

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**



**TEMA:**

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y FRECUENCIA CARDIACA, PARA LA SUPERVISIÓN DENTRO DE UN PERÍMETRO VIRTUAL DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD POR MEDIO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

**AUTOR:**

Christian Andrés Villegas Morejón

**DIRECTOR:**

Msc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez

Ibarra, 2023



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003464375		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Villegas Morejón Christian Andrés		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Cdla. del Chofer II Etapa Puerto Rico y Brasil		
<b>EMAIL:</b>	cavillegasm@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062602200	<b>TELÉFONO MOVIL:</b>	0961355777

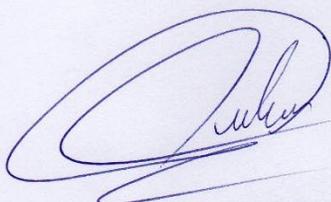
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y FRECUENCIA CARDIACA, PARA LA SUPERVISIÓN DENTRO DE UN PERÍMETRO VIRTUAL DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD POR MEDIO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL.
<b>AUTOR (ES):</b>	Villegas Morejón Christian Andrés
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	02/08/2023
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Ing. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez, MSC.

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 2 días del mes de agosto de 2023

**EL AUTOR:**



Christian Andrés Villegas Morejón



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN:**

MAGÍSTER FABIÁN CUZME, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que el presente trabajo de Titulación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y FRECUENCIA CARDIACA, PARA LA SUPERVISIÓN DENTRO DE UN PERÍMETRO VIRTUAL DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD POR MEDIO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL, ha sido desarrollado por el señor Villegas Morejón Christian Andrés bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

MSc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez  
**Director**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado con gratitud a mi familia y amigos, quienes desempeñaron un papel fundamental en cada etapa del desarrollo de este proyecto. Su apoyo incondicional, aliento y participación fueron esenciales para alcanzar el éxito. La confianza que depositaron en mí y su constante estímulo me impulsaron a superar desafíos y perseguir la excelencia. Su presencia y apoyo inquebrantable fueron una fuente inagotable de inspiración, recordándome la importancia de este trabajo y su potencial impacto. Agradezco profundamente su amor, comprensión y motivación, que han dejado una huella significativa en mi crecimiento personal y académico.*



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**AGRADECIMIENTO**

*Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, cuyo apoyo incondicional y amor han sido un pilar fundamental en mi vida desde mi nacimiento hasta este momento. Su constante aliento y cariño han sido un motor de motivación para alcanzar mis metas y perseguir la excelencia en cada paso de este camino.*

*A mis queridos amigos, con quienes he compartido verdaderos lazos de amistad a lo largo de nuestros estudios. Juntos hemos enfrentado desafíos y celebrado triunfos, apoyándonos mutuamente en el camino hacia la excelencia académica y profesional. Su compañía y camaradería han enriquecido mi vida y mi crecimiento personal.*

*También, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis estimados tutores, el Ingeniero Fabián Cuzme y el Ingeniero Luis Suárez. Su orientación experta, dedicación y apoyo constante han sido esenciales para el éxito de este proyecto. Su tiempo y atención dedicados a mi formación profesional han sido invaluable.*

*A cada uno de ustedes, mi gratitud sincera por formar parte de mi trayectoria académica y por haber dejado una huella significativa en mi desarrollo personal y profesional. Su influencia positiva ha sido un regalo invaluable en este camino hacia el conocimiento y la excelencia.*



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**RESUMEN**

En este trabajo, se ha llevado a cabo la implementación de un sistema de geolocalización y monitoreo de frecuencia cardíaca para personas de la tercera edad mediante una aplicación móvil. El objetivo principal ha sido desarrollar un dispositivo que permita la supervisión y protección de este grupo vulnerable, brindando información relevante sobre su ubicación y estado de salud.

Para lograr este objetivo, se ha utilizado la metodología PMBOK, la cual ha proporcionado una estructura sólida para definir los requerimientos técnicos, planificar el diseño del prototipo y llevar a cabo las pruebas necesarias. Se ha realizado la recolección de datos sobre personas desaparecidas en el Ecuador y la ciudad de Ibarra, así como el número actual de personas de la tercera edad en la región. Esta información ha sido fundamental para comprender la problemática y diseñar un sistema adecuado a las necesidades de este grupo.

El diseño del circuito ha incorporado un microcontrolador, un sensor de frecuencia cardíaca, un módulo GPS y la tecnología LTE para una localización precisa y una comunicación efectiva. Además, se ha implementado un sistema de geolocalización basado en mapas de Google y el uso de geocercas. Las pruebas de funcionamiento realizadas con adultos mayores han demostrado la eficacia y aceptación del dispositivo, validando su correcto funcionamiento y utilidad en el monitoreo de la salud y ubicación de las personas de la tercera edad.

Finalmente, en este trabajo se ha logrado implementar un sistema de geolocalización y monitoreo de frecuencia cardíaca para personas de la tercera edad, utilizando una metodología sólida y cumpliendo con los objetivos establecidos. El sistema ha demostrado su eficacia y utilidad en la supervisión de este grupo vulnerable, proporcionando información relevante para su cuidado y protección. Estos resultados respaldan la viabilidad y efectividad del sistema, y sientan las bases para futuras mejoras y aplicaciones en el campo de la asistencia a personas de la tercera edad.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**ABSTRACT**

In this work, the implementation of a geolocation and heart rate monitoring system for the elderly through a mobile application has been conducted. The main objective has been to develop a device that allows the supervision and protection of this vulnerable group, providing relevant information about their location and health status.

To achieve this objective, the PMBOK methodology has been used, which has provided a solid structure to define the technical requirements, plan the design of the prototype, and carry out the necessary tests. An exhaustive data collection has been conducted on missing persons in Ecuador and the city of Ibarra, as well as the current number of elderly people in the region. This information has been crucial to understand the problem and design a system that meets the needs of this group.

The circuit design has incorporated a microcontroller, a heart rate sensor, a GPS module, and LTE technology for accurate location and effective communication. Additionally, a geolocation system based on Google maps and the use of geofences has been implemented. The functional tests carried out with older adults have demonstrated the effectiveness and acceptance of the device, validating its proper functioning and usefulness in monitoring the health and location of elderly individuals.

In conclusion, this work has successfully implemented a geolocation and heart rate monitoring system for the elderly, using a solid methodology and achieving the established objectives. The system has proven its effectiveness and usefulness in the supervision of this vulnerable group,

providing relevant information for their care and protection. These results support the viability and effectiveness of the system, laying the foundation for future improvements and applications in the field of assistance for the elderly.

## INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. Antecedentes.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Problema.....	1
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Alcance.....	3
1.5. Justificación.....	4
CAPÍTULO II. Fundamento Teórico.....	6
2.1. Personas desaparecidas en Ecuador y en Ibarra.....	6
2.2. Personas de la tercera edad.....	7
2.3. Problemas cardiacos frecuentes en adultos mayores.....	8
2.3.1. Niveles normales de frecuencia cardiaca.....	8
2.4. Brecha digital .....	9
2.5. TICs como instrumentos para la búsqueda de personas desaparecidas .....	10
2.6. Plataformas para búsqueda y rastreo.....	11
2.6.1. GPS .....	11
2.6.2. Aplicaciones móviles para la localización de personas desaparecidas.....	13

2.6.2.1. Aplicación móvil para la búsqueda de personas desaparecidas y guía de ayuda.....	13
2.6.2.2. Proyecto Emilia.....	14
2.6.2.3 App Finder .....	15
2.7. Sistemas operativos móviles .....	16
2.7.1. Sistema Android.....	17
2.7.2. Sistema iOS.....	19
2.7.3. Lenguajes de programación para plataformas móviles.....	20
2.8. Plataforma en la nube.....	22
2.8.1. Software en la nube como servicio (SaaS) .....	22
2.8.2. Plataforma en la nube como servicio (PaaS) .....	22
2.8.3. Infraestructura en la nube como servicio (IaaS) .....	23
2.9. Tarjeta SIM .....	23
2.10. Comunicación móvil celular (LTE) .....	24
2.10.1. Arquitectura LTE.....	25
2.10.2. Cobertura de operadoras .....	25
2.10.2.1 CONECEL (Claro).....	26
2.10.2.2 OTECEL (Movistar).....	27
2.10.2.3 CNT.....	28
2.11. Metodología .....	28

2.11.1. PMBOK .....	29
CAPÍTULO III. Diseño del Sistema.....	32
3.1. Análisis de la Situación Actual .....	32
3.2. Requerimientos del sistema.....	33
3.2.1. Stakeholders.....	33
3.2.2. Requerimientos de Stakeholders.....	34
3.2.3. Requerimientos del sistema .....	35
3.2.4. Requerimientos de arquitectura .....	36
3.3. Selección de Hardware y Software .....	37
3.3.1. Requerimientos de hardware.....	37
3.3.1.1. Placa de procesamiento.....	38
3.3.1.2. Tarjeta SIM .....	39
3.3.1.3. Sensor de frecuencia cardiaca.....	41
3.3.1.4. Batería.....	43
3.3.2. Requerimientos de software.....	45
3.3.2.1. Software para la programación de la placa de procesamiento.....	45
3.3.2.2. Base de datos.....	46
3.3.2.3. Entorno de desarrollo de aplicación móvil .....	47
3.3.2.4. Flutter.....	49
3.3.2.5. Dart .....	49

3.3.2.6. Mapa para la aplicación móvil.....	50
3.4. Diseño general del sistema.....	51
3.5. Diagrama de flujo del sistema.....	52
3.6. Desarrollo y codificación de los bloques del sistema .....	53
3.6.1. Bloque de control y comunicación .....	54
3.6.1.1. Desarrollo del código del bloque de control y comunicación.....	56
3.6.1.2. Diseño de la carcasa para el dispositivo de geolocalización y frecuencia cardíaca .....	69
3.6.2. Bloque de gestión de datos .....	71
3.6.2.1. Firebase Realtime Database.....	75
3.6.2.2. Firebase Cloud Firestore:.....	76
3.6.3. Bloque de recepción y aplicación móvil.....	76
3.6.3.1. Instalación de complementos para Android Studio .....	77
3.6.3.2. Diseño de la aplicación .....	78
CAPÍTULO IV. Pruebas del Sistema .....	89
4.1. Cronograma de pruebas del funcionamiento del sistema.....	89
4.1.1. Pruebas preliminares.....	90
4.1.2. Pruebas funcionamiento bloque de control y comunicación .....	92
4.1.3. Pruebas funcionamiento bloque de gestión de datos .....	94
4.1.4. Pruebas de funcionamiento bloque de recepción y aplicación móvil.....	97

4.2. Pruebas de campo del funcionamiento del sistema.....	105
4.2.1. Funcionamiento del sistema con usuario 1 .....	106
4.2.2. Funcionamiento del sistema con usuario 2 .....	108
4.2.3. Funcionamiento del sistema con usuario 3 .....	111
4.3. Resultados .....	116
Conclusiones y recomendaciones .....	119
Conclusiones .....	119
Recomendaciones.....	120
Referencias.....	122

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Denuncias de personas reportadas como desaparecidas por provincia .....	7
<b>Figura 2</b> <i>Componentes del Sistema de Posicionamiento Global</i> .....	12
<b>Figura 3</b> Diagrama en bloques del sistema GPS y SIGFOX .....	13
<b>Figura 4</b> Sistema de alerta Emilia.....	15
<b>Figura 5</b> <i>Arquitectura de sistema operativo Android</i> .....	18
<b>Figura 6</b> <i>Arquitectura de sistema operativo iOS</i> .....	20
<b>Figura 7</b> <i>Tarjeta SIM</i> .....	23
<b>Figura 8</b> <i>Arquitectura de los sistemas LTE</i> .....	25
<b>Figura 9</b> <i>Mapa de Cobertura 4G empresa CLARO en la ciudad de Ibarra</i> .....	26
<b>Figura 10</b> <i>Mapa de Cobertura 4G empresa Movistar en la ciudad de Ibarra</i> .....	27
<b>Figura 11</b> <i>Mapa de Cobertura 4G empresa CNT en la ciudad de Ibarra</i> .....	28
<b>Figura 12</b> <i>Esquema del modelo PMBOK</i> .....	29
<b>Figura 13</b> <i>Esquema general del sistema</i> .....	51
<b>Figura 14</b> <i>Flujograma del sistema</i> .....	53
<b>Figura 15</b> <i>Esquema del prototipo</i> .....	54
<b>Figura 16</b> <i>Mapa de Cobertura 4G empresa CNT en la ciudad de Ibarra</i> .....	56
<b>Figura 17</b> <i>Diagrama de flujo del código de Arduino</i> .....	57
<b>Figura 18</b> <i>Selección de placa y puerto en Arduino IDE</i> .....	58
<b>Figura 19</b> <i>Certificado de conexión segura</i> .....	62
<b>Figura 20</b> <i>Credenciales de la red móvil CNT</i> .....	63
<b>Figura 21</b> <i>Función de conexión LTE con la red móvil de CNT</i> .....	63
<b>Figura 22</b> <b>Obtención de información del módulo LTE</b> .....	65

<b>Figura 23</b> <i>Función para la recolección de la ubicación GPS</i> .....	67
<b>Figura 24</b> <i>Función para la recolección de la frecuencia cardiaca</i> .....	68
<b>Figura 25</b> <i>Función para la conexión con la base de datos de Firebase</i> .....	69
<b>Figura 26</b> <i>Carcasa del dispositivo de geolocalización y frecuencia cardiaca</i> .....	70
<b>Figura 27</b> <i>Armado del hardware del dispositivo</i> .....	71
<b>Figura 28</b> <i>Bloque de gestión de datos</i> .....	72
<b>Figura 29</b> <i>Servicio de Autenticación de Firebase</i> .....	73
<b>Figura 30</b> <i>Reglas de Realtime Database</i> .....	74
<b>Figura 31</b> <i>Regla de Cloud Firestore</i> .....	75
<b>Figura 32</b> <i>Instalación del complemento Flutter y Dart en Android Studio</i> .....	77
<b>Figura 33</b> <i>Device Manager en Android Studio</i> .....	78
<b>Figura 34</b> <i>Archivos para el desarrollo de la aplicación móvil</i> .....	79
<b>Figura 35</b> <i>Estructura de la aplicación móvil</i> .....	80
<b>Figura 36</b> <i>Página de inicio de sesión</i> .....	81
<b>Figura 37</b> <i>Página de menú principal</i> .....	83
<b>Figura 38</b> <i>Página de ingreso de datos del usuario adulto mayor</i> .....	84
<b>Figura 39</b> <i>Página de ingreso de datos de la persona a cargo</i> .....	85
<b>Figura 40</b> <i>Página de mapa de ubicación</i> .....	86
<b>Figura 41</b> <i>Algoritmo Ray Casting</i> .....	87
<b>Figura 42</b> <i>Página de muestra de datos</i> .....	88
<b>Figura 43</b> <i>Inicialización del dispositivo</i> .....	92
<b>Figura 44</b> <i>Conexión a la red LTE</i> .....	93
<b>Figura 45</b> <i>Mensaje de conexión fallida a la red LTE</i> .....	93

<b>Figura 46</b> <i>Valores de ubicación y frecuencia cardiaca tomados en tiempo real</i> .....	94
<b>Figura 47</b> <i>Envío de datos a Firebase</i> .....	94
<b>Figura 48</b> <i>Datos enviados y almacenados</i> .....	95
<b>Figura 49</b> <i>Usuarios creados dentro de la base de datos</i> .....	95
<b>Figura 50</b> <i>Datos del adulto mayor en la base de datos</i> .....	96
<b>Figura 51</b> <i>Datos de la persona a cargo dentro de la base de datos</i> .....	96
<b>Figura 52</b> <i>Autenticación de usuario</i> .....	97
<b>Figura 53</b> <i>Datos del adulto mayor</i> .....	98
<b>Figura 54</b> <i>Datos de la persona a cargo</i> .....	99
<b>Figura 55</b> <i>Mensaje informativo para la correcta delimitación de la geocerca</i> .....	100
<b>Figura 56</b> <i>Adulto mayor dentro de la geocerca</i> .....	101
<b>Figura 57</b> <i>Adulto mayor fuera de la geocerca y alerta generada</i> .....	102
<b>Figura 58</b> <i>Últimas posiciones del adulto mayor registradas</i> .....	103
<b>Figura 59</b> <i>Valores de la posición fuera de la geocerca</i> .....	104
<b>Figura 60</b> <i>Notificación de advertencia por frecuencia cardiaca fuera de los valores establecidos</i> .....	105
<b>Figura 61</b> <i>Colocación del dispositivo al primer usuario</i> .....	106
<b>Figura 62</b> <i>Selección del lugar para realizar la primera prueba de campo</i> .....	107
<b>Figura 63</b> <i>Registros de la primera prueba</i> .....	108
<b>Figura 64</b> <i>Colocación del dispositivo al segundo usuario</i> .....	109
<b>Figura 65</b> <i>Selección del lugar para realizar la segunda prueba de campo</i> .....	110
<b>Figura 66</b> <i>Registros de la segunda prueba</i> .....	111
<b>Figura 67</b> <i>Colocación del dispositivo al tercer usuario</i> .....	112

<b>Figura 68</b> <i>Selección del lugar para realizar la tercera prueba de campo .....</i>	113
<b>Figura 69</b> <i>Registros de la tercera prueba .....</i>	114
<b>Figura 70</b> <i>Salida del adulto mayor de la geocerca .....</i>	114
<b>Figura 71</b> <i>Notificación de la salida del adulto mayor de la zona delimitada.....</i>	115

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Abreviaturas y su Descripción</i> .....	33
<b>Tabla 2</b> <i>Stakeholders y la descripción</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Requerimientos de Stakeholders</i> .....	34
<b>Tabla 4</b> <i>Requerimientos iniciales del sistema</i> .....	35
<b>Tabla 5</b> <i>Requerimiento de Arquitectura</i> .....	36
<b>Tabla 6</b> <i>Cuadro comparativo de placas de procesamiento</i> .....	38
<b>Tabla 7</b> <i>Cuadro comparativo de tarjetas SIM</i> .....	40
<b>Tabla 8</b> <i>Comparación de operadoras costo/cobertura</i> .....	40
<b>Tabla 9</b> <i>Cuadro comparativo de sensor de frecuencia cardiaca</i> .....	41
<b>Tabla 10</b> <i>Tabla de consumo para selección de la batería</i> .....	43
<b>Tabla 11</b> <i>Selección de software para la programación de la placa de procesamiento</i> ...	45
<b>Tabla 12</b> <i>Selección de la base de datos</i> .....	46
<b>Tabla 13</b> <i>Selección del entorno de desarrollo de aplicación móvil</i> .....	47
<b>Tabla 14</b> <i>Selección de los Mapas para la aplicación móvil</i> .....	50
<b>Tabla 15</b> <i>Conexiones de componentes</i> .....	55
<b>Tabla 16</b> <i>Bibliotecas utilizadas en el proyecto</i> .....	59
<b>Tabla 17</b> <i>Declaración de pines y parámetro</i> .....	60
<b>Tabla 18</b> <i>Cronograma de Pruebas</i> .....	89

## **CAPÍTULO I. Antecedentes**

En este capítulo se detallada los requerimientos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de titulación, siendo estos: el tema elegido, la problemática, los objetivos, el alcance, la justificación con la finalidad de concluir este proyecto de una manera exitosa.

### **1.1. Tema**

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y FRECUENCIA CARDIACA, PARA LA SUPERVISIÓN DENTRO DE UN PERÍMETRO VIRTUAL DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD POR MEDIO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL.

### **1.2. Problema**

En los últimos años, el índice de personas desaparecidas se ha incrementado según el subdirector de la Dinased, Cristian Navas (Machado, 2021). Según la misma Dinased, algunas de las razones más comunes para estas desapariciones son la falencia en las capacidades físicas y/o psicológicas, además de la falta de supervisión de adultos mayores. Otra de las causas importante es la brecha tecnológica, ya sea por desconocimiento o dificultad de acceso a los recursos tecnológicos lo que produce un efecto de exclusión digital (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2018). Además, para el caso de las personas de la tercera edad, estas desapariciones ponen en riesgo su integridad puesto que son más vulnerables a situaciones de riesgo como accidentes, asaltos, secuestros y en el peor de los casos hasta la muerte.

Un alto porcentaje de personas de la tercera edad son vulnerables a desapariciones a nivel Nacional, en el año 2019 el Ministerio de gobierno registró 1932 denuncias de desaparición de estas denuncias el 16 % corresponde al grupo de personas de la tercera edad (Ministerio de Gobierno, 2020). Por los motivos mencionados surge la necesidad de crear una aplicación

tecnológica que brinde al usuario seguridad y supervisión constante en tiempo real de la geolocalización dentro de un perímetro fronterizo virtual.

Considerando dichos motivos se propone crear un sistema de monitoreo basado en tecnología GPS que ayude a supervisar la ubicación geográfica dentro de un perímetro virtual establecido previamente como seguro para las personas de la tercera edad, así como también la frecuencia cardíaca de estas personas para salvaguardar su situación o aún mejor para prevenir extravíos, secuestros y muerte. Esta información se podrá visualizar a través una aplicación instalada en el smartphone del usuario.

### **1.3. Objetivos**

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

Implementar un sistema de geolocalización y frecuencia cardíaca, para la supervisión dentro de un perímetro virtual de personas de la tercera edad por medio de una aplicación móvil.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Recolectar información sobre personas desaparecidas en el Ecuador y en la ciudad de Ibarra y el número actual de personas de tercera edad.
- Definir los requerimientos técnicos basado en la metodología PMBOK para el diseño del prototipo en la etapa de ejecución.
- Diseñar el circuito usando el microcontrolador y el sensor de frecuencia cardíaca que permita detectar posibles problemas de salud que afectan a las personas de la tercera edad.
- Diseñar el sistema de geolocalización usando un módulo GPS y mapas de Google para delimitar zonas con el uso de geocercas y transmitir la información a través de un módulo LTE.

- Realizar las pruebas de funcionamiento con adultos mayores para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo.

#### **1.4. Alcance**

En el presente trabajo se va a diseñar un sistema de geolocalización y frecuencia cardiaca para personas de la tercera edad donde este proceso se define por cinco pasos que son:

En el primer paso se realiza la recolección de la información de las personas de la tercera edad desaparecidas, además del grado de acceso a los recursos tecnológicos de este grupo vulnerable.

Luego de la recolección de datos se procede a reunir más información por medio de varias fuentes como páginas oficiales, trabajos de titulación afines a aplicaciones móviles y tecnologías LTE, ejemplos de programación en Arduino IDE, java, Python, etc.

Se procede a planificar y diseñar el prototipo de geolocalización y frecuencia cardiaca de personas de la tercera edad, para lo cual, se realiza una selección de dispositivos como son el microcontrolador, el sensor de frecuencia cardiaca, el módulo LTE y el módulo GPS, donde, estos elementos deben ser compatibles entre sí. Se debe seleccionar una base de datos en la nube para el almacenamiento y procesamiento de los datos recolectados. Además, se tendrá la aplicación para delimitar la geocercas con ayuda de los mapas de Google. Esto a su vez estará monitoreado desde la aplicación móvil por medio de alertas y así poder establecer un calendario de actividades y cumplir los objetivos del proyecto.

El sistema de geolocalización de personas de tercera edad tiene cinco etapas esenciales. La primera etapa, son el sensor de frecuencia cardiaca y el módulo GPS que son los encargados de recopilar los datos de las personas de la tercera edad. La segunda etapa es la que maneja el microcontrolador el cual está programado para recibir y transmitir la información que se genera

por la primera etapa. La tercera etapa es el cómo se va a transmitir la información generada en la primera etapa a través del módulo inalámbrico LTE. Para la cuarta etapa tenemos la nube, que es el encargado de recibir y almacenar los datos para su posterior procesamiento. Como última etapa se tiene el procesamiento de datos a través de una aplicación para definir un perímetro fronterizo virtual con la ayuda de los mapas de Google, esto será visualizado y monitoreado a través de una aplicación móvil.

Ya realizada la etapa de ejecución donde se implementó el software y hardware se procede a la verificación de la funcionalidad del prototipo de localización de personas de la tercera edad. En este paso se debe medir el rendimiento del equipo y compararlo con el plan inicial con la finalidad de cumplir los objetivos planteados.

Como última etapa después de las pruebas del prototipo se podrá especificar las principales limitaciones. De esta manera se podrá realizar las conclusiones siendo necesario revisar con el cumplimiento de los objetivos.

## **1.5. Justificación**

El motivo por el cual se ha escogido este tema es la vulnerabilidad de las personas adultas mayores ya que dicho grupo social debe recibir atención prioritaria y especializada que garantice su salud y cuidado diario. El Consejo Nacional para la igualdad intergeneracional define a las personas de la tercera edad como los ciudadanos que tienen de 65 años en adelante (Consejo-Nacional-para-la-Igualdad-Intergeneracional, 2020). La tercera edad son las últimas décadas de la vida en donde las personas empiezan a perder de manera progresiva o agresiva todas las capacidades tanto físicas y/o psicológicas.

En nuestro país, según datos oficiales del INEC, hay 1.212.461 adultos mayores, esto corresponde al 8.96% de la población a nivel Nacional. Además, en la ciudad de Ibarra hay 14.123 adultos mayores que corresponden al 7.79% de la población (INEC, 2010).

Además, se consideró el alto porcentaje de personas de la tercera edad que son vulnerables a desapariciones a nivel Nacional, según el Ministerio de gobierno en el año 2019 se registró 1932 denuncias de desaparición de estas denuncias el 16 % corresponde al grupo de personas de la tercera edad (Ministerio de Gobierno, 2020).

Por tal motivo es indispensable tener un sistema de vigilancia para los adultos mayores usando el sistema de posicionamiento global (GPS), esto generará seguridad y una constante supervisión en tiempo real dentro de un perímetro fronterizo virtual que simulará una cerca real.

La tecnología GPS tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005), es decir nos permite obtener la ubicación con una gran precisión de las personas de la tercera edad y así supervisar que no se alejen del perímetro virtual que se crea por medio de una geocerca.

Para la comunicación inalámbrica usaremos el servicio LTE que es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de altas velocidades para redes de telecomunicaciones móviles (Moreno, 2017), este servicio nos proporciona una transmisión constante de datos en tiempo real y en la gran mayoría del país.

De esta manera es importante el uso de las tecnologías GPS, geocercas y el servicio de comunicación inalámbrica LTE para la prevención de desapariciones de las personas adultos mayores.

## **CAPÍTULO II. Fundamento Teórico**

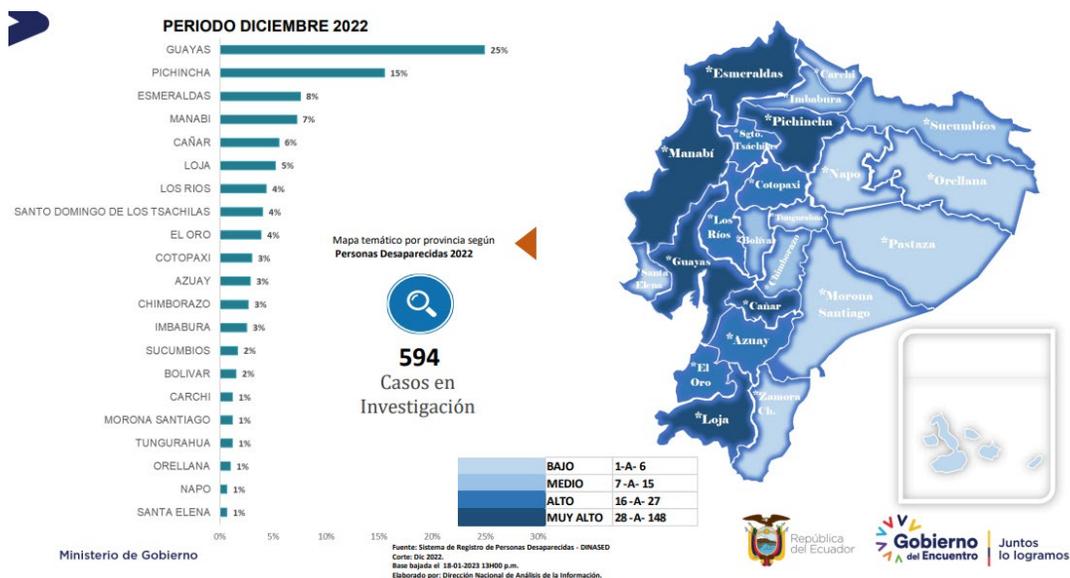
El propósito de esta sección es proporcionar los datos relacionados a las personas desaparecidas ya sean por la falencia en sus capacidades físicas y/o psicológicas o por la falta de supervisión de adultos mayores, así como también conceptos teóricos necesarios para comprender y llevar a cabo el sistema de geolocalización y frecuencia cardíaca.

### **2.1. Personas desaparecidas en Ecuador y en Ibarra**

En nuestro país la entidad que controla el número de personas desaparecidas es la Fiscalía General del Estado y el Ministerio de Gobierno que cuentan con un sistema de personas desaparecidas en donde se informa que ya no es necesario que un familiar esté desaparecido más de 24 horas, ahora se puede reportar a una persona desaparecida de forma inmediata en la Fiscalía (Fiscalía General del Estado , 2023).

Las estadísticas más recientes de personas desaparecidas en nuestro país son llevadas por el Sistema de Registro de Personas Desaparecidas (DINASED) y la Asociación de Familiares y Amigos de Personas Desaparecidas en Ecuador (ASFADEC) que es una organización sin fines de lucro que nace en 2012 de la necesidad de unir los esfuerzos de los familiares, allegados y amigos para encontrar a los desaparecidos. En el informe de la ASFADEC del año 2021 basado en datos oficiales del Ministerio de Gobierno nos muestra el número de denuncias receptadas como personas desaparecidas es de 7662 casos con un porcentaje de 95% de casos localizados y un 5% de casos en investigación que corresponden a 360 casos. Para el informe del año del 2022 se tiene un número de desaparecidos de 7493 casos con un porcentaje de 92% de casos localizados y un 8% de casos en investigación, además, como se puede ver en la Figura 1 los casos en investigación están distribuidos por provincias.

**Figura 1**  
*Denuncias de personas reportadas como desaparecidas por provincia*



Fuente: (Ministerio de Gobierno, 2023)

Como se puede observar en la Figura 1 las provincias con mayor número de personas desaparecidas son Guayas con el 25%, Pichincha con el 15% y Esmeraldas con el 8% de personas desaparecidas. A estas provincias le sigue Manabí, Cañar, Loja y para nuestro caso de interés en la provincia de Imbabura tenemos un 3%.

La mayor incidencia de personas desaparecidas está en las personas adultas con el 51%, luego en las niñas, niños y adolescentes con el 43%; y la desaparición de personas adultas mayores llegan al 6% (Ministerio de Gobierno, 2020).

## 2.2. Personas de la tercera edad

En nuestro país, según datos oficiales del INEC, hay 1.212.461 adultos mayores, esto corresponde al 8.96% de la población a nivel Nacional. Para la provincia de Imbabura el número de adultos mayores es de 31.927 personas de la tercera edad que representa el 8 % de la población total de la provincia. Además, en la ciudad de Ibarra hay 14.123 adultos mayores que

corresponden al 7.79% de la población, estos son datos tomados del último censo nacional realizado en el año 2010 (INEC, 2010).

### **2.3. Problemas cardíacos frecuentes en adultos mayores**

Las probabilidades de sufrir un ataque cardíaco, un derrame cerebral o una enfermedad cardíaca coronaria (también conocida como enfermedad cardíaca) e insuficiencia cardíaca son mucho mayores en personas mayores de 65 años que en personas más jóvenes. Las enfermedades cardíacas también son una causa importante de discapacidad, afectando la actividad física y disminuyendo la calidad de vida de una gran cantidad de personas mayores.

Además, a medida que una persona envejece, es importante revisar su presión arterial con regularidad, incluso si está sana. Esto se debe a que los cambios en las arterias por el envejecimiento pueden causar hipertensión. Es posible que la persona se sienta bien, pero, si no se trata, la presión arterial alta podría causar un derrame cerebral y problemas en el corazón, los ojos, el cerebro y los riñones (Government of USA, 2013).

#### ***2.3.1. Niveles normales de frecuencia cardíaca***

La frecuencia cardíaca normal de un adulto mayor puede variar dependiendo de factores individuales como la salud general, la edad y la actividad física. Sin embargo, en general, una frecuencia cardíaca normal para un adulto mayor se encuentra en el rango de 60 a 100 latidos por minuto (Jiménez, 2018).

Es importante tener en cuenta que a medida que envejecemos, el corazón puede no latir tan fuerte ni tan rápido como lo hacía en la juventud. Esto es normal y se conoce como bradicardia sinusal. Sin embargo, si un adulto mayor experimenta una frecuencia cardíaca que está constantemente por debajo de 60 latidos por minuto o experimenta síntomas como mareo,

fatiga o desmayos, es importante buscar atención médica para determinar si existe un problema de salud subyacente.

## **2.4. Brecha digital**

La ARCOTEL analiza la información y estadísticas sobre la evolución de las tecnologías y su impacto en el desarrollo de la sociedad de la información, todo esto con el fin de reducir la brecha digital existente en nuestro país. A través del uso de las TICs, y en particular mediante el Internet, se ha facilitado el acceso a servicios como educación, transacciones en línea, trabajo a distancia, captura y compartición de videos, aprendizaje de oficios, servicios de salud a distancia y mejoramiento de la condición física y personal.

En su boletín estadístico de telecomunicaciones la ARCOTEL nos da a conocer que, en Ecuador el servicio de Internet a través de conexiones físicas ha experimentado un crecimiento exponencial entre 2001 y 2015, superando el 300%. Las provincias con mayor densidad de Internet fijo son Pichincha con 15.6%, Azuay con 11.8% y Galápagos con 11.4%. El número de Proveedores de Servicio de Internet (ISPs) aumentó de 14 en 1998 a 292 en 2015. Las conexiones móviles a Internet en Ecuador pasaron de ser contadas en miles a ser proyectadas en millones de usuarios para el año 2025, con al menos seis millones de conexiones proyectadas internacionalmente (ARCOTEL, 2020).

Otra estadística importante sobre la brecha digital es la que se observa en el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), donde se aprecia que en Ecuador el 29,3% de la población de cinco años en adelante no tiene acceso a Internet. Característica que pone a esta población en una situación de mayor vulnerabilidad y desigualdad en la sociedad.

También se debe tener en cuenta que en el Ecuador solo el 5% por ciento de los adultos mayores utiliza un computador y un teléfono inteligente, según el Instituto Nacional de

Estadística de Ecuador, una cifra que refleja el poco conocimiento y acceso que tiene este grupo vulnerable a las tecnologías, esta cifra está destinada a cambiar durante y después de la pandemia.

Según Quinde, Mosquera y Vázquez (2020) la brecha digital en adultos mayores en Ecuador se refiere a la falta de acceso y habilidades en tecnología de las personas mayores en el país. Esto puede incluir dificultades para usar dispositivos electrónicos, navegar por internet y acceder a servicios en línea. En 2022, se espera que esta brecha continúe siendo un problema en Ecuador, ya que muchos adultos mayores todavía no han recibido la educación o las herramientas necesarias para utilizar la tecnología de manera efectiva. Sin embargo, también se están implementando programas e iniciativas para ayudar a reducir esta brecha y mejorar el acceso a la tecnología para los adultos mayores.

## **2.5. TICs como instrumentos para la búsqueda de personas desaparecidas**

Con la llegada de dispositivos y herramientas móviles, los sistemas de localización han experimentado un desarrollo significativo en cuanto a la búsqueda y seguimiento de personas a nivel territorial. Estos sistemas brindan información en tiempo real de los ciudadanos, lo que puede ser de gran ayuda en situaciones problemáticas.

En la actualidad, muchas organizaciones sin fines de lucro y agencias gubernamentales han comenzado a utilizar herramientas y tecnologías de las TICs para ayudar en la búsqueda de personas desaparecidas.

Las redes sociales pueden ser una herramienta útil para difundir información sobre personas desaparecidas. Las organizaciones pueden publicar información sobre la persona desaparecida en las redes sociales, lo que puede ayudar a que más personas conozcan la situación y aumentar las posibilidades de encontrar a la persona.

Las aplicaciones de geolocalización permiten conocer la ubicación de una persona en tiempo real. Si se sabe que la persona desaparecida tiene un teléfono celular o dispositivo con GPS, se pueden utilizar aplicaciones de geolocalización para rastrear su ubicación.

También existen bases de datos de personas desaparecidas que pueden ser utilizadas para buscar información sobre personas desaparecidas y compararla con información de personas encontradas o identificadas.

Otra opción son los sistemas de reconocimiento facial que pueden ayudar a identificar a personas desconocidas en imágenes o videos. Esto puede ser útil en los casos de personas desaparecidas que hayan sido vistas en lugares públicos o capturadas en cámaras de video vigilancia.

## **2.6. Plataformas para búsqueda y rastreo**

A continuación, se procede a analizar algunas tecnologías y ejemplos para la búsqueda y rastreo de personas desaparecidas utilizadas mayormente en el América y en Ecuador.

### **2.6.1. GPS**

El sistema GPS o Global Positioning System desarrollado por el gobierno de los Estados Unidos es una constelación de 24 o más satélites que vuelan a 20.350 km sobre la superficie de la Tierra. Cada uno da la vuelta al planeta dos veces al día en una de las seis órbitas para proporcionar una cobertura mundial continua.

