diseño de las interfaces de la plataforma informática se basó en la metodología propuesta por Sommerville. Esta establece que, para realizar un diseño de interfaz eficaz, deben cumplirse tres actividades fundamentales: analizar al usuario, prototipar el sistema y evaluar la interfaz. Como resultado de este proceso, se obtiene el producto final [26].

Para el análisis del usuario, se consideró el tipo de dispositivo que utiliza con mayor frecuencia. Además, se hicieron encuestas aleatorias a las personas involucradas en el proyecto de investigación y a potenciales pacientes, con el fin de conocer sus expectativas respecto a un sistema informático. Con base en esta información, se desarrolló el modelo de interfaces, eligiendo los colores, las funciones principales, la pantalla de inicio de sesión y la interfaz principal. Se consideraron los parámetros biomédicos que debían visualizarse, la funcionalidad de las alertas y la integración médico-paciente.

Los bocetos fueron elaborados con la herramienta Justinmind. Esta etapa permitió visualizar con mayor claridad el diseño de las interfaces tanto de la aplicación web como de la móvil, facilitando así la realización de ajustes necesarios para cumplir con los requerimientos funcionales y atender las necesidades de los usuarios principales.

Posteriormente, se llevó a cabo una evaluación con los integrantes del grupo de investigación TECED, conformado por docentes, especialistas externos y estudiantes. Tras recoger sus observaciones, se implementaron las mejoras correspondientes. Una vez realizadas estas modificaciones, se aprobó el diseño final de las interfaces.

Para el desarrollo del prototipo se empleó la metodología de desarrollo incremental, que permite descomponer el proyecto en una serie de incrementos sucesivos [27], como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Metodología incremental

Esto implica segmentar la funcionalidad total del sistema con base en los requisitos proporcionados por los especialistas, llevando a cabo el análisis, el diseño, la codificación y las pruebas correspondientes.

2.3. Materiales del desarrollo de la plataforma informática

Para el desarrollo de la plataforma informática, se empleó una computadora con 32 GB de memoria RAM y 500 GB de almacenamiento. Los diseños tanto de la aplicación móvil como de la versión web fueron elaborados mediante la herramienta Justinmind.

En el desarrollo front-end se utilizaron Angular e Ionic, debido a la facilidad que ofrecen para unificar la implementación de aplicaciones móviles y web. Esta elección permitió la integración de múltiples funciones y componentes responsivos, adaptándose adecuadamente a diferentes tamaños de pantalla.

De acuerdo con los requisitos funcionales de la plataforma, se consideraron las relaciones entre los datos de médicos y pacientes. En el diseño, se definió que los roles de los usuarios se consultan directamente en la base de datos. Por ello, se seleccionó una base de datos relacional MySQL. Para el desarrollo back-end, se utilizaron PHP, el marco de trabajo Fat-Free Framework y Node.js, junto con el editor de texto Visual Studio Code, ya que tanto PHP como Node.js ofrecen una alta compatibilidad con MySQL.

Para compilar y enviar a producción la aplicación móvil, se utilizó Android Studio, herramienta que requiere como mínimo 8 GB de RAM para su funcionamiento.

En cuanto a la obtención de datos en tiempo real, se adquirieron registros provenientes de dos dispositivos IoT [11, 12], utilizando el protocolo de comunicación MQTT a través de WebSocket. Para el almacenamiento de estos datos, se implementó un servicio que se suscribe al bróker mediante el protocolo MQTT. Durante la fase de pruebas, se simularon datos desde Node-RED y se utilizaron también los datos reales enviados por el primer dispositivo [11], así como los obtenidos desde otra versión del dispositivo de adquisición de señales bioeléctricas [?].

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados

En el desarrollo de la plataforma informática se consideraron los protocolos de comunicación, el análisis de los usuarios, el diseño de interfaces, la arquitectura del sistema y el modelado de la base de datos. Una vez completado el desarrollo, se identificaron las funciones principales asignadas al perfil del médico, entre las cuales se incluyen: la visualización de la lista de pacientes, las alertas generadas durante el día, el registro de información de las consultas realizadas y la generación de informes que muestran la cantidad de pacientes y consultas atendidas.

