

HealthTracker: Sistema de control y monitoreo basado en IoT para personas de edad avanzada

Desarrollado por

Valeska Sofia Chica Valfre (vchicav@uteq.edu.ec)

Angelica Michelle Tenecela Intriago (atenecelai@uteq.edu.ec)

Jordy Alejandro Vilcacundo Chiluisa (jvilcacundoc@uteq.edu.ec)

En cumplimiento del desarrollo del proyecto

para la asignatura de

Aplicaciones distribuidas.

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Facultad de ciencias de la ingeniería

Ingeniería de Software



Contenido

<i>Ilustraciones.....</i>	<i>3</i>
<i>Tablas</i>	<i>3</i>
1. Resumen	4
2. Introducción.....	5
3. Trabajos relacionados.....	7
4. Sistema Propuesto	9
5. Metodología	11
5.1. Análisis preliminar	11
5.1.1. Análisis de requisitos	11
5.1.2. Análisis de tecnologías.....	13
5.1.3. Análisis de viabilidad	15
5.2. Diseño de la capa tecnológica	17
5.2.1. Arquitectura del sistema HealthTracker	17
5.2.2. Diseño del dispositivo HealthTracker	19
5.3. Análisis detallado de requisitos.....	20
5.4. Generación y adaptación de modelos, pruebas y software	29
5.5. Implementación de hardware y software	31
5.6. Evaluación de entregables.....	33
5.7. Mantenimiento	33
6. Resultados y discusión.....	34
7. Conclusiones y recomendaciones	35
8. Referencias	36

Ilustraciones

Fig 1. Arquitectura del sistema HealthTracker.....	18
Fig 2. Diseño del dispositivo HealthTracker	19
Fig 3. Diseño de casos de usos en TDDT4IoT	29
Fig 4. Diseño de diagrama de clase en TDDT4IoT.....	30
Fig 5. Presentación de los prototipos de la interfaz gráfica de la aplicación Móvil.....	31
Fig 6. Interfaces de Monitoreo y Control de los Componentes en Tiempo Real	32
Fig 7. Dispositivo electrónico HealthTracker	32
Fig 8. Captura de pantalla de la aplicación web HealthTracker.....	33

Tablas

Tabla 1. Componentes utilizados en el desarrollo del sistema.....	13
Tabla 2. Herramientas de desarrollo utilizadas para el aplicativo móvil y web.....	14
Tabla 3: Costo de los componentes del hardware.....	20
Tabla 4. Caso de uso 1: Registrar paciente	20
Tabla 5. Caso de uso 2: Registrar cuidador.....	21
Tabla 6. Caso de uso 3: Registrar administrador.....	22
Tabla 7: Caso de uso 4: Registrar dispositivo	22
Tabla 8: Caso de uso 5: Inicia sesión.....	23
Tabla 9: Caso de uso 6: Agendar citas.....	24
Tabla 10: Caso de uso 7: Visualizar agenda.....	24
Tabla 11: Caso de uso 8: Visualizar ritmo cardiaco.....	25
Tabla 12: Caso de uso 9: Alertar ritmo cardiaco	26
Tabla 13: Caso de uso 10: Visualizar caídas.....	26
Tabla 14: Caso de uso 11: Visualizar temperatura	27
Tabla 15: Caso de uso 12: Alertar temperatura.....	28
Tabla 16: Caso de uso 13: Alertar caída	28

1. Resumen

El proyecto "HealthTracker" es una innovación tecnológica diseñada para mejorar la calidad de vida de los adultos mayores. Utilizando la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), ofrece un monitoreo continuo y un control eficiente de la salud. Este sistema responde a la necesidad de herramientas tecnológicas que aborden integralmente las necesidades de los mayores.

Inspirado en proyectos anteriores como Health Promotion, We-Care, EHM-BBI-IoT, SSECMT, entre otros, HealthTracker integra funciones avanzadas. Proporciona monitoreo en tiempo real del ritmo cardíaco y la temperatura corporal, además de detectar caídas con alertas instantáneas. Incluye gestión citas médicas, con una plataforma web y móvil para seguimiento centralizado. Esta solución brinda tranquilidad a familiares y cuidadores, facilitando el monitoreo constante, mejorando la respuesta en emergencias y promoviendo la adherencia a la medicación.

Los beneficios de HealthTracker desde su implementación son notables. Ha permitido la detección temprana de caídas y una gestión más eficiente de las citas médicas. Además, su enfoque no intrusivo fomenta la independencia de los adultos mayores. El proyecto se ha desarrollado aprovechando conceptos de IoT, big data y tecnologías móviles.

Los resultados obtenidos reflejan una mejora significativa en la calidad de vida de los adultos mayores. Ha proporcionado tranquilidad a sus cuidadores y ha optimizado la gestión de la salud y las emergencias. HealthTracker se destaca como un avance importante en la atención de los mayores, utilizando tecnologías innovadoras para satisfacer sus necesidades de salud de manera integral.

En conclusión, HealthTracker ha impactado positivamente en la vida de los adultos mayores y sus seres queridos, representando un cambio significativo en el campo del cuidado de la salud para esta población. Su enfoque integral y tecnológicamente avanzado demuestra cómo la innovación puede mejorar la vida de las personas mayores y de quienes se encargan de su cuidado.

2. Introducción

El envejecimiento de la población es un desplazamiento de la edad media o mediana de una población hacia edades más avanzadas. Se trata de una cuestión interesante y extendida por todo el mundo, ya que la población anciana, de 60 años o más, esta aumentado drásticamente en muchos países [1], [2]. Los investigadores afirman que un gran número de personas mayores se quedan solas en casa mientras los jóvenes de su familia salen a trabajar [3]. En relación con los riesgos generales y la rápida disminución del estado de salud de las personas para mayores en poco tiempo, los problemas de salud de las personas mayores se convierten en un problema crucial que despierta el interés de la investigación [4]. Afortunadamente, las nuevas tecnologías emergentes de sensores y redes proporcionan el contexto del Internet de las Cosas (IoT), en el que muchas cosas conectadas pueden comunicarse entre sí para transferir datos esenciales para la toma de decisiones precisas y en tiempo real en situaciones críticas [5].

Sin embargo, a pesar de la imperiosa necesidad de un control y monitoreo preciso de los signos vitales en la población adulta mayor, actualmente enfrentamos desafíos sustanciales en la implementación efectiva de estas medidas [6]. Las tecnologías convencionales de monitoreo de la salud pueden resultar intrusivas y limitadas en su capacidad de proporcionar datos en tiempo real, lo que dificulta la identificación temprana de condiciones médicas críticas [7]. Además, la falta de sistemas integrados que aborden de manera holística el ritmo cardíaco, la temperatura corporal y la detección de caídas limita la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia de manera eficiente [8]. Este vacío en las soluciones actuales contribuye a la persistencia de problemas de salud no detectados a tiempo, aumentando así los riesgos para la salud y los costos asociados a la atención médica [6]. Por lo tanto, es crucial abordar estos obstáculos para garantizar un monitoreo efectivo y proactivo de la salud en la población adulta mayor, mejorando así la capacidad de respuesta ante situaciones críticas y optimizando la atención médica destinada a este grupo demográfico.

Para abordar los desafíos inherentes al control y monitoreo de la salud en la población adulta mayor, se propone una solución integral basada en la implementación estratégica del Internet de las cosas (IoT) y tecnologías avanzadas. La propuesta contempla el desarrollo de dispositivos portátiles de monitoreo conectados al IoT, capaces de medir

en tiempo real el ritmo cardíaco, la temperatura corporal y detectar caídas de manera no intrusiva, respaldados por algoritmos inteligentes para la identificación temprana de patrones anómalos y la generación automática de alertas[9], [10]. A nivel comunitario, se propone la creación de plataformas de atención remota, donde profesionales de la salud pueden acceder a datos en tiempo real, facilitando intervenciones adecuadas. Estas soluciones no solo buscan mejorar la calidad de vida de las personas adultas mayores mediante un monitoreo proactivo, sino también reducir costos asociados a la atención médica al prevenir hospitalizaciones innecesarias y mejorar la eficiencia en la gestión de la salud[11].

La propuesta de HealthTracker emerge como una solución integral para abordar los desafíos en el control y monitoreo de la salud en personas adultas mayores. Diseñado en forma de collar, este sistema compacto integra tecnología IoT y algoritmos inteligentes para ofrecer una supervisión continua y no intrusiva de parámetros vitales como la temperatura corporal, el ritmo cardíaco y la detección de caídas [12]. El collar, además de su función de monitoreo, simplifica la gestión de la atención médica mediante un registro de citas médicas, promoviendo su adopción constante gracias a su diseño portátil y cómodo [13]. HealthTracker no solo busca detectar tempranamente posibles problemas de salud, sino también mejorar la calidad de vida y reducir costos asociados a hospitalizaciones innecesarias. En un contexto tecnológico en constante evolución, esta propuesta aspira a ser una solución completa que fusiona el monitoreo continuo de la salud y la eficiencia en la gestión de la atención médica, contribuyendo así al bienestar de la población adulta mayor [14]

La metodología para la implementación de HealthTracker abarcará diversas fases cruciales. Inicialmente, se llevará a cabo un análisis preliminar mediante una revisión exhaustiva de la literatura para informar el diseño, considerando las mejores prácticas en monitoreo de salud, Internet de las cosas (IoT) y dispositivos portátiles [7], [15]. La fase de desarrollo se centrará en la programación y configuración de sensores, así como en la conectividad IoT, la interfaz de usuario y toda la capa de tecnología. En la generación y adaptación de modelos, se abarcarán las etapas de generación de pruebas y software de tal manera que se hará uso de la herramienta TDDT4IoT para la generación de los diagramas [16]. La implementación de hardware y software se realizará a través de

pruebas piloto con los mismos participantes del proyecto, evaluará la efectividad del monitoreo, la facilidad de uso y la integración en la vida diaria [6]. Se recopilarán datos para ajustes y optimizaciones. Los modelos y el software que fueron generados serán refinados o perfeccionados en la etapa de refinamiento, de tal forma que con la retroalimentación obtenida de las pruebas se refine el software y los modelos[16].