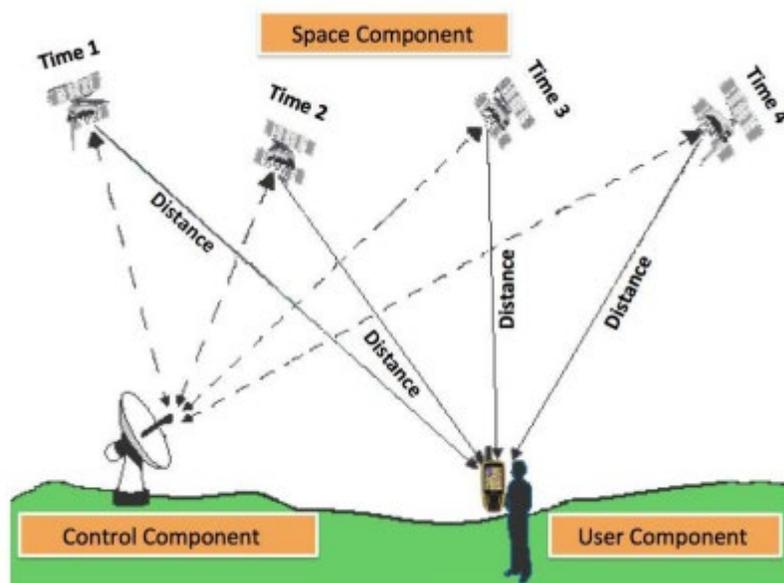
GPS es un sistema de radionavegación, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo, a todo el que cuente con un receptor del GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta en cualquier condiciones atmosféricas, de día o de

noche, en cualquier lugar del mundo y sin límite al número de usuarios simultáneos (Official U.S. government, 2022).

En todo momento el receptor GPS será visible por 4 satélites como se muestra en la Figura 2. Cada uno de dichos satélites transmite información acerca de su posición y del tiempo actual de forma regular. Estas señales viajan a la velocidad de la luz y son interceptadas por tu dispositivo de GPS. Después, el dispositivo calcula qué tan lejos está cada satélite en base al tiempo que el mensaje se tardó en llegar.

### Figura 2

#### *Componentes del Sistema de Posicionamiento Global*



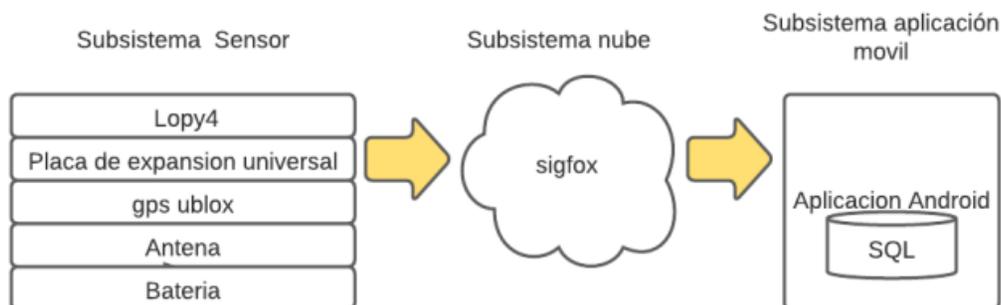
Fuente: (Llerena & Suárez, 2015)

De esta manera el uso más conocido para el GPS son los sistemas de navegación de automóviles, industrias de aviación civil y comercial, además de la navegación marítima. También se puede utilizar el GPS para la localización de personas como es el caso de Henry Zegarra que utilizando una aplicación móvil y utilizando la tecnología GPS para alertar de la localización de personas en la ciudad de Lima. Otro caso que se puede nombrar es el de Jefferson

Ayala que implementa un prototipo para la localización de personas utilizando una aplicación móvil además de tecnologías como GPS y SIGFOX como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Diagrama en bloques del sistema GPS y SIGFOX*



Fuente: (Jefferson Ayala, 2022)

### ***2.6.2. Aplicaciones móviles para la localización de personas desaparecidas***

Hay varias aplicaciones móviles diseñadas específicamente para la búsqueda de personas desaparecidas. Estas aplicaciones móviles para la localización de personas desaparecidas son una herramienta cada vez es más utilizada en la búsqueda de personas extraviadas. Dichas aplicaciones se han convertido en una forma eficiente y rápida de recopilar información y difundirla ampliamente a través de las redes sociales, facilitando la búsqueda de personas desaparecidas.

En estos casos, las aplicaciones móviles pueden utilizar diversas tecnologías, como la geolocalización, para ayudar en la búsqueda de personas desaparecidas. Por ejemplo, una aplicación móvil puede utilizar el GPS del teléfono para determinar la ubicación actual de una persona, lo que puede ser especialmente útil si la persona se ha perdido o se encuentra en peligro.

#### ***2.6.2.1. Aplicación móvil para la búsqueda de personas desaparecidas y guía de ayuda***

La aplicación fue creada por José Rodríguez de la Universidad de Guayaquil y emplea tecnologías como Android Studio para la creación de aplicaciones móviles destinadas a la

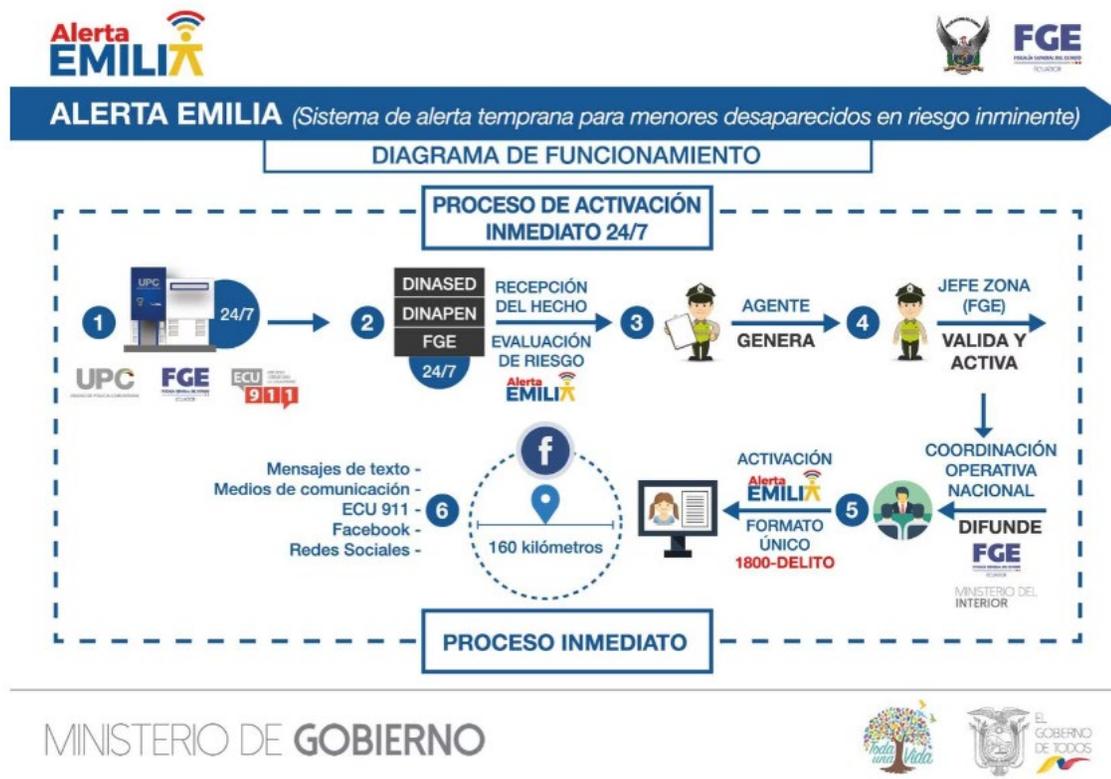
localización de personas desaparecidas y para ofrecer una guía de ayuda (Rodríguez, 2020). La aplicación móvil enviará notificaciones de alerta y recordatorios a los usuarios para informarles acerca de nuevos casos de personas desaparecidas. Los usuarios podrán compartir el enlace en varias redes sociales con el fin de difundir la información a un mayor número de personas, lo que aumentará las posibilidades de que alguien reconozca a la víctima y proporcione información si la han visto en algún lugar.

### ***2.6.2.2. Proyecto Emilia***

Otra de las aplicaciones móviles es el “Proyecto Emilia” el cual como observamos en la Figura 1 trata de un sistema de alerta que tiene como objetivo informar a la población acerca de las características de un niño o niña desaparecido y activar un proceso de búsqueda. Este protocolo fue puesto en marcha en el 2018, como un proyecto conjunto del Ministerio del Interior, la Fiscalía General del Estado, la Policía Nacional y Facebook (EL UNIVERSO, 2023).

Según explicó Emily Vacher, directora de Seguridad de Facebook, el sistema Alertas Emilia en Facebook enviará notificaciones a las personas que se encuentren en zonas consideradas de especial interés para la búsqueda cada vez que se reporte un niño como desaparecido. Además de Facebook, la información sobre el menor desaparecido se difunde a través de otros medios de comunicación como la televisión, correo electrónico y redes sociales, en un área de 160 kilómetros alrededor de donde fue visto por última vez el menor como se puede apreciar en la Figura 4 más detalladamente.

**Figura 4**  
*Sistema de alerta Emilia*



Fuente: (Fiscalía General del Estado, 2023)

### 2.6.2.3 App Finder

La aplicación Finder es un sistema desarrollado por Instituto Politécnico Nacional para localizar personas extraviadas después de un sismo. El sistema de funcionamiento de Finder se fundamenta en la conexión de dispositivos que dispongan de tecnología Wi-Fi Direct, permitiendo crear redes adhoc que permitan la comunicación directa entre los dispositivos. De este modo, es posible notificar la ubicación de otros usuarios que posean la capacidad de acceder a Internet, a través de la interconexión entre los dispositivos (Instituto Politécnico Nacional, 2018).

La función principal de la aplicación móvil consiste en conectar directamente un dispositivo móvil con otro, sin necesidad de intermediarios ni puntos de acceso inalámbrico que

actúen como coordinadores. Esta aplicación ha sido diseñada específicamente para la plataforma Android y permite reportar incidentes en tiempo real a través de una foto del lugar, la cual es enviada junto con la ubicación geográfica actual del usuario.

La aplicación también tiene la capacidad de recibir datos de manera eficiente y, a través de estos, notificar tanto a la familia del desaparecido como a los usuarios sobre la ubicación del desaparecido. Los usuarios podrán realizar búsquedas y consultar los reportes de incidentes ocurridos en tiempo real, en un radio de hasta 500 metros, gracias a la API Web que publica los datos en una página disponible para consulta (Moncayo, 2018).

## **2.7. Sistemas operativos móviles**

Los sistemas operativos son un conjunto de programas, servicios y funciones que gestionan y coordinan el funcionamiento de computadores, teléfonos inteligentes, tabletas, Smart TVs, entre otros, optimizando los recursos de hardware y software. Estos sistemas son un intermediario entre el hardware y el usuario, pero también entre el software de aplicaciones y el mismo hardware. Esta interacción se da mediante una interfaz que es el medio de comunicación entre el usuario y el equipo que proporciona al usuario una comunicación directa sin que este tenga que preocuparse de la gestión del procesador, de la memoria, de los distintos dispositivos, etc. (Avila & Cortes, 2016).

Los sistemas operativos son una parte fundamental de la tecnología informática moderna tanto como para computadores, teléfonos móviles y servidores en la nube, estos van evolucionando para satisfacer las necesidades de los usuarios y del mercado.

En el mundo de los sistemas operativos, existen diferentes tipos y marcas que compiten por el mercado. Los sistemas operativos más conocidos para computadoras personales son Microsoft Windows, macOS de Apple y diversas distribuciones de Linux. Además, en la

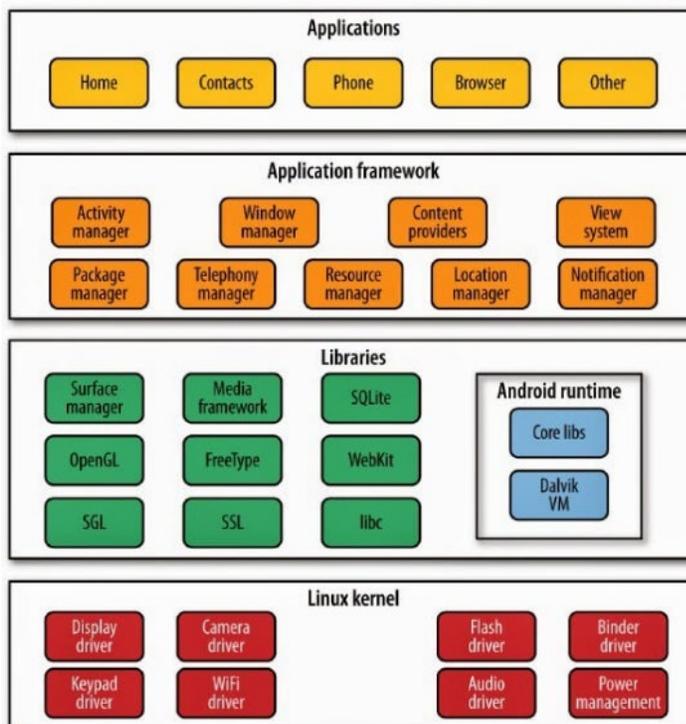
actualidad para los dispositivos móviles existen dos plataformas móviles dominantes: iOS y Android. Por esta razón si se quiere que la aplicación esté disponible para ambas plataformas se deberá crear con distintos sistemas operativos, ya que las aplicaciones para iOS se desarrollan con lenguaje Objective-C o Swift y las aplicaciones para Android se desarrollan con lenguaje Java.

### ***2.7.1. Sistema Android***

Android es un sistema operativo basado en Linux que se utiliza principalmente en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes. Además, utilizan este sistema operativo, pero no con mucha frecuencia dispositivos como: tabletas, portátiles, reproductores de música e incluso ordenadores personales. Permite programar en el lenguaje de Java, aplicaciones en la máquina virtual Dalvik (una variante de la máquina Java con compilación en tiempo de ejecución). También se diferencia de otros sistemas operativos en que cualquiera que sepa programar puede crear nuevas aplicaciones, widgets e incluso modificar el propio sistema operativo, ya que Android es código libre, por lo que saber programar en Java facilitará empezar a programar en la plataforma (Avila & Cortes, 2016).

En la Figura 5 se indica la estructura de Android y como se encuentra construida sobre el Kernel de Linux. En donde hay una capa de Librerías relacionadas con una estructura administradora en tiempo de ejecución. En el siguiente nivel se encuentra un Framework de apoyo para construcción de aplicaciones y posteriormente vemos a la capa de Aplicaciones.

**Figura 5**  
*Arquitectura de sistema operativo Android*



Fuente: (Develou, 2023)

Android tiene su núcleo basado en Linux como se menciona anteriormente en donde además cuenta con tienda de aplicaciones propias de la compañía como Play Store o Google Play. Esta plataforma es una plataforma de distribución digital de aplicaciones móviles para los dispositivos con sistema operativo Android, así como una tienda en línea desarrollada y operada por Google. Esta plataforma permite a los usuarios navegar y descargar todo tipo de aplicaciones (Bermúdez & López, 2011).

Según Basterra y Borrello (2012) las características que se muestran a continuación sobre el sistema operativo Android OS son las más importantes.

- Código abierto.
- Núcleo basado en el Kernel de Linux.

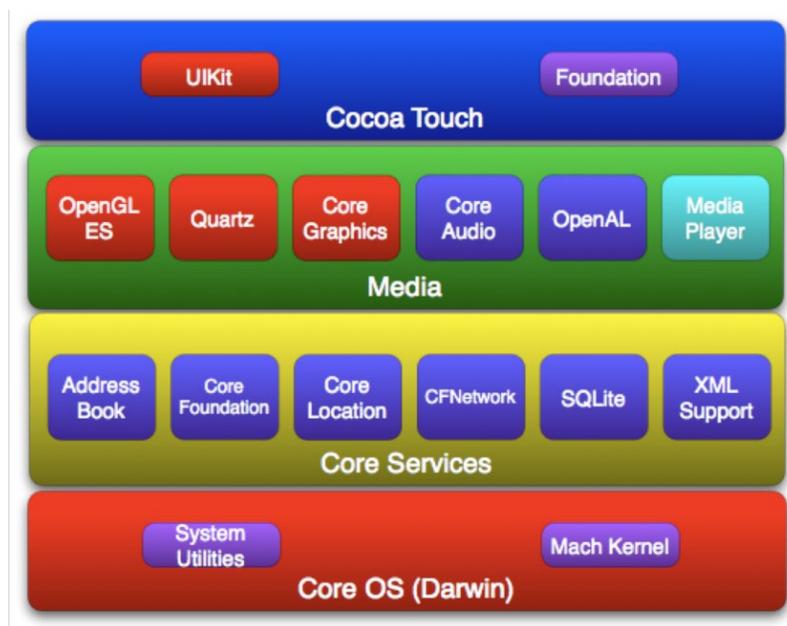
- Adaptable a muchas pantallas y resoluciones.
- Utiliza SQLite para el almacenamiento de datos.
- Ofrece diferentes formas de mensajería.
- Navegador web basado en WebKit incluido.
- Soporte de Java y muchos formatos multimedia.
- Soporte de HTML, HTML5, Adobe Flash Player, etc.
- Incluye un emulador de dispositivos, herramientas para depuración de memoria y análisis del rendimiento del software.
- Catálogo de aplicaciones gratuitas o pagas en el que pueden ser descargadas e instaladas (Google Play).
- Bluetooth.
- Google Talk desde su versión HoneyComb, para realizar videollamadas.
- Multitarea real de aplicaciones.

### ***2.7.2. Sistema iOS***

iOS es el sistema operativo para dispositivos móviles desarrollado por Apple, en un principio llamado iPhone OS por su significado en inglés iPhone Operating System o Sistema Operativo de iPhone, originalmente era para el iPhone, pero después fue usado en todos los dispositivos iPhone, iPod Touch e iPad. Obtenido a partir de Mac OS X, que a su vez está fundamentada en Darwin BSD (Bermúdez & López, 2011).

El iPhone OS consiste en un número de diferentes capas de software como se observa en la Figura 6, cada uno de los cuales proporciona marcos de programación para el desarrollo de aplicaciones que se ejecutan en la parte superior del sistema operativo.

**Figura 6**  
*Arquitectura de sistema operativo iOS*



Fuente: (ResearchGate, 2023)

Algunas de las características más importantes del sistema operativo iOS son:

- Alberga algunas aplicaciones exclusivas que solo funcionan bajo ese sistema operativo.
- Interfaz gráfica amigable.
- Servicio de iCloud.
- Asistencia de Siri.
- App Store para las compras.
- Solo se limita a dispositivos de Apple.
- Altos estándares de seguridad.

### ***2.7.3. Lenguajes de programación para plataformas móviles***

El lenguaje de programación principal utilizado en Android Studio para el desarrollo de aplicaciones móviles es Java, aunque también es posible programar con los lenguajes Kotlin y

C++ para desarrollar aplicaciones para Android y Swift, Objective-C para desarrollar aplicaciones en iOS.

**Java** es un lenguaje de programación orientado a objetos muy popular y ha sido la principal opción para desarrollar aplicaciones para Android durante muchos años. Con Java, los desarrolladores pueden crear aplicaciones que funcionen en una amplia variedad de dispositivos Android con diferentes tamaños de pantalla y versiones del sistema operativo.

**Kotlin** es un lenguaje de programación relativamente nuevo que ha ganado popularidad en los últimos años debido a su facilidad de uso y legibilidad de código. Kotlin es completamente interoperable con Java, lo que significa que los desarrolladores pueden utilizar ambas tecnologías juntas en un mismo proyecto.

C++ es un lenguaje de programación de bajo nivel que se utiliza principalmente para programación de sistemas y aplicaciones de alto rendimiento. Si bien no es el lenguaje de programación más comúnmente utilizado en Android Studio, puede ser útil para desarrollar ciertas funciones específicas, como procesamiento de imágenes o juegos intensivos en gráficos.

**Swift** es el lenguaje de programación principal utilizado para desarrollar aplicaciones para iOS. Swift es un lenguaje de programación moderno, seguro y de alto rendimiento que se utiliza para crear aplicaciones nativas de iOS.

Aunque Swift es el lenguaje de programación más popular para iOS, **Objective-C** todavía se utiliza para desarrollar aplicaciones para iOS. Objective-C es un lenguaje de programación orientado a objetos que se utiliza para crear aplicaciones nativas de iOS.

**JavaScript** se utiliza con el marco de trabajo React Native para desarrollar aplicaciones móviles para Android y iOS. React Native es un marco de trabajo que permite a los

desarrolladores crear aplicaciones móviles utilizando JavaScript y React, y crear aplicaciones nativas para ambas plataformas.

**Dart** es un lenguaje de programación de código abierto, desarrollado por Google, que se utiliza para construir aplicaciones web, de escritorio, móviles y de servidor. Además, está diseñado para admitir una amplia gama de plataformas y escenarios, lo que lo hace muy versátil.

## **2.8. Plataforma en la nube**

Existen diferentes modalidades de servicios en la nube que se pueden clasificar en tres categorías principales:

### ***2.8.1. Software en la nube como servicio (SaaS)***

En el software en la nube como servicio, la capacidad proporcionada al consumidor es utilizar las aplicaciones del proveedor que se ejecutan en una infraestructura en la nube. Se puede acceder a las aplicaciones desde varios dispositivos cliente a través de una interfaz de cliente liviana, como un navegador web (por ejemplo, correo web). El consumidor no administra ni controla la infraestructura de la nube subyacente, incluida la red, los servidores, los sistemas operativos, el almacenamiento o incluso las capacidades de las aplicaciones individuales, con la posible excepción de los ajustes de configuración de las aplicaciones específicas del usuario (Hernandez & Florez, 2014).

### ***2.8.2. Plataforma en la nube como servicio (PaaS)***

En la plataforma de nube como servicio, la capacidad proporcionada al consumidor es desplegar en la infraestructura de nube aplicaciones adquiridas o creadas por el consumidor, que fueron creadas utilizando lenguajes y herramientas de programación soportadas por el proveedor. El consumidor no gestiona ni controla la infraestructura de nube subyacente que incluye la red, servidores, sistemas operativos o almacenamiento, pero tiene control sobre las aplicaciones

desplegadas y la posibilidad de controlar las configuraciones de entorno del hosting (alojamiento web) de aplicaciones (Hernandez & Florez, 2014).

### **2.8.3. Infraestructura en la nube como servicio (IaaS)**

En el modelo de infraestructura de nube como servicio, el proveedor suministra al consumidor los recursos esenciales de procesamiento, almacenamiento, redes y otros elementos computacionales necesarios para que este pueda implementar y ejecutar diferentes tipos de software, incluyendo sistemas operativos y aplicaciones. El consumidor no tiene que preocuparse por la gestión ni el control de la infraestructura subyacente de la nube, pero sí tiene control sobre los sistemas operativos, el almacenamiento y las aplicaciones que despliega. Además, se le proporciona la capacidad de ejercer un control limitado sobre ciertos componentes de red seleccionados (Hernandez & Florez, 2014).

## **2.9. Tarjeta SIM**

La tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) es una tarjeta inteligente que se utiliza en dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, tabletas y módems, para identificar y autenticar al usuario en la red móvil. Esta tarjeta es un pequeño chip que se inserta en una ranura en el dispositivo y contiene información de autenticación de red, como un número de identificación único (IMSI) y una clave de autenticación, necesarios para conectarse a la red móvil.

**Figura 7**  
*Tarjeta SIM*



Fuente: (Freepik,2023)

Además de la autenticación de red, la tarjeta SIM también almacena información importante del usuario, como contactos, mensajes de texto y datos de configuración del dispositivo. Dependiendo del proveedor de servicios, la tarjeta SIM también puede contener información de suscripción, como planes de datos y minutos de llamadas.

La tarjeta SIM se puede intercambiar entre diferentes dispositivos móviles, lo que permite a los usuarios cambiar de teléfono o tableta sin perder su información y configuración importantes.

## **2.10. Comunicación móvil celular (LTE)**

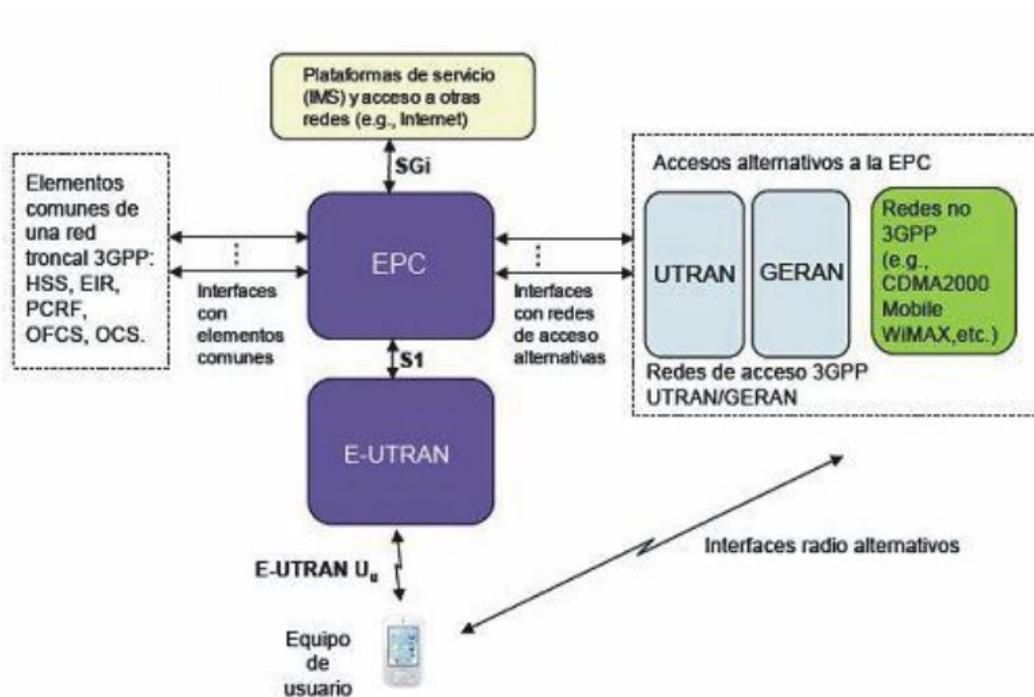
La evolución de la tecnología celular está determinada por generaciones que han ido evolucionando y que se las conoce como 1G, 2G, 3G, 4G y 5G. Lopa & Vora (2015) en la revista de tendencias modernas de ingeniería e investigación describen de manera detallada cada una de las tecnologías empleadas en cada una de estas generaciones de telefonía celular. Los más recientes modelos de comunicación son LTE (Long Term Evolution) y el no tan nuevo 5G, en esta revista explican a profundidad el funcionamiento, características de transmisión, operación y aplicaciones de estas tecnologías, especialmente se concentran en LTE y 5G como potenciales modelos de comunicación para el Internet de las Cosas.

La creciente demanda de banda ancha móvil en los últimos años debido al alto tráfico de datos generado por el uso masivo de dispositivos móviles conectados a Internet, donde este aumento está impulsando a la industria a implementar redes 4G de alta capacidad basadas en el estándar LTE de 3GPP. Esto permite una mayor velocidad de transmisión en cualquier lugar dentro del área de cobertura en los sistemas celulares 4G y sus evoluciones posteriores.

### 2.10.1. Arquitectura LTE

En la Figura 3 se ilustra de manera sencilla la arquitectura completa del sistema LTE, en la que se pueden ver algunos de los componentes más habituales, como es la base de datos del sistema que contiene información sobre las suscripciones de los usuarios.

**Figura 8**  
*Arquitectura de los sistemas LTE*



Fuente: (Revista Telem@tica, 2013)

### 2.10.2. Cobertura de operadoras

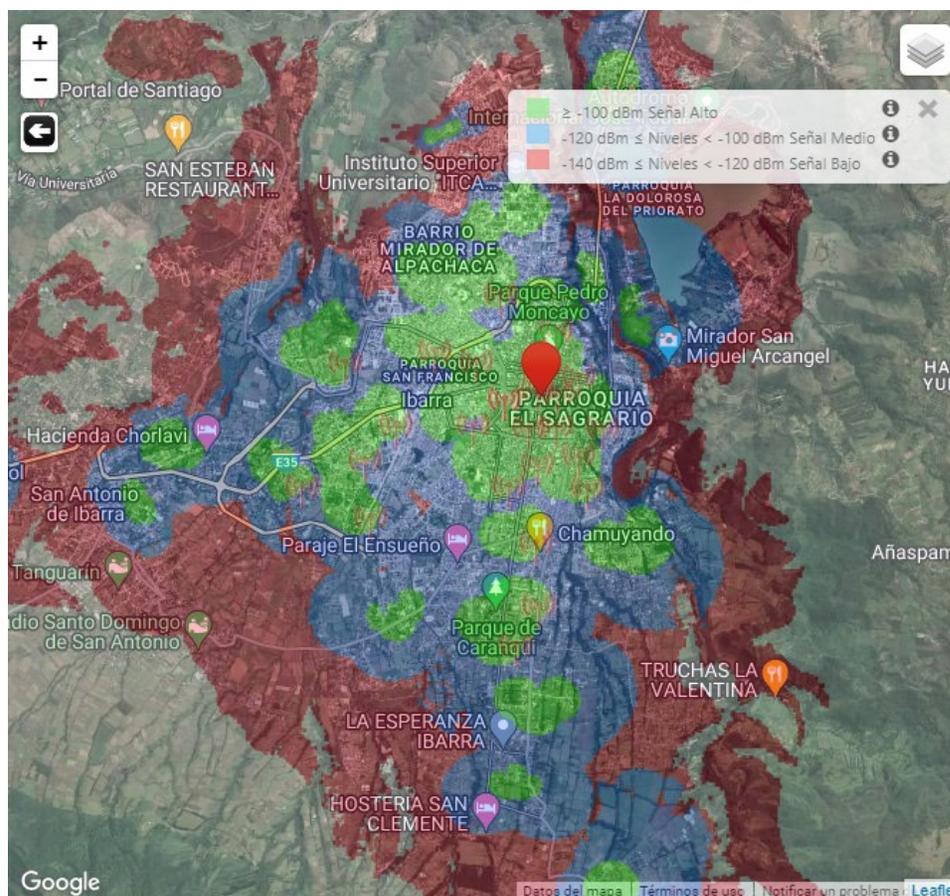
Como se define en la ARCOTEL el área de cobertura es el espacio geográfico que está previamente autorizado a través de un contrato de concesión para la prestación del Servicio Móvil Avanzado. Este es un servicio final de Telecomunicaciones del servicio móvil terrestre que permite a los usuarios comunicarse mediante voz, mensajes de texto, video llamada, Internet, etc. de manera inalámbrica generalmente a través de terminales móviles (ARCOTEL, 2020).

Los mapas de cobertura que se muestran a continuación son de las operadoras móviles que están desplegadas en Ecuador bajo el servicio de SMA, dichos mapas se crean a partir de simulaciones basadas en modelos de propagación comúnmente utilizados en la industria de servicios móviles de telecomunicaciones y aplicados en mapas digitales. Estas simulaciones estiman la cobertura teniendo en cuenta factores como los de tipo de terreno, obstáculos naturales o artificiales, banda de frecuencia, volumen de tráfico, sensibilidad de los dispositivos terminales, condiciones climáticas, vegetación o edificaciones cercanas y características del equipamiento y operación en las estaciones base, entre otros (Claro, 2023).

### 2.10.2.1 CONECEL (Claro)

#### Figura 9

Mapa de Cobertura 4G empresa CLARO en la ciudad de Ibarra



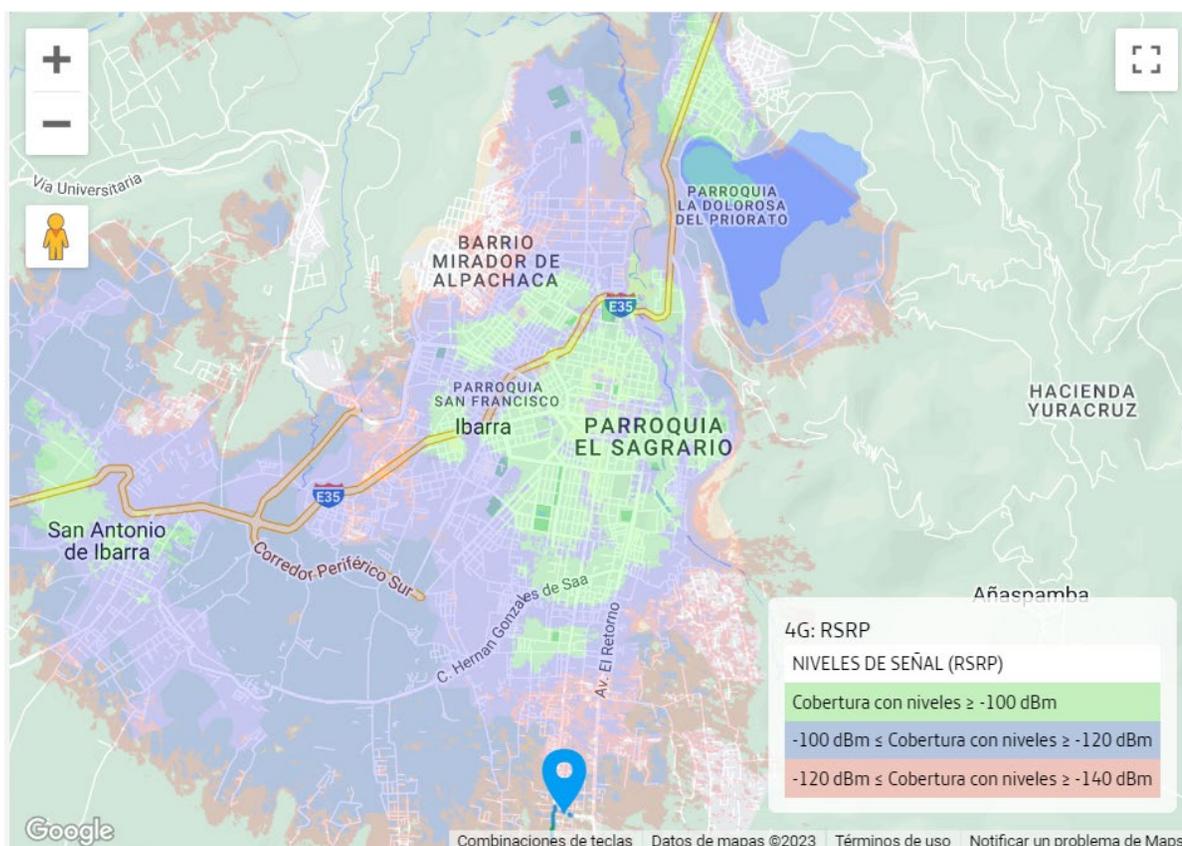
Nota: El color verde es igual o mayor a 100 dBm y esto significa una señal alta, el color azul esta entre -120 dBm y -100, esto significa una señal media y el color rojo esta entre -140 dBm y -120 dBm que quiere decir que la señal es baja.

Fuente: (Sitio web Claro, 2023)

### 2.10.2.2 OTECEL (Movistar)

#### Figura 10

Mapa de Cobertura 4G empresa Movistar en la ciudad de Ibarra



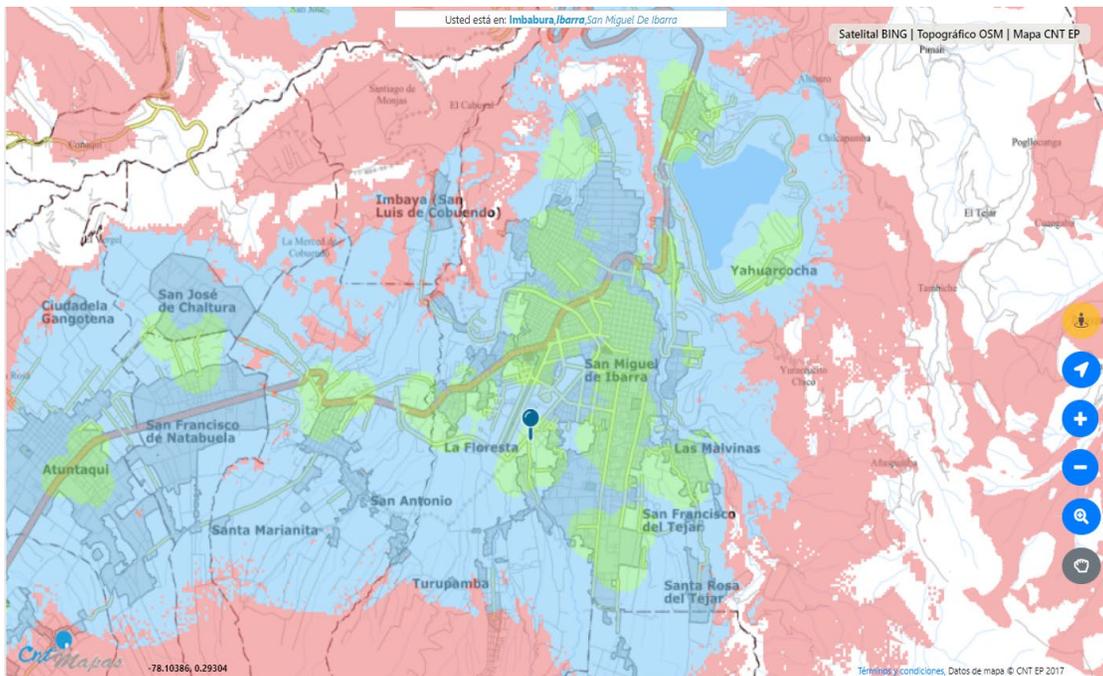
Nota: El color verde es igual o mayor a 100 dBm y esto significa un nivel de señal alto, el color azul esta entre -120 dBm y -100, esto es una señal media y el color rojo esta entre -140 dBm y -120 dBm que quiere decir que la señal es baja.

Fuente: (Sitio web Movistar)

### 2.10.2.3 CNT

**Figura 11**

*Mapa de Cobertura 4G empresa CNT en la ciudad de Ibarra*



Nota: El color verde es una cobertura con niveles iguales o mayores a 100 dBm y esto significa un nivel de señal alto, el color azul esta entre -120 dBm y -100, esto significa una señal media y el color rojo esta entre -14 dBm y -120 dBm que quiere decir que la señal es baja.

Fuente: (Sitio web CNT)

## 2.11. Metodología

El presente proyecto está centrado en crear un sistema de geolocalización y frecuencia cardiaca, para la supervisión dentro de un perímetro virtual de personas de la tercera edad por medio de una aplicación móvil. Se utiliza el modelo “PMBOK” para el diseño e implementación del sistema.