En la Figura 9 se presenta una de las interfaces principales destinadas al médico, donde es posible visualizar gráficamente los valores almacenados de los signos vitales, permitiendo la consulta del dato más reciente registrado. Además, el sistema ofrece un resumen en el que se aplican cálculos estadísticos básicos, como la media, la mediana y la moda, facilitando el análisis de los datos clínicos.



Pruebas de estrés de la plataforma

Se hicieron pruebas de estrés utilizando la herramienta Locust, con el fin de simular tráfico en tiempo real. El proceso comenzó con cero usuarios, incrementándose progresivamente en intervalos de 100 hasta alcanzar los 5000 usuarios simultáneos, cada uno enviando solicitudes e interactuando con la plataforma.

En la Figura 11 se observa la línea azul que representa la cantidad de respuestas exitosas por segundo, alcanzando un pico máximo de 600 respuestas por segundo. Por su parte, la línea roja indica las solicitudes rechazadas por segundo. El porcentaje de error se mantuvo en cero hasta alcanzar los 5000 usuarios y

un total de 26 393 solicitudes por segundo. A partir de ese punto, se registró un porcentaje de error del 0,16 %, correspondiente a solicitudes que fueron rechazadas por el servidor.

En la Figura 12 se presenta el incremento progresivo del número de usuarios, iniciando desde cero y aumentando en intervalos de 100 usuarios. La plataforma mostró un desempeño óptimo al soportar hasta 1700 usuarios interactuando simultáneamente sin generar errores. Al incrementarse la carga hasta 5000 usuarios, se observó un porcentaje mínimo de solicitudes rechazadas, lo que evidencia un buen rendimiento general del sistema, incluso bajo condiciones de alta demanda.

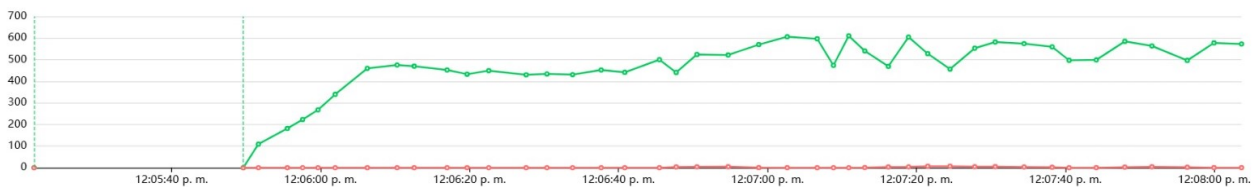


Figura 11. Prueba de estrés - Total de respuestas por segundo

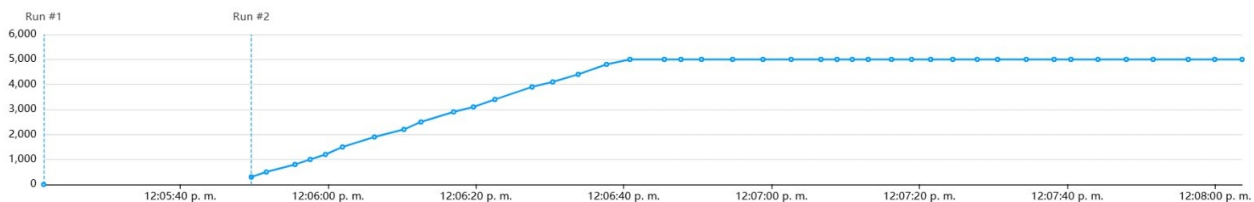


Figura 12. Prueba de estrés - Total de usuarios

3.2. Discusión

Existen investigaciones que se enfocan en el desarrollo e implementación de plataformas para el monitoreo de parámetros físicos [30] y biomédicos [31]. Sin embargo, en el caso de las plataformas destinadas al monitoreo de parámetros biomédicos, no se contempla la relación médico-paciente, y las alertas son enviadas únicamente al dispositivo del usuario y del acompañante, sin notificación directa al médico. Esta omisión es relevante, ya que algunos datos requieren interpretación médica especializada.