La evaluación de entregables incluirá actualizaciones periódicas y retroalimentación de los usuarios, utilizando este ciclo iterativo para adaptarse a las necesidades cambiantes y aprovechar las últimas innovaciones tecnológicas en el monitoreo de la salud [17]. La etapa de mantenimiento, se la omitirá debido al poco tiempo de funcionalidad del sistema, por lo cual no se podrá aplicar el mantenimiento adecuado debido a su poco tiempo de uso.

3. Trabajos relacionados

En la actualidad, la presencia de la tecnología en el ámbito de la atención médica es cada vez más evidente. Uno de estos avances, es el uso de sensores inalámbricos, una innovación que facilita el acceso remoto a la información. Además, la transmisión inalámbrica permite a los usuarios poder acceder a la información en cualquier momento. Al hacer uso de diversos sensores, se recopilan con precisión datos fisiológicos de los usuarios, los cuales posteriormente serán distribuidos al receptor correspondiente.

Acharya et al [9]. introdujo el monitoreo de la atención médica en un entorno de IoT. El sistema monitoreaba parámetros básicos de la salud del usuario, como los latidos del corazón, el ECG y la temperatura corporal. Recopiló datos de sensores y los transmitió a un servidor. Sin embargo, no tiene interfaces visualizadas para usuarios comunes. Milon Islam et al [10]. propusieron un sistema de atención médica inteligente en un entorno de IoT. Monitorea los signos fisiológicos del paciente y las condiciones de la habitación donde se encuentra. El estado del paciente puede transmitirse inmediatamente al personal médico, donde podrá procesar y analizar la situación actual del paciente.

Nethshan Narasinghe et al [13] desarrolladores de "IoTHMADC", P. Reshma et al [18] desarrolladores de "HMSEP" y Chia-Hui Liu et al [19] desarrolladores de "Healt Promotion", usaron sensores de ritmo cardiaco, como MAX30100 y MAX30102, así como el uso de sensores de temperatura DS18B20 y los microcontroladores ESP. Amelia

Cahyana et al [20], desarrolladores de "SCPKPLUIoT-H", diseñaron un circuito electrónico que integra los sensores de señales vitales, con un microcontrolador ESP32 para el procesamiento de datos, y una interfaz de visualización a través de un display OLED. Sin embargo, enfrenta desafíos como la variabilidad en la precisión de los sensores bajo diferentes condiciones, y la necesidad de adaptarse a varios entornos.

P. Reshma et al [3], desarrollaron "HMSEP" el cual es un sistema que emplea tecnología IoT para monitorear el estado de salud y la actividad de las personas mayores. Este sistema utiliza sensores de ritmo cardíaco, y transmisión de datos a través de Wi-Fi a un almacenamiento en la nube y permitiendo el seguimiento a través de una aplicación móvil que también notifica condiciones anormales. Kobkiat Saraubon et al [21], desarrollaron "SSEC-IMT", es un avanzado sistema que integra tecnología IoT y móvil. Este sistema utiliza sensores de acelerómetro para la detección de caídas y monitoreo del ritmo cardíaco. La aplicación móvil es una parte crucial, proporcionando monitoreo remoto y alertas rápidas para que los cuidadores respondan eficientemente en emergencias. A pesar de sus capacidades avanzadas, ambos sistemas enfrentan desafíos para adaptarse a las necesidades individuales de cada usuario.

"Healt Promotion" desarrollado por Chia-Hui Liu et al [1] como "IoTHMADC" creado por Nethshan Narasinghe et al [2] se centran en la promoción de la salud y utilizan tecnologías IoT para integrar sensores en sus plataformas. Mientras, "EHBBIoT" de Mehdi Hosseinzadeh et al [6] y "SW-SHMS" de Mohammed Al-khafajiy et al [7] destacan por el uso de tecnologías avanzadas, como dispositivos portátiles y sensores biomédicos, para realizar un seguimiento en tiempo real de los parámetros de salud. Sin embargo, todos estos sistemas, mostraron deficiencia en la precisión de datos de sensores y la interoperabilidad con otros sistemas de salud.

Las bases de datos NoSQL brindan una solución atractiva al centrarse en la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos, algo esencial para manejar la diversidad de información clínica generada por el proyecto. "EHBBIoT" de Mehdi Hosseinzadeh et al [6], optó por un sistema de almacenamiento de datos remoto conocido como MongoDB, complementado con una API REST desarrollada utilizando el marco Express.js y la biblioteca Mongoose. Esta combinación permitió gestionar eficazmente las relaciones entre el marco Express.js y la base de datos MongoDB.

Diana Yacchirema et al [9], desarrolladores de "FD-System" junto con Saraubon et al, desarrolladores de "SSEC-IMT" [21], se centran en el cuidado y la seguridad de las personas mayores mediante el uso de tecnología avanzada. Ambos sistemas hacen uso de dispositivos portátiles y sensores para la detección precisa de caídas y la monitorización de parámetros de salud, como el ritmo cardíaco, garantizando un monitoreo integral de los usuarios. En "FD-System", su almacenamiento es en la nube y realiza alertas a los médicos, cuidadores, hospitales y familiares en caso de una caída. Para lograr esta funcionalidad, el sistema hace uso de dispositivos portátiles con un acelerómetro 3D para la recopilación de datos, una conexión WiFi para enviar alertas inmediatas. Cabe mencionar que una limitación significativa del FD-System es su ubicación fija, ya que opera en un punto específico y no cuenta con una aplicación móvil.

Proyectos como "Healt Promotion" de Chia-Hui Liu et al [1] y "IoTHMADC" de Nethshan Narasinghe et al [2] se centran en la promoción de la salud mediante la integración de sensores y tecnologías IoT. A su vez, "EHBBIoT" de Mehdi Hosseinzadeh et al [6] y "SW-SHMS" de Mohammed Al-khafajiy et al [7] utilizan tecnologías avanzadas para realizar un seguimiento en tiempo real de los parámetros de salud, pero enfrentan desafíos en la precisión de los sensores y la interoperabilidad con otros sistemas. La elección de bases de datos NoSQL, como MongoDB en "EHBBIoT", destaca la importancia de la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos en proyectos médicos. Por otro lado, proyectos como "FD-System" de Diana Yacchirema et al [5] y "SSEC-IMT" de Saraubon et al [4] se enfocan en el cuidado y la seguridad de las personas mayores mediante el uso de dispositivos portátiles y sensores para la detección precisa de caídas y la monitorización de parámetros de salud. A pesar de sus capacidades avanzadas, todos estos proyectos enfrentan desafíos comunes, como la precisión de datos de sensores y la adaptación a las necesidades individuales de los usuarios.

4. Sistema Propuesto

El sistema propuesto, HealthTracker, representa una solución tecnológica avanzada enfocada en mejorar el monitoreo y la gestión de la salud de las personas de tercera edad mediante un enfoque integrado. Centrándose en la monitorización constante de variables esenciales para la salud como el ritmo cardíaco y la temperatura corporal, además de detectar caídas, HealthTracker apunta a fortalecer la seguridad y mejorar la

calidad de vida de este grupo demográfico. Al corazón de HealthTracker se encuentra un dispositivo wearable en forma de collar, que se caracteriza por incorporar sensores dedicados al monitoreo en tiempo real del ritmo cardíaco y la temperatura corporal, junto con un acelerómetro para la detección eficiente de caídas. Este dispositivo ha sido diseñado para ser cómodo y discreto, permitiendo su uso continuo sin interferir en las actividades cotidianas de los usuarios.

Complementando el dispositivo, HealthTracker incluye una aplicación móvil que ofrece a los usuarios y a sus cuidadores la posibilidad de visualizar la información de salud recolectada en tiempo real. Esta aplicación se destaca por su funcionalidad de recordatorios para citas médicas y el consumo de medicamentos, asistiendo a los usuarios en el manejo de sus necesidades médicas.

Por otro lado, la plataforma web de HealthTracker está dirigida a cuidadores y profesionales de la salud, ofreciendo capacidades avanzadas para la gestión de cuentas de usuario y la visualización detallada de la información de salud recogida. A través de esta plataforma, se facilita el acceso a datos históricos de salud, permitiendo a los profesionales realizar un análisis profundo y a largo plazo de las condiciones de salud del usuario. Esta funcionalidad es esencial para el seguimiento detallado y la toma de decisiones informadas sobre el cuidado de la salud de las personas mayores.

Para el desarrollo de HealthTracker se optó por emplear la herramienta TDDT4IoT desarrollada por Guerrero [16], que permitió esquematizar de manera efectiva la interacción entre los componentes del sistema y los usuarios a través de la creación de gráficos basados en los casos de uso definidos. Este enfoque asegura que la solución final esté bien alineada con las necesidades identificadas.