### 2.11.1. PMBOK

PMBOK es una colección de procesos y áreas de conocimiento universalmente aceptadas como las mejores prácticas dentro de la gestión de proyectos. Es un estándar reconocido internacionalmente que provee los fundamentos de la gestión de proyectos, aplicables a un amplio rango de procesos, incluyendo ámbitos tan diversos como la industria, construcción, software, ingeniería, etc. (Cuatrecasas, 2012).

#### Figura 12

*Esquema del modelo PMBOK*



Fuente: (Cidicom, 2023)

PMBOK agrupa los procesos involucrados en la gestión de proyectos, en cinco grupos que son:

**Proceso de iniciación:** En la fase de inicio del proyecto, el gestor del proyecto y otros expertos evaluarán el caso para los proyectos requeridos. Si se aprueba, se determinará las partes interesadas del proyecto y se identificará los riesgos y problemas mientras se recopilan los requisitos de alto nivel. Toda esta información ya está incluida en el plan del proyecto, donde las partes interesadas aprobaron previamente antes de continuar con la siguiente etapa. El plan del

proyecto es un resultado crítico de la fase de inicio, ya que describe los objetivos, el alcance, la calidad, el tiempo, las estimaciones de costos y las consideraciones de recursos, que son esenciales para lograr el éxito del proyecto. Los objetivos mal planificados pueden llevar al fracaso del proyecto, incluso con una gestión adecuada.

**Proceso de planificación:** Durante la fase de planificación del proyecto, se identifican todas las actividades necesarias, teniendo en cuenta las prioridades del proyecto, los recursos necesarios, los tiempos esperados para ejecutar las tareas y sus funcionalidades. Este proceso de planificación incluye la identificación de las actividades del proyecto, los hitos y los entregables, así como las estrategias de mitigación de riesgos. Además, los objetivos del proyecto están claramente definidos en términos de tiempo, costo y el resultado deseado. La gestión exitosa de proyectos depende en gran medida de una planificación inteligente.

**Proceso de ejecución:** Se refiere a la implementación o puesta en marcha del proyecto, consiste en poner en práctica la planificación llevada a cabo previamente. Además, se deben programar reuniones periódicas para administrar el equipo del proyecto, revisar el progreso del proyecto y establecer prioridades futuras. El objetivo principal de la ejecución es coordinar los recursos necesarios para lograr los procesos planificados.

**Proceso de seguimiento y control:** El objetivo de las actividades de control es asegurar que los objetivos se alcancen en el tiempo previsto y con la calidad deseada. La supervisión y la medición del desempeño son cruciales para este fin, ya que permiten tomar acciones correctivas comparando las actividades planificadas con las reales. La información oportuna es necesaria para un control eficaz, ya que la demora podría dar lugar a la pérdida de oportunidades para modificar el curso del proyecto. Para este propósito, se pueden utilizar herramientas como el método del valor ganado, los hitos de pago y la medición del desempeño técnico.

**Proceso de cierre:** La culminación de un proyecto representa su existencia temporal y su cierre al cumplirse las metas establecidas. La etapa de cierre consiste en revisar la totalidad del proyecto, incluidas las actividades planificadas y ejecutadas, y evaluar los resultados relevantes mientras se asegura que se cumplieron los objetivos propuestos. En esta fase, se realizan pruebas finales para verificar la corrección de la solución. Se requiere la producción de un documento de finalización para describir cómo se ejecutó el proyecto, los problemas identificados, la metodología, la logística de la organización, la experiencia adquirida y, lo que es más importante, las observaciones concluyentes realizadas al finalizar el proyecto.

### **CAPÍTULO III. Diseño del Sistema**

En este capítulo se proporciona una visión general del sistema de geolocalización y frecuencia cardíaca, para la supervisión dentro de un perímetro virtual de personas de la tercera edad por medio de una aplicación móvil. Se establecerán los criterios para elegir el hardware y software que se utilizarán en el diseño del sistema, para luego llevar a cabo las pruebas de funcionamiento.

#### **3.1. Análisis de la Situación Actual**

En la actualidad, se ha observado un aumento en el número de personas desaparecidas, especialmente entre la población adulta mayor. Esta situación se atribuye a diversas razones, como las limitaciones físicas y/o psicológicas de las personas, la falta de supervisión adecuada de los adultos mayores y la brecha tecnológica que dificulta su acceso a recursos tecnológicos. Las desapariciones de las personas de la tercera edad representan un riesgo significativo para su seguridad e integridad, ya que son más vulnerables a situaciones de peligro.

Ante esta problemática, se propone desarrollar una aplicación basada en tecnología GPS para supervisar la ubicación geográfica de las personas mayores dentro de un perímetro seguro establecido previamente. Además, se considera monitorear la frecuencia cardíaca de estas personas con el fin de prevenir extravíos, secuestros y accidentes.

La aplicación permitirá visualizar esta información en tiempo real a través de los smartphones de los usuarios. Se busca brindar seguridad y supervisión constante a las personas mayores, que son un grupo social vulnerable y requieren atención prioritaria.

El uso de tecnología GPS, geocercas y el servicio de comunicación inalámbrica LTE se considera fundamental para prevenir la desaparición de personas mayores. Estas tecnologías permiten una ubicación precisa, establecen límites virtuales de seguridad y brindan una

comunicación constante de datos en tiempo real a través de redes de telecomunicaciones móviles.

### 3.2. Requerimientos del sistema

A continuación, se procede a detallar los requerimientos del diseño la cual de: Requerimientos de Stakeholder, Requerimientos del sistema y Requerimientos de arquitectura, las cuales debe cumplir con los objetivos planteados por el proyecto.

En la Tabla 1 se presenta las abreviaturas de requerimientos de Stakeholders, del sistema y de arquitectura los cuales serán usados posteriormente en este trabajo.

**Tabla 1**  
*Abreviaturas y su Descripción*

Abreviatura	Descripción
RSta	Requerimientos de Stakeholders
RSis	Requerimientos del sistema
RArq	Requerimientos de arquitectura

#### 3.2.1. Stakeholders

Los Stakeholders son conjuntos de individuos o grupos interesados que tienen influencia en la ejecución del proyecto. La Tabla 2 muestra los Stakeholders que participan en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 2**  
*Stakeholders y la descripción*

Número	Stakeholders	Descripción
1	Personas monitoreadas	Adultos mayores
2	Familiares/cuidadores de la persona monitoreada	Personas a cargo del adulto mayor

3	MSC. Fabián Cuzme	Director del trabajo de titulación
4	MSC. Luis Suárez	Asesor del trabajo de titulación
5	Christian Villegas	Desarrollador del trabajo de titulación

### 3.2.2. *Requerimientos de Stakeholders*

En la Tabla 3 se presentan los requisitos de las partes interesadas que deben ser considerados para garantizar el cumplimiento de las necesidades del usuario en relación con el sistema de monitoreo. Es importante destacar que este sistema se compone de dos partes fundamentales: el hardware, que corresponde al dispositivo electrónico utilizado por el adulto mayor, y el software, que se refiere a la aplicación móvil.

Los requisitos detallados en el Anexo A proporcionan una comprensión más precisa y completa de las necesidades y expectativas de las partes interesadas en relación con el sistema. Estos requisitos han sido cuidadosamente identificados y documentados para asegurar que el sistema desarrollado satisfaga plenamente las demandas y requerimientos de los usuarios. La consulta del Anexo A resulta esencial para una comprensión integral de los requisitos y para una adecuada alineación del diseño y desarrollo del sistema con las necesidades del usuario.

**Tabla 3**  
*Requerimientos de Stakeholders*

REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS RSta				
		Prioridad		
Requerimientos operacionales		Alta	Media	Baja
<b>RSta 1</b>	El dispositivo debe tener alimentación por medio de una batería	X		
<b>RSta 2</b>	El sistema debe poder almacenar las coordenadas del GPS	X		
<b>RSta 3</b>	El sistema debe poder almacenar los datos de	X		

	frecuencia cardiaca	
<b>RSta 4</b>	El sistema debe tener conexión inalámbrica para la transmisión de datos	X
<b>Requerimientos de usuario</b>		
<b>RSta 5</b>	La aplicación móvil debe tener una autenticación de usuario	X
<b>RSta 6</b>	La aplicación móvil debe ser de fácil manejo para los usuarios	X

### 3.2.3. Requerimientos del sistema

Los requerimientos del sistema detallan los servicios que el sistema proporcionará, así como las limitaciones que deben ser cumplidas con precisión en función de su importancia. Estos requerimientos se dividen en diferentes secciones que se pueden observar en la Tabla 4.

**Tabla 4**  
*Requerimientos iniciales del sistema*

<b>REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS RSis</b>				
<b>Requerimientos de uso</b>		<b>Prioridad</b>		
		<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>
<b>RSis 1</b>	El dispositivo debe tener alimentación por medio de una batería	X		
<b>RSis 2</b>	El sistema debe poder almacenar las coordenadas del GPS	X		
<b>RSis 3</b>	El sistema debe poder almacenar los datos de frecuencia cardiaca	X		
<b>RSis 4</b>	El sistema debe tener conexión inalámbrica para la transmisión de datos	X		
<b>Requerimientos de interfaces</b>				
<b>RSis 5</b>	El microcontrolador deber contar con interfaces de 2 entradas/salidas digitales			X

<b>Requerimientos de performance</b>		
<b>RSis 6</b>	La activación del dispositivo electrónico se realiza mediante la aplicación móvil	X
<b>RSis 7</b>	El envío y recepción de los datos se lo realiza mediante un módulo de comunicación inalámbrica LTE	X
<b>Requerimientos de modos/estados</b>		
<b>RSis 8</b>	El dispositivo debe estar activo siempre que el adulto mayor se quede solo o sin supervisión	X

### 3.2.4. *Requerimientos de arquitectura*

Este requisito tiene como finalidad identificar los componentes de hardware y software que cumplan con los objetivos del proyecto. En la Tabla 5 se especifican los requisitos de arquitectura en detalle.

**Tabla 5**  
*Requerimiento de Arquitectura*

<b>REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS RArq</b>				
		Prioridad		
<b>Requerimientos lógicos</b>		Alta	Media	Baja
<b>RArq 1</b>	2 entradas/salidas digitales para Tx y Rx			X
<b>RArq 2</b>	Comunicación del sistema mediante la tecnología LTE	X		
<b>RArq 3</b>	Los datos recopilados se deben visualizar en la aplicación móvil	X		
<b>Requerimientos de diseño</b>				
<b>RArq 4</b>	Dispositivo debe estar protegido con una estructura para evitar posibles daños	X		
<b>RArq 5</b>	El software del microcontrolador debe contar con librerías compatibles con el sensor de frecuencia	X		

cardiaca

<b>Requerimientos de software</b>		
<b>RArq 6</b>	El Software de programación debe ser compatible con la placa de procesamiento	X
<b>RArq 7</b>	Licencia de libre uso	X
<b>RArq 8</b>	IDE para programación multiplataforma	X
<b>RArq 9</b>	Compatibilidad con sistemas operativos Android y iOS	X
<b>RArq 10</b>	Software fácil de usar y que no requiera una curva de aprendizaje extensa	X
<b>RArq 11</b>	Geocerca con API de Google	X
<b>RArq 12</b>	Aplicación debe ser amigable y fácil de usar para usuario	X
<b>Requerimientos de hardware</b>		
<b>RArq 13</b>	Placa de procesamiento compatible con tecnología LTE y GPS	X
<b>RArq 14</b>	Ranura para chip LTE	X
<b>RArq 15</b>	Antena LTE	X
<b>RArq 16</b>	Antena GPS	X
<b>RArq 17</b>	Sensor de frecuencia cardiaca	X
<b>RArq 18</b>	Fuente alimentación de poco consumo con la capacidad de alimentar al sistema	X

### 3.3. Selección de Hardware y Software

Esta sección permite la selección del hardware y software adecuado mediante una evaluación cuidadosa de los requisitos de los usuarios y los requisitos técnicos.

#### 3.3.1. Requerimientos de hardware

A continuación, se presenta la elección del microcontrolador más adecuado, sensor de frecuencia cardiaca, la batería y la protección externa del sistema.

### 3.3.1.1. Placa de procesamiento

Para la selección de la placa de procesamiento se tuvo en cuenta requisitos indispensables como que debe tener compatibilidad con las tecnologías LTE y GPS. Se tiene una variedad de placas de procesamiento en donde en la Tabla 6 se observa una comparación entre los posibles productos que cumplan con las especificaciones mencionadas anteriormente.

**Tabla 6**  
*Cuadro comparativo de placas de procesamiento*

Selección de placa de procesamiento									
Hardware	RArq 2	RArq 5	RArq 13	RArq 14	RArq 15	RArq 16	RSis 4	RSis 7	Val.
esp32 t-sim7670 X	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	3
esp32 t-sim7600 X	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	8
esp32 t-sim7000 X	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	8

Se selecciona la placa de procesamiento ESP32 T-SIM7600 X ya que cumple los requerimientos planteados del proyecto ya que ofrece compatibilidad con las tecnologías LTE y GPS, además que es un módulo de comunicaciones de doble núcleo que combina un microcontrolador ESP32 con un módulo de comunicaciones celulares SIM integrado.

Las ventajas que nos ofrece la placa ESP32 T-SIM7600 es que admite más bandas de frecuencia, incluidas LTE-FDD B1/B3/B4/B5/B7/B8/B28 y LTE-TDD B40 a diferencia de las otras dos placas tomadas en cuenta, otra de las ventajas es T-SIM7600 admite tarjetas SIM físicas y eSIM.

A continuación, se describen las principales características y especificaciones técnicas del módulo ESP32 T-SIM7600NA como se menciona en su datasheet en el Anexo B, esta opción es la seleccionada de la familia ESP32 T-SIM7600 X:

- **Procesador:** El ESP32 T-SIM7600NA está equipado con un procesador de doble núcleo Xtensa LX6 de 32 bits con una velocidad de reloj de hasta 240 MHz.
- **Comunicaciones celulares:** El módulo admite redes móviles LTE-FDD, LTE-TDD, WCDMA y GNSS, y cuenta con soporte para múltiples bandas de frecuencia. Tiene una velocidad máxima de descarga de 300 Mbps y una velocidad máxima de carga de 50 Mbps.
- **Conectividad inalámbrica:** El módulo cuenta con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada, lo que permite una fácil integración con otros dispositivos IoT.
- **GPS:** El módulo es compatible con el sistema de navegación por satélite GNSS (Global Navigation Satellite System) que incluye GPS (Global Positioning System), GLONASS, BeiDou y Galileo. Se necesita una antena GNSS externa para utilizar esta función.
- **Soporte de tarjetas SIM:** El módulo admite tanto tarjetas SIM físicas como eSIM, lo que lo hace más flexible y adaptable a diferentes necesidades y requisitos de los usuarios.
- **Gestión de energía:** El módulo cuenta con una función de gestión de energía eficiente que ayuda a prolongar la duración de la batería en dispositivos móviles.
- **Dimensiones:** El módulo tiene un tamaño compacto de 28.2 mm x 32.2 mm x 2.8 mm, lo que lo hace fácil de integrar en diferentes diseños de dispositivos IoT.

#### ***3.3.1.2. Tarjeta SIM***

Para la selección de la tarjeta SIM se debe tomar en cuenta que debe contar con la tecnología LTE para ciudad de Ibarra como se muestra en la Tabla 7, donde LTE es la tecnología

de comunicación móvil de cuarta generación (4G) más utilizadas actualmente ya que permite una conectividad de alta velocidad y un acceso rápido a Internet en dispositivos móviles.

**Tabla 7**  
*Cuadro comparativo de tarjetas SIM*

Hardware	Selección de tarjeta SIM				Val.
	RArq	RSis	RSis	RSta	
	2	4	7	4	
Claro	SI	SI	SI	SI	4
Movistar	SI	SI	SI	SI	4
CNT	SI	SI	SI	SI	4

Al no tener una diferencia en el valor de comparación de las diferentes tarjetas SIM se tomará como parámetro para la selección el nivel de cobertura LTE en la ciudad de Ibarra y el costo del respectivo del plan de datos necesario para el sistema tanto para el dispositivo que llevará el adulto mayor como para el teléfono móvil de la persona que estará a cargo de la monitorización del adulto.

**Tabla 8**  
*Comparación de operadoras costo/cobertura/experiencia de usuario*

Operadora	Costo plan unitario (\$)	Costo plan total (\$)	Valoración cobertura LTE	Experiencia de usuario
Claro	16.00	32.00	9	5.9
Movistar	10.56	21.12	8	5.7
CNT	11.73	23.46	8.5	8.4

Tomando en cuenta la Tabla 8 que compara el costo, la cobertura de los servicios prestados y la experiencia de usuario por las diferentes operadoras en la ciudad de Ibarra, se

puede concluir que la mejor relación la tiene la operadora CNT en lo que respecta a la cobertura, costos del plan de datos no es muy diferente a la de Movistar que es el de más bajo costo.

En la experiencia de usuario se tiene que Movistar (OTECEL) fue el operador con la tasa más elevada de quejas, incrementándose de 27 a 120 reclamos por cada 100.000 líneas activas. Por otro lado, Claro (CONECEL) mostró un crecimiento sostenido alcanzando una tasa de 116 denuncias por cada 100.000 líneas activas. En cuanto a CNT, la tasa de reclamos es de 45 por cada 100.000 líneas activas (Campaña, Asuero, Triviño, Reyes , & Aguilar, 2022).

### 3.3.1.3. *Sensor de frecuencia cardiaca*

El sensor de frecuencia cardiaca debe elegirse de acuerdo con los requisitos del sistema, permitiendo que la frecuencia cardiaca sea leída de manera correcta y eficiente para su correcto funcionamiento. Como se observa en la Tabla 9 se realiza la comparación de los sensores de frecuencia cardiaca que existentes en el mercado para posterior elegir el que más valoración tenga.

**Tabla 9**

*Cuadro comparativo de sensor de frecuencia cardiaca*

Hardware	Selección de sensor de frecuencia cardiaca			
	RArq	RSis	RSta	Val.
Sensor de pulso MAX30102	17	3	2	3
Sensor de pulso AD8232	SI	SI	SI	3
Sensor de pulso KY-039	SI	SI	SI	3

Se selecciona el sensor frecuencia cardíaca y oxígeno MAX30102 ya que este cumple con los requerimientos planteados y además nos permite colocar el sensor no solo en el dedo o

en la muñeca, sino que también nos permite colocarlo en el brazo que es la opción planteada en el proyecto.

El sensor de frecuencia cardíaca y oxígeno MAX30102 es un módulo compacto que utiliza tecnología de fotopleletismografía (PPG) para medir la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en la sangre.

Algunas de las características principales del sensor son:

- El sensor utiliza una técnica avanzada de cancelación de luz ambiental para filtrar la luz ambiental y mejorar la precisión de las mediciones.
- El sensor cuenta con LED infrarrojo y rojo de alta eficiencia que proporcionan una fuente de luz estable y uniforme para las mediciones.
- Se comunica a través de una interfaz I2C, lo que lo hace fácilmente integrable en microcontroladores y microprocesadores.
- Diseñado para consumir muy poca energía, lo que lo hace adecuado para dispositivos portátiles y de bajo consumo.
- Alta resolución de 16 bits para la medición de la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno, lo que permite mediciones precisas y detección temprana de cualquier problema de salud relacionado con estos parámetros.
- Compacto y fácil de integrar en dispositivos portátiles y dispositivos vestibles.

Para una apreciación más detallada de estas características, se recomienda consultar el Anexo C del presente trabajo, donde se proporciona información adicional y específica al respecto. En dicho anexo, se podrán encontrar detalles relevantes que permitirán una comprensión más completa de las características mencionadas anteriormente.

### 3.3.1.4. Batería

La selección de la batería adecuada para el sistema es un aspecto crucial para garantizar su correcto funcionamiento. Para ello, es importante tener en cuenta los requerimientos específicos de los dispositivos que consumirán corriente dentro del sistema. En la Tabla 10, se detallan los dispositivos y su consumo de corriente. Estos valores son fundamentales para determinar la capacidad de la batería necesaria.

**Tabla 10**

*Tabla de consumo para selección de la batería*

<b>Tabla de consumo</b>			
<b>Hardware</b>	<b>Consumo Máx de Corriente</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Temperatura</b>
Sensor de pulso MAX30102	6 mA	4.4-6 V	-40°C +85°C
ESP32 T-SIM7600	1000 mA	3.3-5 V	-40°C +85°C

El consumo de corriente del módulo SIM7600NA durante la transmisión de datos LTE puede oscilar entre 500 mA y 800 mA. En cuanto al GPS, su consumo de corriente depende del tipo de módulo GPS utilizado y su configuración específica. En este caso se utiliza el GNSS sistema de posicionamiento global que utiliza el cual consume 100 mA. Por lo tanto, en una estimación general, considerando el consumo del ESP32, el módulo SIM7600NA y el módulo GPS, el consumo máximo de corriente total al transmitir la posición obtenida por GPS a través de LTE podría estar en el rango de 600 mA a 1000 mA.

Una vez que se han evaluado estos factores, se puede determinar la capacidad de la batería necesaria para el sistema. Además, es importante tener en cuenta que la capacidad de la batería no debe ser insuficiente ni excesiva. Si la capacidad es insuficiente, la batería se agotará rápidamente y no proporcionará energía suficiente para alimentar el sistema. Por otro lado, si la

capacidad es excesiva, se puede incurrir en costos adicionales y aumentar el tamaño y peso del sistema sin una necesidad real.

La mejor opción de batería para alimentar de manera adecuada un ESP32 T7600, que opera en un rango de voltaje de 4.4-6 V, y un sensor de pulso MAX30102, que trabaja en un rango de voltaje de 3.3-5 V, es una batería de LiPo con un voltaje nominal de 3.7 V. Se recomienda seleccionar una batería con una capacidad de al menos 1000 mAh a 2000 mAh o más, dependiendo de la duración deseada de la alimentación de la batería. Esto asegurará que la batería proporcione el voltaje y la capacidad necesarios para un funcionamiento óptimo de ambos componentes.

En cuanto a la batería, la placa ESP32 T-SIM7600NA funciona con una batería LiPo de 3.7V a 4.2V. Las baterías LiPo (Polímero de Litio) son un tipo de batería recargable que utiliza una solución de electrolito en estado sólido en lugar de electrolito líquido. Las baterías LiPo de 3.7V a 4.2V son baterías comunes utilizadas en dispositivos electrónicos portátiles como teléfonos inteligentes, tabletas, cámaras, drones y otros dispositivos electrónicos de consumo.

Algunas características importantes de las baterías LiPo de 3.7V a 4.2V son:

- El voltaje nominal de una batería LiPo de 3.7V a 4.2V es de aproximadamente 3.7 voltios. El voltaje de carga máxima es de aproximadamente 4.2 voltios.
- La capacidad de una batería LiPo se mide en mAh (miliamperios-hora) y se refiere a la cantidad de energía que la batería puede almacenar. Las baterías LiPo de 3.7V a 4.2V tienen una amplia gama de capacidades, desde unos pocos cientos de mAh hasta varios miles de mAh.
- La tasa de descarga se refiere a la velocidad a la que la batería puede suministrar energía. Las baterías LiPo de 3.7V a 4.2V tienen diferentes tasas de descarga, y es

importante elegir una batería que tenga una tasa de descarga adecuada para las necesidades de su proyecto.

- Las baterías LiPo tienen una cantidad limitada de ciclos de carga, que es el número de veces que la batería se puede cargar y descargar completamente antes de que comience a perder capacidad. La cantidad de ciclos de carga puede variar dependiendo de la calidad de la batería y el cuidado que se le dé.
- Las baterías LiPo deben tratarse con cuidado y seguir las instrucciones del fabricante para evitar riesgos de seguridad, como sobrecalentamiento, explosiones o incendios. Es importante utilizar cargadores y accesorios adecuados para garantizar la seguridad de la batería y de los dispositivos electrónicos.

### ***3.3.2. Requerimientos de software***

Después de elegir el hardware adecuado para el proyecto, el siguiente paso es seleccionar las opciones de software y las plataformas que permitirán el desarrollo óptimo del sistema. Esto es crucial para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y cumpla con los objetivos establecidos.

#### ***3.3.2.1. Software para la programación de la placa de procesamiento***

Para seleccionar el software con el que se programará la placa de procesamiento se debe tener cuidado de varios factores. Aquí hay algunos requisitos clave que se deben considerar al seleccionar el software como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Selección de software para la programación de la placa de procesamiento*

<b>Selección de software para la programación de la placa de procesamiento</b>				
<b>Software</b>	<b>RArq</b>	<b>RArq</b>	<b>RArq</b>	<b>Val.</b>

	6	7	10	
Arduino IDE	SI	SI	SI	3
PlatformIO	SI	SI	NO	2
Micropython	SI	SI	NO	2

El software que se seleccionó es Arduino el cual es una plataforma de prototipado electrónico basada en hardware y software libre que permite crear proyectos electrónicos de manera fácil y accesible ya que se cuenta con un conocimiento previo de esta herramienta que une conocimientos de electrónica o programación. IDE de Arduino es un software que proporciona una interfaz gráfica para programar la placa, en donde se procede a programar los códigos necesarios para la obtención de los datos de GPS y los datos de la frecuencia cardiaca.

El lenguaje de programación de Arduino se basa en C++, pero incluye una serie de bibliotecas predefinidas que simplifican el proceso de programación. Estas bibliotecas proporcionan funciones para interactuar con el sensor de frecuencia cardiaca y el GPS. Además, la programación en Arduino IDE es popular para programar microcontroladores como los de la familia ESP32 y ofrece una amplia variedad de bibliotecas y ejemplos de código para facilitar la programación

### 3.3.2.2. *Base de datos*

La selección de una base de datos adecuada para un proyecto es una tarea importante y puede ser vital para el correcto funcionamiento del proyecto. La elección de una base de datos inadecuada puede dar lugar a problemas de rendimiento, escalabilidad, seguridad y mantenimiento, entre otros. Estos criterios se pueden observar en Tabla 12.

**Tabla 12**  
*Selección de la base de datos*

---

**Selección de la base de datos**

---

<b>Software</b>	<b>RArq 6</b>	<b>RArq 7</b>	<b>RArq 8</b>	<b>RArq 10</b>	<b>Val.</b>
MySQL	SI	SI	SI	NO	3
Oracle	SI	SI	SI	NO	3
Firebase	SI	SI	SI	SI	4
Microsoft SQL Server	SI	NO	SI	NO	2

Para el caso de este proyecto se seleccionó la plataforma Firebase de Google ya que se busca el desarrollo de una aplicación móvil y para esto Firebase puede ser una opción más fácil de usar debido a la integración directa con Android Studio y la documentación detallada que existe en la web. Firebase que es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles y web que ofrece servicios en la nube para desarrolladores, como almacenamiento de datos en tiempo real, autenticación de usuarios, análisis, notificaciones y entre otros servicios más. Además, Firebase es propiedad de Google y se integra fácilmente con las herramientas de desarrollo de Google, como Android Studio que es la que se utilizará para el desarrollo de la aplicación móvil.

### ***3.3.2.3. Entorno de desarrollo de aplicación móvil***

Para seleccionar el entorno de desarrollo para aplicaciones móviles, se pueden considerar los siguientes criterios que se muestran en la Tabla 13. Uno de los criterios más importantes a tener en cuenta es que el entorno de desarrollo sea compatible con la plataforma móvil que se va a trabajar en este proyecto las cuales son Android y iOS.

**Tabla 13**

*Selección del entorno de desarrollo de aplicación móvil*

<b>Selección del entorno de desarrollo de aplicación móvil</b>					
<b>Software</b>	<b>RArq 7</b>	<b>RArq 8</b>	<b>RArq 9</b>	<b>RArq 10</b>	<b>Val.</b>
Android Studio	SI	SI	SI	SI	4

Xcode	SI	SI	NO	SI	3
Visual Studio	SI	SI	SI	NO	3
React Native	NO	SI	SI	NO	3

Se seleccionó la plataforma Android Studio ya que cumple con todos los requerimientos y además es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para desarrollar aplicaciones para dispositivos Android. Es desarrollado por Google y está basado en el popular software de desarrollo IntelliJ IDEA. Además, proporciona complementos, un área de trabajo y un simulador de teléfonos móviles que simplifican el proceso de desarrollo de aplicaciones móviles para Android.

Algunas de las características más sobresalientes de Android Studio son:

- Android Studio incluye un editor de código inteligente con soporte para completado automático, refactoring de código, navegación de código, y mucho más.
- Android Studio incluye un emulador de Android integrado que permite probar aplicaciones sin necesidad de un dispositivo físico.
- Android Studio permite publicar aplicaciones directamente en Google Play, la tienda de aplicaciones de Android.
- Android Studio ofrece herramientas avanzadas de depuración que permiten detectar y solucionar errores en tiempo de ejecución.
- Android Studio permite desarrollar aplicaciones para una amplia variedad de dispositivos Android, con soporte para múltiples idiomas y pantallas.

#### ***3.3.2.4. Flutter***

Flutter es un kit de desarrollo de software (SDK) de código abierto creado por Google que se utiliza para desarrollar aplicaciones móviles para Android, iOS, Linux, Mac, Windows y la web. Flutter utiliza un lenguaje de programación llamado Dart, que es también desarrollado por Google. Este SDK se utiliza en el proyecto ya que este tiene como finalidad ser implementado tanto en sistemas Android como en sistemas iOS.

Para utilizar Flutter en Android Studio, es necesario instalar el complemento de Flutter y el SDK de Flutter en el equipo. Flutter es compatible con Android Studio y se puede utilizar como un complemento para desarrollar aplicaciones móviles para Android y iOS.

La interfaz de Android Studio para proyectos de Flutter es muy similar a la interfaz para proyectos de Android nativos, y los desarrolladores pueden utilizar las herramientas y características de Android Studio para desarrollar y depurar aplicaciones de Flutter. Además, se puede utilizar el emulador de Android Studio o un dispositivo físico para probar sus aplicaciones de Flutter en tiempo real.

#### ***3.3.2.5. Dart***

Dart es un lenguaje de programación orientado a objetos con sintaxis similar a la de otros lenguajes populares, como Java, C++ y JavaScript. Sin embargo, Dart también incluye características modernas de programación, como la tipificación opcional, la inferencia de tipos y la recolección de basura.

Dart se utiliza principalmente en el desarrollo de aplicaciones con Flutter, el SDK de Google para la creación de aplicaciones móviles para Android, iOS y otras plataformas. Flutter utiliza Dart como su lenguaje de programación principal, lo que permite crear la aplicación

móvil para el proyecto de alta calidad y una interfaz de usuario consistente en todas las plataformas.

### ***3.3.2.6. Mapa para la aplicación móvil***

La elección del mejor servicio de mapas para la aplicación móvil depende de varios requisitos específicos como los que se muestran en la Tabla 14, donde se busca una opción bien documentada para la integración de mapas en la aplicación móvil de monitoreo.

**Tabla 14**  
*Selección de los Mapas para la aplicación móvil*

<b>Selección de los Mapas para la aplicación móvil</b>					
<b>Software</b>	<b>RArq 7</b>	<b>RArq 8</b>	<b>RArq 9</b>	<b>RArq 10</b>	<b>Val.</b>
Google Maps Platform	SI	SI	SI	SI	4
Mapbox	SI	SI	SI	NO	3
OpenStreetMap	SI	SI	SI	NO	3

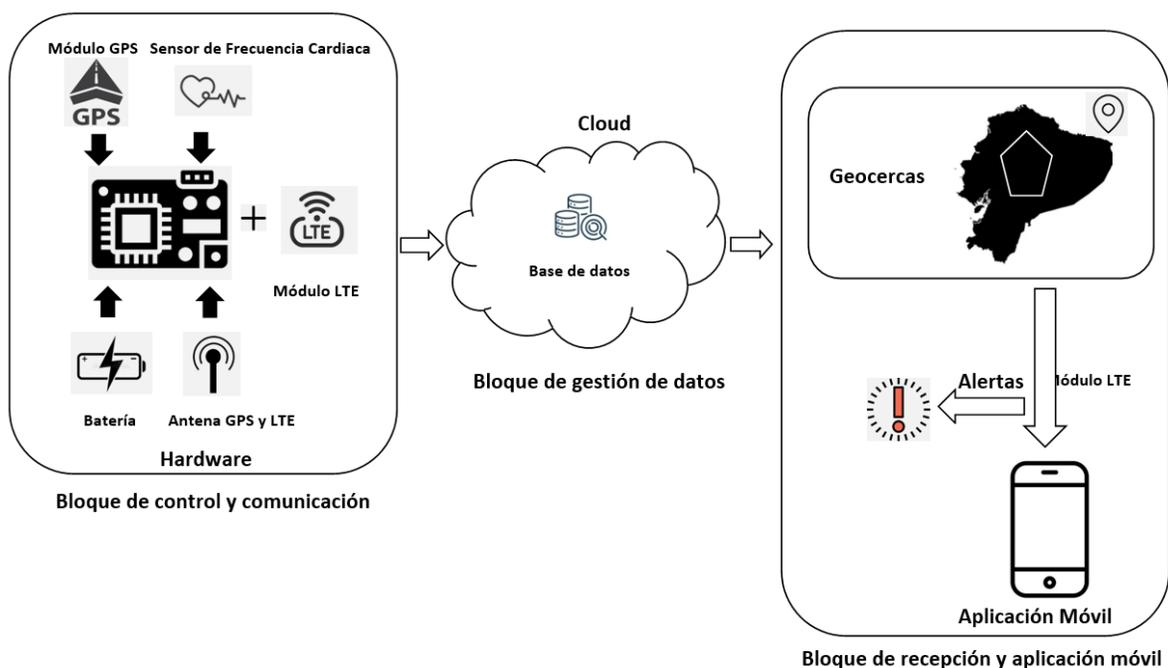
El servicio de mapas que se seleccionó es el de Google Maps Platform con su API de que tiene una interfaz de programación de aplicaciones proporcionada por Google que nos permitirá integrar los mapas y servicios de ubicación en la aplicación móvil. La API de Google Maps proporciona una amplia gama de funciones, como la visualización de mapas, la búsqueda de direcciones, la navegación, la ubicación de lugares de interés y mucho más. En la Figura 18 se puede observar el logo de la API de Google Maps.

Para utilizar esta API de Google Maps después de algunas configuraciones previas se debe adquirir la clave de API para utilizarla en la aplicación que se desarrollará en Android Studio.

### 3.4. Diseño general del sistema

Para el diseño del sistema como se observa en la Figura 13 se representan las conexiones entre el hardware y software en donde se tiene tres bloques. El primer bloque es el de control y comunicación que consiste en un sensor de frecuencia cardíaca y un módulo GPS que recopilan datos de personas mayores. Además, en este bloque está el microcontrolador programado para recibir y transmitir información generada por el sensor de frecuencia cardíaca y el módulo GPS. Y por último en este bloque se transmite la información generada a través de un módulo inalámbrico LTE. El segundo bloque es el de gestión de datos el cual es el que recibe y almacena datos para su posterior procesamiento. El tercer y último bloque involucra el procesamiento de datos a través de una aplicación para definir un perímetro fronterizo virtual utilizando mapas de Google, que se puede ver y monitorear a través de una aplicación móvil.

**Figura 13**  
*Esquema general del sistema*



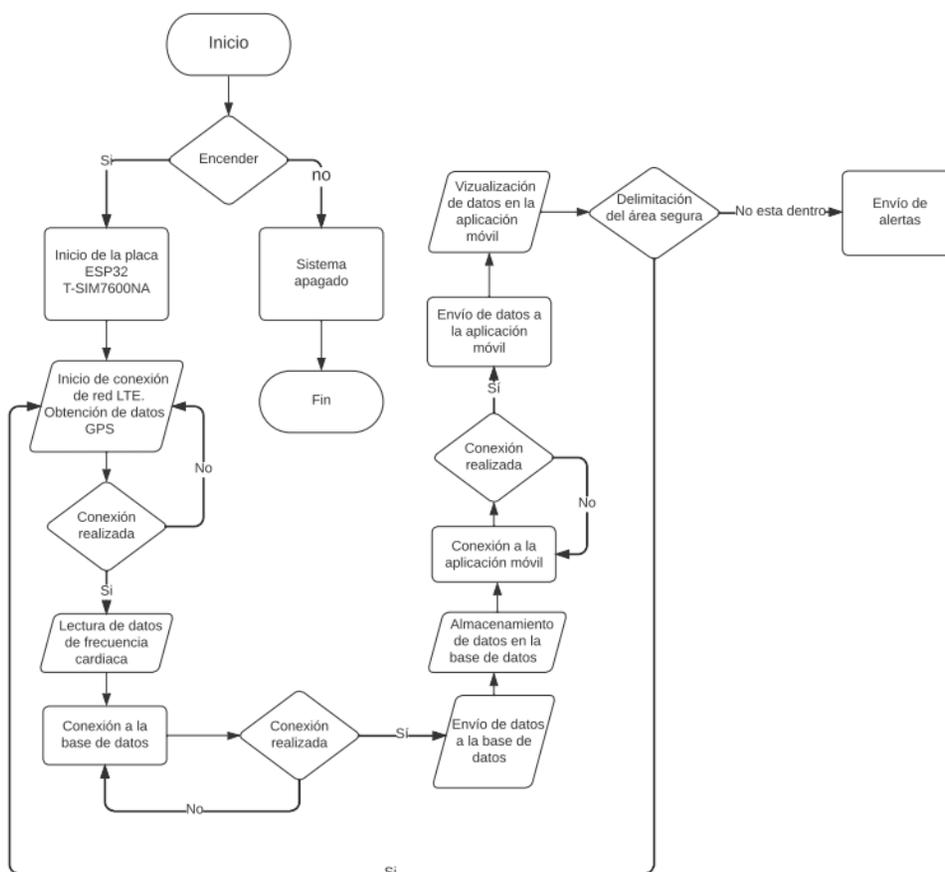
### 3.5. Diagrama de flujo del sistema

Para iniciar el funcionamiento del sistema de geocalización y frecuencia cardiaca, para la supervisión dentro de un perímetro virtual de personas de la tercera edad por medio de una aplicación móvil se tiene el diagrama de flujo donde en la Figura 15 donde se explica detalladamente el proceso para el funcionamiento del sistema el cual comienza al encender el dispositivo físico por medio de un botón, el cual brinda energía tanto a la placa de procesamiento ESP32 T-SIM7600NA en el cual ya están incorporados el GPS y la transmisión por LTE por medio de la tarjeta SIM como al sensor de frecuencia cardiaca MAX30102.