En [30], se desarrolla un servicio backend para IoT utilizando Microsoft Azure, orientado al manejo de datos enviados por un dispositivo IoT. No obstante, el enfoque de ese trabajo se limita al desarrollo del backend; no se implementaron aplicaciones web o móviles que permitan la personalización y administración de los datos, ya que se utilizó únicamente Postman para validar el funcionamiento de la API. Con el fin de superar estas limitaciones, la propuesta presentada en este trabajo no solo contempla la base de datos y

la API, sino también el desarrollo de una plataforma informática integral, que permite la visualización en tiempo real de los datos adquiridos por el dispositivo IoT – el cual registra tres señales bioeléctricas – y la administración eficiente de dicha información.

Se identificaron múltiples trabajos relacionados con el monitoreo de parámetros biomédicos; sin embargo, estos se centran principalmente en la creación del dispositivo IoT, sin profundizar en el desarrollo de la plataforma [32–38]. En el proceso de revisión y selección bibliográfica, se consideraron también dispositivos comerciales como la pulsera inteligente (smartwatch) y el anillo inteligente (Galaxy Ring), los cuales disponen de aplicaciones asociadas.

En la Tabla 5 se presenta una comparación entre la funcionalidad de las aplicaciones existentes asociadas a dispositivos como smartwatches y Galaxy Ring, en relación con la propuesta de esta investigación.

Es importante aclarar que dichos dispositivos, disponibles comercialmente, utilizan los datos con fines meramente informativos y no están diseñados para la

detección, diagnóstico ni tratamiento de condiciones físicas.

Las aplicaciones vinculadas a estos dispositivos no están concebidas para integrarse ni enviar información directamente al médico. En cambio, la plataforma in-

formática propuesta ha sido diseñada para permitir al usuario seleccionar un médico, quien puede acceder a la información relacionada con sus signos vitales, alertas generadas e historial médico.

Tabla 5. Comparación de la plataforma informática propuesta con otras similares

Descripción	Smart Wristband 3	Samsung Health	Propuesta
Tiene aplicación web para el médico	-	-	✓
Envía información de los signos vitales al médico o especialista	-	-	✓
Genera información del peso de la persona	-	✓	✓
Muestra datos de frecuencia cardíaca	✓	✓	✓
Muestra datos de saturación de oxígeno	✓	✓	✓
Muestra datos de temperatura corporal	✓	✓	✓

Además, según [39], el 70 % de los sistemas evaluados presentan tiempos de respuesta entre 1,0 y 2,0 segundos; el rendimiento de nuestra plataforma se sitúa ligeramente por encima de ese rango. No obstante, es relevante señalar, como lo indica Echeverría, que los tiempos de respuesta percibidos por el usuario tienden a incrementarse a medida que se incrementa el tiempo de respuesta del sistema. Por tanto, aunque el rendimiento podría optimizarse, la experiencia ofrecida por la plataforma sigue siendo competitiva en términos de velocidad de respuesta.

En cuanto al consumo energético, la aplicación móvil registró un uso del 0,6 % durante un período de 14 minutos, lo que concuerda con la creciente preocupación por el impacto ambiental del software móvil. Investigaciones recientes [40,41] destacan la importancia de analizar el consumo energético de las aplicaciones en dispositivos móviles.

Si bien los fabricantes de dispositivos móviles procuran reducir el consumo de batería tanto en el hardware como en el software, es fundamental que los desarrolladores de aplicaciones consideren este aspecto. Aunque el consumo individual puede parecer bajo, su impacto agregado en millones de dispositivos subraya la necesidad de optimizar la eficiencia energética. Futuras investigaciones podrían explorar estrategias como la simplificación de interfaces y la optimización del código, lo cual contribuiría a un desarrollo de software más sostenible.

El desarrollo de la plataforma informática presentado corresponde a su primera versión y forma parte del proyecto de investigación multidisciplinario titulado “Investigación sobre aplicaciones IoT en la adquisición de señales bioeléctricas” (CUP: 91870000.0000.389571), liderado por el grupo de investigación Tecnología, Ciencia y Educación (TECED) de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones.