HealthTracker busca no solo centrarse en la monitorización y recopilación de datos de salud sino también en proporcionar una interfaz amigable y comprensible para los usuarios, además de ofrecer herramientas de gestión y análisis para cuidadores y profesionales de la salud. El proyecto aspira a optimizar la respuesta ante situaciones de emergencia, mejorar la gestión de la salud a largo plazo y promover la autonomía e independencia de las personas de tercera edad, marcando un avance significativo en la tecnología aplicada al cuidado de la salud para este segmento poblacional.

5. Metodología

5.1. Análisis preliminar

Se ha identificado que los usuarios que se encargan de cuidar a personas adultas mayores se enfrentan a una serie de desafíos, tales como la dificultad para monitorear el ritmo cardíaco del paciente y la temperatura corporal.

Por lo tanto, se plantea el desarrollo de un sistema que permita al usuario tener un mayor control y monitoreo del paciente. Este sistema debería ser de fácil usabilidad y accesibilidad, ya que los usuarios pueden no tener conocimientos técnicos especializados en la materia.

Es importante que el usuario cuidador reciba alertas en caso de que algún parámetro del paciente se salga de los límites o tenga cambios anormales, lo que permitirá tomar medidas oportunas para evitar posibles hospitalizaciones.

Además, se ha considerado que el sistema sea rentable en términos de costos e implementación, así como la comodidad del usuario con la portabilidad, ya que muchos usuarios que se encargan de cuidar a personas adultas mayores, no cuentan con las herramientas necesarias para el monitoreo del ritmo cardíaco así como de su temperatura, existen ocasiones en las que suelen dejar a los adultos mayores solos, debido a atenciones de trabajo o diferentes ocupaciones, por lo cual existe una gran probabilidad de que el adulto mayor presente una caída lo cual puede ser perjudicial.

Con base a estas consideraciones, se ha iniciado la etapa de análisis preliminar para establecer un punto de partida sólido para el desarrollo de un sistema que cumpla con las necesidades de los usuarios que se encargan del cuidado de adultos mayores.

5.1.1. Análisis de requisitos

A partir de la investigación realizada en el estado del arte, se ha podido identificar diversos dispositivos para monitorear el ritmo cardíaco, temperatura y predicciones de posibles caídas. Por lo tanto, se han definido las siguientes especificaciones como parte del análisis de requerimientos.

5.1.1.1. Requisitos funcionales

- El sistema debe ser capaz de medir y monitorear en tiempo real el ritmo cardíaco de la persona mayor.
- Deberá generar alertas automáticas en caso de detectar anomalías en el ritmo cardíaco que puedan indicar problemas de salud.
- El sistema deberá medir y registrar la temperatura corporal de la persona mayor de manera continua.
- Se deben generar alertas automáticas en caso de variaciones significativas en la temperatura que puedan indicar posibles problemas de salud.
- El sistema debe contar con sensores que detecten caídas o cambios bruscos en la posición de la persona mayor.
- Deberá enviar alertas instantáneas a los cuidadores y/o familiares en caso de detectar una caída.
- La aplicación móvil deberá permitir la gestión de citas médicas para las personas mayores.
- Deberá enviar recordatorios automáticos de citas y permitir la actualización de información sobre consultas médicas.
- La interfaz de usuario en la aplicación móvil y la plataforma web debe ser fácil de entender y utilizar, especialmente para usuarios no técnicos.
- Deberá proporcionar información clara sobre el estado de salud y alertas.

5.1.1.2. Requisitos no funcionales

- La implementación y mantenimiento del sistema deben ser económicamente viables para garantizar su accesibilidad a un mayor número de usuarios.
- La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, considerando que los usuarios pueden no tener conocimientos técnicos avanzados.
- El monitoreo de datos, alertas y notificaciones deben ser en tiempo real para permitir una respuesta rápida ante situaciones críticas.
- El dispositivo de monitoreo (collar) debe ser portátil y cómodo de usar, para adaptarse a la vida diaria de la persona mayor sin causar incomodidades.
- Se debe garantizar una conectividad estable entre el collar de monitoreo y la aplicación móvil, así como entre la aplicación y la plataforma web.

5.1.2. Análisis de tecnologías

Con base a los requerimientos obtenidos, es fundamental definir las tecnologías que se van a emplear tanto para el desarrollo del dispositivo como para la aplicación móvil y web. A continuación, se detallan los tipos de tecnología considerados.

En la tabla 1, se muestran los componentes que se usaron para la creación del dispositivo.

Tabla 1. Componentes utilizados en el desarrollo del sistema

Componente	Descripción
Modulo ESP32 CP2012	El ESP32 CP2012 es un módulo Wi-Fi y Bluetooth de bajo coste y alto rendimiento diseñado para aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT). Se basa en el chip ESP32 de Espressif Systems, que integra un procesador de doble núcleo de 32 bits, una unidad de gestión de energía, un transceptor Wi-Fi y Bluetooth, y varias interfaces de entrada/salida (E/S). Este módulo es compacto y compatible con una amplia gama de protocolos de red e interfaces de E/S, lo que lo hace ideal para aplicaciones de IoT que requieren alto rendimiento, bajo coste y tamaño compacto [22].
Sensor de temperatura MLX90614ESF	El Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614 de Melexis permite medir la temperatura de un objeto sin contacto. Con una membrana micromecanizada sensible a la radiación infrarroja, internamente tiene un ADC de 17 bits y un procesador digital. Ofrece un amplio rango de medición (-70°C a 380°C) con precisión de 0.5°C. La salida es digital tipo SMBus (subconjunto de I2C) y permite configurar una salida PWM de 10 bits [23].
Acelerómetro de 3 ejes MPU-6050	El módulo, basado en el sensor MPU6050, mide movimiento en 6 grados de libertad con un giroscopio y acelerómetro de 3 ejes en un solo chip. Utiliza una interfaz I2C, cuenta con una

	<p>librería popular para su implementación y facilita la conexión con Arduino. Ofrece 6 grados de libertad, tiene un regulador de tensión a 3.3V y resistencias pull-up para I2C. Permite controlar sensores externos adicionales sin afectar el procesador principal y tiene un rango de escala programable para una captura precisa de movimiento rápido y lento [24].</p>
<p>Sensor de frecuencia cardiaca MAX30102</p>	<p>El MAX30102 es un dispositivo que combina pulsioxímetro y monitor de frecuencia cardíaca, utilizando un circuito fotoeléctrico para medir la saturación de oxígeno y la frecuencia cardíaca en sangre de un paciente. Incluye un LED rojo y uno infrarrojo, un fotodetector, óptica especializada, filtro de luz ambiental y un conversor ADC delta sigma de 16 bits. Además, cuenta con un sensor de temperatura interno para compensar los efectos ambientales. Requiere dos voltajes (1.8V y 3.3V), pero este módulo incorpora ambos reguladores en placa, facilitando la alimentación con una fuente de 5V. Con un consumo mínimo de corriente, es adecuado para aplicaciones portátiles y se utiliza en dispositivos médicos, asistentes de estado físico y wearables [25].</p>

Una vez realizado el análisis de los correspondiente a continuación, en la tabla 2 se mostrarán los softwares para la realización del aplicativo móvil y Web además de los servicios correspondientes.

Tabla 2. Herramientas de desarrollo utilizadas para el aplicativo móvil y web

Herramienta de desarrollo	Criterio de selección
Visual studio Code	El mejor IDE completo para desarrolladores de .NET y C++ en Windows. Completamente equipado con una buena matriz de herramientas y

	características para elevar y mejorar todas las etapas del desarrollo de software [26].
Firebase	Firebase es una plataforma desarrollada por Google que facilita el desarrollo de apps, proporcionando un servidor backend para las aplicaciones. Además, el mismo backend puede ser utilizado de forma común en diversas plataformas: Android, IOS y web. datos y los sincroniza en tiempo real [27].
Arduino IDE	Arduino IDE es una herramienta de desarrollo destacada por su accesibilidad y facilidad de uso, especialmente adecuada para principiantes en la programación y para proyectos de electrónica. Es ampliamente reconocido por su entorno de desarrollo integrado (IDE) de código abierto, que permite escribir programas y cargarlos en las placas Arduino. Su simplicidad y flexibilidad lo hacen ideal para prototipos rápidos y proyectos de hardware DIY (hazlo tú mismo). Ofrece una amplia gama de bibliotecas y soporte para diversas placas Arduino y compatibles, facilitando la experimentación y el aprendizaje en el campo de la electrónica y la robótica [28].

5.1.3. Análisis de viabilidad

El desarrollo de HealthTracker se justifica plenamente por su viabilidad técnica, su sostenibilidad económica, y su profunda relevancia social. Este sistema innovador, basado en el Internet de las Cosas (IoT), ha sido diseñado específicamente para abordar las necesidades de monitoreo de salud de las personas mayores, un segmento demográfico en crecimiento. A continuación, se detallan los factores que fundamentan la necesidad y pertinencia de este proyecto.

Viabilidad Técnica: Innovación y Eficiencia

- **Innovación Tecnológica:** HealthTracker representa un salto cualitativo en el monitoreo de la salud, gracias a su uso avanzado del IoT. La integración de sensores para medir signos vitales y detectar caídas es un avance notable sobre

los métodos convencionales, ofreciendo una solución más integral y proactiva para el cuidado de la salud de los adultos mayores.