Una vez encendido el dispositivo se procede a realizar la conexión con la red celular de CNT y a obtener los datos del posicionamiento del adulto mayor tanto de longitud como de latitud. Luego de comprobar que se encuentra conectado a la red celular se procede a la recolección de los datos de la frecuencia cardiaca del usuario. Ya obtenidos todos los datos necesarios se procede a realizar la conexión con la base de datos donde estos se almacenarán para luego ser enviados a la aplicación móvil por medio de la conexión entre estos por medio de una API de Google.

En la aplicación podemos observar los datos obtenidos y además podemos delimitar el área segura dentro del mapa de Google el cual comprueba si dicho adulto está dentro de la zona segura o no, en el caso de que no esté dentro de la zona segura se realiza una notificación inmediata de que el adulto no se encuentra en la zona delimitada.

**Figura 14**  
*Flujograma del sistema*



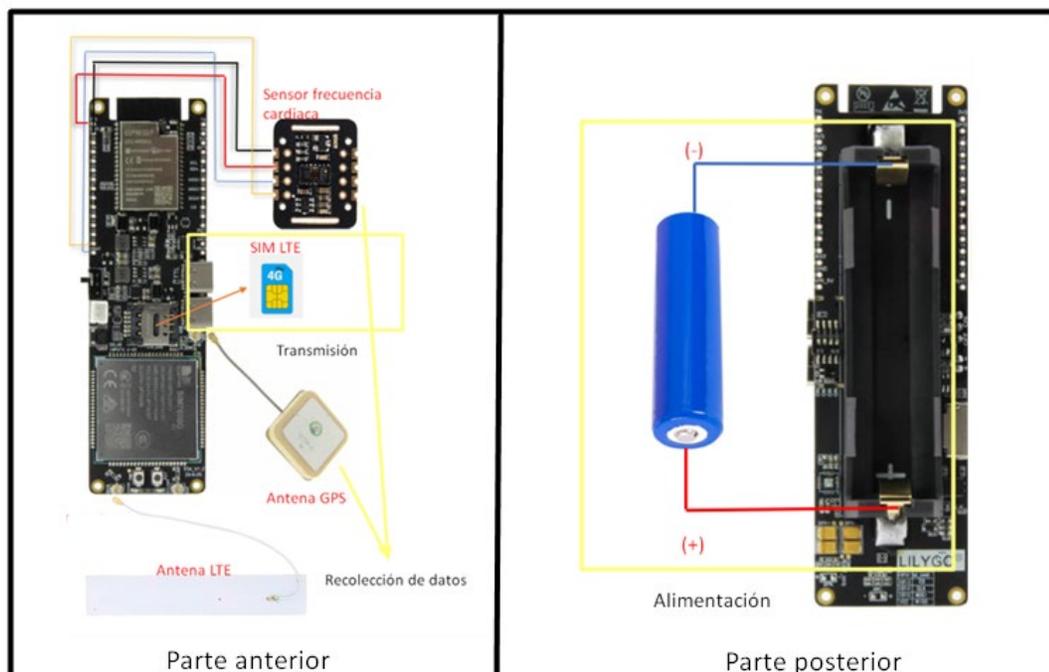
### 3.6. Desarrollo y codificación de los bloques del sistema

Los bloques en los que se dividió el sistema representan las diferentes funcionalidades y componentes de este, que deben ser diseñados, implementados y programados con precisión. El proceso de desarrollo implica comprender los requisitos del sistema, diseñar una arquitectura sólida y escribir el código necesario para cada bloque. La codificación, por su parte, implica traducir el diseño en instrucciones y algoritmos comprensibles por la máquina. Juntos, el desarrollo y la codificación de los bloques del sistema son fundamentales para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable del proyecto.

### 3.6.1. Bloque de control y comunicación

Para el bloque de control y comunicación como se muestra en la Figura 14 tenemos las conexiones electrónicas del sistema de geolocalización y frecuencia cardiaca para personas de la tercera edad, incluyendo detalles de los elementos utilizados y cómo están interconectados.

**Figura 15**  
*Esquema del prototipo*



Para las conexiones electrónicas del sistema de geolocalización y frecuencia cardiaca para personas de la tercera edad que consta de la placa de procesamiento la cual tiene varias etapas las cuales son: la fase de alimentación, la fase de recolección de datos y la fase de transmisión. En la fase de alimentación tenemos la batería LiPo de 3.7V a 4.2V que se coloca en el socket que viene por defecto en la placa ESP32 T-SIM7600NA, para la fase de recolección de datos tenemos la antena GPS que está conectado al conector de antena GPS que tiene la placa de procesamiento, además, para esta fase se tiene el sensor MAX30102 que se conecta a los pines SDA, SCL, GND y 3V3 respectivamente como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15**  
*Conexiones de componentes*

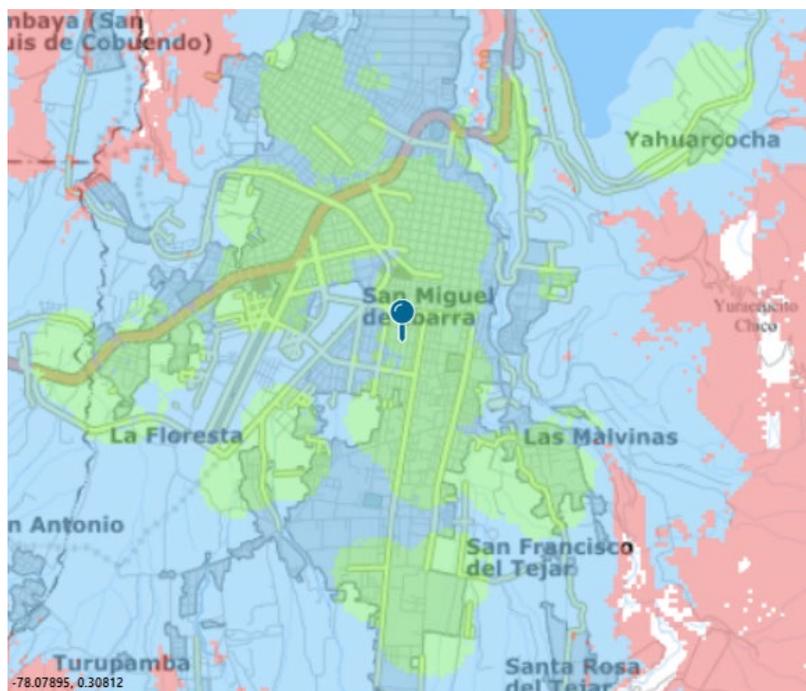
<b>Componentes</b>	<b>Sensor de frecuencia cardiaca MAX30102</b>	<b>Microcontrolador ESP32 T- SIM7600NA</b>
<b>PINES/Conectores</b>	SDA	SDA/PIN21
	SCL	SCL/PIN22
	GND	GND
	3V3	3V3

Para la fase de transmisión se tiene el chip LTE que se coloca en la ranura para Nano SIM card y también se tiene la antena LTE que se coloca en el conector de antena LTE de la placa la cual envía los datos obtenidos a la operadora móvil seleccionada para el proyecto que en este caso es CNT.

Como se puede observar en la Figura 16 la cobertura del operador móvil CNT dentro de la ciudad de Ibarra es muy buena y se puede apreciar con el color verde que es una cobertura con niveles iguales o mayores a 100 dBm y esto significa un nivel de señal alto en gran parte de la ciudad.

**Figura 16**

*Mapa de Cobertura 4G empresa CNT en la ciudad de Ibarra*



Fuente: (Sitio web CNT)

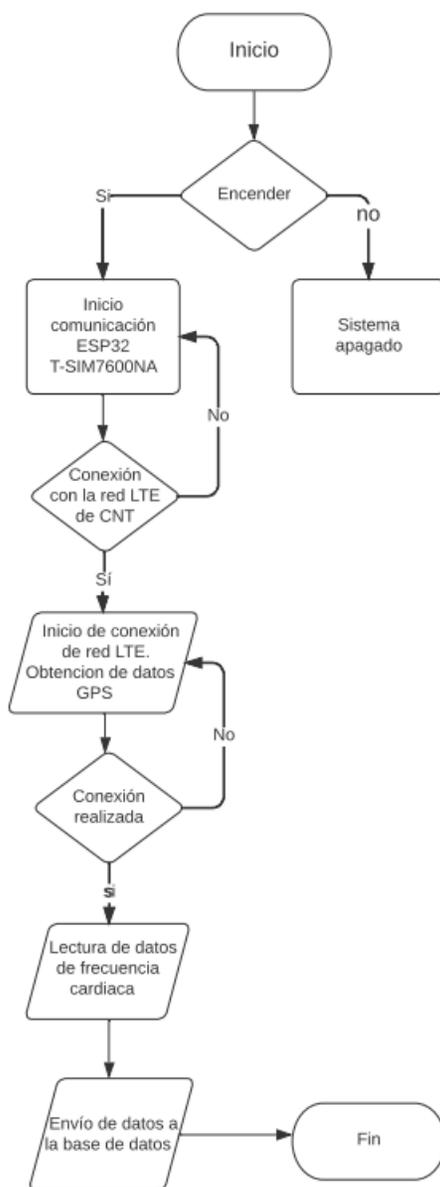
### ***3.6.1.1. Desarrollo del código del bloque de control y comunicación***

El desarrollo del código de recolección y transmisión de datos es un proceso fundamental para el proyecto el cual requiere la captura de información de sensores y la transmisión de esos datos a través de una red LTE, dicho código se puede apreciar en el Anexo D. En este caso, se utiliza la aplicación Arduino IDE, que es una herramienta popular y ampliamente utilizada en la comunidad de Arduino.

El objetivo del código desarrollado en Arduino IDE es capturar los datos del sensor MAX30102 y transmitirlos a través de la placa ESP32 T-SIM7600NA. Esto implica la configuración y la inicialización adecuada de ambos componentes, así como la implementación de la lógica de lectura de datos del sensor y el envío de estos a través de la conectividad LTE proporcionada por la placa.

El código debe abordar aspectos como la configuración de los pines y la comunicación con el sensor, la implementación de algoritmos de procesamiento de los datos capturados, la preparación y el formato de los datos para su transmisión, y el uso de las capacidades de conectividad de la placa ESP32 T-SIM7600NA para enviar los datos a un servidor o plataforma remota como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 17.

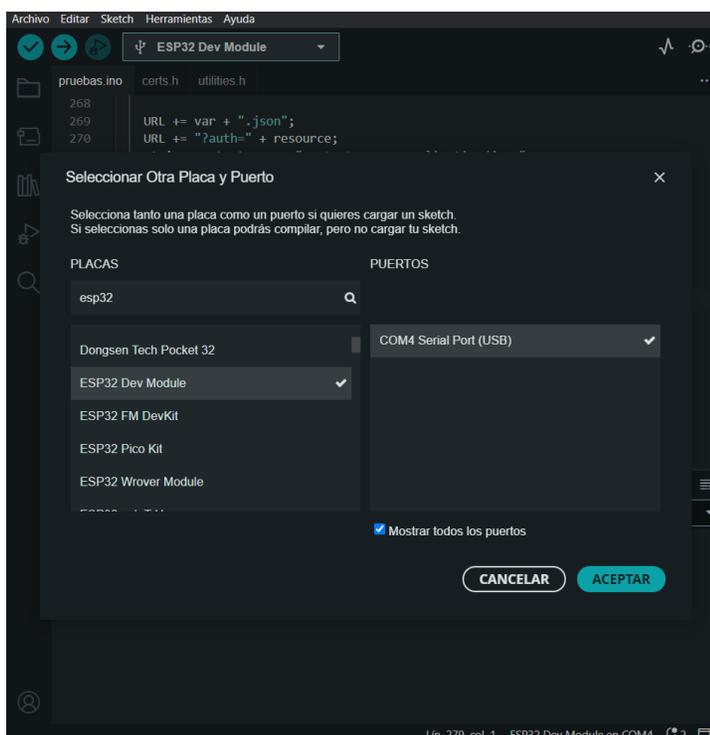
**Figura 17**  
*Diagrama de flujo del código de Arduino*



Una vez se desarrollado el diagrama de flujo del bloque de control y comunicación, el siguiente paso es configurar el entorno de Arduino IDE para poder programar la placa ESP32 T-SIM7600NA. Esto implica seleccionar la opción adecuada para la placa y establecer el puerto de comunicación correspondiente. Dentro de Arduino IDE se debe seleccionar la opción de la placa, en donde se busca y selecciona la opción "ESP32 Dev Module".

Luego, se debe seleccionar el puerto de comunicación al que está conectada la placa ESP32 T-SIM7600NA como se puede observar en la Figura 18. Se puede identificar el puerto correcto mediante la lista de puertos disponibles. Hay que tener en cuenta que la selección del puerto correcto es muy importante para asegurar que la comunicación entre el Arduino IDE y la placa sea exitosa.

**Figura 18**  
*Selección de placa y puerto en Arduino IDE*



Una vez defina la placa y el puerto en Arduino IDE se procede a declarar las bibliotecas que se pueden observar cada una de ellas en la Tabla 16, estas son las que se van a utilizar en el

programa como son las correspondientes a el módulo ESP32 T-SIM7600NA que es la que permite implementar un cliente GSM para conectarse a una red celular, otra biblioteca es la que proporciona una interfaz para realizar solicitudes HTTP utilizando el cliente Ethernet o LTE, otra que permite la implementación de un cliente SSL para establecer conexiones seguras a través del protocolo HTTPS, además se tiene la biblioteca para controlar el sensor MAX30105 así como también las páginas adicionales de código que darán funciones de utilidad adicionales para el proyecto.

**Tabla 16**  
Bibliotecas utilizadas en el proyecto

	<i>Biblioteca</i>	<i>Descripción</i>
1	TinyGsmClient.h	Implementación de un cliente GSM para conectarse a una red celular
2	ArduinoHttpClient.h	Proporciona una interfaz para realizar solicitudes HTTP utilizando el cliente Ethernet o LTE
3	SSLClient.h	Implementación de un cliente SSL para establecer conexiones seguras a través del protocolo HTTPS
4	utilities.h	Funciones de utilidad adicionales para el proyecto
5	certs.h	Certificados o claves necesarios para establecer conexiones seguras SSL/TLS
6	Wire.h	Proporciona funciones para la comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) entre dispositivos
7	MAX30105.h	Biblioteca para controlar el sensor MAX30105
8	heartRate.h	Contiene funciones y algoritmos para calcular la frecuencia cardíaca

Para la implementación de este código, se emplearon tres páginas, siendo la primera considerada como la página principal, mientras que las restantes cumplen la función de páginas adicionales destinadas a complementar y facilitar el funcionamiento del código principal. En la

primera página adicional se definen las constantes para configurar pines y parámetros de tiempo en un proyecto de ESP32, como el factor de conversión de microsegundos a segundos, el tiempo de sueño del ESP32, la velocidad de comunicación UART, los números de pin para el módulo de comunicación, la tarjeta SD y el LED como se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17**  
Declaración de pines y parámetro

<b>Nº</b>	<b>Nombre del PIN</b>	<b>Nombre descriptivo</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	uS_TO_S_FACTOR	1000000ULL	Factor de conversión de microsegundos a segundos
<b>2</b>	TIME_TO_SLEEP	30	Tiempo en que ESP32 se irá a dormir (en segundos)
<b>3</b>	UART_BAUD	115200	Representa la velocidad de transmisión en baudios para la comunicación UART
<b>4</b>	MODEM_TX	27	Representan los pines utilizados para la comunicación de transmisión (TX)
<b>5</b>	MODEM_RX	26	Representan los pines utilizados para la comunicación de recepción (RX)
<b>6</b>	MODEM_PWRKEY	4	Representa el pin utilizado para controlar el encendido/apagado del módem mediante la señal del pin de clave de encendido
<b>7</b>	MODEM_DTR	32	Representa el pin utilizado para el control de la señal DTR (Data Terminal Ready) del módem
<b>8</b>	MODEM_RI	33	Representa el pin utilizado para recibir la señal RI (Ring Indicator) del módem
<b>9</b>	MODEM_FLIGHT	25	Representa el pin utilizado para controlar el modo de vuelo del módem
<b>10</b>	MODEM_STATUS	34	Representa el pin utilizado para obtener información del estado del módem

---

<b>11</b>	IND_PIN	36	Representa el pin utilizado para recibir indicaciones o notificaciones del módem
<b>12</b>	SD_MISO	2	Representan los pines utilizados para la comunicación con una tarjeta SD
<b>13</b>	SD_MOSI	15	Representan los pines utilizados para la comunicación con una tarjeta SD
<b>14</b>	SD_SCLK	14	Representan los pines utilizados para la comunicación con una tarjeta SD
<b>15</b>	SD_CS	13	Representan los pines utilizados para la comunicación con una tarjeta SD
<b>16</b>	LED_PIN	12	Indica el número del pin del microcontrolador

---

Para la segunda página adicional se tiene a una cadena de caracteres que representa un certificado raíz en formato PEM que es un formato de codificación de certificados X.509 ampliamente utilizado en aplicaciones como seguridad de red y encriptación como se puede apreciar en la Figura 19. Este certificado raíz se utiliza para verificar la autenticidad del certificado SSL/TLS que se requiere ya que al utiliza Firebase en la aplicación se necesita autenticarse y comunicarse de forma segura con los servicios de Firebase de esta manera el certificado en Firebase se utiliza para establecer una conexión segura entre el dispositivo físico y los servicios de Firebase.

**Figura 19**  
*Certificado de conexión segura*

```

1  const char* test_root_ca= \
2  | "-----BEGIN CERTIFICATE-----\n" \
3  | "MIIFVzCCAz+gAwIBAgITMAGP1k28xsBNJiGuiFzANBgkqhkiG9w0BAQwFADBMQSw\n" \
4  | "CQYDVQGEwJWUzEIMCAGA1UEChMZR29vZ2x1IFRydXN0IFNlcnZpY2VzIExiMQZEU\n" \
5  | "MBIGA1UEAxMLR1RTIFJvb3QgUjEwHhcNMjYwNjIyMDAwMDAwMzYwNjIyMDAw\n" \
6  | "MDAwMjBhMQswCQYDVQGEwJWUzEIMCAGA1UEChMZR29vZ2x1IFRydXN0IFNlcnZp\n" \
7  | "Y2VzIExiMQZEUIMBGA1UEAxMLR1RTIFJvb3QgUjEwHhcNMjYwNjIyMDAwMDAw\n" \
8  | "A4ICDwAwggIKAoTCAQCEQKLHuoHd5s73L+UPreVp0A8of2C+X0yBoJx9vaMf/wo\n" \
9  | "27xqLpeXo4XL+sv2sfn0h82x+cwX3u+58qPpvBKJXeqUqv4IyflLpLgcY9vXmX7w\n" \
10 | "CL17rakb0xLpHDU0QM+N0sR0jyBhsS+z8CZDfnWQpJSMHobTSPS5g4M/SCYe7zUjw\n" \
11 | "TcLceoiKu7rPWRnir4+wB7CmFGCwDfLqZtbkOtdh+JhpFAz2weaSUKK0Pfybl\n" \
12 | "qAj+lug8aJRT7oM6icsV1gmy4HqMLNxnOunVmsP1k9orj2XwoSPwLXAwAtcvfah\n" \
13 | "szVsrBhQf4TgTM250yDPM7xSmaBytSmzJsq0SP1y4cpk9+aCEI3oncKKiPo4Zor8\n" \
14 | "Y/kB+Xj9e1x3+naH+uzFsQ551Ve0vSbv1gHR6xYKu44LtcXFilwr06zqkUspzBmk\n" \
15 | "MiVOKvFLRNACzqr0Sbtqn3yDsEB7500rp2Yj32JgPmpf/VjsPOS+C12L00rc92\n" \
16 | "w01AK/1TD7Cn1TsnSvqiA94xrcx36m97PtbfsIS5r762DL8EGMUUXLExdVwK70p\n" \
17 | "adPvOmsB4om3XPXV2V4J95eSRQAogB/mqghtqmx1bcUuQ0WEdrhBEg8Q0B+Dvrv\n" \
18 | "VjzRlWw5y0vt0UucxD/SVRNuJLDwcfr0wbrM7Rv1/ofB2ACYPTrInqYnxgFIQID\n" \
19 | "AQAB0IwQD0BgNVHQ8BAF8EBAMCAYYwDwYDR0TAQH/BAUwAwEB/zAdBgNVHQ4E\n" \
20 | "FgQU5K8rJnEak0gnhS9S7izv8IkTcT4wDQYJkoZlhvcNAQEMBOADggIBA+jqQibb\n" \
21 | "CSu+/x6Wki4+omVkap16ist9wtrYggoGxval3sB0h2Z5ofmmWJyq+bxmVOfg6L\n" \
22 | "QKEZcz9zo1wfcq1JkjpA7XSQCgyZyI0zvvFoTgxQ6Kff2I5DUkzps+G1Qebtu\n" \
23 | "hf88/qBVRriClmpIglUxPolW7EtXNLwzldMXG+gnoot7TiYae1pkttGsn/H9oPM4\n" \
24 | "7HLwEXWdyzRSjeZ2axfg34arJ45JK3VmgRAhpuo+9K41/3wV3s6MJT/KyNAK9y8J\n" \
25 | "ZgfIPxz88NtFMM9iMg1D53Dn0rewVlHxYcinuaCp+0KueIHoI17eko8cdLiA6E\n" \
26 | "MgfdG+RCzgwARWgAT0sg5l4vflVy2PFPEz0tv/ba18xa5melMFRUKTX5hgUWYU/\n" \
27 | "Z6tGn6D/Qqc6f1zLXbbBwHs09dR2CQzreExZBFmzQsllhFRAbd030TozUhfJfbd\n" \
28 | "6u9AwpQKXCBfTkBdyJ23//0yb2MI3jsNwLgt7REteJ9r/tsQdirpLsQ8qvFAnZ\n" \
29 | "0EGyove+7u7Y/9wal.d64NnHi/Hm3LCXRSNboTXns5LndcEZOitHTNCjv0xyBZm\n" \
30 | "2EIMPNuzjsmhDYAPexZ3FL//2wmlsp08IFgV6dtxQ/PeEMMA3Kgg1bbC1j+Qa3bb\n" \
31 | "bp6MvPjWQzcmRk13NfIRMPVlnGuV/u3gm3c\n" \
32 | "-----END CERTIFICATE-----\n";

```

Para el desarrollo del código necesario para la obtención de datos en el dispositivo móvil, existen tres funciones fundamentales que resultan indispensables. Estas funciones se encargan de diferentes tareas relacionadas con la conexión a la red móvil LTE, la recolección de la posición geográfica, la obtención de la frecuencia cardiaca del adulto mayor y la transmisión de datos a la base de datos.

- La **primera función** es la encargada de establecer y gestionar la conexión a la red móvil LTE de CNT. Esto implica el manejo de los protocolos de comunicación necesarios para establecer una conexión estable y confiable con la red. Esta función utiliza las siguientes librerías:
  - TinyGsmClient.h: Implementación de un cliente GSM para conectarse a una red celular.
  - ArduinoHttpClient.h: Proporciona una interfaz para realizar solicitudes HTTP utilizando el cliente Ethernet o LTE.

También para utilizar esta función se debe colocar las credenciales para la conexión con la red móvil LTE del operador CNT como se puede observar en la Figura 20.

### Figura 20

*Credenciales de la red móvil CNT*

```

15 // Credenciales GPRS
16 const char apn[] = "internet.cnt.net.ec"; // Operador APN
17 const char gprsUser[] = "";
18 const char gprsPass[] = "";
19

```

A continuación, se describe el código para la conexión a la red como se observa en la Figura 21.

### Figura 21

*Función de conexión LTE con la red móvil de CNT*

```

163 #if TINY_GSM_TEST_GPRS
164     String ret;
165     do {
166         ret = modem.setNetworkMode(38);
167     } while (!ret);
168
169     String name = modem.getModemName();
170     DBG("Modem Name:", name);
171
172     String modemInfo = modem.getModemInfo();
173     DBG("Modem Info:", modemInfo);
174
175     // Unlock your SIM card with a PIN if needed
176     if (GSM_PIN && modem.getSimStatus() != 3) {
177         modem.simUnlock(GSM_PIN);
178     }
179
180     DBG("Waiting for network..");
181     if (!modem.waitForNetwork(600000L)) {
182         light_sleep(10);
183         return;
184     }
185
186     if (modem.isNetworkConnected()) {
187         DBG("Network connected");
188     }
189 #endif

```

En la primera parte se procede a establecer el modo de red del microcontrolador en 38. El valor 38 representar un modo de red específico dependiendo de la implementación de la

biblioteca TinyGSM o el módem que se está utilizando. Los modos que se puede utilizar en este microcontrolador son:

- 2 – Automático
- 13 – Solo GSM
- 14 – Solo WCDMA
- 38 – Solo LTE
- 59 – Solo TDS-CDMA
- 9 – Solo CDMA
- 10 – Solo EVDO
- 19 – Solo GSM+WCDMA
- 22 – Solo CDMA+EVDO
- 48 – Cualquiera menos LTE
- 60 – Solo GSM+TDSCDMA
- 63 – Solo GSM+WCDMA+TDSCDMA
- 67 – Solo CDMA+EVDO+GSM+WCDMA+TDSCDMA
- 39 – Solo GSM+WCDMA+LTE
- 51 – Solo GSM+LTE
- 54 – Solo WCDMA+LTE

Se seleccionó el modo 38 ya que es el modo LTE y es el modo que se está buscando para la transmisión de datos, aunque también se puede seleccionar el modo 54 que es el modo WCDMA+LTE (WCDMA también conocida como 3G) en el cual además de utilizar LTE se puede tener soporte de la tecnología 3G para obtener una cobertura más amplia,

ya que es más probable que se encuentre cobertura 3G en áreas donde la cobertura 4G no esté disponible o sea débil.

La segunda parte del código sirve para la obtención de información del módulo LTE como se observa en la Figura 22, este comienza imprimiendo un mensaje de depuración que indica que se está intentando establecer la conexión con la red GPRS. Luego, se verifica si la conexión se estableció correctamente. Si la conexión falla, el programa espera durante 10 segundos y sale de la función actual, luego de esto se verifica el estado de la conexión GPRS y se muestra un mensaje de depuración indicando si la conexión está o no establecida.

### Figura 22

Obtención de información del módulo LTE

```

191 #if TINY_GSM_TEST_GPRS
192   DBG("Connecting to", apn);
193   if (!modem.gprsConnect(apn, gprsUser, gprsPass)) {
194     light_sleep(10);
195     return;
196   }
197
198   res = modem.isGprsConnected();
199   DBG("GPRS status:", res ? "connected" : "not connected");
200
201   String ccid = modem.getSimCCID();
202   DBG("CCID:", ccid);
203
204   String imei = modem.getIMEI();
205   DBG("IMEI:", imei);
206
207   String imsi = modem.getIMSI();
208   DBG("IMSI:", imsi);
209
210   String cop = modem.getOperator();
211   DBG("Operator:", cop);
212
213   modem.sendAT(GF("+CNSMOD?"));
214   if (modem.waitResponse(GF(GSM_NL "+CNSMOD:")) != 1) {}
215   int nmodec = modem.stream.readStringUntil(',')>.toInt() != 0;
216   int nmode = modem.stream.readStringUntil('\n')>.toInt();
217   modem.waitResponse();
218   DBG("Network Mode:", nmode);
219
220   IPAddress local = modem.localIP();
221   DBG("Local IP:", local);

```

El código continúa obteniendo información específica del módulo GSM. Se obtiene el número de identificación del circuito integrado (CCID) utilizando la función

getSimCCID()). Luego, se obtiene el número de identificación de equipo móvil internacional (IMEI) con la función getIMEI(), el número de identificación de suscriptor móvil internacional (IMSI) con la función getIMSI() y el operador de red actual utilizando la función getOperator(). Todos estos valores se imprimen como mensajes de consola.

A continuación, se envía un comando AT específico (+CNSMOD?) al módulo GSM utilizando la función sendAT(). Se espera una respuesta específica (+CNSMOD:) utilizando la función waitResponse(), y se procesa la respuesta para obtener dos valores: nmodec y nmode. Estos valores se imprimen como mensajes de consola y representan el modo de red actual. Posteriormente, se obtiene la dirección IP local del dispositivo utilizando la función localIP() y se muestra como mensaje de consola. Finalmente, se obtiene la calidad de señal utilizando la función getSignalQuality() y se muestra como mensaje de consola.

- La **segunda función** se dedica a la recolección de la posición geográfica del dispositivo como se puede observar en la Figura 23. Esto implica utilizar el sensor GPS para determinar la latitud y longitud del usuario en un momento dado. Esta función utiliza la inicialización del módulo ESP32 T-SIM7600NA ya que el GPS está incluido en el mismo módulo. Para utilizar esta función se llama a la función enableGPS() para habilitar el módulo GPS/GNSS/GLONASS del dispositivo.

A continuación, se inicia un bucle infinito en donde, se alterna el estado de un pin de LED utilizando las funciones digitalRead() y digitalWrite(). Esto es útil para indicar visualmente que se está realizando una solicitud de ubicación.

Dentro del bucle, se verifica si se puede obtener la ubicación GPS/GNSS/GLONASS actual utilizando la función `getGPS()`. Si se obtiene con éxito, los valores de latitud y longitud se asignan a las variables `lat2` y `lon2`, respectivamente. A continuación, se muestra un mensaje de en consola que indica la latitud y longitud obtenidas. Después de imprimir la ubicación, el bucle se interrumpe utilizando la instrucción `break`, lo que significa que solo se solicitará una vez la ubicación GPS/GNSS/GLONASS y luego se saldrá del bucle.

### Figura 23

*Función para la recolección de la ubicación GPS*

```

247     modem.enableGPS();
248
249     float lat2 =0;
250     float lon2 =0;
251
252     DBG("Requesting current GPS/GNSS/GLONASS location");
253     for (;;) {
254         digitalWrite(LED_PIN, !digitalRead(LED_PIN));
255         if (modem.getGPS(&lat2, &lon2)) {
256             Serial.println(lat2);
257             Serial.println(lon2);
258             DBG("Latitude:", String(lat2 * -1, 8), "\tLongitude:", String(lon2, 8));
259         }
260         break;
261     }

```

➤ La **tercera función** es responsable de la recolección de la frecuencia cardiaca del adulto mayor. Para esto se utilizan las siguientes librerías:

- `Wire.h`: Proporciona funciones para la comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) entre dispositivos
- `MAX30105.h`: Biblioteca para controlar el sensor MAX30105
- `heartRate.h`: Contiene funciones y algoritmos para calcular la frecuencia cardíaca

Para realizar este código se verifica si se detecta un latido cardiaco utilizando la función `checkForBeat()`, si se detecta un latido, se procede a calcular la frecuencia cardiaca.

La frecuencia cardiaca se calcula dividiendo 60 por el tiempo transcurrido en segundos entre los latidos. El resultado se asigna a la variable `beatsPerMinute`. A continuación, se verifica si la frecuencia cardiaca calculada está dentro de un rango válido (entre 20 y 255). Si cumple con esta condición. Finalmente se devuelve el valor `beatAvg` que es promedio de la frecuencia cardiaca calculada todo esto se puede observar en la Figura 24.

### Figura 24

*Función para la recolección de la frecuencia cardiaca*

```
String frec()
{
    long irValue = particleSensor.getIR();
    if (checkForBeat(irValue) == true)
    {
        long delta = millis() - lastBeat;
        lastBeat = millis();

        beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);

        if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20)
        {
            rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute; //Store this reading in the array
            rateSpot %= RATE_SIZE; //Wrap variable

            //Take average of readings
            beatAvg = 0;
            for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
                beatAvg += rates[x];
            beatAvg /= RATE_SIZE;
            //if(beatAvg == 0){a=0;}
            Serial.print("IR=");
            Serial.print(irValue);
            Serial.print(", BPM=");
            Serial.print(beatsPerMinute);
            Serial.print(", Avg BPM=");
            Serial.print(beatAvg);
            Serial.println();
        }
    }
    String frecc = String(beatAvg);

    return frecc;
}
```

➤ La **cuarta función** es la que permite enviar los datos tomados anteriormente y enviarlos a la base de datos de Firebase. Para esto se utiliza la librería:

- `SSLClient.h`: Implementación de un cliente SSL para establecer conexiones seguras a través del protocolo HTTPS.

Para realizar esta función se empieza con un mensaje de depuración que indica que se está intentando establecer la conexión con el servidor. Luego, este código realiza una

solicitud HTTPS POST al servidor, esto se lo realiza por medio del certificado que se puede observar en la Figura 21 que es el que permite que la solicitud pase de HTTP a HTTPS. A continuación, se envía un cuerpo de solicitud en formato JSON que contiene las variables lat2, lon2 y frecuencia que son los datos de latitud, longitud y frecuencia cardiaca respectivamente. Luego, se obtiene el código de estado y la respuesta del servidor y se imprimen en la consola como se puede apreciar en la Figura 25.

### Figura 25

*Función para la conexión con la base de datos de Firebase*

```

DBG("Connecting to ", server);
// Make a HTTPS POST request:
Serial.println("Making POST request securely");
String URL;
if (var[0] != '/') {
  URL = "/";
}

URL += var + ".json";
URL += "?auth=" + resource;
String contentType = "Content-Type: application/json";
String lat = String(lat2*-1,8);
String lon = String(lon2,8);
String postData = "{";
postData += "\"lat\":" + lat + ",";
postData += "\"lng\":" + lon + ",";
postData += "\"frec\":" + frecuencia + """;
postData += "}";

client.put(URL, contentType, postData);
int status_code = client.responseStatusCode();
String response = client.responseBody();
Serial.print("Status code: ");
Serial.println(status_code);
Serial.print("Response: ");
Serial.println(response);

```

#### 3.6.1.2. Diseño de la carcasa para el dispositivo de geolocalización y frecuencia

##### *cardiaca*

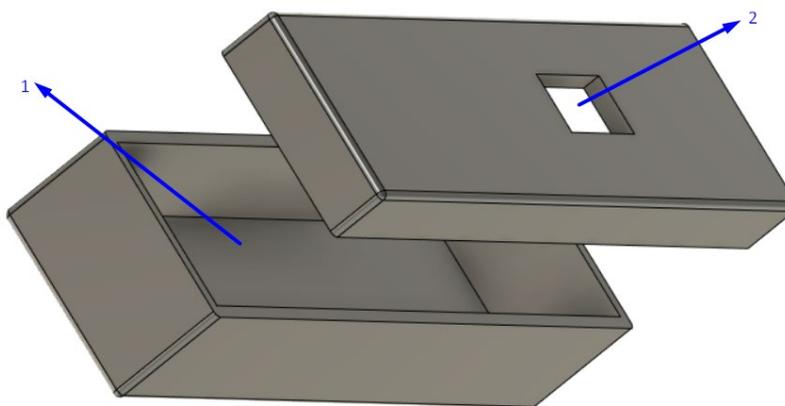
El diseño de la carcasa para el dispositivo de geolocalización y frecuencia cardiaca es un elemento crucial en el desarrollo del sistema en general. La carcasa no solo cumple una función estética, sino que también desempeña un papel fundamental en la protección y seguridad del dispositivo, así como en la comodidad y usabilidad para el usuario.

El diseño de la carcasa debe garantizar la protección del dispositivo contra diversos factores externos, como impactos, caídas, vibraciones, polvo, humedad y condiciones climáticas adversas. Para lograrlo, se deben seleccionar materiales resistentes y duraderos que brinden un nivel adecuado de protección como el plástico de ingeniería.

Para el diseño de la carcasa se seleccionó el programa Autodesk Fusion 360 que es una herramienta versátil y potente para el diseño de la carcasa en 3D del dispositivo de geolocalización y frecuencia cardíaca en plástico de ingeniería como se muestra en la Figura 26.

**Figura 26**

*Carcasa del dispositivo de geolocalización y frecuencia cardíaca*

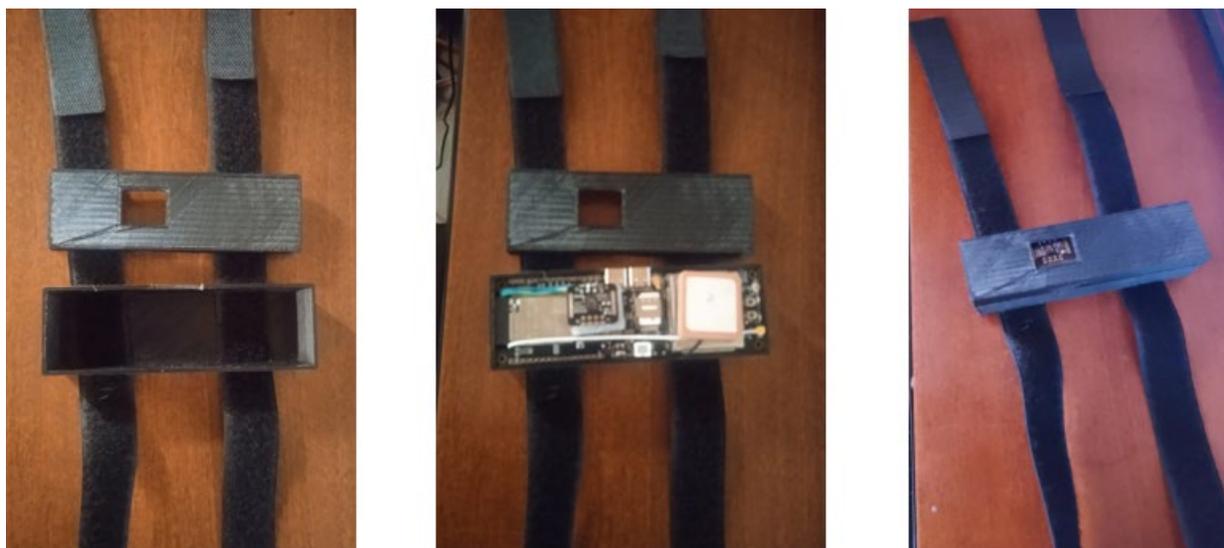


Para el desarrollo de la carcasa para el dispositivo de geolocalización y frecuencia cardíaca se diseñó una caja simple que contenga todos los componentes que son necesarios para la recolección y transmisión de datos. En la parte un se colocan el módulo ESP32 T-SIM7600NA, las antenas LTE y GPS, así como también la fuente de alimentación. En la parte numero dos se tiene un orificio en el cual se coloca el sensor MAX30105 de frecuencia cardíaca que requiere estar en contacto con el adulto mayor.