4. Conclusiones

Se ha desarrollado una plataforma informática que integra los protocolos de comunicación HTTP y MQTT para la monitorización en tiempo real de parámetros biomédicos, incluyendo la gestión de usuarios – médico y paciente – para el monitoreo remoto.

Este producto informático permite el seguimiento de parámetros como la frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno y la temperatura corporal. Además, tiene la capacidad de enviar alertas, facilitar la comunicación entre los usuarios mencionados y permitir que el médico lleve un control detallado del estado de salud del paciente. La plataforma está diseñada con escalabilidad, lo que permite incorporar nuevos parámetros biomédicos y gestionar una alta carga de solicitudes sin comprometer su rendimiento, como lo demuestran los resultados de las pruebas de simulación: se obtuvo un tiempo medio de respuesta de 930 ms y el 95 % de las respuestas estuvieron por debajo de los 2,3 segundos.

Durante las pruebas de carga, se procesaron hasta 22 132 solicitudes al punto final de comunicación, alcanzando una tasa de 440,4 solicitudes por segundo sin errores. Sin embargo, al llegar a los 5000 usuarios concurrentes y procesar 26 393 solicitudes, se registró una tasa de error del 0,16 %, valor considerado mínimo en función de la alta concurrencia. Se verificó que el sistema puede manejar hasta 1700 usuarios sin generar ningún tipo de error.

En comparación con estudios previos, como el de González, quien indica que el 25 % de los usuarios abandona una aplicación si esta no carga en menos de 3 segundos [29], la plataforma desarrollada mantiene tiempos de respuesta óptimos, garantizando así una experiencia de usuario eficiente. Asimismo, los datos registrados sobre la utilización de recursos del teléfono móvil son adecuados, considerando la diversidad de funciones que ofrece la aplicación.

Estos resultados demuestran que la solución pro-

puesta es capaz de gestionar una alta demanda de solicitudes sin comprometer su estabilidad, consolidándose como una herramienta eficaz para la monitorización remota de parámetros biomédicos.

Agradecimientos

El estudio presentado en este artículo forma parte del proyecto de investigación con financiamiento titulado “Investigación sobre aplicaciones IoT en la adquisición de señales bioeléctricas” (CUP: 91870000.0000.389571), liderado por el Grupo de Investigación TECED (Tecnología, Ciencia y Educación) de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Los autores expresan su agradecimiento a los integrantes del proyecto TECED, cuyos objetivos han sido fundamentales para la búsqueda de soluciones innovadoras que apliquen tecnologías de la información en el ámbito de la salud.

Rol de autores

- **Marcia Bayas Sampedro:** conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de financiación, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización, borrador original, redacción-revisión y edición.
- **Ángela Parra Fernández:** curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, software, validación, visualización, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.
- **Ronald Rovira Jurado:** conceptualización, adquisición de financiación, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, supervisión, validación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.
- **Manuel Montaña Blacio:** investigación, validación, visualización, redacción-revisión y edición.
- **Óscar Gómez Morales:** conceptualización, investigación, validación.
- **Junior Figueroa Olmedo:** investigación, validación.