- **Eficacia de las Herramientas Seleccionadas:** La elección estratégica de herramientas como GoLand, NodeJS, React, React Native, Arduino Cloud y Firebase garantiza el alto rendimiento del sistema y una experiencia de usuario excepcional. Esta combinación no solo maximiza la eficiencia en el desarrollo y la operación del sistema, sino que también asegura su escalabilidad y mantenibilidad a largo plazo.

Viabilidad Económica: Coste-Efectividad y Sostenibilidad

- **Reducción de Costes Operativos:** La adopción de una arquitectura basada en microservicios y el empleo de tecnologías eficientes reducen significativamente los costos asociados con la infraestructura y el mantenimiento. HealthTracker se presenta como una solución económicamente viable, ofreciendo una relación coste-beneficio altamente favorable.
- **Retorno de la Inversión (ROI) Atractivo:** La inversión inicial necesaria para desarrollar HealthTracker es justificada por los amplios beneficios que ofrece, incluyendo mejoras tangibles en la calidad de vida de los usuarios, la reducción en la frecuencia de emergencias médicas y la optimización de recursos para cuidadores y profesionales de la salud. Este ROI favorable asegura que HealthTracker no solo es una inversión valiosa sino también sostenible.

Relevancia Social: Demanda y Beneficios Sociales

- **Atención a una Necesidad Social Urgente:** La realidad demográfica del envejecimiento poblacional demanda soluciones innovadoras como HealthTracker. Este sistema responde directamente a la creciente necesidad de tecnologías que soporten el bienestar y la autonomía de las personas mayores, facilitando un envejecimiento saludable y seguro.
 - **Mejora en la Calidad de Vida:** Al proporcionar un monitoreo continuo y no intrusivo, HealthTracker empodera a los adultos mayores, permitiéndoles vivir de manera más independiente y segura. Asimismo, ofrece tranquilidad a familiares y

cuidadores, asegurando que cualquier situación potencialmente peligrosa será detectada y atendida de manera oportuna.

Impacto y Beneficios Esperados

- **Prevención y Respuesta Rápida:** La capacidad de HealthTracker para emitir alertas tempranas ante condiciones de salud anómalas es crucial para prevenir complicaciones graves y potencialmente salvar vidas. Este sistema promueve una respuesta rápida y efectiva, reduciendo la necesidad de intervenciones médicas de emergencia.
- **Adopción Tecnológica en el Cuidado de la Salud:** HealthTracker establece un precedente para la integración de tecnologías avanzadas en el cuidado de la salud de las personas mayores. Este proyecto no solo aborda necesidades actuales, sino que también abre caminos para futuras innovaciones en el sector.

La implementación de HealthTracker está plenamente justificada por su viabilidad técnica y económica, así como por su significativo impacto social. Representa una solución integral al desafío de proporcionar un cuidado de salud eficiente y proactivo para las personas mayores. Avanzar hacia su implementación es avanzar hacia un futuro donde la tecnología y el bienestar convergen para mejorar significativamente la calidad de vida de una población en crecimiento.

5.2. Diseño de la capa tecnológica

En esta etapa crucial del proyecto HealthTracker, el equipo se enfocó en el diseño de la arquitectura tecnológica, estableciendo una base sólida para el desarrollo del sistema integral. La utilización de la herramienta de diseño TDDT4IoT fue fundamental para representar con claridad los componentes del proyecto, permitiendo una visualización precisa de la estructura propuesta y facilitando la evaluación de los costos asociados a los componentes de hardware necesarios para la implementación.

5.2.1. Arquitectura del sistema HealthTracker

La arquitectura diseñada para HealthTracker se estructura en tres capas esenciales, ajustadas para reflejar las responsabilidades y la interacción entre los componentes del sistema, incorporando tecnologías específicas para optimizar la funcionalidad, el desempeño, y la interactividad del sistema.



Fig 1. Arquitectura del sistema HealthTracker

La revisión de este esfuerzo de diseño ha adaptado la arquitectura de HealthTracker para cumplir con tres capas fundamentales: capa de Percepción, capa de Negocio o Aplicación, y capa de Presentación, incorporando tecnologías específicas en cada una de estas para asegurar una implementación eficiente y efectiva.

Capa de Percepción: La base de la arquitectura, donde los dispositivos IoT, gestionados a través de Arduino Cloud, recopilan datos biométricos. Esta capa es crucial para el seguimiento y control de los signos vitales del usuario, realizando el preprocesamiento necesario de los datos recogidos.

Capa de Negocio o Aplicación: Encargada del procesamiento de datos, almacenamiento y lógica del sistema. Utiliza GoLand para el desarrollo del backend, interactuando con Firebase para el almacenamiento de datos en tiempo real y la gestión de notificaciones. Además, se apoya en Render para el despliegue del backend, asegurando una gestión eficiente de la infraestructura en la nube.

Capa de Presentación: Permite la interacción directa con el usuario a través de interfaces desarrolladas con React para aplicaciones web y React Native para aplicaciones móviles. Esta capa facilita el monitoreo y la gestión de la salud del usuario, presentando los datos de manera intuitiva y accesible.

Interacción entre las capas

De la Capa de Percepción a la Capa de Negocio o Aplicación: Los datos capturados por los sensores en la capa de percepción son transmitidos para su procesamiento y almacenamiento en la capa de negocio, utilizando tecnologías como Arduino Cloud para la captura y GoLand para el procesamiento y almacenamiento.

De la Capa de Negocio o Aplicación a la Capa de Presentación: Los datos procesados y almacenados son accesibles mediante las interfaces de usuario en la capa de presentación, desarrolladas con React y React Native. Esto permite a los usuarios visualizar su información de salud y recibir notificaciones en tiempo real.

Interacción Bidireccional (opcional): Adicionalmente, la aplicación móvil puede enviar comandos a través de la capa de presentación hacia la capa de negocio, que a su vez comunica con los dispositivos en la capa de percepción para activar actuadores o ajustar configuraciones, facilitando una interacción completa y cerrada entre el usuario y los dispositivos IoT.

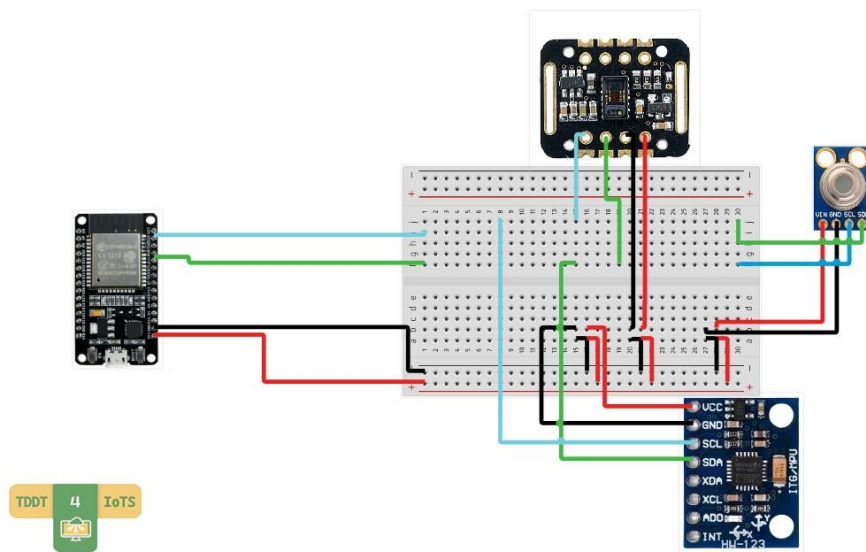


Fig 2. Diseño del dispositivo HealthTracker

5.2.2. Diseño del dispositivo HealthTracker

El diseño del dispositivo IoT de HealthTracker (Ver Figura 2, Diseño del dispositivo HealthTracker), permitirá detectar varios parámetros de salud como la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal, además de la detección de caídas. Este esquema se ha desarrollado utilizando la herramienta TDDT4IoT. Los componentes utilizados son: (A) Módulo ESP32 CP2012, que se encargará de la conexión Wi-Fi y la comunicación con la

nube, (B) Sensor de temperatura MLX90614ESF, para medir la temperatura corporal sin contacto, (C) Acelerómetro de 3 ejes MPU-6050, para monitorear la actividad y movimientos del usuario, (D) Sensor de frecuencia cardiaca MAX30102, para medir la frecuencia cardiaca y los niveles de oxígeno en la sangre.

Dado que los requisitos del sistema HealthTracker fueron claros y concretos desde el inicio, y con la participación de los usuarios en esta etapa, no se prevé la necesidad de repetir las etapas de Análisis preliminar y Diseño de la capa tecnológica. Se garantizó así que el diseño del sistema satisficiera plenamente las necesidades de seguimiento de la salud.

El análisis de costos del dispositivo HealthTracker es vital para conocer el valor de cada uno de los componentes y calcular con precisión el costo total del dispositivo. Por ello, se ha proporcionado una descripción detallada (ver Tabla 3, Costos de los componentes de hardware) de cada componente, permitiendo al lector tener una idea clara de los precios a considerar en su mercado local.