Una vez completado el diseño del hardware del dispositivo, se procede a realizar su ensamblaje de acuerdo con las especificaciones establecidas. La Figura 27 muestra el dispositivo en su forma final, con la carcasa y todos los componentes ensamblados, listo para ser sometido a las pruebas necesarias. Este proceso de armado garantiza la integridad y funcionalidad del dispositivo, preparándolo para las etapas posteriores de validación y evaluación. La cuidadosa ejecución del armado asegura que el dispositivo esté listo para cumplir con su propósito de monitoreo y supervisión de personas de la tercera edad, proporcionando una solución confiable y efectiva en el contexto de atención y cuidado de esta población.

**Figura 27**

*Armado del hardware del dispositivo*



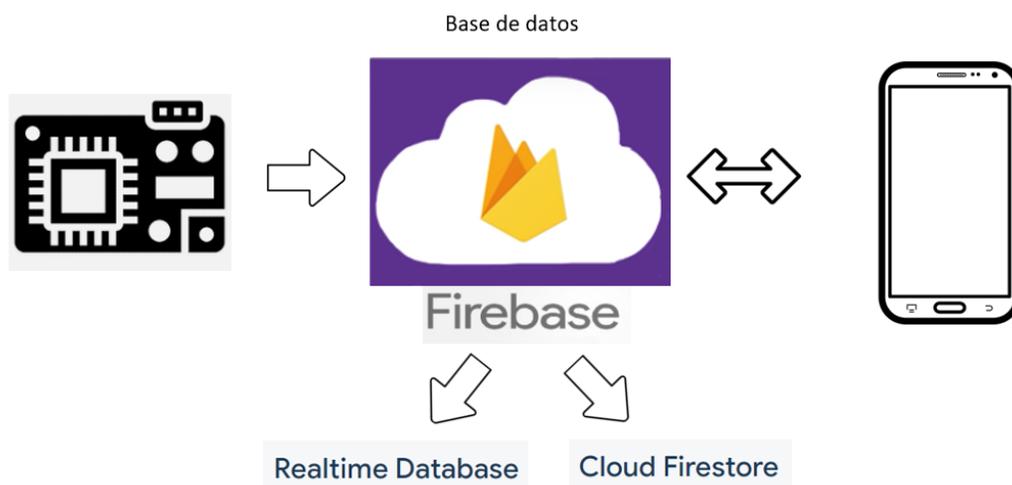
### **3.6.2. Bloque de gestión de datos**

El funcionamiento del bloque de gestión de datos está definido por la base de datos como se muestra en la Figura 28 en donde podemos observar que la base de Firestore toma los datos que se envían del bloque de control y comunicación, donde los almacena por medio de su función Realtime Database que es un servicio de base de datos en tiempo real, lo que significa

que cualquier cambio realizado en los datos como son la posición o la frecuencia cardiaca se refleja automáticamente en la misma base de datos.

También la base de datos nos permite utilizar funciones como Cloud Firestore que es un servicio de base de datos NoSQL y documental proporcionado por Firebase, donde se puede organizar los datos en colecciones y documentos. Los documentos contienen pares clave o valores y se almacenan en colecciones. Esto nos permite crear, leer, actualizar y eliminar documentos de forma individual, lo que facilita la manipulación de datos que se realizara en la aplicación móvil más adelante.

**Figura 28**  
*Bloque de gestión de datos*

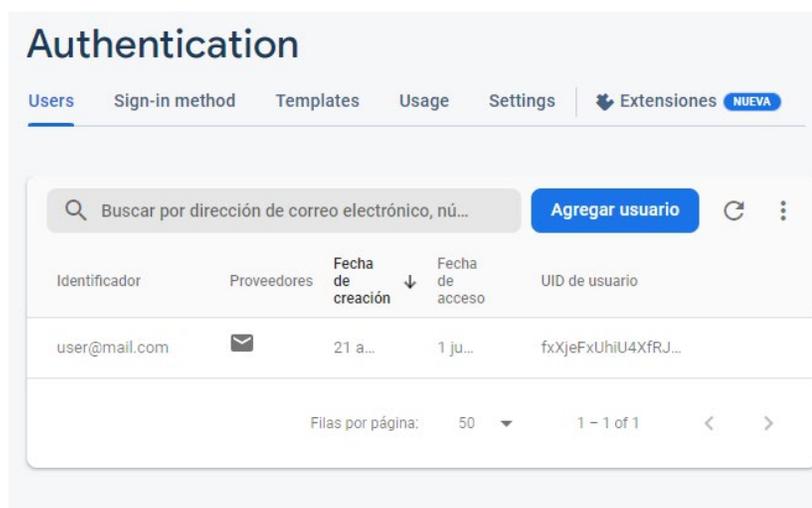


Otro servicio de Firebase que se utiliza es Firebase Authentication es un servicio de que proporciona una forma sencilla de autenticar y gestionar la identidad de los usuarios en la aplicación móvil. El método que se utiliza para autenticar a los usuarios es el de correo electrónico y contraseña el cual permite a los usuarios registrarse en la aplicación utilizando una dirección de correo electrónico y una contraseña.

Una vez conocidas las funciones que nos brinda Firebase se procede a explicar cada una de ellas y como las implementamos dentro del sistema.

El servicio de autenticación de Firebase es una parte integral de la aplicación que permite autenticar y gestionar la identidad de los usuarios de la aplicación como se observa en la Figura 29. Este servicio nos proporciona una solución completa y segura para la autenticación de usuarios, lo que permite centrarse en el desarrollo de la aplicación en lugar de tener que construir y mantener nuestro propio sistema de autenticación. La autenticación está dada por correo electrónico del usuario que se ha registrado utilizando el método de autenticación de correo electrónico/contraseña. Otro campo importante es el usuario UID que es un identificador único que se asigna a cada usuario registrado en la aplicación. Este UID se utiliza para identificar de manera única a cada usuario y es importante para realizar operaciones específicas de un usuario, como el acceso a datos o la actualización de la información del perfil.

**Figura 29**  
*Servicio de Autenticación de Firebase*



En Firebase Realtime Database que es el servicio que se utiliza para recibir los datos de la posición y la frecuencia cardíaca en tiempo real, tiene reglas que se utilizan para controlar el acceso y la seguridad de los datos en la base de datos en tiempo real. Las reglas de Firebase Realtime Database se definen utilizando una sintaxis específica y determinan quién tiene permiso para leer y escribir en los diferentes nodos de la base de datos. Las reglas que se utilizan en este

proyecto como se puede ver en la Figura 30 son las que permite que los usuarios puedan leer y escribir en cualquier parte de la base de datos.

**Figura 30**  
*Reglas de Realtime Database*



De la misma manera que el servicio de Realtime Database tiene sus reglas el servicio de Cloud Firestore cuenta con las suyas donde estas reglas permiten controlar el acceso y la seguridad de los datos en la base de datos en la nube. Se puede definir reglas personalizadas para garantizar que solo los usuarios autorizados puedan leer, escribir y modificar los datos, y que se cumplan ciertas condiciones. Y de igual manera que en el servicio anterior las reglas que se utilizan en este proyecto son las que permite que los usuarios puedan leer y escribir en cualquier parte de la base de datos como se muestra en la Figura 31.

**Figura 31**  
*Regla de Cloud Firestore*



Para entender mejor sobre los servicios de Firestore como base de datos se tiene una comparativa que muestra las principales diferencias entre Firebase Realtime Database y Firebase Cloud Firestore.

### ***3.6.2.1. Firebase Realtime Database***

Firebase Realtime Database utiliza un modelo de datos de árbol JSON en tiempo real. Los datos se almacenan en forma de árbol de nodos, y los cambios realizados en cualquier nodo se propagan de inmediato a todos los clientes conectados.

Los cambios en los datos se sincronizan en tiempo real a través de todos los dispositivos conectados. Esto permite construir aplicaciones colaborativas en tiempo real, como chats, juegos en tiempo real y aplicaciones de seguimiento en vivo.

Firebase Realtime Database ofrece una gran escalabilidad horizontal y puede manejar una alta concurrencia de lecturas y escrituras en tiempo real.

Firestore Realtime Database permite realizar consultas y filtrar datos en función de un solo campo. Sin embargo, no es posible realizar consultas complejas o combinar múltiples campos en una sola consulta.

#### ***3.6.2.2. Firebase Cloud Firestore:***

Firestore Cloud Firestore utiliza un modelo de datos de documentos y colecciones. Los datos se almacenan en forma de documentos dentro de colecciones. Cada documento contiene un conjunto de campos clave-valor, y las consultas se realizan en niveles de documentos y colecciones.

Firestore Cloud Firestore ofrece una mayor escalabilidad horizontal que Realtime Database y permite realizar consultas escalables y más complejas. Puedes realizar consultas basadas en múltiples campos, realizar filtrado, ordenar resultados y realizar consultas en múltiples colecciones.

Firestore Cloud Firestore admite transacciones, lo que garantiza la atomicidad en las operaciones de lectura y escritura. Puedes realizar varias operaciones en un lote y asegurarte de que se apliquen todas o ninguna.

Firestore Cloud Firestore permite una estructura de datos más flexible con documentos anidados y campos de matriz. Esto facilita el almacenamiento y recuperación de datos complejos y jerárquicos.

#### ***3.6.3. Bloque de recepción y aplicación móvil***

Para este bloque se procede a programar en Flutter en Android Studio mediante el lenguaje Dart en donde se necesitará algunos requisitos previos para el correcto funcionamiento de Flutter en la aplicación Android Studio.

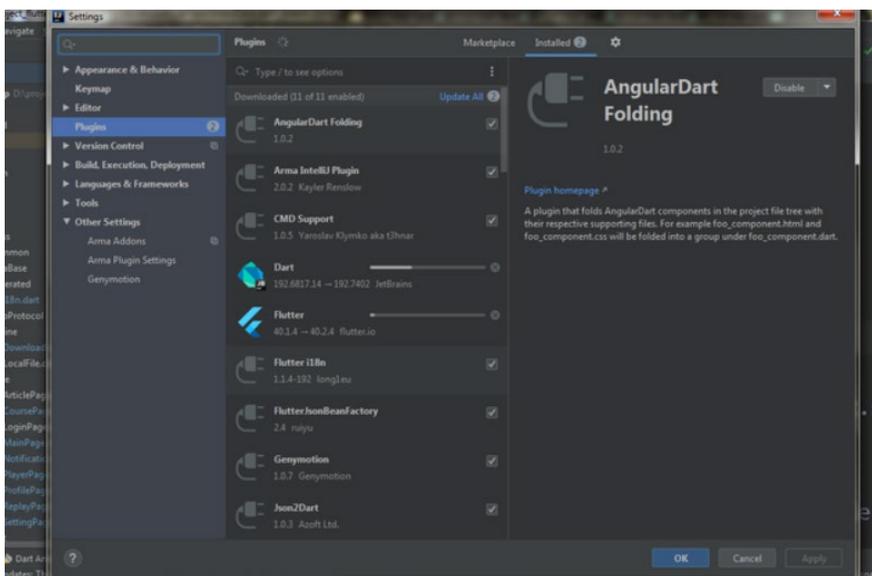
### 3.6.3.1. Instalación de complementos para Android Studio

Flutter se integra con Android Studio, por lo que debe tener instalada la última versión de Android Studio en el sistema. Android Studio se puede descargarlo desde el sitio web oficial. Una vez instalado Android Studio, se debe configurar el SDK de Flutter. Este se puede descargar desde el sitio web oficial de Flutter y luego se lo debe configurar en Android Studio.

Una vez se ha configurado el SDK de Flutter, se debe instalar el complemento de Flutter en Android Studio. Para esto nos dirigimos a Android Studio, seleccionamos "Configuración", luego "Plugins" y buscamos "Flutter" y el complemento de "Dart" como se muestra en la Figura 32. De esta manera se instala el complemento y posteriormente debemos reiniciar Android Studio.

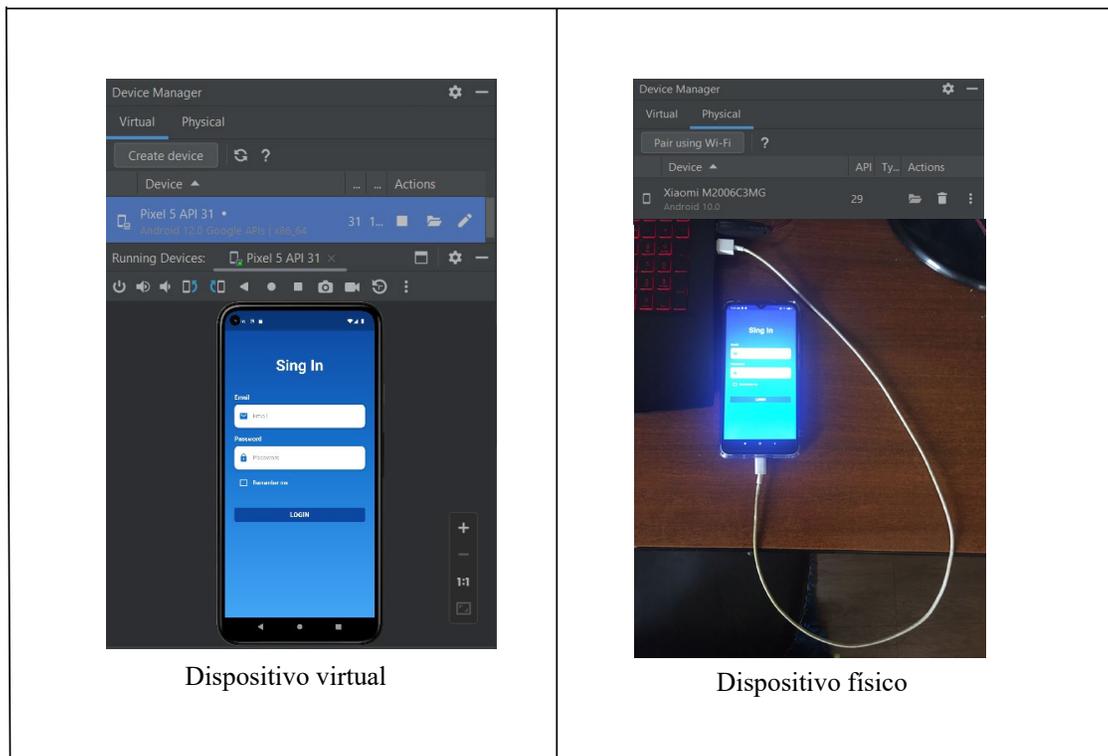
**Figura 32**

*Instalación del complemento Flutter y Dart en Android Studio*



Para probar las aplicaciones desarrolladas con Flutter, se necesita configurar un dispositivo virtual en Android Studio o conectar un dispositivo físico al computador. Se puede crear un dispositivo virtual desde el AVD Manager en Android Studio o conectar un dispositivo físico a través de un cable USB como se puede observar en la Figura 33.

**Figura 33**  
*Device Manager en Android Studio*



Dispositivo virtual

Dispositivo físico

Una vez completados todos estos requisitos, se está listo para comenzar a programar en Flutter en Android Studio.

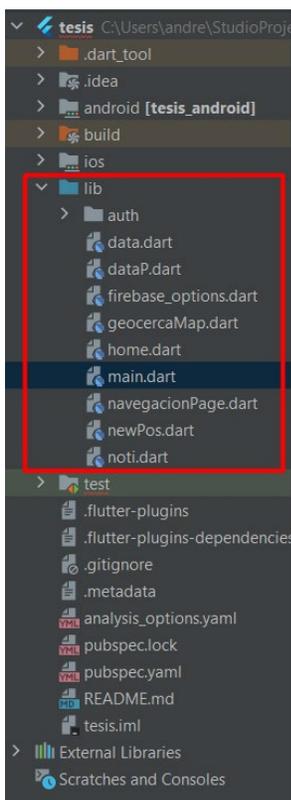
### ***3.6.3.2. Diseño de la aplicación***

Para comenzar con el diseño de la aplicación móvil se debe tener en cuenta que Flutter es un framework multiplataforma, por lo que se puede desarrollar la aplicación para Android y iOS desde el mismo código fuente, dicho código se puede observar en el Anexo E. Sin embargo, hay que tener en cuenta que algunas funcionalidades pueden requerir ajustes específicos para cada plataforma.

Android Studio generará una estructura básica del proyecto. El punto de entrada principal es el archivo "main.dart" ubicado en la carpeta "lib" como se aprecia en la Figura 34 en esta carpeta también es donde se crean cada una de los archivos que se utilizarán en la programación

de la aplicación móvil, además "main.dart" será la página principal en donde se comienza a escribir el código en Dart utilizando el framework de Flutter. Toda la documentación, así como las librerías se pueden consultar desde la página oficial de Flutter (<https://flutter.dev/docs>) donde se puede obtener más información sobre cómo desarrollar aplicaciones en Flutter.

**Figura 34**  
*Archivos para el desarrollo de la aplicación móvil*



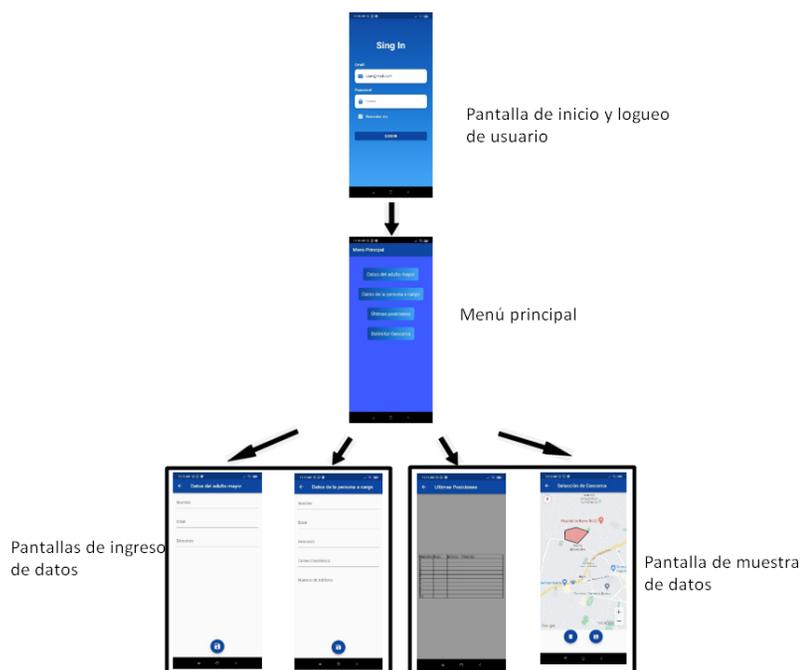
La aplicación sigue una estructura organizada, tal como se muestra en la Figura 35. Esta estructura incluye varias páginas principales que desempeñan funciones específicas. La página inicial es la de inicio de sesión de usuario, donde los usuarios deben proporcionar sus credenciales para acceder a la aplicación. Una vez autenticados, son dirigidos a la página de menú principal, desde la cual pueden acceder a cuatro páginas adicionales.

Dos de estas páginas se dedican al ingreso de datos: una se enfoca en recopilar y actualizar información relevante sobre el usuario adulto mayor, mientras que la otra se centra en

registrar los datos de la persona responsable del cuidado. Luego, se encuentra una página que muestra los datos ingresados en forma de tabla, lo que permite una visualización clara y ordenada de la información. Finalmente, la última página muestra los datos en un mapa interactivo, donde se puede observar la ubicación del adulto mayor.

Esta estructura fue diseñada con el propósito de facilitar la navegación y el acceso a las diferentes funcionalidades de la aplicación. La disposición lógica de las páginas y la presentación intuitiva de los datos contribuyen a mejorar la experiencia del usuario y a cumplir con los objetivos establecidos para la aplicación.

**Figura 35**  
*Estructura de la aplicación móvil*



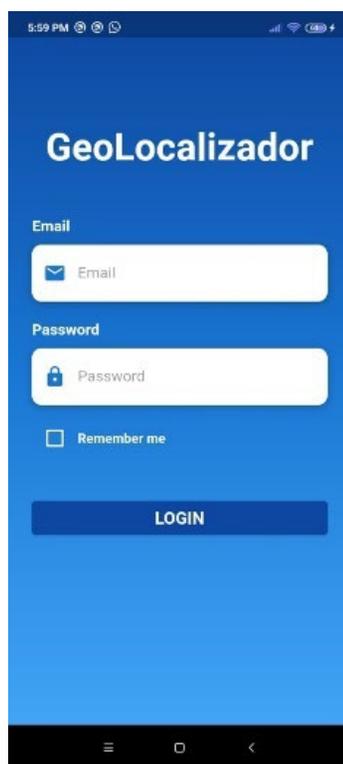
Para el diseño de cada página, es esencial considerar la creación de interfaces intuitivas y atractivas, asegurando que los usuarios puedan navegar de manera sencilla y fluida entre ellas. Además, se han implementado funcionalidades adicionales, como notificaciones para alertas, entre otras características, con el objetivo de mejorar la experiencia de los usuarios.

A continuación, se proporcionará una descripción detallada de cada una de las pantallas y las acciones específicas que se llevan a cabo en cada una de ellas.

En la primera pantalla, representada en la Figura 36, los usuarios son recibidos con una interfaz de inicio de sesión. En esta pantalla, se les solicita ingresar sus credenciales, como nombre de usuario y contraseña, que serán verificados mediante el servicio de autenticación de Firebase. Esta verificación garantiza que los usuarios tengan acceso seguro y protegido a la aplicación, al mismo tiempo que protege la privacidad de sus datos.

El objetivo de esta pantalla inicial es permitir que los usuarios ingresen de manera segura a la aplicación y accedan a las funcionalidades y características proporcionadas por el sistema. Al mantener un diseño intuitivo y sencillo, se facilita a los usuarios el proceso de autenticación y se brinda una experiencia de inicio de sesión eficiente y confiable.

**Figura 36**  
*Página de inicio de sesión*



Después de un inicio de sesión exitoso, los usuarios serán redirigidos a la página principal del menú, tal como se muestra en la Figura 37. En esta página, encontrarán varias opciones y funcionalidades disponibles dentro de la aplicación. El menú principal presenta cuatro opciones claramente identificadas, que incluyen:

- Página de ingreso de datos del usuario adulto mayor: Esta opción permite a los usuarios ingresar y gestionar la información relevante relacionada con los adultos mayores bajo su cuidado.
- Página de ingreso de datos de la persona o personas a cargo: Aquí, los usuarios tienen la posibilidad de registrar y actualizar los datos correspondientes a las personas responsables de supervisar y brindar cuidado a los adultos mayores.
- Página de mapa de ubicación y delimitación de geocerca: Esta opción proporciona acceso a una visualización de mapas que permite a los usuarios delimitar y controlar áreas de seguridad mediante la definición de geocercas.
- Página de visualización de datos: En esta opción podemos ver los datos tanto de hora, posición, frecuencia cardíaca tiempo y el estado del adulto mayor referente a si está o no dentro de la geocerca.

Estas opciones ofrecen una interfaz intuitiva y organizada para que los usuarios puedan acceder y utilizar las diversas características y herramientas de la aplicación de manera eficiente y efectiva.

**Figura 37**  
*Página de menú principal*



En la página de ingreso de datos del usuario adulto mayor, representada en la Figura 38, se brinda a los usuarios la posibilidad de ingresar y actualizar información pertinente relacionada con los adultos mayores a quienes se brinda cuidado y seguimiento. Esta página permite recopilar detalles esenciales, como el nombre, la edad y la dirección, entre otros campos relevantes. Además, se tiene la flexibilidad de agregar campos adicionales según las necesidades específicas del sistema. Esta funcionalidad resulta fundamental para garantizar la recopilación precisa y actualizada de los datos necesarios para el adecuado cuidado y seguimiento de los adultos mayores, lo que contribuye al logro de los objetivos establecidos en este contexto de investigación.

**Figura 38**

*Página de ingreso de datos del usuario adulto mayor*

The image shows a mobile application interface for entering data for an elderly user. At the top, there is a blue header bar with a white back arrow on the left and the text 'Datos del adulto mayor' in white. Below the header, the form consists of three input fields: 'Nombre', 'Edad', and 'Dirección', each with a horizontal line for text entry. At the bottom center of the form area, there is a blue circular button with a white document icon. The entire form is set against a light gray background. At the very bottom of the screen, there is a black navigation bar with three white icons: a hamburger menu, a square, and a back arrow.

En la página de ingreso de datos de la persona o personas a cargo se podrán ingresar su propia información como la persona responsable del cuidado del adulto mayor como se puede apreciar en la Figura 39. La información que se puede colocar en esta página será el nombre, edad, dirección, número de teléfono, correo electrónico entre otros detalles relevantes.

**Figura 39**

*Página de ingreso de datos de la persona a cargo*

The image shows a mobile application interface for entering data. At the top, there is a blue header bar with a white back arrow on the left and the text "Datos de la persona a cargo" in white. Below the header, the form consists of five text input fields, each with a label above it: "Nombre", "Edad", "Dirección", "Correo Electrónico", and "Número de teléfono". The fields are currently empty. At the bottom center of the form, there is a blue circular button with a white document icon. The entire form is set against a light gray background. At the very bottom, the Android navigation bar is visible, showing the back, home, and recent apps icons.

La penúltima página de la aplicación es la dedicada al mapa de ubicación y delimitación de geocerca. Para su desarrollo, se hizo uso de la API de mapas de Google y se implementaron diversas funciones clave. Estas funciones incluyen la capacidad de crear la geocerca, determinar si el adulto mayor se encuentra dentro o fuera de ella, y mostrar notificaciones correspondientes en caso de que el adulto mayor se encuentre fuera de la zona virtual delimitada previamente, tal como se puede observar en la Figura 40.

La utilización de la API de mapas de Google permitió integrar una representación visual interactiva del mapa, proporcionando una herramienta efectiva para definir y gestionar las geocercas. Mediante las funciones implementadas, se logró evaluar de forma dinámica la ubicación del adulto mayor con respecto a la geocerca establecida, lo que permitió la generación

de notificaciones pertinentes en caso de que el adulto mayor se encontrara fuera de los límites predefinidos. Estas funcionalidades son de vital importancia para garantizar la seguridad y el monitoreo adecuado de la persona a cargo.

### **Figura 40**

*Página de mapa de ubicación*



En esta interfaz se encuentra el desarrollo de un código de gran relevancia para el sistema en su totalidad. Este código implementa una función fundamental llamada "isPointInsidePolygon", la cual tiene la capacidad de determinar si un punto dado se encuentra dentro de un polígono definido por una lista de coordenadas. En resumen, el algoritmo empleado utiliza el método de Ray Casting para llevar a cabo esta comprobación, como se detalla y visualiza en la Figura 41. La importancia de este código radica en su capacidad para realizar una evaluación precisa y eficiente de la inclusión de puntos dentro del polígono, lo cual resulta esencial para la correcta funcionalidad y toma de decisiones en el sistema implementado.

**Figura 41**  
*Algoritmo Ray Casting*

```

bool isPointInsidePolygon(List<LatLng> polygonLatLngs, LatLng initialPoint) {
    int i, j = polygonLatLngs.length - 1;
    bool isInside = false;
    for (i = 0; i < polygonLatLngs.length; i++) {
        if (((polygonLatLngs[i].latitude > initialPoint.latitude) !=
            (polygonLatLngs[j].latitude > initialPoint.latitude)) &&
            (initialPoint.longitude <
                (polygonLatLngs[j].longitude - polygonLatLngs[i].longitude) *
                (initialPoint.latitude - polygonLatLngs[i].latitude) /
                (polygonLatLngs[j].latitude -
                    polygonLatLngs[i].latitude) +
                polygonLatLngs[i].longitude)) {
            isInside = !isInside;
        }
        j = i;
    }
    return isInside;
}

```

Para concluir, se encuentra disponible una página adicional denominada "Muestra de Registros", la cual despliega información relevante asociada al adulto mayor. Esta página presenta datos fundamentales como la frecuencia cardíaca registrada, la hora en que se efectuó el registro, el estado del adulto mayor en relación con su ubicación dentro o fuera de la geocerca previamente definida, así como la posición geográfica en términos de longitud y latitud. Estos registros se presentan en forma de tabla, tal como se ilustra en la Figura 42.

Es importante tener en cuenta las recomendaciones expuestas en reconocidas publicaciones médicas, como la revista de Mayo Clinic. En dichas fuentes se aconseja realizar la medición del pulso durante un minuto completo, dado que contar durante 15 o 30 segundos y luego multiplicar por cuatro o dos, respectivamente, no garantiza un recuento exacto, especialmente en casos de patologías vasculares o arritmias cardíacas no identificadas previamente. Por consiguiente, se ha optado por capturar los valores de frecuencia cardíaca cada minuto, en concordancia con estas recomendaciones. Esto asegura una medición más precisa y confiable, permitiendo una evaluación más efectiva de la salud cardiovascular del adulto mayor en el sistema implementado (Mayo Clinic, 2023).

**Figura 42**  
*Página de muestra de datos*



The image shows a mobile application interface. At the top, there is a status bar with the time 11:11 AM and various icons. Below that is a blue header bar with a back arrow and the text "Ultimas Posiciones". The main content area is a table with four columns: "Muestra", "Hora", "Estado", and "Posición". The table has 10 rows, numbered 1 to 10 in the first column. All other cells in the table are empty. At the bottom of the screen, there is a black navigation bar with three icons: a hamburger menu, a square, and a back arrow.

Muestra	Hora	Estado	Posición
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

## CAPÍTULO IV. Pruebas del Sistema

En este capítulo se presenta las pruebas de funcionamiento del sistema de geolocalización y frecuencia cardiaca, para la supervisión dentro de un perímetro virtual de personas de la tercera edad por medio de una aplicación móvil.

### 4.1. Cronograma de pruebas del funcionamiento del sistema

Con el propósito de llevar a cabo pruebas exhaustivas y efectivas, se ha establecido un cronograma detallado que permite verificar el funcionamiento del sistema en un entorno realista. La Tabla 18 presenta una lista de pruebas planificadas, junto con la duración estimada para cada una de ellas.

**Tabla 18**  
*Cronograma de Pruebas*

<b>Cronograma de Pruebas</b>			
<b>Tipo de Prueba</b>	<b>Ubicación de la Prueba</b>	<b>Resultado Esperado</b>	<b>Duración</b>
<b>Prueba preliminar</b>	Entorno controlado	Esta prueba pretende demostrar la funcionalidad y fiabilidad del sistema en un entorno controlado y validar su operación.	10 días
<b>Prueba 1 Funcionamiento del bloque de control y comunicación</b>	Entorno controlado	Esta prueba tiene como objetivo evaluar la exactitud en la recolección de datos y verificar la comunicación adecuada del dispositivo con la red móvil celular.	2 días
<b>Prueba 2 Funcionamiento del bloque de recepción y aplicación móvil</b>	Entorno controlado	Esta prueba valida el correcto funcionamiento de la base de datos.	2 días

<b>Prueba 3</b>		Esta prueba valida la	
<b>Funcionamiento del bloque de gestión de datos</b>	Entorno controlado	funcionalidad precisa y confiable de la aplicación desarrollada.	2 días
<b>Prueba 4</b>	Parque Céntrica	Esta prueba realiza una evaluación del funcionamiento del sistema en el primer escenario.	3 días
<b>Funcionamiento del sistema con usuario 1</b>	Ciudad de Ibarra		
<b>Prueba 5</b>	Centro comercial	Esta prueba realiza una evaluación del funcionamiento del sistema en el segundo escenario.	3 días
<b>Funcionamiento del sistema con usuario 2</b>	Laguna Mall		
<b>Prueba 6</b>	Centro de la ciudad de Ibarra	Esta prueba realiza una evaluación del funcionamiento del sistema en el tercer escenario.	3 días
<b>Funcionamiento del sistema con usuario 3</b>			

Este cronograma de pruebas ha sido diseñado con el objetivo de abordar diferentes aspectos del sistema, asegurando una evaluación completa de su rendimiento y funcionalidad en situaciones reales. Cada prueba ha sido asignada con un tiempo estimado, considerando la complejidad y el alcance de la funcionalidad a evaluar.

#### ***4.1.1. Pruebas preliminares***

En el marco de las pruebas preliminares, se llevó a cabo una evaluación del sistema durante un período de siete días con el objetivo de demostrar su funcionalidad y fiabilidad como se observa en la Tabla 19. Esta fase de pruebas permitirá identificar posibles limitaciones del sistema. La realización de esta prueba preliminar se justifica debido a que, en etapas posteriores, se llevarán a cabo pruebas con adultos mayores, quienes presentan una evidente condición física

que limita la realización de pruebas extensas. Por esta razón, resulta crucial obtener datos y retroalimentación significativa mediante pruebas previas que nos permitan evaluar y ajustar el sistema antes de someterlo a la población objetivo. Estas pruebas iniciales nos brindarán información valiosa sobre la funcionalidad y eficacia del sistema en condiciones similares a las que se encontrarán durante las pruebas con adultos mayores, asegurando así que se realicen ajustes y mejoras necesarias para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios finales.

**Tabla 19**  
*Pruebas preliminares*

<b>Días de prueba</b>	<b>Duración (Horas)</b>	<b>Funcionamiento del sistema normal</b>	<b>Observaciones</b>
1	2:30	Si	
2	3:00	Si	Consumo total de la batería
3	2:30	Si	
4	3:00	No	Se identificó que el sensor de frecuencia cardiaca MAX30105 experimentó una falla temporal en su funcionamiento, lo que llevó a la necesidad de reiniciarlo para restablecer su operatividad.
5	3:00	No	Se identificó que el sensor de frecuencia cardiaca MAX30105 experimentó una falla temporal en su funcionamiento, lo que llevó a la necesidad de reiniciarlo para restablecer su operatividad
6	2:45	Si	
7	2:30	Si	
8	3:00	Si	Consumo total de la batería
9	2:00	Si	
10	3:00	Si	Consumo total de la batería

El análisis de la prueba realizada ha permitido identificar las principales limitaciones del sistema. Se destaca, en primer lugar, la durabilidad de la batería como un aspecto crítico que afecta la autonomía del dispositivo en el monitoreo continuo de personas mayores. Además, se observó que el sensor de frecuencia cardíaca, debido a su bajo costo, puede experimentar momentos en los que requiere reiniciarse para mantener un desempeño óptimo y confiable.

#### ***4.1.2. Pruebas funcionamiento bloque de control y comunicación***

Para realizar las pruebas de este bloque se procede a observar el monitor serie de Arduino IDE. En el primer paso se puede identificar los respectivos mensajes de inicialización del dispositivo como se muestran en la Figura 43. En dicha figura se puede observar la versión del microcontrolador, el nombre de este y una información adicional de dicho microcontrolador.

#### **Figura 43**

##### *Inicialización del dispositivo*

```
[22085] ### TinyGSM Version: 0.11.5
[22085] ### TinyGSM Compiled Module: TinyGsmClientSIM7600
[22129] ### Modem: SIMCOM SIM7600NA
[22129] ### Modem: SIMCOM SIM7600NA
[22190] ### Modem: SIMCOM SIM7600NA
[22190] Modem Name: SIMCOM SIM7600NA
[22212] Modem Info: Manufacturer: SIMCOM INCORPORATED Model: SIMCOM_SIM7600NA Revision: SIM7600NA_V2.0.2 IMEI: 860371052664582 +GCAP: +CGSM
```

Una vez inicializado el microcontrolador el proceso continúa con la conexión a la red celular LTE de CNT. Esta conexión se da a través de APN (Access Point Name) el cual incluye información como la dirección IP del servidor, el nombre de usuario y la contraseña necesarios para establecer una conexión de datos. Estos parámetros son necesarios para que el dispositivo pueda comunicarse con la red y acceder al servicio de Internet. Todos estos parámetros se los puede apreciar en la Figura 44 donde también se muestra la fecha y hora de la conexión a la red, la calidad de la señal y la temperatura a la cual se encuentra el microcontrolador.

**Figura 44***Conexión a la red LTE*

```
[22227] Waiting for network...
[22253] Network connected
[22253] Connecting to internet.cnt.net.ec
[22378] GPRS status: connected
[22390] CCID: 8959302106178555230
[22400] IMEI: 860371052664582
[22413] IMSI: 740020171155523
[22428] Operator: CNT CNT
[22441] Network Mode: 8
[22452] Local IP: 10.133.190.21
[22461] Signal quality: 21
[22472] Current Network Time: 23/07/03,10:26:36
[26182] Modem Temp: 21.00
[26211] Requesting current GPS/GNSS/GLONASS location
```

En situaciones en las que la conexión con la red celular no se establece correctamente, se presenta un mensaje de "Conexión fallida a la red LTE", tal como se ilustra en la figura 45. Este mensaje de error indica que el dispositivo no ha logrado establecer una conexión exitosa con la red de datos móviles

**Figura 45***Mensaje de conexión fallida a la red LTE*

```
Making POST request securely
[221854] ### Network error!
```

Una vez se conecta correctamente a la red LTE se procede a obtener los datos de ubicación y de frecuencia cardiaca. Los datos de ubicación son la latitud y la longitud mientras que para la frecuencia cardiaca se requiere de un tiempo para que los datos se estabilicen como se puede ver en la Figura 46. Este tiempo está definido en 10000 milisegundos en el cual se toman valores y estos se normalicen de otra manera se tiene un valor de frecuencia cardiaca erróneo o muy alejado de la realidad.