Referencias

- [1] C. C. Y. Poon, M. D. Wang, P. Bonato, and D. A. Fenstermacher, “Editorial: Special issue on health informatics and personalized medicine,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 60, no. 1, pp. 143–146, Jan. 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TBME.2012.2233593>
- [2] J. Yang, “Editorial: Flexible biosensors and intelligent medical devices in health and disease,” *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 10, Jun. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.849617>
- [3] WHO. (2019) Who releases first guideline on digital health interventions. World Health Organization. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r3>
- [4] M. Weenk, S. J. Bredie, M. Koeneman, G. Hesselink, H. van Goor, and T. H. van de Belt, “Continuous monitoring of vital signs in the general ward using wearable devices: Randomized controlled trial,” *Journal of Medical Internet Research*, vol. 22, no. 6, p. e15471, Jun. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2196/15471>
- [5] F. García-Lizana and A. Sarría-Santamera, “New technologies for chronic disease management and control: a systematic review,” *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 13, no. 2, pp. 62–68, Mar. 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1258/135763307780096140>
- [6] J. Vázquez, A. Secchi, H. Moris, N. Reyne, F. Rivera, F. Astorga, J. Moreno, and P. Amorin, “Parámetros cardiovasculares y su variación posterior a una atención de urgencia odontológica,” *International journal of odontostomatology*, vol. 15, no. 4, pp. 1019–1025, Dec. 2021. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2021000401019>
- [7] J. J. Pastoriza Beltrán, *Desarrollo de un módulo para la teledetección automática del estado de las funciones cardiovasculares*. Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2017. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r7>
- [8] B. A. Mubdir and H. M. A. Bayram, “Adopting MQTT for a multi protocols IoMT system,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 12, no. 1, p. 834, Feb. 2022. [Online]. Available: <http://doi.org/10.11591/ijece.v12i1.pp834-844>
- [9] I. Al Khatib, A. Shamayleh, and M. Ndiaye, “Healthcare and the internet of medical things: Applications, trends, key challenges, and proposed resolutions,” *Informatics*, vol. 11, no. 3, p. 47, Jul. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/informatics11030047>
- [10] R. Uddin and I. Koo, “Real-time remote patient monitoring: A review of biosensors

- integrated with multi-hop IoT systems via cloud connectivity,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 5, p. 1876, Feb. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app14051876>
- [11] M. E. Alomoto Tomalá, *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo domiciliario para la gestión integral de la salud cardiovascular*. Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r11>
- [12] A. S. Villón Quimi, *Diseño e implementación de un dispositivo IoT para la toma de variables bioeléctricas*. Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2025. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r12>
- [13] ONU. (2023) Más del 75 % de la población mundial tiene un teléfono celular y más del 65 % usa el internet. Organización de las Naciones Unidas. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r13>
- [14] B. G. Arndt, J. W. Beasley, M. D. Watkinson, J. L. Temte, W.-J. Tuan, C. A. Sinsky, and V. J. Gilchrist, “Tethered to the EHR: Primary care physician workload assessment using EHR event log data and time-motion observations,” *The Annals of Family Medicine*, vol. 15, no. 5, pp. 419–426, Sep. 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1370/afm.2121>
- [15] S. Munday, J. Pinchin, and J. Blakey, “Time spent using computers and impact on clinical work among doctors,” *Future Healthcare Journal*, vol. 4, p. s12, Jun. 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.7861/futurehosp.4-2-s12>
- [16] M. Saqib and A. H. Moon, “A novel lightweight multi-factor authentication scheme for MQTT-based IoT applications,” *Microprocessors and Microsystems*, vol. 110, p. 105088, Oct. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2024.105088>
- [17] M. Domingues, J. N. Faria, and D. Portugal, “Dimensioning payload size for fast retransmission of MQTT packets in the wake of network disconnections,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s13638-023-02327-3>
- [18] I. Fette and A. Melnikov, *The WebSocket Protocol*. RFC 6455, Dec. 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17487/RFC6455>
- [19] G. Oliveira, D. Costa, R. Cavalcanti, J. Oliveira, D. Silva, M. Nogueira, and M. Rodrigues, “Comparison between mqtt and websocket protocols for iot applications using esp8266,” in *2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT*. IEEE, Apr. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/METROI4.2018.8428348>
- [20] S. Al-Fedaghi, *Ingeniería de software I*. UNEMI ONLINE, 2019. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r20>
- [21] E. M. Jamieson, L. A. Whyte, and J. M. McCall, *Procedimientos de enfermería clínica*. Elsevier Churchill Livingstone, 2007. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r21>
- [22] R. Gómez Arribas and B. Blasco Colmenarejo, *Técnicas básicas de enfermería*. EDITEX, 2021. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r22>
- [23] A. Pittaras, P. Kokkinos, C. Faselis, C. Grassos, M. Doumas, E. Kallistratos, A. Manolis, and I. B. Samuel, “Resting heart rate and mortality risk in hypertensive patients with no atrial fibrillation,” *Journal of Hypertension*, vol. 42, no. Suppl 1, p. e50, May 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1097/01.hjh.0001019736.22833.da>
- [24] D. López and E. Maya, “Arquitectura de software basada en microservicios para desarrollo de aplicaciones web,” in *Séptima Conferencia de Directores de Tecnología de Información, TICAL 2017 Gestión de las TICs para la Investigación y la Colaboración*, 2017. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r24>
- [25] F. L. Osorio Rivera, *Base de datos relacionales Textos Académicos*. ITM, 2008. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r25>
- [26] I. Sommerville, *Software engineering*. Pearson Education, 2004. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r26>
- [27] S. Martínez Escuredo, *Metodología de Implantación del ERP Microsoft Dynamics NAV*. Lulu, 2018. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r27>
- [28] S. Khan, Z. Jiangbin, and A. Wahab, “Design and development of android performance testing tool,” in *2020 IEEE Conference on Big Data and Analytics (ICBDA)*. IEEE, Nov. 2020, pp. 57–60. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICBDA50157.2020.9289714>
- [29] S. Fresneda González, *Gestión del consumo energético en el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles*. Universitat Politècnica de València, 2017. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r29>