Tabla 3: Costo de los componentes del hardware

Dispositivo	Cantidad	Precio
Modulo ESP32 CP2012	1	\$9.99
Sensor de temperatura MLX90614ESF	1	\$11.99
Acelerómetro de 3 ejes MPU-6050	1	\$6.49
Sensor de frecuencia cardiaca MAX30102	1	\$12.99
Protoboard 830 puntos	1	\$9.00
	Precio Total	50.46

5.3. Análisis detallado de requisitos

A partir de esta etapa y las siguientes deben ejecutarse en cada entregable. Los entregables más relevantes para el cliente son el dispositivo, la aplicación móvil y la aplicación web. Por lo tanto, es necesario que este satisfecho, para lograr esto se hará un análisis detallado de requisitos usando casos de uso extendidos [16].

Tabla 4. Caso de uso 1: Registrar paciente

Caso de uso	Registrar Paciente
Actores	Administrador
Propósito	Registrar nuevo usuario paciente.

Precondición	El correo del paciente no debe ser usado por otro usuario.
Postcondición	El Paciente queda registrado en el sistema con su perfil completo
Descripción	Registrar un nuevo paciente y asignar el cuidador.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Seleccione la opción de registro de nuevo Paciente.	
	Mostrar el formulario de registro de usuario Paciente.
Completar los campos del formulario con los datos del Paciente.	
Seleccione la opción de confirmar.	
	Verificar que los datos sean correctos.
	Guardar al Paciente en la base de datos.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 5: Si falta información o es incorrecta, el sistema solicita correcciones o datos adicionales.	
Línea 5: Si el Paciente ya está registrado, el sistema notifica al usuario y evita la duplicación.	

Tabla 5. Caso de uso 2: Registrar cuidador

Caso de uso	Registrar Cuidador
Actores	Administrador
Propósito	Registrar nuevo usuario Cuidador.
Precondición	El correo del Cuidador no debe ser usado por otro usuario.
Postcondición	El cuidador queda registrado en el sistema con su perfil completo
Descripción	Registrar un nuevo cuidador.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Seleccione la opción de registro de nuevo Cuidador.	
	Mostrar el formulario de registro de usuario Cuidador.
Completar los campos del formulario con los datos del Cuidador.	
Seleccione la opción de confirmar.	

	Verificar que los datos sean correctos.
	Guardar al cuidador en la base de datos.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 5: Si falta información o es incorrecta, el sistema solicita correcciones o datos adicionales.	
Línea 5: Si el cuidador ya está registrado, el sistema notifica al usuario y evita la duplicación.	

Tabla 6. Caso de uso 3: Registrar administrador

Caso de uso	Registrar Administrador
Actores	Superadministrador
Propósito	Registrar nuevo usuario Administrador.
Precondición	El correo del administrador no debe ser usado por otro usuario.
Postcondición	El Administrador queda registrado en el sistema con su perfil.
Descripción	Registrar un nuevo administrador en el sistema.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Seleccionar la opción de registro de nuevo administrador.	
	Mostrar el formulario de registro de administrador.
Completar los campos del formulario con los datos del Administrador.	
	Validar que los datos sean correctos.
Seleccionar la opción de confirmar.	
	Registrar al administrador en la base de datos.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 4: Si falta información o es incorrecta, el sistema solicita correcciones o datos adicionales.	
Línea 5: Si el cuidador ya está registrado, el sistema notifica al usuario y evita la duplicación.	

Tabla 7: Caso de uso 4: Registrar dispositivo

Caso de uso	Registrar Dispositivo
Actores	Administrador

Propósito	Añadir un nuevo dispositivo IoT al sistema para su gestión y monitoreo.
Precondición	El Administrador debe estar autenticado en el sistema.
Postcondición	El Dispositivo queda registrado en el sistema y está listo para ser monitoreado y gestionado.
Descripción	El Administrador ingresa los detalles del Dispositivo IoT en el sistema para su seguimiento y control.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
Seleccionar la opción para agregar un nuevo dispositivo.	
	Mostrar el formulario de registro del Dispositivo.
Introducir los detalles del dispositivo (ID, tipo, características técnicas).	
	Validar la información y comprobar que el dispositivo no esté previamente registrado.
Confirmar la operación de registro.	
	Registrar el dispositivo en la base de datos y asignar un identificador único.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 4: Si la información es incompleta o incorrecta, El sistema solicita al Administrador que complete o corrija la información.	
Línea 4: Si el dispositivo ya está registrado, El sistema notifica al Administrador y evita la duplicación de registros.	

Tabla 8: Caso de uso 5: Inicia sesión

Caso de uso	Iniciar sesión
Actores	Paciente, Cuidador y Administrador
Propósito	Permitir al usuario acceder al sistema
Precondición	El usuario debe estar registrado en el sistema.
Postcondición	El usuario accede a su cuenta y puede utilizar el sistema.
Descripción	El usuario ingresa sus credenciales para acceder a las funcionalidades del sistema.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Respuesta del sistema
1) Seleccionar la opción de iniciar sesión.	
	2) Mostrar el formulario de inicio de sesión

Introducir nombre de usuario y contraseña.	
	Validar las credenciales.
	Otorgar acceso y dirigir al usuario a su página de inicio.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 4: Si las credenciales son incorrectas, El sistema muestra un mensaje de error y permite reintentar.	
Línea 4: Si el usuario olvidó su contraseña, El sistema ofrece la opción de recuperar la contraseña y guía al usuario a través del proceso.	
Línea 4: Si el usuario no está registrado, El sistema proporciona una opción para registrarse.	

Tabla 9: Caso de uso 6: Agendar citas

Caso de uso	Agendar citas
Actores	Cuidador
Propósito	Agendar una cita médica para el paciente mediante el cuidador
Precondición	El cuidador debe estar registrado y haber iniciado sesión en el sistema.
Postcondición	La cita queda agendada en el sistema y el usuario recibe una confirmación.
Descripción	Agendar una cita médica al paciente para tenga el recordatorio de la cita medica
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
El usuario selecciona la opción para agendar una cita.	
El usuario proporciona los detalles necesarios para la cita (titulo, fecha, hora, descripción.).	
	El sistema muestra una ventana de si va a confirmar la cita medica
El usuario confirma la cita.	
	El sistema registra la cita y envía una confirmación al usuario.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 3: Si el usuario cancela el proceso antes de confirmar, la cita no se agenda	

Tabla 10: Caso de uso 7: Visualizar agenda

Caso de uso	Visualizar agenda
Actores	Cuidador, Paciente

Propósito	Ver detalles de una cita programada		
Precondición	El usuario debe tener al menos una cita programada en el sistema.		
Postcondición	El usuario visualiza los detalles completos de la cita.		
Descripción	El usuario accede a la información detallada de una cita específica en el sistema.		
Flujo normal de eventos			
Acción del Actor		Repuesta del sistema	
Seleccionar la opción de visualizar citas.			
		Mostrar la lista de citas programadas.	
Elegir una cita específica de la lista.			
		Mostrar los detalles completos de la cita seleccionada (titulo, fecha, hora, descripción).	
Flujo alternativo de eventos			
Línea 2: Si no hay citas programadas, El sistema muestra un mensaje indicando que no hay citas para visualizar.			
Línea 4: Si se produce un error al recuperar los datos, El sistema notifica al usuario del error y sugiere volver a intentarlo más tarde.			

Tabla 11: Caso de uso 8: Visualizar ritmo cardiaco

Caso de uso	Visualizar ritmo cardiaco
Actores	Cuidador, Paciente
Propósito	Ver el historial y el estado actual del ritmo cardíaco
Precondición	El usuario debe tener un dispositivo de monitorización de ritmo cardíaco vinculado al sistema.
Postcondición	El usuario ha visualizado la información sobre su ritmo cardíaco.
Descripción	El usuario accede al sistema para consultar los datos de su ritmo cardíaco registrados por su dispositivo de monitorización.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Seleccionar la opción de visualizar ritmo cardíaco.	
	Mostrar la interfaz con los datos históricos y actuales del ritmo cardíaco.
Elegir si desea ver el historial o el estado actual.	

	Mostrar los detalles seleccionados, incluyendo gráficas.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 2: Si no se pueden recuperar los datos, El sistema muestra un mensaje de error y ofrece acciones de resolución o contacto de soporte.	
Línea 4: Si no hay datos históricos disponibles, Si no hay datos históricos disponibles.	

Tabla 12: Caso de uso 9: Alertar ritmo cardiaco

Caso de uso	Alertar ritmo cardiaco
Actores	Dispositivo
Propósito	Enviar una notificación de que se detectó una frecuencia cardiaca fuera del rango normal.
Precondición	Los sensores deben o estar activados y conectados.
Postcondición	Se debe verificar que la notificación fue recibida de manera correcta.
Descripción	El sistema debe enviar una alerta cuando el sensor envíe valores fuera del rango normal.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Envía al sistema el ritmo cardíaco del usuario en tiempo real.	
	Detecta una alteración en el ritmo cardíaco.
	genera una notificación para informar sobre la alteración detectada.
	Envía la notificación al cuidador del usuario correspondiente.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 4: El sistema no encontró un dispositivo activo del usuario cuidador.	

Tabla 13: Caso de uso 10: Visualizar caídas

Caso de uso	Visualizar caídas
Actores	Cuidador, paciente.
Propósito	Ver el historial de los movimientos del paciente.
Precondición	El usuario debe tener un dispositivo de monitorización de movimiento vinculado al sistema.