**Figura 46***Valores de ubicación y frecuencia cardiaca tomados en tiempo real*

```
[34247] Latitude: 0.35526896   Longitude: -78.13285065
IR=89721, BPM=96.93, Avg BPM=59
IR=89457, BPM=56.76, Avg BPM=73
IR=89444, BPM=94.04, Avg BPM=78
IR=89272, BPM=75.28, Avg BPM=80
IR=89323, BPM=77.12, Avg BPM=75
0.35526896
-78.13285065
75
```

Por último, se tiene la conexión a la base de datos la cual se puede observar en la Figura 47. Una vez se realiza la conexión se hace una solicitud de publicación de forma segura la cual es respondida por la base de datos con un 200 ok que es un código de estado HTTP que indica que la solicitud del cliente ha sido exitosa. Luego de esto la base de datos responde con la información que se le envió que es la frecuencia cardiaca, la latitud y la longitud, de esta manera se demuestra que se envió de manera correcta los datos.

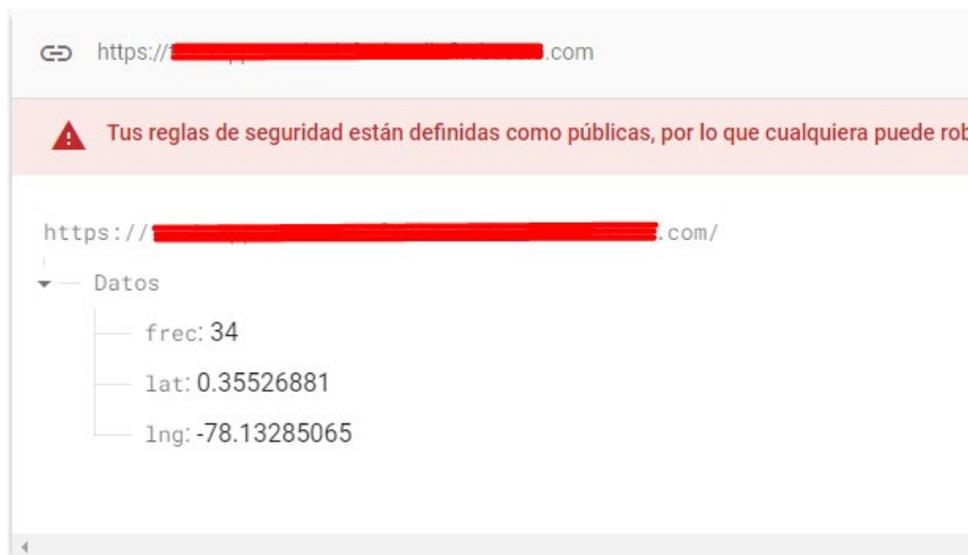
**Figura 47***Envío de datos a Firebase*

```
[39814] Connecting to [REDACTED].com
Making POST request securely
Status code: 200
Response: {"frec":75,"lat":0.35526896,"lng":-78.13285065}
```

**4.1.3. Pruebas funcionamiento bloque de gestión de datos**

Al recolectarse los datos en el bloque de control y comunicación se procede a verificar que los datos se enviaron de manera correcta hacia la base de datos en tiempo real de Firebase. Como se puede apreciar en la Figura 48 se tiene la dirección del servidor o enlace distintivo el cual está censurando por seguridad, dentro de este se tiene la ruta "Datos" que indica que la ruta o recurso dentro de la cual se encuentran almacenados los datos obtenidos en el bloque anterior y como se puede apreciar están definidos por los nombres frec, lat y lng respectivamente.

**Figura 48**  
*Datos enviados y almacenados*



En lo que respecta a la utilización de la base de datos para la aplicación se tiene la autenticación de usuarios en la cual se ingresa el identificador o correo electrónico y una contraseña que es cifrada por seguridad. En dicho campo se puede observar cada uno de los usuarios, así como la fecha de creación del usuario como la última fecha de acceso como se observa en la Figura 49.

**Figura 49**  
*Usuarios creados dentro de la base de datos*

Identificador	Proveedores	Fecha de creación	Fecha de acceso	UID de usuario
user@mail.com		21 abr 2023	24 jun 2023	fxXjeFxFxUhiU4XfRJMpFRCJKWYZt1

Filas por página: 50 1 - 1 of 1

Con el fin de gestionar eficientemente los datos concernientes a los adultos mayores, se emplea la base de datos Cloud Firestore que almacena dicha información, tal como se ilustra en la Figura 50. Los campos pertinentes, tales como la dirección, la edad y el nombre de cada una

de las personas bajo supervisión, se consideran elementos indispensables para garantizar un adecuado cuidado y seguimiento mediante el sistema en cuestión.

### Figura 50

#### *Datos del adulto mayor en la base de datos*

tesisapp-180d2	AdultoMayor	UjKa60h10Gg01YAGwYkN
+ Iniciar colección	+ Agregar documento	+ Iniciar colección
AdultoMayor >	UjKa60h10Gg01YAGwYkN >	+ Agregar campo
PesonaCargo		direccion: "Puerto Rico y Brasil"
		edad: "73"
		nombre: "Blanca Morejón "

De igual manera, se requiere ingresar los datos correspondientes a la persona o personas encargadas del cuidado del adulto mayor. Los campos pertinentes incluyen dirección, edad, nombre, número de teléfono y correo electrónico como se aprecia en la Figura 51, los cuales son considerados los datos más relevantes para establecer comunicación con el cuidador en caso de ser necesario. Estos datos se registran con el propósito de garantizar una pronta y efectiva comunicación en situaciones que así lo ameriten.

### Figura 51

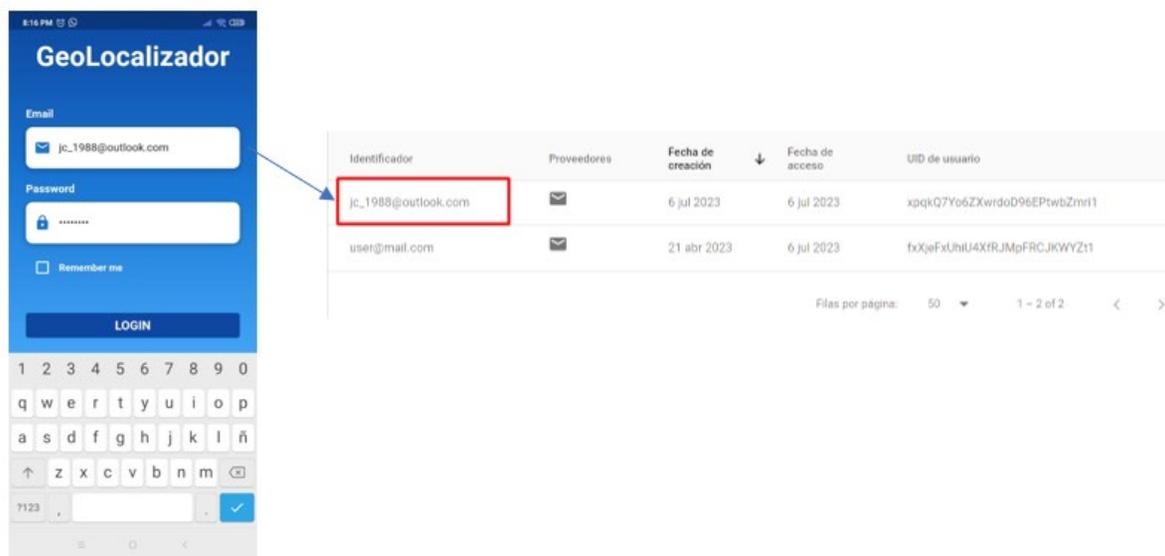
#### *Datos de la persona a cargo dentro de la base de datos*

tesisapp-180d2	PesonaCargo	cVveqB2g3N96gABkPlr6
+ Iniciar colección	+ Agregar documento	+ Iniciar colección
AdultoMayor	9EMNV9iRJ5ISLIflLúvqK	+ Agregar campo
PesonaCargo >	cVveqB2g3N96gABkPlr6 >	correo: "juanca1981@hotmail.mx"
		direccion: "Puerto Rico y Brasil "
		edad: "42"
		nombre: "Juan Carlos Gaona"
		telefono: "0988004293"

#### 4.1.4. Pruebas de funcionamiento bloque de recepción y aplicación móvil

Con el fin de verificar el correcto funcionamiento del bloque de recepción y la aplicación móvil, se procederá a someter a pruebas cada una de las funciones disponibles en dicha aplicación. En primer lugar, se llevará a cabo la verificación de la autenticación del usuario, tal como se muestra en la Figura 52, y se comparará con la información almacenada en la base de datos mediante la función de autenticación correspondiente. Esta prueba tiene como objetivo corroborar la adecuada integración de la autenticación de usuarios, garantizando un acceso seguro y confiable al sistema.

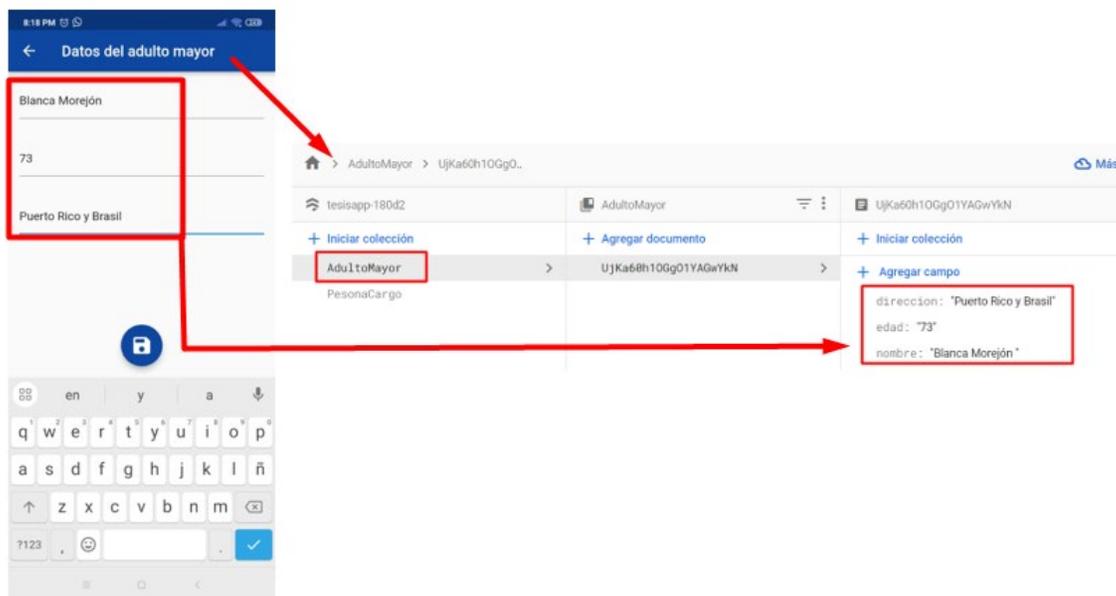
**Figura 52**  
*Autenticación de usuario*



En la siguiente etapa, se procederá a verificar el ingreso de datos del adulto mayor, realizando una comparación exhaustiva con la información almacenada en la base de datos Cloud Firestore. Esta base de datos se encuentra estructurada de manera específica, como se indica en la Figura 53, y almacena los datos del adulto mayor en el campo designado. El objetivo

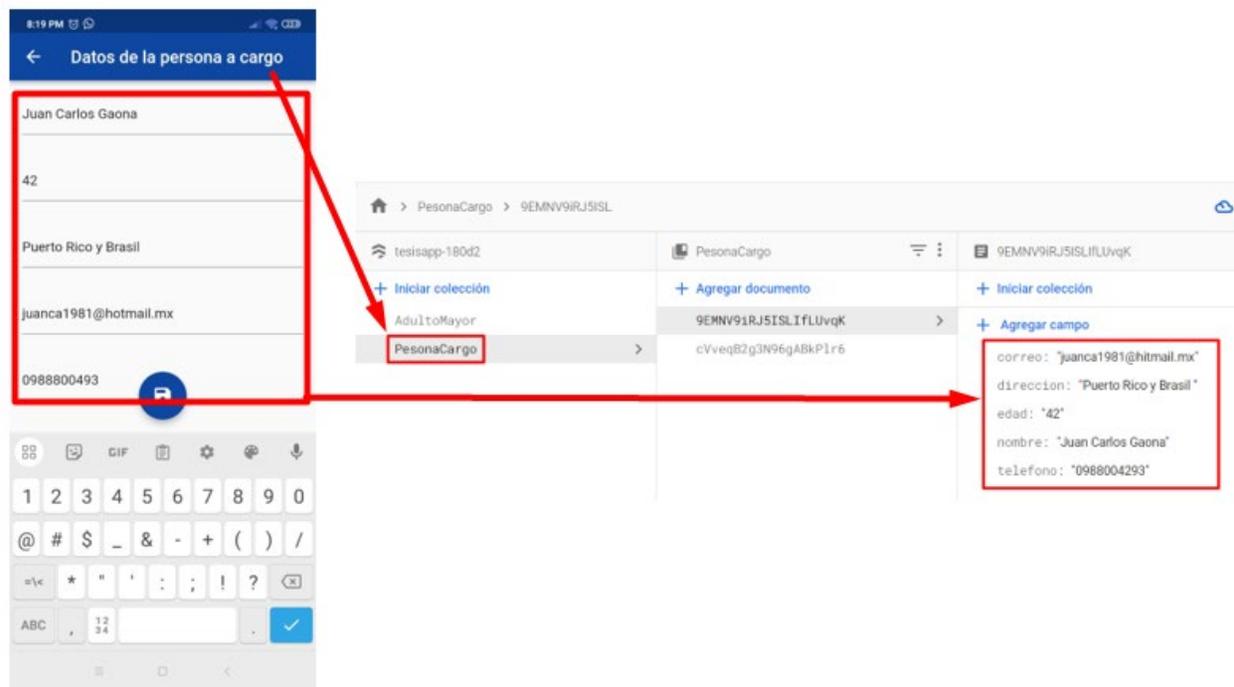
de esta verificación es asegurar la correcta integración y consistencia de los datos ingresados, garantizando así la integridad de la información del adulto mayor en el sistema.

**Figura 53**  
*Datos del adulto mayor*



En la tercera etapa, se llevará a cabo la verificación del ingreso de datos de la persona encargada de la supervisión del adulto mayor. Al igual que en la etapa anterior, esta información se almacenará en la base de datos Cloud Firebase, específicamente en un campo designado como se indica en la Figura 54. El propósito de esta verificación es asegurar la correcta captura y almacenamiento de los datos relacionados con la persona a cargo, lo cual resulta fundamental para establecer una comunicación efectiva y garantizar un cuidado adecuado del adulto mayor en el sistema.

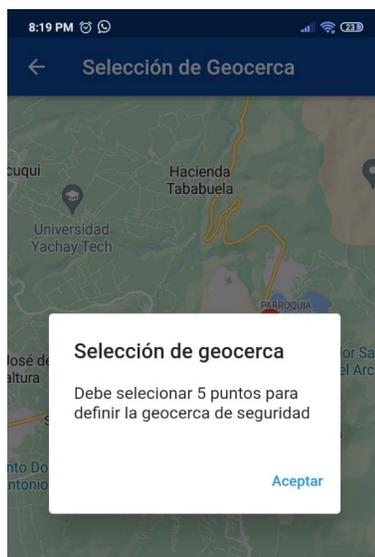
**Figura 54**  
*Datos de la persona a cargo*



En la cuarta etapa, se accederá a la página de delimitación de la geocerca, donde se mostrará un mensaje instructivo al usuario, indicándole la necesidad de seleccionar cinco puntos para crear la geocerca de seguridad, como se visualiza en la Figura 55. Esta geocerca se establece con el propósito de definir una zona de seguridad específica, cuyo perímetro se determina mediante la selección precisa de dichos puntos. El objetivo de esta etapa es garantizar una delimitación precisa y confiable de la geocerca, lo cual contribuye a la implementación exitosa de medidas de seguridad en el sistema.

**Figura 55**

*Mensaje informativo para la correcta delimitación de la geocerca*



En la penúltima función, se cuenta con la página de delimitación de la geocerca, la cual ofrece la posibilidad de crear, eliminar y guardar la geocerca. En esta página, se pueden presentar dos escenarios distintos. El primero corresponde a la situación en la cual la persona se encuentra dentro de la geocerca establecida, tal como se visualiza en la figura 56. Esta situación implica que la ubicación de la persona se encuentra dentro de los límites predefinidos de la geocerca, lo cual se considera un estado de conformidad con los parámetros de seguridad establecidos.

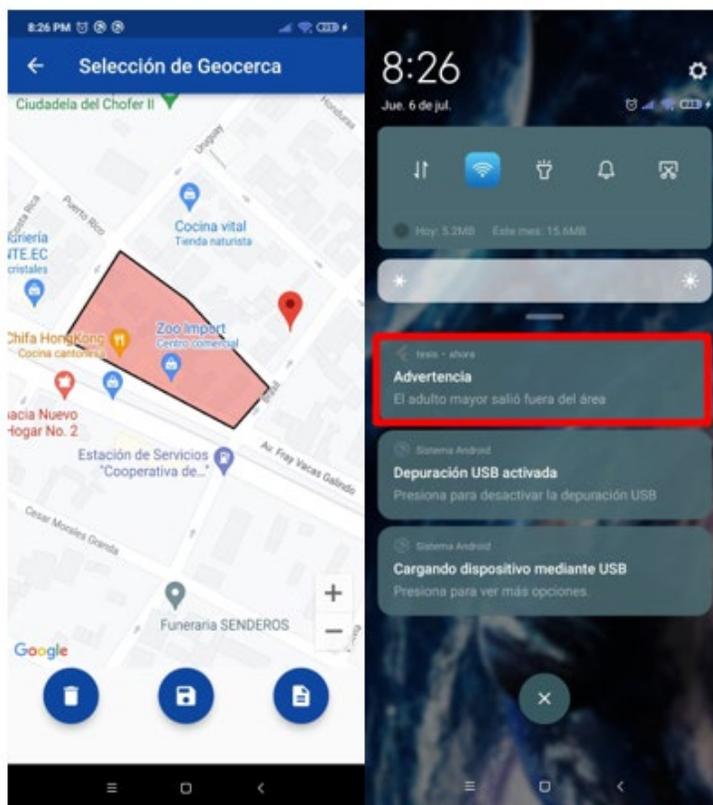
**Figura 56**  
*Adulto mayor dentro de la geocerca*



En el segundo escenario, se presenta la situación en la cual el adulto mayor se encuentra fuera de la geocerca delimitada, evidenciado en la Figura 57. Esta circunstancia genera una alerta inmediata en el teléfono móvil de la persona a cargo, quien realiza el cuidado del adulto mayor mediante la aplicación móvil. Dicha alerta tiene como propósito notificar de forma oportuna y prioritaria sobre la situación de que el adulto mayor ha traspasado los límites establecidos en la geocerca de seguridad. Esta funcionalidad busca garantizar una respuesta rápida y eficaz en situaciones en las cuales el adulto mayor se encuentre en una ubicación considerada fuera de los parámetros de seguridad predefinidos.

**Figura 57**

*Adulto mayor fuera de la geocerca y alerta generada*



En la última función de la aplicación, se encuentra el registro de las últimas posiciones, almacenadas en forma de una tabla que muestra información relevante. Dicha tabla incluye la hora en que se registró cada posición, el estado del adulto mayor en relación con la geocerca, la ubicación geográfica del adulto mayor y la frecuencia cardíaca como se muestra en la Figura 58. La frecuencia cardíaca es monitoreada con detalle, verificando su valor dentro del rango establecido de 60 a 100 pulsaciones por minuto. Esta funcionalidad permite un seguimiento preciso de la salud cardiovascular del adulto mayor, así como una evaluación continua del cumplimiento de los parámetros de frecuencia cardíaca considerados saludables.

**Figura 58***Últimas posiciones del adulto mayor registradas*

N°	Hora	Estado	Posición	FrecC
1	20:29:37	true	0.0 + 0.0	0.0
2	20:29:37	true	0.35526195 + -7813285065	41.0
3	20:30:00	true	0.35526195 + -7813285065	75.0
4	20:30:37	true	0.35526195 + -7813285065	75.0
5	20:30:37	true	0.35526195 + -7813285065	75.0
6	20:31:13	true	0.35526195 + -7813285065	76.0
7	20:31:13	true	0.35526195 + -7813285065	76.0
8	20:31:37	true	0.35526195 + -7813285065	76.0
9	20:31:37	true	0.35526195 + -7813285065	76.0
10	20:32:13	true	0.35526195 + -7813285065	77.0
11	20:32:14	true	0.35526195 + -7813285065	77.0
12	20:32:15	true	0.35526195 + -7813285065	77.0

Al examinar la posición correspondiente en la tabla de datos, se evidencia que el estado del adulto mayor es "false", lo cual indica que dicho individuo no se encuentra dentro de la geocerca definida, tal como se muestra en el mapa presentado previamente. Este estado negativo refleja que la ubicación actual del adulto mayor está fuera de los límites preestablecidos de la geocerca de seguridad como se puede observar en la Figura 59. Esta observación permite identificar de manera precisa la situación geográfica del adulto mayor en relación con la geocerca y proporciona información relevante para la toma de decisiones y la aplicación de medidas de seguridad correspondientes.

**Figura 59**

*Valores de la posición fuera de la geocerca*

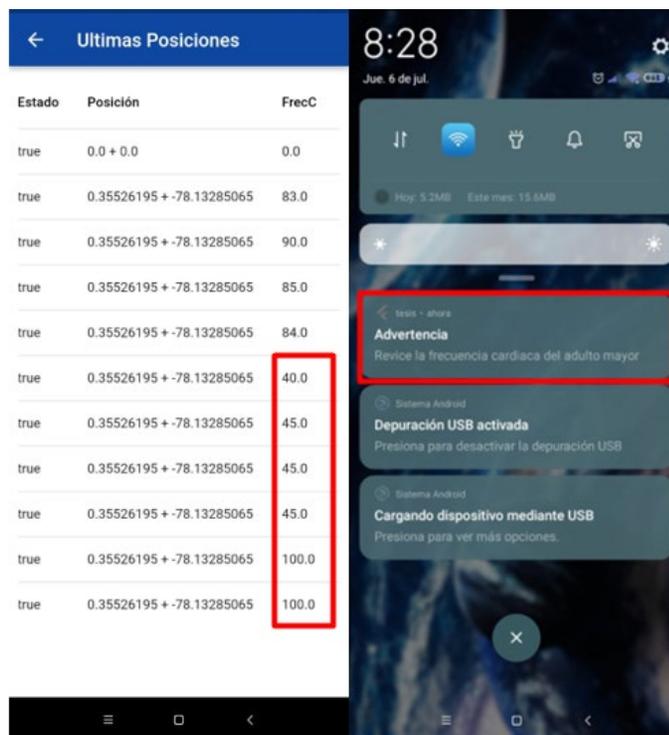


N°	Hora	Estado	Posición
1	21:19:16	false	0.0 + 0.0
2	21:19:16	false	0.35526195 + -78.
3	21:20:16	false	0.35526195 + -78.
4	21:20:16	false	0.35526195 + -78.
5	21:21:16	false	0.35526195 + -78.
6	21:21:16	false	0.35526195 + -78.
7	21:22:16	false	0.35526195 + -78.
8	21:22:16	false	0.35526195 + -78.
9	21:23:16	false	0.35526195 + -78.
10	21:23:16	false	0.35526195 + -78.
11	21:24:16	false	0.35526195 + -78.
12	21:24:16	false	0.35526195 + -78.

Asimismo, dentro de esta última función, se ha implementado una notificación de advertencia al registrarse un valor de frecuencia cardíaca que se encuentre fuera del rango establecido. Esta notificación se muestra con el propósito de alertar al usuario sobre la necesidad de prestar especial atención a la presión arterial del adulto mayor, tal como se indica en la Figura 60. De esta manera, se busca precautelar la salud de la persona monitoreada y cumplir con uno de los objetivos fundamentales de este trabajo, que es garantizar el bienestar y cuidado adecuado de los adultos mayores mediante el seguimiento constante y la detección temprana de cualquier anomalía en su estado cardiovascular.

**Figura 60**

*Notificación de advertencia por frecuencia cardiaca fuera de los valores establecidos*



#### 4.2. Pruebas de campo del funcionamiento del sistema

Con el objetivo de realizar las pruebas correspondientes para evaluar el funcionamiento integral del sistema, se llevarán a cabo pruebas en tres adultos mayores en tres ubicaciones distintas. Estas ubicaciones se seleccionarán estratégicamente para representar de manera significativa diferentes zonas de la ciudad de Ibarra.

La elección de estos lugares representativos permitirá obtener resultados más precisos y representativos sobre el rendimiento del sistema en diferentes entornos y escenarios. Al abarcar múltiples ubicaciones, se podrá evaluar la efectividad y adaptabilidad del sistema en diversos contextos y condiciones geográficas. De esta manera, se garantiza una evaluación integral y robusta del sistema en una variedad de situaciones del mundo real.

#### 4.2.1. Funcionamiento del sistema con usuario 1

Para llevar a cabo la primera prueba con el primer adulto mayor, se procedió a colocar el dispositivo en el brazo de dicho usuario, como se ilustra en la Figura 61. Esta ubicación específica fue seleccionada considerando factores como comodidad, accesibilidad y precisión en la recolección de datos. Al colocar el dispositivo en el brazo del adulto mayor, se busca garantizar una captura precisa y constante de las mediciones necesarias para el monitoreo efectivo de su salud.

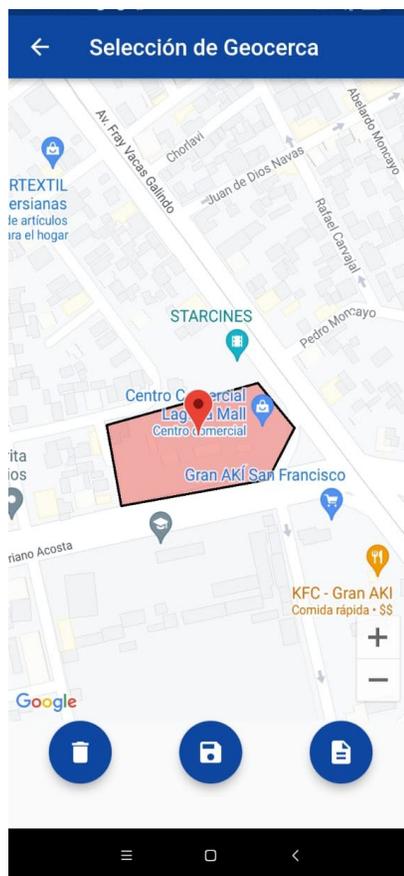
**Figura 61**  
*Colocación del dispositivo al primer usuario*



La persona a cargo procede a delinear la geocerca, utilizando los cinco puntos requeridos, en el área designada del centro comercial, tal como se muestra en la Figura 62. Esta ubicación específica fue seleccionada como el primer lugar para llevar a cabo estas pruebas. La delimitación de la geocerca en este entorno comercial proporciona una oportunidad para evaluar la funcionalidad y precisión del sistema en un escenario realista y representativo.

**Figura 62**

*Selección del lugar para realizar la primera prueba de campo*



Posteriormente, como se evidencia en la Figura 63, se muestran todas las ubicaciones por las que el adulto mayor se desplazó durante un periodo de tiempo determinado, confirmando que permaneció dentro de la geocerca delimitada previamente. Los registros correspondientes demuestran que no se ha registrado ninguna salida de la geocerca durante dicho intervalo de tiempo. Asimismo, se puede observar que la frecuencia cardiaca del adulto mayor se mantiene dentro de los rangos considerados normales. Estos hallazgos corroboran el correcto funcionamiento del sistema, al asegurar que el adulto mayor se mantuvo dentro de los límites predefinidos y que su salud cardiovascular se encuentra dentro de parámetros saludables.

**Figura 63**  
Registros de la primera prueba

← Ultimas Posiciones					
2	10:09:14	true	0.3490898	-78.1257262	82.0
3	10:09:55	true	0.3490898	-78.1257262	82.0
4	10:10:14	true	0.3490898	-78.1257262	82.0
5	10:10:14	true	0.3490898	-78.1257262	82.0
6	10:10:42	true	0.3490898	-78.1257262	84.0
7	10:10:43	true	0.3490898	-78.1257262	84.0
8	10:11:14	true	0.3490898	-78.1257262	84.0
9	10:11:14	true	0.3490898	-78.1257262	84.0
10	10:11:28	true	0.3490898	-78.1257546	84.0
11	10:11:28	true	0.3490898	-78.1257546	84.0
12	10:11:29	true	0.3490898	-78.1257546	84.0
13	10:11:55	true	0.3490898	-78.1257546	86.0
14	10:11:56	true	0.3490898	-78.1257546	86.0
15	10:11:56	true	0.3490898	-78.1257546	86.0

#### 4.2.2. Funcionamiento del sistema con usuario 2

Al igual que en la prueba número uno, se realiza la colocación del dispositivo en el brazo del adulto mayor como se observa en la Figura 64. Esta metodología uniforme de colocación del dispositivo en el brazo se ha mantenido a lo largo de las pruebas para asegurar la consistencia y comparabilidad de los resultados obtenidos.

**Figura 64**  
*Colocación del dispositivo al segundo usuario*



En la segunda prueba, la persona a cargo procede a delinear la geocerca utilizando los cinco puntos requeridos en una parte central del parque Céntrica, como se muestra en la Figura 65. Esta ubicación específica se seleccionó como el segundo lugar para llevar a cabo estas pruebas. La delimitación de la geocerca en este entorno proporciona una valiosa oportunidad para evaluar la funcionalidad y precisión del sistema en un escenario realista y representativo.

**Figura 65**

*Selección del lugar para realizar la segunda prueba de campo*



Al realizar estas pruebas en un parque, se busca simular situaciones comunes en las que los adultos mayores puedan frecuentar este tipo de espacios. Esto permite evaluar la capacidad del sistema para mantener un monitoreo efectivo dentro de la geocerca definida, asegurando la precisión en la detección de movimientos fuera de los límites establecidos.

De manera similar a la primera prueba, se procede a verificar los datos recopilados en el registro, como se muestra en la Figura 66. En esta ocasión, se ha tomado una muestra representativa de la prueba en un periodo de tiempo más extenso, permitiendo una evaluación más completa y precisa. Se recolectaron datos adicionales durante este periodo prolongado, lo cual brinda una visión más detallada del desempeño del sistema.

**Figura 66**  
Registros de la segunda prueba

← Últimas Posiciones					
50	10:22:44	true	0.34581275 + -78.1338898	81.0	
51	10:22:44	true	0.34581275 + -78.1338898	81.0	
52	10:22:45	true	0.34581275 + -78.1338898	81.0	
53	10:22:45	true	0.34581275 + -78.1338898	81.0	
54	10:22:46	true	0.34581275 + -78.1338898	81.0	
55	10:22:46	true	0.34581275 + -78.1338898	81.0	
56	10:22:47	true	0.34581275 + -78.1338898	81.0	
57	10:22:51	true	0.34581275 + -78.1338898	78.0	
58	10:22:52	true	0.34581275 + -78.1338898	78.0	
59	10:22:52	true	0.34581275 + -78.1338898	78.0	
60	10:22:52	true	0.34581275 + -78.1338898	78.0	
61	10:22:53	true	0.34581275 + -78.1338898	78.0	
62	10:22:54	true	0.34581275 + -78.1338898	78.0	
63	10:22:54	true	0.34581275 + -78.1338898	78.0	

Estos resultados obtenidos en la prueba refuerzan la confiabilidad y el correcto funcionamiento del sistema al proporcionar evidencia sólida de su capacidad para monitorear y proteger de manera efectiva a los adultos mayores dentro de la geocerca definida.

#### **4.2.3. Funcionamiento del sistema con usuario 3**

En la última prueba, se siguió el mismo procedimiento de colocación del dispositivo en el brazo del adulto mayor para llevar a cabo la evaluación correspondiente como se puede apreciar en la Figura 67. Esta metodología se ha mantenido constante a lo largo de todas las pruebas realizadas para asegurar la consistencia y comparabilidad de los resultados obtenidos.

**Figura 67**  
*Colocación del dispositivo al tercer usuario*



En la última prueba, la persona a cargo define la geocerca en la zona central de la ciudad, más precisamente en el parque de la Merced y sus alrededores, tal como se observa en la Figura 68. Esta ubicación específica fue seleccionada para evaluar el desempeño del sistema en un entorno urbano y altamente transitado.

### Figura 68

*Selección del lugar para realizar la tercera prueba de campo*



La elección estratégica del parque de la Merced y sus alrededores proporciona un escenario representativo para evaluar el sistema en un entorno con potenciales distracciones y desafíos, como el tráfico peatonal y la presencia de diversos estímulos visuales y auditivos. Estas pruebas en campo ayudan a validar la robustez y la adaptabilidad del sistema en entornos urbanos, reforzando su efectividad en el monitoreo de los adultos mayores en escenarios cotidianos de la ciudad.

Asimismo, se pueden examinar los registros de las posiciones geográficas y la frecuencia cardíaca del adulto mayor durante un periodo de tiempo específico como se observa en la Figura 69. Estos registros brindan información detallada y precisa sobre los desplazamientos y los cambios en la frecuencia cardíaca del adulto mayor a lo largo de dicho periodo.

**Figura 69**  
*Registros de la tercera prueba*

2	21:19:16	false	0.35526195 + -78.
3	21:20:16	false	0.35526195 + -78.
4	21:20:16	false	0.35526195 + -78.
5	21:21:16	false	0.35526195 + -78.
6	21:21:16	false	0.35526195 + -78.
7	21:22:16	false	0.35526195 + -78.
8	21:22:16	false	0.35526195 + -78.
9	21:23:16	false	0.35526195 + -78.
10	21:23:16	false	0.35526195 + -78.
11	21:24:16	false	0.35526195 + -78.
12	21:24:16	false	0.35526195 + -78.

Al realizar la verificación del correcto funcionamiento del sistema, se procede a comprobar la detección de situaciones en las que el adulto mayor sale de la geocerca definida, como se puede apreciar en la Figura 70.

**Figura 70**  
*Salida del adulto mayor de la geocerca*



Esta etapa de prueba es fundamental para evaluar la efectividad del sistema en la detección precisa y oportuna de movimientos fuera de los límites establecidos. La salida del adulto mayor de la geocerca, registrada en esta imagen, permite evaluar la capacidad del sistema para generar notificaciones correspondientes como se muestra en la Figura 71, informando a la persona a cargo sobre esta situación. Esta verificación rigurosa garantiza la integridad y confiabilidad del sistema en la protección y monitoreo de los adultos mayores, asegurando que se cumplan los objetivos de seguridad y cuidado establecidos.

### **Figura 71**

*Notificación de la salida del adulto mayor de la zona delimitada*



Además de la notificación previamente mencionada, también se puede observar en el registro, como se muestra en la Figura 72, el momento exacto en el cual el adulto mayor sale de la geocerca establecida. Esta información registrada es crucial para monitorear y verificar la precisión del sistema en la detección de movimientos fuera de los límites definidos. La visualización detallada en el registro proporciona una evidencia concreta y objetiva de la

violación de la geocerca por parte del adulto mayor. Esta funcionalidad del sistema brinda una mayor capacidad para identificar y abordar rápidamente situaciones en las que el adulto mayor se encuentra fuera de los límites establecidos, permitiendo una respuesta oportuna y adecuada para garantizar su seguridad y bienestar.

### **4.3. Resultados**

Al concluir las pruebas realizadas con los adultos mayores y sus respectivas personas a cargo, se verifica el correcto funcionamiento del sistema propuesto, confirmando así el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente. Además, se pudo comprobar la precisión del dispositivo GPS, la cual se estima entre 5 y 7 metros, teniendo en cuenta que esta precisión puede variar debido a la presencia de obstáculos como edificios altos o árboles densos, así como la interferencia electromagnética en entornos urbanos o áreas con mala visibilidad del cielo. Estas pruebas han permitido validar la confiabilidad y eficacia del sistema en el monitoreo y cuidado de los adultos mayores, brindando una herramienta efectiva para garantizar su seguridad y correcto monitoreo.

Además, durante el desarrollo de este estudio, se identificaron ciertas limitaciones que es importante tener en cuenta. Una de estas limitaciones se relaciona con la capacidad de la batería utilizada, la cual presenta una duración máxima de aproximadamente 2 horas y media a 3 horas como se muestra en la Tabla 20. Esta restricción en la autonomía de la batería puede afectar la operatividad continua del sistema y limitar su uso en períodos más extensos sin una recarga o cambio de batería. Además, otra limitación identificada se refiere a la precisión del sistema de posicionamiento global (GPS) previamente mencionado. Si bien se ha informado que la precisión del GPS puede ser de alrededor de 5 a 7 metros en condiciones ideales, es importante considerar que esta precisión puede verse afectada por diversos factores, como la presencia de

obstáculos y la interferencia electromagnética. Además, tras llevar a cabo las pruebas, se ha logrado obtener un valor de 92% de confiabilidad en el sistema, al analizar la relación entre el número de días en que se realizaron las pruebas y la cantidad de errores detectados en el sistema en cuestión.

**Tabla 20**  
*Resultados de las pruebas*

<b>Tipo de Prueba</b>	<b>Duración</b>	<b>Observación</b>
<b>Prueba preliminar</b>	10 días	Se pudo evaluar e identificar de manera más precisa las posibles limitaciones que podrían surgir al implementar el sistema en condiciones reales.
<b>Prueba 1</b>		
<b>Funcionamiento del bloque de control y comunicación</b>	2 días	
<b>Prueba 2</b>		
<b>Funcionamiento del bloque de recepción y aplicación móvil</b>	2 días	
<b>Prueba 3</b>		
<b>Funcionamiento del bloque de gestión de datos</b>	2 días	
<b>Prueba 4</b>		
<b>Funcionamiento del sistema con usuario 1</b>	3 días	Se evidenció una limitación significativa relacionada con el tiempo disponible para realizar las evaluaciones con el grupo de personas adultas mayores

<p align="center"><b>Prueba 5</b></p> <p><b>Funcionamiento del sistema con usuario 2</b></p>	3 días	<p>Se evidenció una limitación significativa relacionada con el tiempo disponible para realizar las evaluaciones con el grupo de personas adultas mayores</p>
<p align="center"><b>Prueba 6</b></p> <p><b>Funcionamiento del sistema con usuario 3</b></p>	3 días	<p>Se evidenció una limitación significativa relacionada con el tiempo disponible para realizar las evaluaciones con el grupo de personas adultas mayores</p>

Con el propósito de obtener un análisis exhaustivo de los resultados, se llevó a cabo una encuesta dirigida a los usuarios que participaron en las diversas pruebas realizadas durante el período del 25 de junio al 13 de julio. Esta encuesta consistió en un cuestionario compuesto por 10 preguntas como se detalla en el Anexo F donde dichas preguntas están diseñadas para recopilar opiniones y percepciones sobre el funcionamiento, uso y beneficios proporcionados por el sistema. El objetivo principal de esta encuesta fue obtener retroalimentación directa de los usuarios, permitiendo una evaluación más completa de la satisfacción y eficacia del sistema implementado. Los resultados de esta encuesta desempeñan un papel fundamental en la validación y mejora continua del sistema, ya que brindan información clave para identificar áreas de mejora y oportunidades de optimización.