- [30] S. Rahman, *Development of an IoT backend service with Azure*. Centria University of Applied Sciences, 2025. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r30>
- [31] I. D. Torres-Pardo, J. A. Guzmán-Luna, C. M. Barros-Ligan, and J. P. Gutiérrez-López, “Medición de parámetros de signos vitales para emisión de alertas móviles,” *Revista Politécnica*, vol. 19, no. 37, pp. 43–56, Mar. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n37a4>
- [32] M. R. Olivas-Martínez and R. Ruiz-Márquez, “Monitor biomédico portátil con comunicación vía bluetooth a dispositivos móviles con sistema operativo Windows,” *Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica*, vol. 2, no. 1, pp. 323–327, 2017. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r33>
- [33] R. E. Cañon Clavijo, *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de ritmo cardíaco y generación de alertas preventivas para la supervisión de pacientes en riesgo potencial*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2021. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r34>
- [34] C. Mundt, K. Montgomery, U. Udoh, V. Barker, G. Thonier, A. Tellier, R. Ricks, R. Darling, Y. Cagle, N. Cabrol, S. Ruoss, J. Swain, J. Hines, and G. Kovacs, “A multiparameter wearable physiologic monitoring system for space and terrestrial applications,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 9, no. 3, pp. 382–391, Sep. 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TITB.2005.854509>
- [35] M. Moreno Caballero, *Diseño y programación de un sistema de monitorización de parámetros biomédicos*. PFC/TFG-Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, 2021. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r36>
- [36] V. Becerra Tapia, V. Téllez Victoria, J. M. Ramos Medina, G. R. Peñaloza Mendoza, and M. S. Castro Zenil, “Sistema de transferencia de datos biomédicos con protocolos de comunicación de bajo consumo,” *Revista de Ciencias Tecnológicas*, vol. 6, no. 4, p. e284, Nov. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37636/recit.v6n4e284>
- [37] Z. Rebolledo Nandi, *Monitor de signos vitales portátil*. Universidad Autónoma de Guerrero, 2016. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r32>
- [38] E. I. Tintín Durán, *Diseño y elaboración de un prototipo de monitor de signos vitales aplicando métodos no invasivos con comunicación de datos a dispositivos móviles*. Universidad Politécnica Salesiana, 2015. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r39>
- [39] D. Echeverría, “Tiempo de respuestas y experiencia de usuario estudio experimental,” *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, vol. 4, no. 5, p. 231, Dec. 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18294/relais.2016.231-234>
- [40] P. Sala del Real, *Análisis de consumo energético para aplicaciones de visión artificial en Android*. UAM. Departamento de Ingeniería Informática, 2017. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing34ar6r41>
- [41] A. Meneses-Viveros, E. Hernández-Rubio, S. Mendoza, J. Rodríguez, and A. B. Márquez Quintos, “Energy saving strategies in the design of mobile device applications,” *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 19, pp. 86–95, Sep. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.07.011>