Postcondición	El usuario ha visualizado la información sobre su movimiento.
Descripción	El usuario accede al sistema para consultar los datos de movimiento registrados por su dispositivo de monitorización.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Seleccionar la opción de visualizar caídas.	
	Muestra en tiempo real el movimiento de paciente.
	Proporciona opciones para ver el historial de posibles caídas detectadas.
Elige un registro del historial.	
	Muestra detalles del registro seleccionado.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 2: No logra conectarse con el dispositivo de monitoreo.	

Tabla 14: Caso de uso 11: Visualizar temperatura

Caso de uso	Visualizar temperatura
Actores	Cuidador, paciente.
Propósito	Ver el historial y el estado actual de la temperatura.
Precondición	El usuario debe tener un dispositivo de monitorización de temperatura vinculado al sistema.
Postcondición	El usuario ha visualizado la información sobre su temperatura.
Descripción	El usuario accede al sistema para consultar los datos de la temperatura registrados por su dispositivo de monitorización.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Seleccionar la opción de visualizar temperatura.	
	Muestra en tiempo real la lectura de la temperatura corporal del paciente.
	Proporciona opciones para ver el historial de temperaturas en un período específico.
El usuario selecciona una opción del historial.	

	Muestra detalles del registro seleccionado.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 2: No logra conectar con el dispositivo de monitoreo.	

Tabla 15: Caso de uso 12: Alertar temperatura

Caso de uso	Alertar temperatura
Actores	Dispositivo
Propósito	Enviar una notificación de que se detectó una temperatura fuera del rango normal.
Precondición	Los sensores deben o estar activados y conectados.
Postcondición	Se debe verificar que la notificación fue recibida de manera correcta.
Descripción	El sistema debe enviar una alerta cuando el sensor envíe valores fuera del rango normal.
Flujo normal de eventos	
Acción del Actor	Repuesta del sistema
Envía al sistema la temperatura del usuario en tiempo real.	
	Detecta una alteración en la temperatura.
	genera una notificación para informar sobre la alteración detectada.
	Envía la notificación al cuidador del usuario correspondiente.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 4: El sistema no encontró un dispositivo activo del usuario cuidador.	

Tabla 16: Caso de uso 13: Alertar caída

Caso de uso	Alertar caída
Actores	Dispositivo
Propósito	Enviar una notificación de que se detectó una frecuencia cardiaca fuera del rango normal.
Precondición	Los sensores deben o estar activados y conectados.
Postcondición	Se debe verificar que la notificación fue recibida de manera correcta.
Descripción	El sistema debe enviar una alerta cuando el sensor envíe valores fuera del rango normal.
Flujo normal de eventos	

Acción del Actor	Repuesta del sistema
Envía al sistema las coordenadas del usuario en tiempo real.	
	Detecta un cambio repentino que puede representar una posible caída.
	genera una notificación para informar sobre la alteración detectada.
	Envía la notificación al cuidador del usuario correspondiente.
Flujo alternativo de eventos	
Línea 4: El sistema no encontró un dispositivo activo del usuario cuidador.	

5.4. Generación y adaptación de modelos, pruebas y software

En esta etapa, se utilizó la herramienta TDDT4IoT para el desarrollo del sistema HealthTracker. Esta herramienta emplea el patrón modelo-vista-controlador y, a partir de los casos de uso definidos para HealthTracker, genera el diagrama de clases. Este diagrama sirve de base para desarrollar el código fuente de la aplicación web, sus interfaces de usuario preliminares, y el modelo para la aplicación móvil

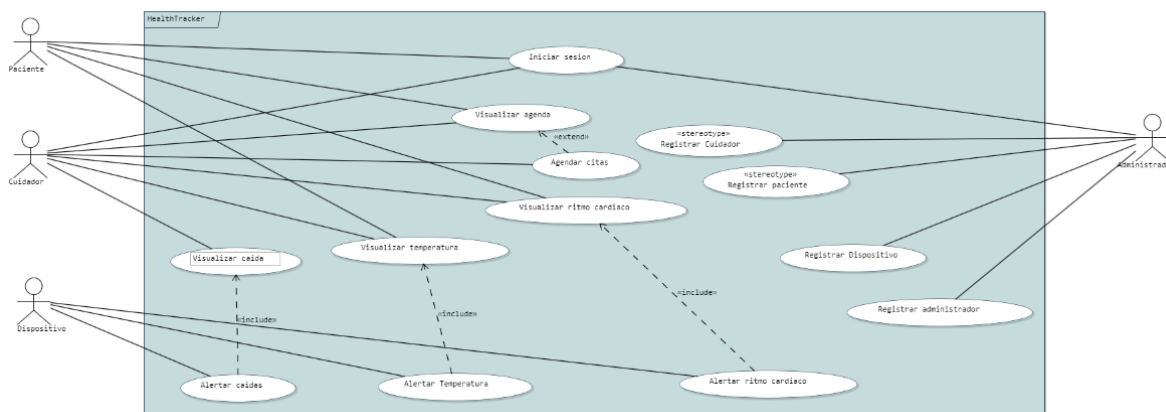


Fig 3. Diseño de casos de usos en TDDT4IoT

Se tomaron en cuenta los casos de uso específicos de HealthTracker, como el monitoreo del ritmo cardíaco, la actividad física, y la temperatura corporal. La herramienta TDDT4IoT ofrece un cuadro de diálogo donde se ingresan las partes del caso de uso junto con la simbología necesaria para la generación del proyecto. El resultado fue un diagrama integral que incluye todos los casos de uso de HealthTracker.

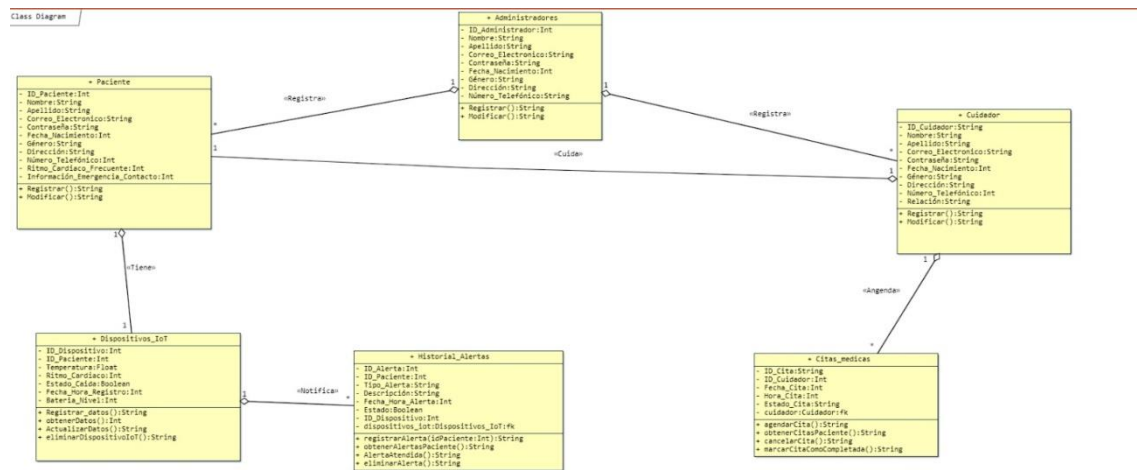


Fig 4. Diseño de diagrama de clase en TDDT4IoT

Gracias a la especificación detallada de los casos de uso, el diagrama de clases generado se alineó perfectamente con las necesidades del sistema, evitando la necesidad de adaptaciones posteriores. El diagrama de clases se basó en las entidades mencionadas en los casos de uso.

En cuanto al diseño del dispositivo IoT de HealthTracker, se seleccionaron los componentes necesarios en el menú de TDDT4IoT. Estos componentes incluyen el módulo ESP32 CP2012, el sensor de temperatura MLX90614ESF, el acelerómetro MPU-6050, y el sensor de frecuencia cardíaca MAX30102. Para la compilación y ejecución del código generado, se empleó el entorno de desarrollo Arduino IDE.

Diseño de las interfaces

Se diseñaron interfaces para la aplicación móvil de HealthTracker, centradas en la visualización y el manejo de los datos de salud recopilados por el dispositivo la aplicación móvil de HealthTracker no solo controla el sistema, sino que también presenta información vital de salud de forma directa y accesible para el usuario. Esto incluye pantallas para el inicio de sesión, el perfil del usuario, la agenda de salud, el ritmo cardíaco y la temperatura corporal, todas sin gráficos complicados para mantener la interfaz amigable y fácil de usar.