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- Se ha logrado recolectar información relevante sobre personas desaparecidas en el Ecuador y en la ciudad de Ibarra, así como datos actualizados sobre el número de personas de tercera edad en la región, lo cual es fundamental para abordar esta problemática y mejorar las estrategias de atención y protección.
- La aplicación de la metodología PMBOK ha permitido establecer de manera precisa los requerimientos técnicos necesarios para el diseño del prototipo del dispositivo móvil, garantizando su integridad y consistencia a lo largo del proyecto.
- El diseño del circuito, que integra el microcontrolador con GPS y la tecnología LTE, ha superado pruebas rigurosas como las pruebas preliminares, las pruebas en ambiente controlado y las pruebas con los distintos usuarios adultos mayores, demostrando su capacidad para una localización y comunicación precisas, así como la detección y monitoreo del ritmo cardíaco.
- El sistema de geolocalización, basado en un módulo GPS y mapas de Google para la delimitación de zonas con geocercas, ha sido implementado con éxito, cumpliendo sus objetivos y demostrando su eficacia y confiabilidad en un 92 por ciento en la localización y definición de áreas geográficas específicas, así como el funcionamiento del sistema en general.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas con adultos mayores han sido efectivas y han evidenciado un alto grado de aceptación, validando el correcto funcionamiento del dispositivo y su utilidad en el monitoreo y cuidado de esta

población vulnerable. Estas pruebas han contribuido a la recopilación de retroalimentación importante y al desarrollo de mejoras para futuras versiones del dispositivo.

- En conclusión, el prototipo ha demostrado su viabilidad y utilidad en la supervisión de personas mayores, aunque presenta algunas limitaciones inherentes a su naturaleza de prototipo. Sin embargo, el sistema posee un significativo potencial para convertirse en una herramienta valiosa destinada a mejorar el cuidado y la protección de las personas de la tercera edad en nuestra sociedad.

### **Recomendaciones**

- Con el objetivo de mejorar la facilidad de uso, se sugiere la incorporación de sensores adicionales, como los de temperatura y presión, al prototipo. Estos sensores brindarán la capacidad de monitorear los signos vitales de las personas de la tercera edad, proporcionando información crítica de interés para los cuidadores. Esta mejora permitirá un seguimiento más completo y preciso del estado de salud de los usuarios.
- Para mejorar la portabilidad del dispositivo, se recomienda construir una placa dedicada para reemplazar la placa de desarrollo ESP32 T-SIM7600NA. La razón principal de esta propuesta es que la junta actual tiene funciones adicionales que no se utilizan en el estudio. Al diseñar una placa personalizada, puede reducir el tamaño y el peso del dispositivo eliminando componentes innecesarios y centrándose solo en los pines de alimentación, transmisión y recepción necesarios para el funcionamiento del sistema. Esta optimización haría que el dispositivo

fuera más compacto y fácil de transportar sin comprometer su funcionalidad básica.

- Debido a la limitada duración de la batería, se recomienda utilizar el dispositivo en momentos específicos en los que el adulto mayor se encuentre solo o sin supervisión directa. Esto permitirá maximizar la utilización del dispositivo y garantizar su disponibilidad en situaciones relevantes.
- Para replicar el sistema en otras ciudades como Quito se debe evaluar el rendimiento del sistema en entornos urbanos desafiantes. Estas pruebas deben abordar obstáculos como edificios altos, árboles densos e interferencia electromagnética. El objetivo para realizar estas pruebas es verificar la capacidad del sistema para superar estos desafíos y garantizar un funcionamiento óptimo en situaciones adversas.
- Se sugiere considerar la adquisición de un sensor de mayor calidad y precisión. Optando por un sensor más avanzado y confiable podría mejorar significativamente la exactitud y estabilidad de las mediciones de frecuencia cardíaca, reduciendo así la necesidad de reinicios y mejorando la experiencia del usuario.

## Referencias

- ARCOTEL. (2020). *Infraestructura y Cobertura: Servicio Móvil Avanzado*.
- Avila, H., & Cortes, J. (2016). *Guía para la realización de aplicaciones móviles en los sistemas operativos Android e IOS*.
- Bermúdez, Y., & López, J. (2011). *Análisis comparativo entre sistemas operativos de dispositivos móviles Android, Iphone y Blackberry*. Pereira.
- Chen Wang, Yan Wang, Yingying Chen, & Hongbo Liu. (2020). User authentication on mobile devices: Approaches, threats and trends. *Computer Networks*.
- Claro. (2023). *Claro*. Obtenido de Claro: <https://www.claro.com.ec/personas/servicios/servicios-moviles/cobertura/>
- Consejo-Nacional-para-la-Igualdad-Intergeneracional. (2020). *Estado de situación de las personas adultas mayores*. Obtenido de Estado de situación de las personas adultas mayores: <https://www.igualdad.gob.ec/estado-de-situacion-de-las-personas-adultas-mayores/#:~:text=Las%20personas%20adultas%20mayores%20son,6%25%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20total.>
- Cuatrecasas, L. (2012). *Gestión de proyectos. Producción por puestos fijos. Metodología PMBOK: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ediciones Díaz de Santos.
- EL UNIVERSO. (1 de Marzo de 2023). *EL UNIVERSO*. Obtenido de EL UNIVERSO: <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/que-es-y-como-funciona-la-alerta-emilia-para-la-busqueda-de-ninos-desaparecidos-en-ecuador-nota/#:~:text=Ecuador->

,Qu%C3%A9%20es%20y%20c%C3%B3mo%20funciona%20la%20alerta%20Emilia%20para%20la,6%20de%20febrero%20en

ESRI. (24 de 6 de 2023). *Sistemas de coordenadas, proyecciones de mapas y transformaciones*.

Obtenido de Sistemas de coordenadas, proyecciones de mapas y transformaciones:

<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/properties/coordinate-systems-and-projections.htm>

Fiscalía General del Estado. (10 de Abril de 2023). *Informacion-desaparecidos*. Obtenido de

<https://www.fiscalia.gob.ec/informacion-desaparecidos/>

Google. (24 de 6 de 2023). *Ayuda de cuenta google*. Obtenido de Ayuda de cuenta google:

<https://support.google.com/accounts/answer/1066447?hl=es&co=GENIE.Platform%3DAndroid>

Google. (2023). *Google Play Services*. Obtenido de Google Play Services:

<https://developers.google.com/android/guides/overview?hl=es-419>

Government of USA. (23 de Febrero de 2013). *National Heart, Lung and Blood Institute*.

Obtenido de National Heart, Lung and Blood Institute: <https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/education-and-awareness/heart-truth>

Hernandez, N., & Florez, A. (2014). *Computación en la nube*. Mundo Fesc.

Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento Satelital*.

INEC. (2010). *POBLACIÓN POR GRUPOS DE EDAD, SEGÚN PROVINCIA, CANTÓN, PARROQUIA Y ÁREA DE EMPADRONAMIENTO*.

Instituto Politécnico Nacional. (2018). *FINDER, SISTEMA DEL IPN PARA LOCALIZAR PERSONAS EXTRAVIADAS*. Obtenido de FINDER, SISTEMA DEL IPN PARA LOCALIZAR PERSONAS EXTRAVIADAS:

<https://www.ipn.mx/imageninstitucional/comunicados/ver-comunicado.html?y=2018&n=79>

Jiménez, D. (2018). *Sistema de ubicación y monitoreo de señales vitales en adultos mayores y personas con alzheimer*. Ambato.

Joel Murphy, & Brad Needham. (2023). *PulseSensor Playground*. Obtenido de PulseSensor Playground: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/pulsesensor-playground/>

León, I. G. (febrero de 2019). Informe de Rendición de Cuentas 2018. *MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACION*. Obtenido de MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACION: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2019/03/Informe-Rendici%C3%B3n-de-Cuentas-2018.pdf>

Machado, J. (8 de febrero de 2021). *Primicias*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/ecuador-personas-desaparecidas-dinased-problemas-sociales/>

Marcus Aurelius, P. (3 de 1 de 2023). *Sensorscall*. Obtenido de Sensorscall: <https://www.sensorscall.com/news/benefits-of-elderly-monitoring-systems#:~:text=Benefits%20of%20Elderly%20Monitoring%20Systems%3A%20Senior%20Health%20Issues%20...%206%206.%20Reducing%20Healthcare%20Costs>

Mayoclinic. (10 de 6 de 2023). *MAYOCLINIC*. Obtenido de MAYOCLINIC: <https://www.mayoclinic.org/>

Microsoft. (2023). *Codifique más rápido. Trabaje de manera más inteligente*. Obtenido de

Codifique más rápido. Trabaje de manera más inteligente.:

<https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/>

Ministerio de Gobierno. (2020). *Dinased resolvió el 84.8 % de los casos de desaparecidos, este*

*año*. Obtenido de <https://www.ministeriodegobierno.gob.ec/dinased-resolvio-el-84-8-de-los-casos-de-desaparecidos-este-ano/>

Mohamed Adel Serhani, Hadeel T. El Kassabi, Heba Ismail, & Heba Ismail,. (2020). ECG

Monitoring Systems: Review, Architecture, Processes, and Key Challenges. *National*

*Library of Medicine*. Obtenido de ECG Monitoring Systems: Review, Architecture,

Processes, and Key Challenges:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7147367/>

Moncayo, D. (2018). *DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA EL APOYO A LA*

*BÚSQUEDA DE PERSONAS DESAPARECIDAS EN EL DISTRITO METROPOLITANO*

*DE QUITO* . Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Moreno, C. (2017). *Estudio de la tecnología LTE en la banda de 700mhz como alternativa para*

*brindar servicio de internet fijo inalámbrico en zonas rurales del Ecuador*.

Official U.S. government. (16 de octubre de 2022). *Official U.S. government information about*

*the Global Positioning System (GPS) and related topics*. Obtenido de Official U.S.

government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics:

<https://www.gps.gov/>

Quinde , B., Mosquera, M., & Andrea, V. (2020). *Brecha digital en adultos mayores:*

*accesibilidad tecnológica y redes sociales*. GIGAPP Estudios working papers.

- Reock, J. (24 de 4 de 2020). *Top 5 Benefits of Open Source Software*. Obtenido de Top 5 Benefits of Open Source Software: <https://www.openlogic.com/blog/top-5-benefits-open-source-software>
- Rodriguez, J. (2020). *DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA BÚSQUEDA DE*. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL .
- SinapTec. (2018). *ESP32 desde Cero - Tutorial 2: PWM, Touch Sensor, Entradas y Salidas Digitales*. Obtenido de ESP32 desde Cero - Tutorial 2: PWM, Touch Sensor, Entradas y Salidas Digitales: <https://www.youtube.com/watch?v=bYTqqBU6M7Q>
- Vora, L. (2015). *Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G*. International journal of modern trends in engineering and research.
- ZEBRA. (24 de 6 de 2023). *Guia de normativa ET40*. Obtenido de Guia de normativa ET40: [https://www.zebra.com/content/dam/zebra\\_new\\_ia/en-us/manuals/tablets/et4x/et40-rg-esla.pdf](https://www.zebra.com/content/dam/zebra_new_ia/en-us/manuals/tablets/et4x/et40-rg-esla.pdf)

## ANEXOS

### ANEXO A. Ficha de Requerimiento

**Proyecto de titulación:** “Implementación de un sistema de geolocalización y frecuencia cardiaca, para la supervisión dentro de un perímetro virtual de personas de la tercera edad por medio de una aplicación móvil”

**Objetivo de análisis:** Entender de forma clara todos los requerimientos que debe contar el sistema de geolocalización y frecuencia cardiaca y de esta manera cumplir con los objetivos planteados en el proyecto de investigación.

**Fecha de realización:** 25 de junio del 2023

#### Artículos consultados:

1. Tracking decision-making of backcountry users using GPS tracks and participant surveys.
2. Proof of concept study using GPS-based tracking data to build agent-based models of visitors’ off-trail behavior in nature-based tourism settings.
3. Implementación de un prototipo para localización de personas de la tercera edad utilizando una aplicación móvil con sistema operativo Android y tecnología SIGFOX.
4. Sistema autónomo de monitoreo remoto para bicicletas, usando geolocalización y servicio móvil avanzado.
5. How to assess the capacity of urban airspace: A topological approach using keep-in and keep-out geofence.
6. Six scooter operators, six maps: Spatial coverage and regulation of micromobility in Vienna, Austria.
7. Experiences of health tracking in mobile apps for multiple sclerosis: A qualitative content analysis of user reviews.

8. An Investigation of Energy Consumption in Fused Deposition Modelling using ESP32 IoT Monitoring System.
9. Analysis and Design of automatically generating for GPS Based Moving Object Tracking System.
10. Desarrollo e implementación de una aplicación móvil para el control de rutas de motorizados monitoreados en tiempo real.
11. Sistema inteligente de seguridad y alertas para bicicletas en el ecuador basado en Iot.
12. Datasheet esp32 tsm7600na.
13. Datasheet de Sensor de frecuencia cardiaca MAX30102.
14. ECG Monitoring Systems: Review, Architecture, Processes, and Key Challenges.

### **Lista de Stakeholders**

<b>Abreviatura</b>	<b>Descripción</b>
RSta	Requerimientos de Stakeholders
RSis	Requerimientos del sistema
RArq	Requerimientos de arquitectura

<b>Requerimiento de Stakeholders</b>			
<b>Nomenclatura</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>
<b>RSta 1</b>	El dispositivo debe tener alimentación por medio de una batería	Un dispositivo de rastreo por GPS necesita una fuente de alimentación para funcionar. Una opción es utilizar una batería como fuente de alimentación. Es importante utilizar baterías y cargadores compatibles con el dispositivo para evitar riesgos de incendio, explosión, fugas u otros peligros (ZEBRA, 2023)	Alta
<b>RSta 2</b>	El sistema debe poder almacenar las coordenadas del GPS	El almacenamiento de las coordenadas del GPS permite realizar análisis espacialmente precisos y crear mapas para la geolocalización de personas (ESRI, 2023).	Alta
<b>RSta 3</b>	El sistema debe poder almacenar los datos de frecuencia cardíaca	El almacenamiento de datos permite tener un registro histórico de la frecuencia cardíaca del paciente, lo que puede ser útil para detectar patrones y cambios en el tiempo. Esto puede ayudar a los médicos a realizar un seguimiento más preciso de la salud del paciente y a detectar posibles problemas de salud antes de que se vuelvan más graves (Mohamed Adel Serhani, Hadeel T. El Kassabi, Heba Ismail, & Heba Ismail., 2020).	Alta
<b>RSta 4</b>	El sistema debe tener conexión inalámbrica para la transmisión de datos	La conexión inalámbrica permite la transmisión de datos en tiempo real, lo que puede ser útil para monitorear y analizar información en tiempo real. La conexión inalámbrica permite transmitir los datos de frecuencia cardíaca del paciente a una base de datos en tiempo real, lo que puede ayudar a los médicos a detectar problemas de salud antes de que se vuelvan más graves.	Alta
<b>RSta 5</b>	La aplicación móvil debe tener una autenticación de usuario	La autenticación de usuario en la aplicación móvil es importante para prevenir el acceso no autorizado a la aplicación y proteger la información sensible del usuario. La autenticación de usuario es un proceso mediante el cual se verifica la identidad del usuario antes de permitirle acceder a la aplicación y sus funciones (Chen Wang, Yan Wang, Yingying Chen, & Hongbo Liu, 2020).	Media
<b>RSta 6</b>	La aplicación móvil debe ser de fácil manejo para los usuarios	Una aplicación fácil de usar es intuitiva y fácil de navegar, lo que permite a los usuarios encontrar y utilizar las funciones de la aplicación de manera rápida y eficiente. Esto puede mejorar la experiencia del usuario y aumentar la satisfacción con la aplicación.	Media
<b>Requerimiento de Sistema</b>			
<b>Nomenclatura</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>
<b>RSis 1</b>	El dispositivo debe tener alimentación por medio de una batería	Un dispositivo de rastreo por GPS necesita una fuente de alimentación para funcionar. Una opción es utilizar una batería como fuente de alimentación. Es importante utilizar baterías y cargadores compatibles con el dispositivo	Alta

		para evitar riesgos de incendio, explosión, fugas u otros peligros (ZEBRA, 2023).	
<b>RSis 2</b>	El sistema debe poder almacenar las coordenadas del GPS	El almacenamiento de las coordenadas del GPS permite realizar análisis espacialmente precisos y crear mapas para la geolocalización de personas (ESRI, 2023).	Alta
<b>RSis 3</b>	El sistema debe poder almacenar los datos de frecuencia cardíaca	El almacenamiento de datos permite tener un registro histórico de la frecuencia cardíaca del paciente, lo que puede ser útil para detectar patrones y cambios en el tiempo. Esto puede ayudar a los médicos a realizar un seguimiento más preciso de la salud del paciente y a detectar posibles problemas de salud antes de que se vuelvan más graves (Mohamed Adel Serhani, Hadeel T. El Kassabi, Heba Ismail, & Heba Ismail, 2020).	Alta
<b>RSis 4</b>	El sistema debe tener conexión inalámbrica para la transmisión de datos	La conexión inalámbrica permite la transmisión de datos en tiempo real, lo que puede ser útil para monitorear y analizar información en tiempo real. La conexión inalámbrica permite transmitir los datos de frecuencia cardíaca del paciente a una base de datos en tiempo real, lo que puede ayudar a los médicos a detectar problemas de salud antes de que se vuelvan más graves.	Alta
<b>RSis 5</b>	El microcontrolador deber contar con interfaces de 2 entradas/salidas digitales	Las entradas digitales permiten al microcontrolador recibir señales de dispositivos externos, como sensores, interruptores o botones. Las salidas digitales permiten al microcontrolador enviar señales a dispositivos externos, como LEDs, motores o relés (SinapTec, 2018).	Baja
<b>RSis 6</b>	La activación del dispositivo electrónico se realiza mediante la aplicación móvil	La activación a través de una aplicación móvil puede permitir la verificación de la identidad del usuario y garantizar que solo las personas autorizadas puedan activar el dispositivo (Google, Ayuda de cuenta google, 2023).	Media
<b>RSis 7</b>	El envío y recepción de los datos se lo realiza mediante un módulo de comunicación inalámbrica LTE	Al enviar mediante tecnología LTE se mejora la capacidad y velocidad de estándares como GSM/EDGE y UMTS/HSPA mediante el uso de una interfaz de radio diferente y mejoras en la red central (Moreno, 2017).	Alta
<b>RSis 8</b>	El dispositivo debe estar activo siempre que el adulto mayor se quede solo o sin supervisión	Esto puede mejorar la seguridad del adulto mayor al permitir la detección temprana de problemas de salud, accidentes o extravíos (Marcus Aurelius, 2023).	Alta

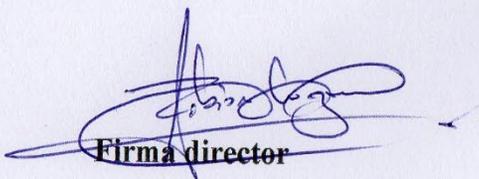
<b>Requerimientos del Sistema</b>
-----------------------------------

<b>Requerimientos de Lógicos</b>			
<b>Nomenclatura</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>
<b>RArq 1</b>	2 entradas/salidas digitales para Tx y Rx	Las entradas digitales permiten al microcontrolador recibir señales de dispositivos externos, como sensores, interruptores o botones. Las salidas digitales permiten al microcontrolador enviar señales a dispositivos externos, como LEDs, motores o relés (SinapTec, 2018).	Baja
<b>RArq 2</b>	Comunicación del sistema mediante la tecnología LTE	Al enviar mediante tecnología LTE se mejora la capacidad y velocidad de estándares como GSM/EDGE y UMTS/HSPA mediante el uso de una interfaz de radio diferente y mejoras en la red central (Moreno, 2017).	Alta
<b>RArq 3</b>	Los datos recopilados se deben visualizar en la aplicación móvil	La visualización de datos en la aplicación móvil puede permitir una mejor comprensión y análisis de la información.	Alta
<b>Requerimientos de diseño</b>			
<b>RArq 4</b>	Dispositivo debe estar protegido con una estructura para evitar posibles daños	El microcontrolador es un dispositivo electrónico sensible que pueden ser dañado por factores externos como el polvo, la humedad, la temperatura y los golpes. Una estructura o carcasa puede proteger al microcontrolador de estos factores y prolongar su vida útil.	Alta
<b>RArq 5</b>	El software del microcontrolador debe contar con librerías compatibles con el sensor de frecuencia cardiaca	Es de gran importancia asegurarse de que el software del microcontrolador cuente con librerías compatibles con el sensor de frecuencia cardiaca para garantizar una comunicación fluida y precisa entre el microcontrolador y el sensor (Joel Murphy, Joel Murphy, & Brad Needham, 2023).	Alta
<b>Requerimientos de software</b>			
<b>RArq 6</b>	El Software de programación debe ser compatible con la placa de procesamiento	El software de programación dentro de Arduino IDE debe ser compatible con la placa ESP32 T-SIM7600NA para permitir su uso y programación.	Alta
<b>RArq 7</b>	Licencia de libre uso	El software de código abierto implica que no estás obligado a pagar por el uso del software y no necesitas utilizar gastos generales de adquisición para administrar renovaciones de licencias, abaratando así el costo final del sistema (Reock, 2020).	Media
<b>RArq 8</b>	IDE para programación multiplataforma	Un IDE multiplataforma permite a los desarrolladores escribir, compilar y ejecutar código en diferentes sistemas operativos y plataformas, lo que puede mejorar la eficiencia y la productividad del desarrollo (Microsoft, 2023).	Alta
<b>RArq 9</b>	Compatibilidad con	Android y iOS son los dos sistemas operativos móviles más populares en	

	sistemas operativos Android y iOS	el mundo, y juntos representan la gran mayoría de los dispositivos móviles en uso (Bermúdez & López, 2011).	Alta
<b>RArq 10</b>	Software fácil de usar y que no requiera una curva de aprendizaje extensa	Un software fácil de usar permite familiarizarse rápidamente con el funcionamiento del software y comenzar a trabajar en el proyecto de manera más eficiente. Al eliminar la necesidad de invertir una cantidad significativa de tiempo en aprender una nueva herramienta compleja, se puede centrarse en la creación y desarrollo de software de manera más efectiva.	Baja
<b>RArq 11</b>	Geocerca con API de Google	La API de Google Maps puede utilizarse para proporcionar funciones de geolocalización y navegación en una aplicación (Google, Google Play Services, 2023).	Alta
<b>RArq 12</b>	Aplicación debe ser amigable y fácil de usar para usuario	Una aplicación fácil de usar es intuitiva y fácil de navegar, lo que permite a los usuarios encontrar y utilizar las funciones de la aplicación de manera rápida y eficiente. Esto puede mejorar la experiencia del usuario y aumentar la satisfacción con la aplicación.	Alta
<b>Requerimientos de hardware</b>			
<b>RArq 13</b>	Placa de procesamiento compatible con tecnología LTE y GPS	La placa ESP32 T-SIM7600 puede utilizar la tecnología LTE para enviar información en tiempo real a una base de datos central, lo que puede ser útil para monitorear la ubicación de personas extraviadas. Además, la placa también cuenta con un módulo GPS que puede utilizarse para obtener la ubicación precisa del dispositivo.	Alta
<b>RArq 14</b>	Ranura para chip LTE	Al tener una ranura para chip LTE, el microcontrolador puede utilizar un chip LTE para conectarse a una red móvil y transmitir datos a través de la tecnología LTE. Esto es de gran utilidad para la aplicación que requiere una transmisión rápida y confiable de datos (Moreno, 2017).	Alta
<b>RArq 15</b>	Antena LTE	La antena LTE permite la conectividad a través de la red de comunicación móvil LTE (Long-Term Evolution). Esto es crucial para transmitir los datos de geolocalización y frecuencia cardíaca de las personas monitoreadas a la aplicación móvil de supervisión.	Alta
<b>RArq 16</b>	Antena GPS	La antena GPS es esencial para obtener información precisa sobre la ubicación geográfica de las personas de la tercera edad dentro del perímetro virtual. Con la antena GPS, el sistema puede determinar con precisión la posición de cada individuo supervisado en tiempo real (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).	Alta
<b>RArq 17</b>	Sensor de frecuencia cardíaca	El sensor de frecuencia cardíaca permite medir y monitorear la actividad cardíaca de las personas de la tercera edad. Esto es especialmente relevante	

		perímetro virtual. Con la antena GPS, el sistema puede determinar con precisión la posición de cada individuo supervisado en tiempo real (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).	Alta
<b>RArq 17</b>	Sensor de frecuencia cardiaca	El sensor de frecuencia cardíaca permite medir y monitorear la actividad cardíaca de las personas de la tercera edad. Esto es especialmente relevante para aquellos con problemas de salud cardíaca o que requieren un monitoreo constante (Mohamed Adel Serhani, Hadeel T. El Kassabi, Heba Ismail, & Heba Ismail,, 2020).	Alta
<b>RArq 18</b>	Fuente alimentación de poco consumo con la capacidad de alimentar al sistema	Un dispositivo de rastreo por GPS necesita una fuente de alimentación para funcionar. Una opción es utilizar una batería como fuente de alimentación. Es importante utilizar baterías y cargadores compatibles con el dispositivo para evitar riesgos de incendio, explosión, fugas u otros peligros (ZEBRA, 2023).	Alta

Elaborado por: Christian Villegas



**Firma director**

Msc. Cuzme Rodríguez Fabián Geovanny

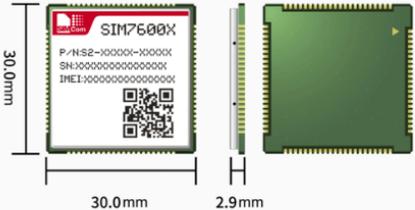


**Firma estudiante**

Villegas Morejón Christian Andres

## ANEXO B. Datasheet esp32 tsim7600na

### SIM7600X



The SIM7600 series is the LTE Cat 1 module which supports wireless communication modes of LTE-TDD/ LTE-FDD/HSPA+/GSM/GPRS/EDGE etc. It supports maximum 10Mbps downlink rate and 5Mbps uplink rate.

The SIM7600 series adopts LCC1 form factor and is compatible with SIM5320/SIM5360 series(UMTS/HSPA+ modules), and SIM7600/SIM7600-H series(LTE modules), which enables smooth migration from 3G products to LTE products, and greatly facilitates more compatible product design for the customer needs.

The SIM7600 series integrates multiple satellite high accuracy positioning GNSS systems, with multiple built-in network protocols, supports drivers for main operation systems (USB driver for Windows, Linux and Android etc.) and software function, AT commands are compatible with SIM7500/SIM7600-H series modules. Meanwhile the SIM7600 series integrates main industrial standard interfaces, with powerful expansibility, including abundant interfaces such as UART, USB, I2C, GPIO, which is suitable for main IoT applications such as telematics, surveillance devices, CPE, industrial routers, and remote diagnostics etc.

### Product Advantages

- LCC1 form factor with abundant interfaces
- Suitable for LTE, UMTS and GSM networks with global coverage
- Abundant software functions: FOTA, LBS, TLS, VoLTE
- Multi-constellation GNSS receiver support
- AT commands of the SIM7600 series are compatible with the SIM7500/SIM7600-H series modules

### Product Details

Product	SIM7600A	SIM7600SA	SIM7600E
Form Factor	LCC, 87PIN	LCC, 87PIN	LCC, 87PIN
Dimensions(mm)	30.0*30.0*2.9	30.0*30.0*2.9	30.0*30.0*2.9
Frequency Bands	LTE-FDD	B2/B4/B12	B1/B3/B5/B7/B8/B28/B66
	LTE-TDD		B40
	WCDMA	B2/B5	B1/B2/B5/B8
	GSM		850/900/1800/1900MHz
GNSS	o	o	o
Temperature	-40°C ~ +85°C	-40°C ~ +85°C	-40°C ~ +85°C
<b>Electrical Features</b>			
Supply Voltage(V)	3.4~ 4.2	3.4~ 4.2	3.4~ 4.2
Power Consumption (mA)	LTE	2.3	2.3
	WCDMA, DRX=9	3.3	3.3
	GSM, B3_PA_	2.8	2.8
	MFRMS=2		
<b>Data Transfer</b>			
LTE(Mbps)	10(DL)/5(UL)	10(DL)/5(UL)	10(DL)/5(UL)
HSPA+(Mbps)	42(DL)/5.78(UL)	42(DL)/5.78(UL)	42(DL)/5.78(UL)
WCDMA(Kbps)	384(DL)/384(UL)	384(DL)/384(UL)	384(DL)/384(UL)
GPRS/EDGE(Kbps)		236.8(DL)/236.8(UL)	236.8(DL)/236.8(UL)

Software Features			
Protocol	TCP/IP/IPv4/IPv6/ Multi-PDP/FTP/FTPS/HTTP/ HTTPS/DNS	TCP/IP/IPv4/IPv6/Multi-PDP/ FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/DNS	TCP/IP/IPv4/IPv6/ Multi-PDP/FTP/FTPS/ HTTP/HTTPS/DNS
TLS	▪	▪	▪
File System	▪	▪	▪
Audio Record/Play	o	o	o
TTS	o	o	o
DTMF	o	o	o
LBS	▪	▪	▪
FOTA	▪	▪	▪
Jamming Detection	▪	▪	▪
Android RIL	Android 5.0/6.0/7.0/8.0/9.0	Android 5.0/6.0/7.0/8.0/9.0	Android 5.0/6.0/7.0/8.0/9.0
USB Driver	Microsoft Windows 7/8/10 Linux/Android	Microsoft Windows 7/8/10 Linux/Android	Microsoft Windows 7/8/10 Linux/Android
WWAN (RNDIS)	▪	▪	▪
ECM	▪	▪	▪
MBIM	Win8/Win10	Win8/Win10	Win8/Win10
NDIS	Linux/Windows 7/8/10	Linux/Windows 7/8/10	Linux/Windows 7/8/10
Firmware Upgrade	USB/FOTA	USB/FOTA	USB/FOTA
Interfaces			
SIM Card	1.8V/3.0V	1.8V/3.0V	1.8V/3.0V
UART	▪	▪	▪
USB	▪	▪	▪
PCM	o	o	o
ADC	▪	▪	▪
SD Card	▪	▪	▪
SPI	o	o	o
I2C	▪	▪	▪
Diversity Receiver	▪	▪	▪
Certification			
Regulatory	FCC/PTCRB/RoHS/REACH/IC	CE-RED/ACMA/FCC/ RoHS/REACH/Anatel	CE-RED/RoHS/REACH/ IMDA/GCF
Carrier	AT&T/Rogers	Telstra	DTAG/Vodafone

## ANEXO C. Datasheet de Sensor de frecuencia cardiaca MAX30102

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

### MAX30102

### High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health

#### General Description

The MAX30102 is an integrated pulse oximetry and heart-rate monitor module. It includes internal LEDs, photodetectors, optical elements, and low-noise electronics with ambient light rejection. The MAX30102 provides a complete system solution to ease the design-in process for mobile and wearable devices.

The MAX30102 operates on a single 1.8V power supply and a separate 3.3V power supply for the internal LEDs. Communication is through a standard I<sup>2</sup>C-compatible interface. The module can be shut down through software with zero standby current, allowing the power rails to remain powered at all times.

#### Applications

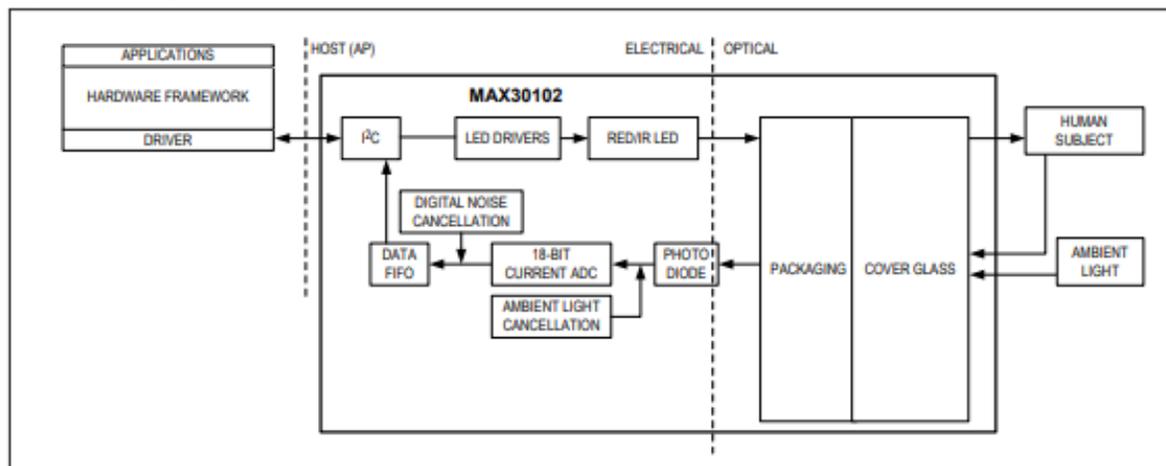
- Wearable Devices
- Fitness Assistant Devices
- Smartphones
- Tablets

#### Benefits and Features

- Heart-Rate Monitor and Pulse Oximeter Sensor in LED Reflective Solution
- Tiny 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm 14-Pin Optical Module
  - Integrated Cover Glass for Optimal, Robust Performance
- Ultra-Low Power Operation for Mobile Devices
  - Programmable Sample Rate and LED Current for Power Savings
  - Low-Power Heart-Rate Monitor (< 1mW)
  - Ultra-Low Shutdown Current (0.7μA, typ)
- Fast Data Output Capability
  - High Sample Rates
- Robust Motion Artifact Resilience
  - High SNR
- -40°C to +85°C Operating Temperature Range

[Ordering Information](#) appears at end of data sheet.

#### System Diagram



## MAX30102

High-Sensitivity Pulse Oximeter and  
Heart-Rate Sensor for Wearable Health

## Absolute Maximum Ratings

V <sub>DD</sub> to GND .....	-0.3V to +2.2V	Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)	
GND to PGND .....	-0.3V to +0.3V	OESIP (derate 5.5mW/°C above +70°C) .....	440mW
V <sub>LED+</sub> to PGND .....	-0.3V to +6.0V	Operating Temperature Range .....	-40°C to +85°C
All Other Pins to GND .....	-0.3V to +6.0V	Junction Temperature .....	+90°C
Output Short-Circuit Current Duration .....	Continuous	Soldering Temperature (reflow) .....	+260°C
Continuous Input Current into Any Terminal .....	±20mA	Storage Temperature Range .....	-40°C to +105°C
ESD, Human Body Model (HBM) .....	2.5kV		
Latchup Immunity .....	±250mA		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only; functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## Package Information

<b>PACKAGE TYPE: 14 OESIP</b>	
Package Code	F143A5MK+1
Outline Number	<a href="#">21-1048</a>
Land Pattern Number	<a href="#">90-0602</a>
<b>THERMAL RESISTANCE, FOUR-LAYER BOARD</b>	
Junction to Ambient (θ <sub>JA</sub> )	180°C/W
Junction to Case (θ <sub>JC</sub> )	150°C/W

Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to [www.maximintegrated.com/thermal-tutorial](http://www.maximintegrated.com/thermal-tutorial).