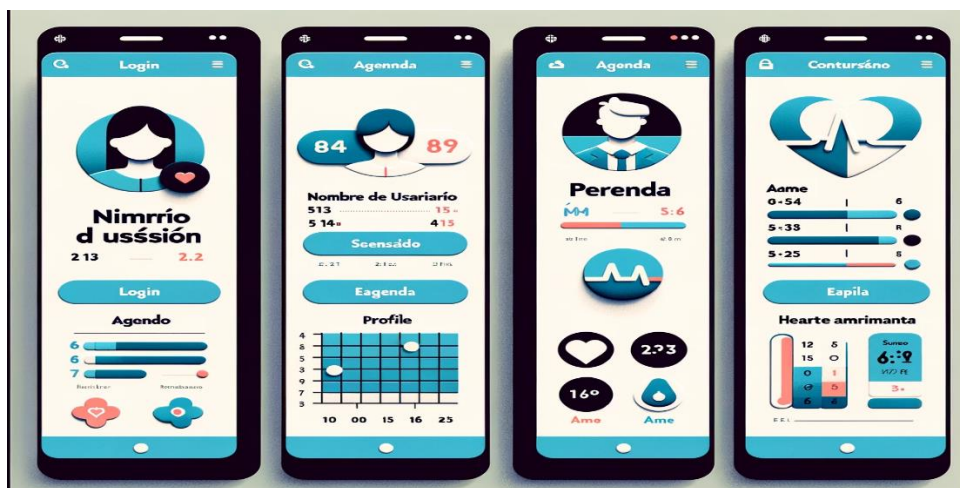


Fig 5. Presentación de los prototipos de la interfaz gráfica de la aplicación Móvil

5.5. Implementación de hardware y software

La implementación del dispositivo HealthTracker se realizó diseñando un collar inteligente que integra varios sensores y componentes electrónicos para monitorear constantemente los signos vitales de las personas mayores. Este dispositivo incluye un módulo ESP32 para conectividad WiFi y Bluetooth, un sensor de temperatura MLX90614ESF para medir la temperatura corporal sin contacto, un acelerómetro MPU-6050 para detectar caídas y un sensor de frecuencia cardíaca MAX30102 para medir la saturación de oxígeno y la frecuencia cardíaca.

Para el desarrollo de software, se creó una aplicación móvil y una plataforma web. La aplicación web permite visualizar en detalle los datos recopilados por los sensores en tiempo real, ofreciendo gráficos interactivos para un seguimiento exhaustivo de los signos vitales (Ver Fig. 6, Interfaces de monitoreo y control de los componentes en tiempo real). Esta herramienta web también genera alertas visuales directamente en los gráficos ante cualquier anomalía detectada en los parámetros de salud. Por otro lado, la aplicación móvil proporciona acceso a datos en tiempo real y permite el control remoto del collar, incluyendo la gestión de alertas y el monitoreo de la salud.

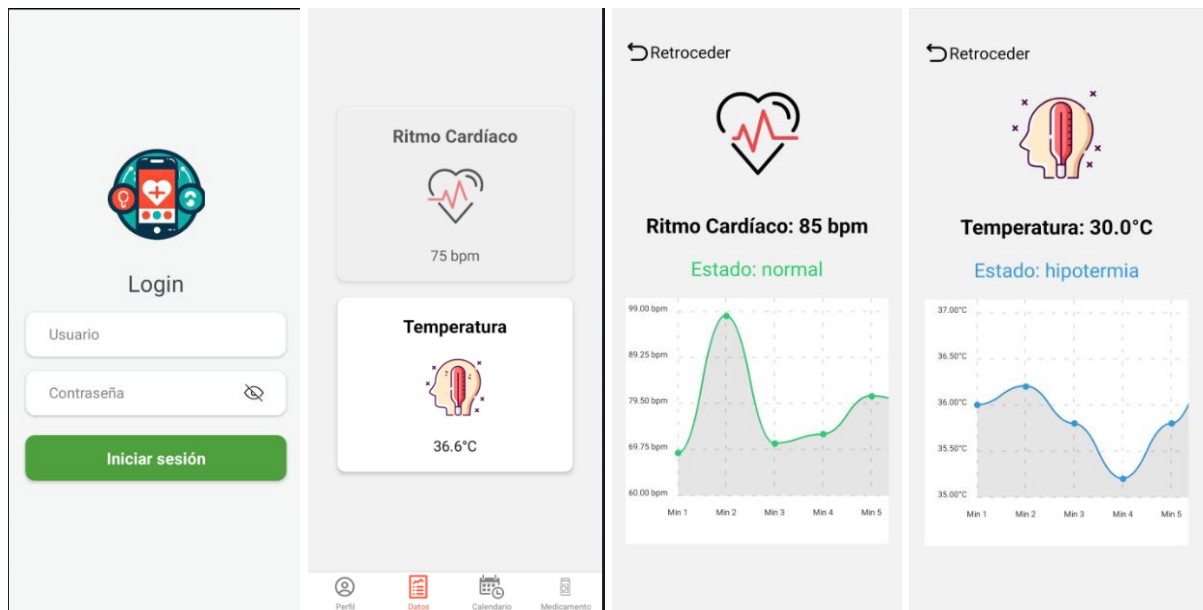


Fig 6. Interfaces de Monitoreo y Control de los Componentes en Tiempo Real

La integración de los componentes electrónicos y la realización de pruebas confirmaron que el sistema HealthTracker cumple con los requisitos establecidos para el monitoreo de salud en personas mayores. Las pruebas demostraron la capacidad del dispositivo para capturar y transmitir con precisión datos vitales hacia las plataformas móvil y web.

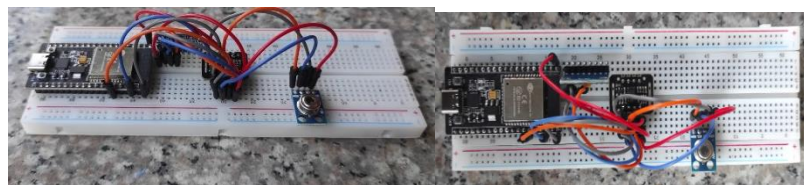


Fig 7. Dispositivo electrónico HealthTracker

Una captura de pantalla de la aplicación móvil muestra cómo los usuarios pueden interactuar con el sistema para visualizar datos en tiempo real y recibir alertas. De manera similar, la aplicación web (Ver Fig. 11) ofrece una visión más detallada y permite el análisis de datos históricos, facilitando la comprensión de las tendencias en los signos vitales del usuario.

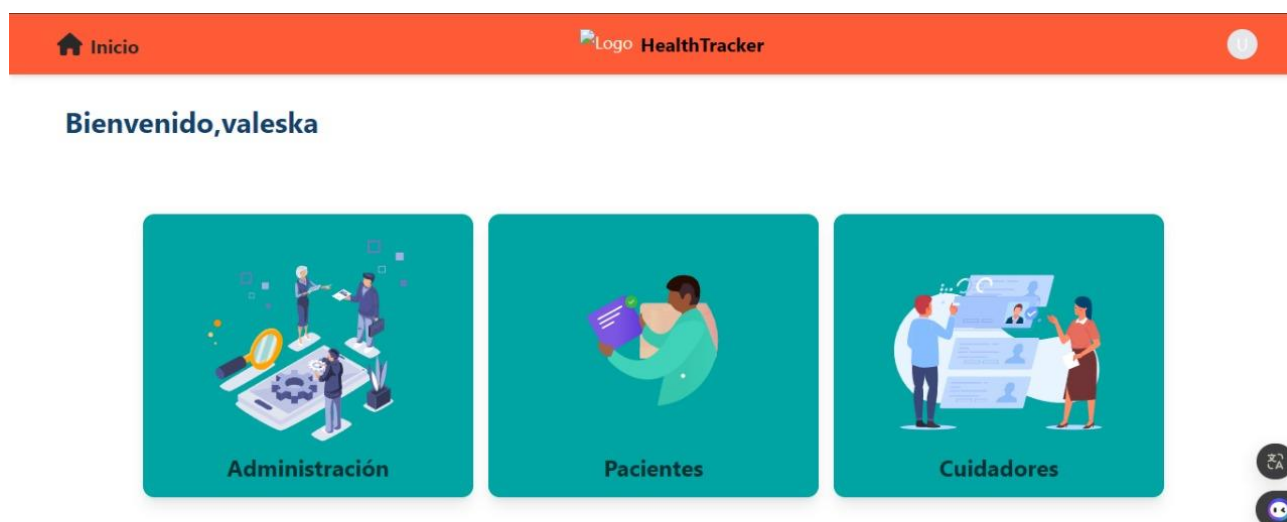


Fig 8. Captura de pantalla de la aplicación web HealthTracker

Las pruebas finales del dispositivo incluyeron la simulación de condiciones variadas para evaluar la respuesta del sistema ante cambios en los signos vitales. Por ejemplo, se calentó el sensor de temperatura para simular un aumento en la temperatura corporal, y el sistema mostró correctamente estos cambios en las plataformas móvil y web. Además, se realizaron pruebas de detección de caídas, así como la medición de la frecuencia cardíaca, todas con resultados satisfactorios, demostrando la eficacia del HealthTracker para mejorar el cuidado y monitoreo de la salud en personas mayores.

Enlace al repositorio: [Repositorio HealthTracker](#)

5.6. Evaluación de entregables

En esta fase, nos enfocamos en valorar tanto la usabilidad como la funcionalidad del sistema HealthTracker mediante pruebas con usuarios. No obstante, hasta la fecha, aún restan por realizarse algunas pruebas cruciales para completar una evaluación exhaustiva del sistema.

5.7. Mantenimiento

Aunque HealthTracker inició como un proyecto de escala reducida y hasta ahora no ha implementado una etapa formal de mantenimiento, se han establecido planes para llevar a cabo actividades de mantenimiento de manera secuencial. El primer enfoque será en el mantenimiento del software, iniciando con la revisión y optimización del código de la aplicación web para asegurar su eficacia y seguridad. Posteriormente, se procederá con

el mantenimiento de la aplicación móvil, actualizando y corrigiendo errores para mantener su compatibilidad con las últimas versiones de los sistemas operativos y mejorar la experiencia del usuario.

Finalmente, se abordará el mantenimiento del hardware, que comprende la revisión y calibración de los sensores utilizados en el collar, así como el aseguramiento del correcto funcionamiento de los componentes electrónicos, incluyendo el módulo ESP32. Este proceso de mantenimiento garantizará la fiabilidad y precisión de los datos recogidos por el sistema HealthTracker, permitiendo así una monitorización continua y efectiva de la salud de los usuarios. Este enfoque proactivo hacia el mantenimiento asegurará que el sistema no solo permanezca operativo, sino que también se adapte a las necesidades cambiantes de los usuarios y a los avances tecnológicos.

6. Resultados y discusión

HealthTracker se distingue por sus características técnicas innovadoras en comparación con otros proyectos enfocados en el cuidado de la salud de las personas mayores. Este sistema aprovecha eficazmente una variedad de sensores para monitorear el ritmo cardíaco y la temperatura corporal, además de incorporar un mecanismo avanzado para la detección de caídas. Adicionalmente, facilita la gestión de citas médicas y el envío de recordatorios automáticos a través de su aplicación móvil y plataforma web, lo cual optimiza la gestión de la salud en los adultos mayores.

Durante las pruebas realizadas, HealthTracker demostró ser capaz de enviar alertas inmediatas ante situaciones de emergencia, tales como caídas o irregularidades en el ritmo cardíaco y la temperatura, lo que permite a los usuarios y sus cuidadores tomar medidas informadas y oportunas. Estas alertas se transmiten de manera efectiva a través de notificaciones en el dispositivo móvil del usuario, garantizando que se mantengan actualizados en tiempo real mientras hacen uso de la aplicación.

La discusión sobre los resultados obtenidos con HealthTracker indica un impacto positivo notable en la calidad de vida de los adultos mayores, ofreciendo una herramienta tecnológica que promueve su independencia y bienestar. No obstante, se reconoce la importancia de llevar a cabo pruebas adicionales con un grupo más amplio de usuarios para validar la generalidad de la experiencia y satisfacción del usuario con el sistema.

Asimismo, se considera crucial recopilar más retroalimentación de los usuarios para identificar áreas de mejora y ajustar el sistema de acuerdo con las necesidades identificadas.

7. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo, se introdujo el desarrollo del sistema HealthTracker, una innovación tecnológica diseñada para el monitoreo continuo de la salud de las personas mayores. Este sistema representa un avance significativo en la utilización del Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la calidad de vida de este grupo poblacional, permitiendo un monitoreo en tiempo real del ritmo cardíaco, la temperatura corporal y la detección de caídas. Destacamos su capacidad para enviar alertas automáticas ante situaciones de riesgo, lo cual es crucial para una intervención rápida en casos de emergencia.

HealthTracker está especialmente dirigido a personas mayores que requieren supervisión constante de su salud, así como a sus cuidadores y familiares que buscan mantener un seguimiento eficaz sin invadir la privacidad o independencia del usuario. Los datos recopilados por el sistema se almacenan y se presentan en tiempo real a través de una aplicación web y móvil, facilitando así el acceso y la interpretación de la información de salud. Aunque el desarrollo de HealthTracker implica una inversión inicial, su potencial para mejorar el bienestar y la seguridad de los adultos mayores justifica el esfuerzo y los recursos destinados.

Para futuras investigaciones y la mejora continua del sistema, se recomienda la integración de tecnologías adicionales y el uso de inteligencia artificial para analizar los datos recopilados y proporcionar recomendaciones personalizadas a los usuarios y sus cuidadores. Esto podría incluir la predicción de posibles complicaciones de salud basadas en patrones en los datos de salud del usuario. Además, se sugiere ampliar el alcance del sistema para incluir el monitoreo de otros parámetros de salud relevantes que puedan contribuir a un análisis más completo del estado de bienestar de las personas mayores.

También es recomendable llevar a cabo estudios adicionales para evaluar la usabilidad y aceptación del sistema entre un grupo más amplio y diverso de usuarios. Esto ayudará

a identificar áreas de mejora y ajustar el sistema para satisfacer mejor las necesidades específicas de su audiencia objetivo.

8. Referencias

- [1] J. Brodsky, S. Resnizki, and D. Citron, "CENTER FOR RESEARCH ON AGING Issues in Family Care of the Elderly: Characteristics of Care, Burden on Family Members and Support Programs." [Online]. Available: www.jdc.org.il/brookdale
- [2] Organització Mundial de la Salut., *Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud*. Organización Mundial de la Salud, 2015.
- [3] "Implicaciones familiares y sanitarias del envejecimiento poblacional en la cobertura universal".
- [4] S. Abdulmalek et al., "IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review," *Healthcare (Switzerland)*, vol. 10, no. 10. MDPI, Oct. 01, 2022. doi: 10.3390/healthcare10101993.
- [5] M. Hosseinzadeh et al., "An elderly health monitoring system based on biological and behavioral indicators in internet of things," *J Ambient Intell Humaniz Comput*, vol. 14, no. 5, pp. 5085-5095, May 2023, doi: 10.1007/s12652-020-02579-7.
- [6] I. Adami et al., "Monitoring health parameters of elders to support independent living and improve their quality of life," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 2, pp. 1-36, Jan. 2021, doi: 10.3390/s21020517.
- [7] M. M. Baig, H. GholamHosseini, M. J. Connolly, and G. Kashfi, "Real-time vital signs monitoring and interpretation system for early detection of multiple physical signs in older adults," in *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, IEEE, Jun. 2014, pp. 355-358. doi: 10.1109/BHI.2014.6864376.
- [8] V. Kilgour, "Book Review: The Essentials of Health Care in the Elderly," *British Journal of Occupational Therapy*, vol. 56, no. 4, pp. 148-148, Apr. 1993, doi: 10.1177/030802269305600421.

- [9] D. Yacchirema, J. S. De Puga, C. Palau, and M. Esteve, "Fall detection system for elderly people using IoT and Big Data," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2018, pp. 603–610. doi: 10.1016/j.procs.2018.04.110.
- [10] J. Li, Q. Ma, A. HS. Chan, and S. S. Man, "Health monitoring through wearable technologies for older adults: Smart wearables acceptance model," *Appl Ergon*, vol. 75, pp. 162–169, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.apergo.2018.10.006.
- [11] P. Singh, "INTERNET OF THINGS BASED HEALTH MONITORING SYSTEM: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 9, no. 1, doi: 10.26483/ijarcs.v9i1.5308.
- [12] S. Y. Y. Tun, S. Madanian, and F. Mirza, "Internet of things (IoT) applications for elderly care: a reflective review," *Aging Clinical and Experimental Research*, vol. 33, no. 4. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 855–867, Apr. 01, 2021. doi: 10.1007/s40520-020-01545-9.
- [13] N. Narasinghe, R. Kathriarachchi, and M. W. P. Maduranga, "IoT based Health Monitoring and Activity Detection for Elderly Care."
- [14] S. Abdulmalek *et al.*, "IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review," *Healthcare (Switzerland)*, vol. 10, no. 10. MDPI, Oct. 01, 2022. doi: 10.3390/healthcare10101993.
- [15] D. Kumar, S. K. Sood, and K. S. Rawat, "Empowering elderly care with intelligent IoT-Driven smart toilets for home-based infectious health monitoring," *Artif Intell Med*, vol. 144, p. 102666, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.artmed.2023.102666.
- [16] G. Guerrero-Ulloa, M. J. Hornos, and C. Rodríguez-Domínguez, "TDDM4IoT: A Test-Driven Development Methodology for Internet of Things (IoT)-Based Systems," 2020, pp. 41–55. doi: 10.1007/978-3-030-42517-3_4.
- [17] S. J. Quraishi and H. Yusuf, "Internet of Things in Healthcare, A Literature Review," in *Proceedings of International Conference on Technological Advancements and Innovations, ICTAI 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 198–202. doi: 10.1109/ICTAI53825.2021.9673369.

- [18] "HEALTH MONITORING SYSTEM FOR ELDERLY PEOPLE," 2021, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/354089539>
- [19] C. H. Liu and J. F. Tu, "Development of an iot-based health promotion system for seniors," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 21, pp. 1-12, Nov. 2020, doi: 10.3390/su12218946.
- [20] A. Cahyana, M. Y. Hariyawan, W. Indani, and S. Ramadona, "Jurnal Politeknik Caltex Riau Sistem Cerdas Pemantau Kesehatan Pasien Lanjut Usia Berbasis IoT (Hardware)." [Online]. Available: <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer>
- [21] K. Saraubon, K. Anurugsa, and A. Kongsakpaibul, "A smart system for elderly care using IoT and mobile technologies," in *ACM International Conference Proceeding Series*, Association for Computing Machinery, Dec. 2018, pp. 59-63. doi: 10.1145/3301761.3301769.
- [22] "MÓDULO ESP32 ESP-32 WIFI BLUETOOTH DEVKIT V1 (30 PINES) - Grupo Electrostore".
- [23] "Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614".
- [24] "Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio".
- [25] "MAX30102 - Sensor de concentración de Oxígeno y Ritmo cardíaco - Electronilab".
- [26] "VisualStudioCode-TipsAndTricks-Vol.1".
- [27] "firebase".
- [28] E. Verberne, "Arduino documentation Erik Verberne erik@verberne.net Version: 1.12.1." [Online]. Available: http://bit.ly/eve_arduino