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to [www.maximintegrated.com/packages](http://www.maximintegrated.com/packages). Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

## Electrical Characteristics

(V<sub>DD</sub> = 1.8V, V<sub>LED+</sub> = 5.0V, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values are at T<sub>A</sub> = +25°C) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>POWER SUPPLY</b>						
Power-Supply Voltage	V <sub>DD</sub>	Guaranteed by RED and IR count tolerance	1.7	1.8	2.0	V
LED Supply Voltage V <sub>LED+</sub> to PGND	V <sub>LED+</sub>	Guaranteed by PSRR of LED driver	3.1	3.3	5.0	V
Supply Current	I <sub>DD</sub>	SpO <sub>2</sub> and HR mode, PW = 215μs, 50sps		600	1200	μA
		IR only mode, PW = 215μs, 50sps		600	1200	
Supply Current in Shutdown	I <sub>SHDN</sub>	T <sub>A</sub> = +25°C, MODE = 0x80		0.7	10	μA

## MAX30102

High-Sensitivity Pulse Oximeter and  
Heart-Rate Sensor for Wearable Health

## Electrical Characteristics (continued)

(V<sub>DD</sub> = 1.8V, V<sub>LED+</sub> = 5.0V, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values are at T<sub>A</sub> = +25°C) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>PULSE OXIMETRY/HEART-RATE SENSOR CHARACTERISTICS</b>						
ADC Resolution				18		bits
Red ADC Count (Note 2)	REDC	LED1_PA = 0x0C, LED_PW = 0x01, SPO2_SR = 0x05, ADC_RGE = 0x00		65536		Counts
IR ADC Count (Note 2)	IRC	LED2_PA = 0x0C, LED_PW = 0x01, SPO2_SR = 0x05 ADC_RGE = 0x00		65536		Counts
Dark Current Count	LED_DCC	LED1_PA = LED2_PA = 0x00, LED_PW = 0x03, SPO2_SR = 0x01 ADC_RGE = 0x02		30	128	Counts
				0.01	0.05	% of FS
DC Ambient Light Rejection	ALR	ADC counts with finger on sensor under direct sunlight (100K lux), ADC_RGE = 0x3, LED_PW = 0x03, SPO2_SR = 0x01	Red LED	2		Counts
			IR LED	2		Counts
ADC Count—PSRR (V <sub>DD</sub> )	PSRRV <sub>DD</sub>	1.7V < V <sub>DD</sub> < 2.0V, LED_PW = 0x01, SPO2_SR = 0x05  Frequency = DC to 100kHz, 100mV <sub>p,p</sub>		0.25	1	% of FS
					10	LSB
ADC Count—PSRR (LED Driver Outputs)	PSRR <sub>LED</sub>	3.1V < V <sub>LED+</sub> < 5.0V, LED1_PA = LED2_PA = 0x0C, LED_PW = 0x01, SPO2_SR = 0x05  Frequency = DC to 100kHz, 100mV <sub>p,p</sub>		0.05	1	% of FS
					10	LSB
ADC Clock Frequency	CLK		10.32	10.48	10.64	MHz
ADC Integration Time	INT	LED_PW = 0x00		69		μs
		LED_PW = 0x01		118		
		LED_PW = 0x02		215		
		LED_PW = 0x03		411		
Slot Timing (Timing Between Sequential Channel Samples; e.g., Red Pulse Rising Edge To IR Pulse Rising Edge)	INT	LED_PW = 0x00		427.1		μs
		LED_PW = 0x01		524.7		
		LED_PW = 0x02		720.0		
		LED_PW = 0x03		1106.6		
<b>COVER GLASS CHARACTERISTICS (Note 3)</b>						
Hydrolytic Resistance Class		Per DIN ISO 719		HGB 1		

## ANEXO D. Código realizado en Arduino

### i. Código para la toma de datos de la posición GPS, la frecuencia cardiaca conexión a la red LTE y transmisión a la base de datos Firebase.

```
//Macros y configuraciones para trabajar con un módulo GSM SIM7600 y
//realizar pruebas relacionadas con GPRS y TCP
#define TINY_GSM_MODEM_SIM7600
#define SerialMon Serial
#define SerialAT Serial1
#define TINY_GSM_DEBUG SerialMon
#define TINY_GSM_TEST_GPRS true
#define TINY_GSM_TEST_TCP true
#define GSM_PIN ""
// Credenciales GPRS
const char apn[] = "internet.cnt.net.ec"; // Operador APN
const char gprsUser[] = "";
const char gprsPass[] = "";
// Detalles del servidor para probar TCP/SSL
const char server[] = "tesisapp-180d2-default-rtdb.firebaseio.com";
const String resource = "AIzaSyBAtraksxaKmmX_rrd4RsW-ZrJJJaYSrpYg";
const int port = 443;
const String var = "/Datos";
//Bibliotecas
#include <TinyGsmClient.h> //Implementación de un cliente GSM
para conectarse a una red celular
#include <ArduinoHttpClient.h> //Proporciona una interfaz para
realizar solicitudes HTTP utilizando el cliente Ethernet o LTE
#include "SSLClient.h" //Implementación de un cliente SSL
para establecer conexiones seguras a través del protocolo HTTPS
#include "utilities.h" //Funciones de utilidad adicionales
para el proyecto
#include "certs.h" //Certificados o claves necesarios
para establecer conexiones seguras SSL/TLS
#include <Wire.h> //Proporciona funciones para la
comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) entre dispositivos
#include "MAX30105.h" //Biblioteca para controlar el sensor
MAX30105
#include "heartRate.h" //Contiene funciones y algoritmos para
calcular la frecuencia cardíaca
//Alternar entre dos formas de inicializar el objeto modem de la
//biblioteca TinyGsm con depuración habilitada y otra sin depuración
#ifdef DUMP_AT_COMMANDS
#include <StreamDebugger.h>
StreamDebugger debugger(SerialAT, SerialMon);
TinyGsm modem(debugger);
#else
TinyGsm modem(SerialAT);
#endif
//Objetos para establecer una conexión segura HTTPS con un servidor
```

```

//utilizando la biblioteca TinyGsm

TinyGsmClient base_client(modem, 0);
SSLClient secure_layer(&base_client);
HttpClient client = HttpClient(secure_layer, server, port);
//SDeclaracion de variables que utilizará el sensor MAX30105
MAX30105 particleSensor;
const byte RATE_SIZE = 4;
byte rates[RATE_SIZE]; //Matriz de frecuencias cardíacas
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0;
float beatsPerMinute;
int beatAvg;
int a=0;
int b=0;
String frecuencia;
void setup() {
  Serial.begin(115200); //Establecer la velocidad de transmisión de la
  consola
  //Sensor MAX30105
  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST)) //Puerto I2C
  predeterminado, velocidad de 400 kHz
  {
    Serial.println("MAX30102 no fue encontrado. Por favor, compruebe
    el cableado/alimentación. ");
    while (1);
  }
  Serial.println("El sensor no está en contacto con el usuario.");
  particleSensor.setup(); //Se configura el sensor con la
  configuración predeterminada
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A); //El LED rojo indica que
  el sensor está funcionando
  particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0);
  // Módulo t-SIM 7600NA
  SerialAT.begin(UART_BAUD, SERIAL_8N1, MODEM_RX, MODEM_TX);
  //Establecer la tasa de baudios del módulo GSM
  //Luz indicadora del tablero
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);
  pinMode(MODEM_FLIGHT, OUTPUT);
  digitalWrite(MODEM_FLIGHT, HIGH);
  /*
  MODEM_PWRKEY IO:4 Se le debe dar la señal de encendido del
  modulador,
  de lo contrario, el modulador no responderá cuando se envíe el
  comando
  */
  pinMode(MODEM_PWRKEY, OUTPUT);
  digitalWrite(MODEM_PWRKEY, HIGH);
  delay(300); //Need delay
  digitalWrite(MODEM_PWRKEY, LOW);
  pinMode(IND_PIN, INPUT);

```

```

    DBG("Wait...");
    //Agregar certificado CA
    secure_layer.setCACert(test_root_ca);
}
void light_sleep(uint32_t sec) {
    esp_sleep_enable_timer_wakeup(sec * 1000000ULL);
    esp_light_sleep_start();
}
String frec()
{
    long irValue = particleSensor.getIR();
    if (checkForBeat(irValue) == true)
    {
        long delta = millis() - lastBeat;
        lastBeat = millis();
        beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);
        if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20)
        {
            rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute; //Store this reading
in the array
            rateSpot %= RATE_SIZE; //Wrap variable
            //Take average of readings
            beatAvg = 0;
            for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
                beatAvg += rates[x];
            beatAvg /= RATE_SIZE;
            //if(beatAvg == 0){a=0;}
            Serial.print("IR=");
            Serial.print(irValue);
            Serial.print(", BPM=");
            Serial.print(beatsPerMinute);
            Serial.print(", Avg BPM=");
            Serial.print(beatAvg);
            Serial.println();
        }
    }
    String frecc = String(beatAvg);
    return frecc;
}
void loop() {
    bool res;
    // Restart takes quite some time
    // To skip it, call init() instead of restart()
    DBG("Initializing modem...");
    if (!modem.init()) {
        if (!modem.restart()) {
            DBG("Failed to restart modem, delaying 10s and retrying");
            // restart autobaud in case GSM just rebooted
            return;
        }
    }
}
#endif TINY_GSM_TEST_GPRS

```

```

String ret;
do {
    ret = modem.setNetworkMode(38);
} while (!ret);
String name = modem.getModemName();
DBG("Modem Name:", name);
String modemInfo = modem.getModemInfo();
DBG("Modem Info:", modemInfo);
// Unlock your SIM card with a PIN if needed
if (GSM_PIN && modem.getSimStatus() != 3) {
    modem.simUnlock(GSM_PIN);
}
DBG("Waiting for network...");
if (!modem.waitForNetwork(600000L)) {
    light_sleep(10);
    return;
}

if (modem.isNetworkConnected()) {
    DBG("Network connected");
}
#endif
#if TINY_GSM_TEST_GPRS
DBG("Connecting to", apn);
if (!modem.gprsConnect(apn, gprsUser, gprsPass)) {
    light_sleep(10);
    return;
}

res = modem.isGprsConnected();
DBG("GPRS status:", res ? "connected" : "not connected");

String ccid = modem.getSimCCID();
DBG("CCID:", ccid);

String imei = modem.getIMEI();
DBG("IMEI:", imei);
String imsi = modem.getIMSI();
DBG("IMSI:", imsi);

String cop = modem.getOperator();
DBG("Operator:", cop);
modem.sendAT(GF("+CNSMOD?"));
if (modem.waitForResponse(GF(GSM_NL "+CNSMOD:")) != 1) {}
int nmodec = modem.stream.readStringUntil(',').toInt() != 0;
int nmode = modem.stream.readStringUntil('\n').toInt();
modem.waitForResponse();
DBG("Network Mode:", nmode);
IPAddress local = modem.localIP();
DBG("Local IP:", local);
int csq = modem.getSignalQuality();
DBG("Signal quality:", csq);

```

```

#endif
#if TINY_GSM_TEST_TCP && defined TINY_GSM_MODEM_HAS_TCP
  // Retrieve Time
  String time;
  do {
    time = modem.getGSMDateTime(DATE_FULL).substring(0, 17);
  } while (!time);
  DBG("Current Network Time:", time);
  // Retrieve Temperature
  float temp;
  do {
    temp = modem.getTemperature();
  } while (!temp);
  DBG("Modem Temp:", temp);
  if (!modem.isGprsConnected()) {
    DBG("... not connected");
  } else {
    modem.enableGPS();
    float lat2 =0;
    float lon2 =0;
    DBG("Requesting current GPS/GNSS/GLONASS location");
    for (;;) {
      digitalWrite(LED_PIN, !digitalRead(LED_PIN));
      if (modem.getGPS(&lat2, &lon2)) {
        Serial.println(lat2);
        Serial.println(lon2);
        DBG("Latitude:", String(lat2 * -1, 8), "\tLongitude:",
String(lon2, 8));
      }
      break;
    }
    while(a<=10000){
      a = millis()-b;
      frecuencia = frec();
    }
    Serial.println(lat2,8);
    Serial.println(lon2,8);
    Serial.println(frecuencia);
    DBG("Connecting to ", server);
    // Make a HTTPS POST request:
    Serial.println("Making POST request securely");
    String URL;
    if (var[0] != '/') {
      URL = "/";
    }
    URL += var + ".json";
    URL += "?auth=" + resource;
    String contentType = "Content-Type: application/json";
    String lat = String(lat2*-1,8);
    String lon = String(lon2,8);
    String postData = "{";
    postData += "\"lat\":" + lat + ",";

```

```

postData += "\"lng\":\"" + lon + ",";
postData += "\"freq\":\"" + frecuencia + "\"";
postData += "}\"";
client.put(URL, contentType, postData);
int status_code = client.responseStatusCode();
String response = client.responseBody();
Serial.print("Status code: ");
Serial.println(status_code);
Serial.print("Response: ");
Serial.println(response);
b = millis();
a = millis()-b;
client.stop();
}
#endif
}

```

## ii. Código del certificado necesario para la conexión HTTPS con la base de datos de Fireabase

```

const char* test_root_ca= \
"-----BEGIN CERTIFICATE-----\n" \
"MIIFVzCCAz+gAwIBAgINAgPlk28xsBNJiGuiFzANBgkqhkiG9w0BAQwFADBHMQsw\n" \
"CQYDVQQGEwJVUzEiMCAGA1UEChMZR29vZ2xlIFRydXN0IFNlcnZpY2VzIEExMQzEU\n" \
"MBIGA1UEAxMLR1RTIFJvb3QgUjEwHhcNMjYwNjIyMDAwMDAwWhcNMzYwNjIyMDAw\n" \
"MDAwWjBHMQswCQYDVQQGEwJVUzEiMCAGA1UEChMZR29vZ2xlIFRydXN0IFNlcnZp\n" \
"Y2VzIEExMQzEUUMBIGA1UEAxMLR1RTIFJvb3QgUjEwHhcNMjYwNjIyMDAwMDAw\n" \
"A4ICDwAwggIKAoICAQC2EQKLHuOhd5s73L+UPreVp0A8of2C+X0yBoJx9vaMf/vo\n" \
"27xqLpeXo4xL+Sv2sfnOhB2x+cWX3u+58qPpvBKJXqeqUqv4IyflPLGcY9vXmX7w\n" \
"C17raKb0xlpHDU0QM+NOsROjyBhsS+z8CZDfnWQpJSMHobTSPS5g4M/SCYe7zUjw\n" \
"TcLCEoiKu7rPWRnWr4+wB7CeMfGCwcDfLqZtbBkOtdh+JhpFAz2weaSUKK0Pfybl\n" \
"qAj+lug8aJRT7oM6iCsVlgmy4HqMLnXWnOunVmSPlk9orj2XwoSPwLxAwAtcvfaH\n" \
"szVsrBhQf4TgTM2S0yDpM7xSma8ytSmzJSq0SPly4cPk9+aCEI3oncKKiPo4Zor8\n" \
"Y/kB+Xj9e1x3+naH+uzfsQ551Ve0vsbv1gHR6xYKu44LtcXFilWr06zqkUspzBmk\n" \
"MiVOKvF1RNACzqrOsBtqn3yDsEB750Orp2yjj32JgfpMpf/VjsPOS+C12LOORc92\n" \
"w01AK/1TD7Cn1TsNsYqiA94xrcx36m97PtbfkSIS5r762DL8EGMUUXLeXdYwk70p\n" \
"aDPvOmbS4om3xPXV2V4J95eSRQAogB/mqghtqmxmlbCluQ0WEdrHbEg8QOB+DvrN\n" \
"VjzRlwW5y0vtOUucxD/SVRNuJLDWcfr0wbrM7Rv1/oFB2ACYPTTrIrnqYNxgFlQID\n" \
"QABo0IwQDAOBgNVHQ8BAf8EBAMCAYYwDwYDVR0TAAQH/BAUwAwEB/zAdBgNVHQ4E\n" \
"FgQU5K8rJnEaK0gnhS9SZizv8IkTct4wDQYJKoZIhvcNAQEMBQADggIBAJ+qQibb\n" \
"C5u+/x6Wki4+omVKapi6Ist9wTrYggoGxval3sBoh2Z5ofmmWJyq+bXmYOfg6LEe\n" \
"QkEzCzc9zolwFcq1JKjPa7XSQCgyzyI0zzvFioTgxQ6KfF2I5DUkzps+GlQebtuy\n" \
"h6f88/qBVRriClmpIguXpOLW7ttXNLwzldMXG+gnoot7TiYaelpkttGsN/H9oPM4\n" \
"7HLwEXWdyzRSjeZ2axfG34arJ45JK3VmgRAhpuo+9K41/3wV3s6MJT/KYnAK9y8J\n" \
ZgfIPxz88NtFMN9iiMG1D53Dn0reWVlHxYciNuaCp+0KueIHoI17eko8cdLiA6Ef\n" \
MgfdG+RCzgwARWgAtQsgWSl4vflVy2PFPEz0tv/bal8xa5meLMFrUKTX5hgUvYU/\n" \
Z6tGn6D/Qqc6f1zLXbBwHs09dR2CQzreExZBfMzQsNhFRAbd030IozUhfJFfbdT\n" \
6u9AWpQKXCbfTkBdYiJ23//OYb2MI3jSNwLgjt7RETeJ9r/tSQdirpLsQBqvFAnZ\n" \
"0E6yove+7u7Y/9waLd64NnHi/Hm3lCXRSHNboTXns5lndcEZOitHTtNCjv0xyBZm\n" \

```

```
"2tIMPNUzjsmhDYAPexZ3FL//2wmUspO8IFgV6dtxQ/PeEMMA3KgqlbbC1j+Qa3bb\n" \
"bP6MvPJwNQzcmRk13NfIRmPVNnGuV/u3gm3c\n" \
"-----END CERTIFICATE-----\n";
```

### **iii. Código de definición varias constantes que se utilizan para configurar pines y**

#### **parámetros**

```
#define uS_TO_S_FACTOR      1000000ULL  /* Factor de conversión de
microsegundos a segundos */
#define TIME_TO_SLEEP      30             /* Tiempo en que ESP32 se irá
a dormir (en segundos) */
#define UART_BAUD          115200
#define MODEM_TX           27
#define MODEM_RX           26
#define MODEM_PWRKEY       4
#define MODEM_DTR          32
#define MODEM_RI           33
#define MODEM_FLIGHT       25
#define MODEM_STATUS       34
#define IND_PIN            36
#define SD_MISO            2
#define SD_MOSI            15
#define SD_SCLK            14
#define SD_CS              13
#define LED_PIN            12
```

**ANEXO E. Código de la aplicación móvil**

<https://github.com/candresvm/TesisApp.git>

**ANEXO F. Encuesta de satisfacción**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y  
FRECUENCIA CARDIACA, PARA LA SUPERVISIÓN DENTRO DE UN  
PERÍMETRO VIRTUAL DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD POR  
MEDIO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL**

**Objetivo:** Recopilar información por medio de la encuesta con fines de verificar el funcionamiento del sistema.

**Instrucciones:** Marca con una X la respuesta que consideres adecuada.

1. **¿Es usted usuario del sistema (adulto mayor) o es responsable del cuidado de una persona a través de dicho sistema?**

Adulto mayor ( )                      Persona a cargo de un adulto mayor ( )

2. **¿Qué edad tiene?**

3. **¿Indique con qué tipo de genero se identifica?**

Masculino ( )                      Femenino ( )

4. **¿Qué importancia tiene para usted la tecnología en el cuidado de las personas mayores?**

Mucho ( )                      Poco ( )                      Nada ( )

5. **¿Considera que los adultos mayores deberían permanecer con algún cuidador que monitoreo constantemente su frecuencia cardiaca y su ubicación?**

Mucho ( )                      Poco ( )                      Nada ( )

6. **¿Qué tan importante considera mantener bajo monitoreo a un adulto mayor en áreas públicas?**

Mucho ( )                      Poco ( )                      Nada ( )

7. **¿Considera útil una aplicación móvil para el monitoreo de la frecuencia cardiaca de un adulto mayor en tiempo real?**

Mucho ( )

Poco ( )

Nada ( )

8. ¿Considera usted que la aplicación móvil es amigable y de fácil manejo?

Sí ( )

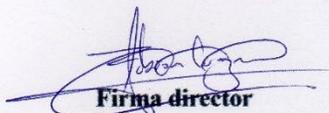
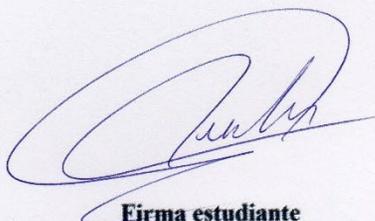
No ( )

9. ¿El sistema funcionó correctamente durante las pruebas realizadas?

Siempre ( ) Casi siempre ( ) Nunca ( )

10. ¿Qué grado de satisfacción encontró al utilizar el sistema en cuestión?

Muy satisfactorio ( ) Medianamente satisfactorio ( ) Poco satisfactorio ( )

**Firma director**Msc. Cuzme Rodríguez Fabián  
Geovanny**Firma estudiante**

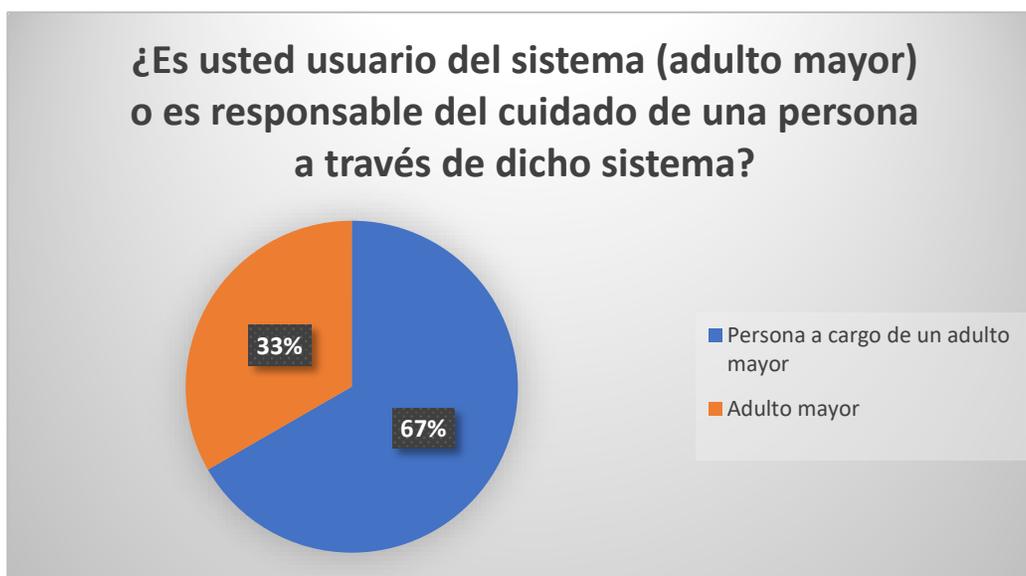
Villegas Morejón Christian Andrés

## ANEXO G. Resultados de la encuesta de satisfacción

El presente estudio de satisfacción tiene como propósito evaluar y analizar la percepción de los usuarios respecto al sistema de geolocalización y frecuencia cardíaca para la supervisión de personas de la tercera edad. El enfoque de esta encuesta se centra en obtener una visión integral de la experiencia tanto del usuario como del cuidador involucrado en el proceso. Para lograrlo, se han incluido preguntas que abarcan diversos aspectos, entre ellos, la calidad del servicio proporcionado por el sistema, la facilidad de uso de la aplicación móvil utilizada y la relevancia que este tipo de tecnología tiene en el cuidado y bienestar de los adultos mayores.

### Pregunta 1

El análisis de los resultados de la tabulación revela que un 33% de los encuestados son adultos mayores, mientras que un 67% son personas responsables del cuidado de adultos mayores a través del sistema de geolocalización y frecuencia cardíaca. Estos resultados proporcionan información significativa sobre el perfil de los usuarios que hacen uso del sistema y destacan la importancia de considerar tanto las necesidades y perspectivas de los adultos mayores como las de sus cuidadores. La predominancia de personas a cargo del cuidado sugiere que el sistema es utilizado como una herramienta valiosa para brindar atención y monitoreo a este grupo vulnerable. Estos hallazgos ofrecen una perspectiva importante para mejorar el sistema, adaptándolo a las necesidades específicas de ambos grupos de usuarios y asegurando una experiencia óptima y satisfactoria para todos los involucrados.



### Pregunta 2

El análisis de los resultados de la tabulación revela la distribución de edad de los encuestados, donde se observa que un 33% pertenece al grupo de 20 a 30 años, otro 33% corresponde al rango de edad de 30 a 40 años, mientras que no se obtuvieron respuestas de personas con edades comprendidas entre 40 y 65 años. Sin embargo, se destaca que un

significativo 34% de los encuestados tienen 65 años en adelante. Estos resultados son fundamentales para entender el perfil demográfico de los usuarios y cuidadores del sistema de geolocalización y frecuencia cardíaca para personas de la tercera edad.



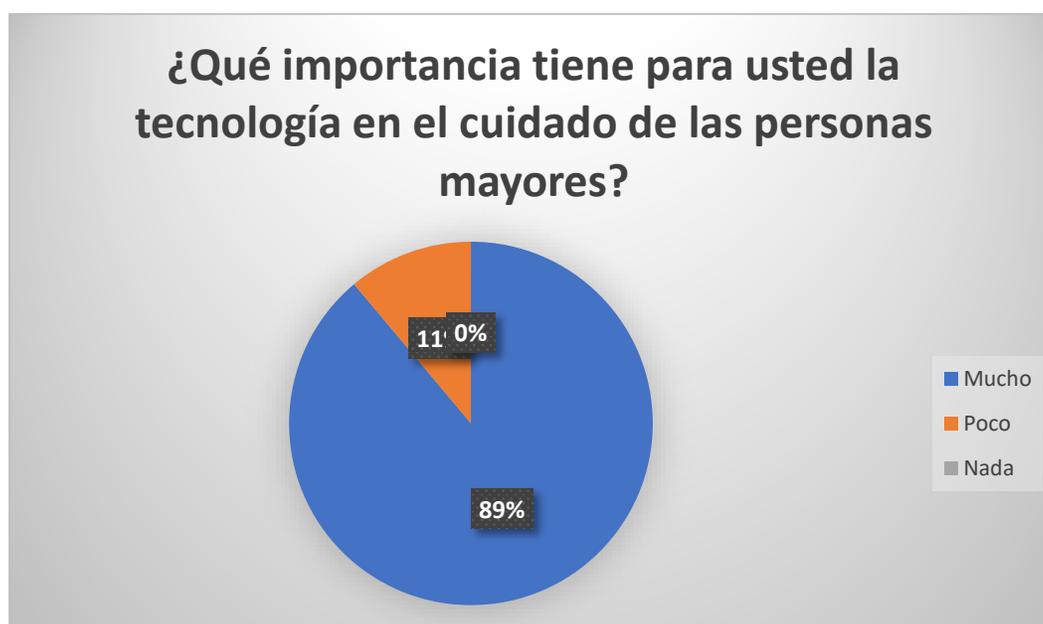
### Pregunta 3

El análisis de los resultados de pregunta número 3 revela la distribución de género entre los participantes, donde se evidencia que el 33% de ellos se identifica como género femenino, mientras que el 67% corresponde al género masculino. Estos hallazgos son esenciales para comprender la composición de género de los usuarios y cuidadores del sistema de geolocalización y frecuencia cardíaca para personas de la tercera edad. La predominancia del género masculino en la muestra resalta la importancia de considerar diferentes perspectivas y necesidades de género al diseñar y mejorar el sistema. Es fundamental tener en cuenta estos resultados para asegurar la inclusión y equidad de género en el desarrollo y aplicación del sistema, garantizando su accesibilidad y utilidad para todas las personas, sin importar su género.



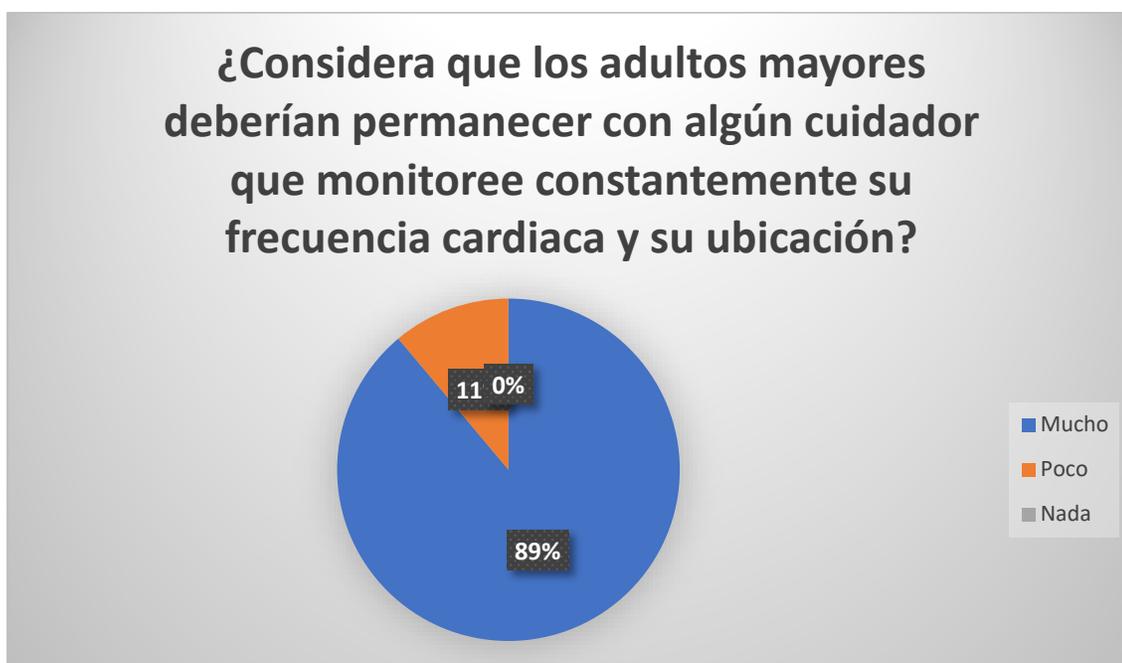
#### Pregunta 4

El análisis de los resultados de pregunta 4 revela la alta importancia que los participantes asignan a la tecnología en el cuidado de las personas mayores. Un porcentaje del 89% de los encuestados reconoce que la tecnología es de gran relevancia para el cuidado de este grupo vulnerable. En contraste, el 11% considera que la importancia es moderada "poco", y ninguno de los encuestados cree que la tecnología carece de relevancia "nada" en este contexto. Estos hallazgos claramente demuestran la valoración positiva y el reconocimiento de la tecnología como un recurso valioso y efectivo para mejorar la calidad de vida y la atención de las personas mayores. La considerable proporción de respuestas "mucho" resalta la confianza que los encuestados depositan en las soluciones tecnológicas para optimizar la supervisión y el cuidado de este grupo vulnerable.



### Pregunta 5

El análisis de los resultados de la pregunta 5 indica que una amplia mayoría, el 89% de los encuestados, considera que los adultos mayores deberían permanecer bajo la supervisión constante de un cuidador que monitoree su frecuencia cardíaca y ubicación. Esto refleja un alto grado de acuerdo con la idea de utilizar tecnología de geolocalización y monitoreo de frecuencia cardíaca para mejorar el cuidado y la seguridad de este grupo vulnerable. Por otro lado, el 11% de los participantes expresó que esta necesidad de supervisión constante es "poco" importante. Es relevante destacar que ninguno de los encuestados consideró que esta medida no tiene importancia "nada". Estos hallazgos resaltan la percepción general de que la supervisión continua mediante tecnología es crucial para garantizar el bienestar y la protección de los adultos mayores.



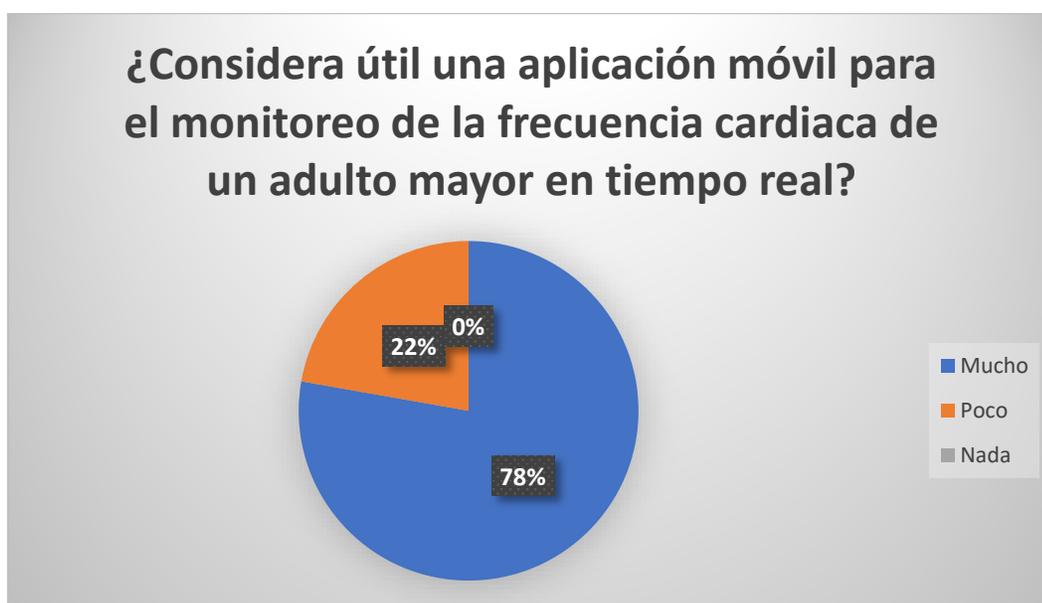
### Pregunta 6

El análisis de los resultados de la encuesta revela que un significativo 67% de los encuestados considera de alta importancia mantener bajo monitoreo a un adulto mayor en áreas públicas. Está marcada mayoría indica una clara valoración positiva de la supervisión y monitoreo como una medida esencial para garantizar la seguridad y el bienestar de las personas mayores en entornos públicos. Por otro lado, el 33% de los participantes expresó una percepción de importancia "poco", lo que sugiere cierto grado de discrepancia en la valoración de esta medida. No se registraron respuestas que indicaran una falta de importancia "nada". Estos hallazgos resaltan la relevancia de la supervisión continua en áreas públicas para asegurar la protección de los adultos mayores.



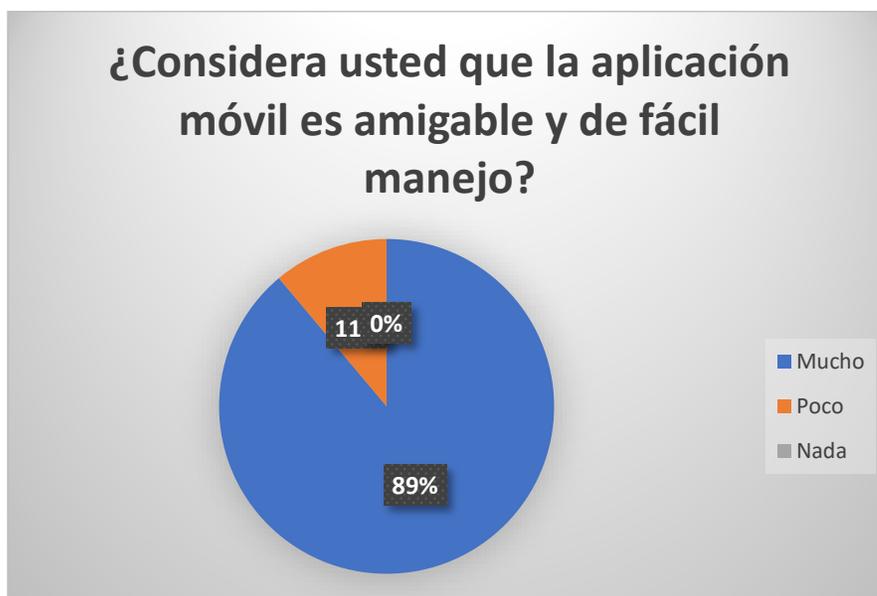
### Pregunta 7

El análisis de los resultados de la encuesta muestra que una notable mayoría del 78% de los encuestados considera de gran utilidad una aplicación móvil para el monitoreo en tiempo real de la frecuencia cardiaca de un adulto mayor. Esta alta proporción de respuestas "mucho" refleja una clara valoración positiva de la aplicación móvil como una herramienta efectiva para el monitoreo de la salud cardiovascular de las personas mayores de forma inmediata y continua. Por otro lado, el 22% de los participantes expresó una percepción de utilidad "poco", lo que sugiere una minoría que puede tener algunas reservas o inquietudes en relación con la aplicación. No se registraron respuestas que indicaran una falta de utilidad "nada". Estos hallazgos destacan la relevancia de la aplicación móvil como una solución valorada y aceptada en el monitoreo de la frecuencia cardiaca de los adultos mayores en tiempo real.



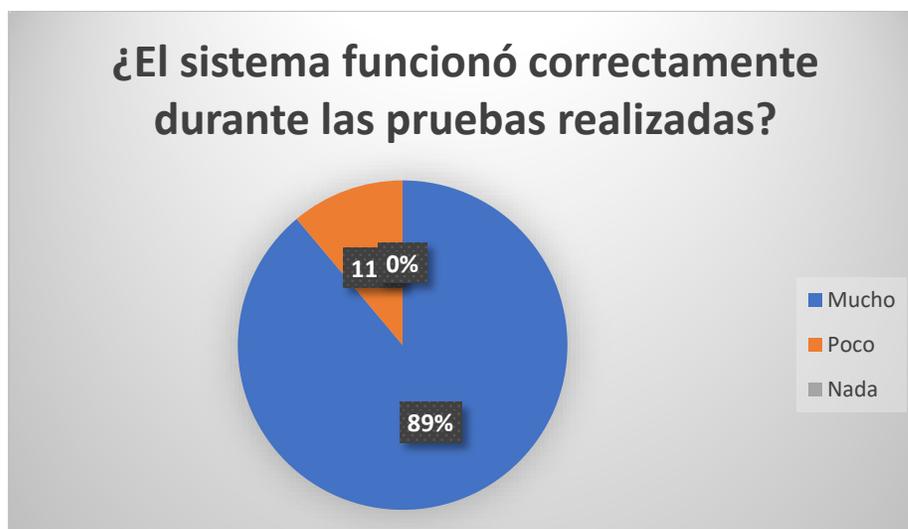
### Pregunta 8

El análisis de los resultados de la encuesta revela que una abrumadora mayoría del 89% de los encuestados considera que la aplicación móvil es amigable y de fácil manejo. Este alto porcentaje de respuestas "mucho" refleja una percepción positiva y satisfactoria por parte de la gran mayoría de los usuarios en cuanto a la facilidad de uso y la amigabilidad de la aplicación. Por otro lado, el 11% de los participantes expresó una opinión menos favorable, indicando que la aplicación puede ser percibida como "poco" amigable o de manejo más complicado para ellos.



### Pregunta 9

Los resultados de la encuesta indica que un contundente 89% de los encuestados reportó que el sistema funcionó correctamente durante las pruebas realizadas. Esta alta proporción de respuestas "mucho" refleja una satisfactoria experiencia de los usuarios con el desempeño del sistema durante el periodo de pruebas. Por otro lado, el 11% de los participantes expresó una percepción menos positiva, indicando que el sistema funcionó "poco" adecuadamente en algunos aspectos durante las pruebas. No se registraron respuestas que señalaran que el sistema no funcionó adecuadamente "nada". Estos resultados son fundamentales para evaluar la efectividad y confiabilidad del sistema, identificar posibles áreas de mejora y fortalecer su rendimiento para garantizar un óptimo funcionamiento en su aplicación real para el monitoreo de personas mayores.



#### Pregunta 10

El análisis de los resultados de la encuesta refleja un alto grado de satisfacción entre los usuarios al utilizar el sistema de geolocalización y monitoreo de frecuencia cardíaca para personas de la tercera edad. Un destacado 89% de los participantes manifestó sentirse "mucho" satisfecho con el sistema, mientras que un 11% expresó estar "poco" satisfecho. Ningún encuestado reportó una satisfacción nula "nada" respecto al uso del sistema. Estos resultados indican que la gran mayoría de los usuarios se encuentra satisfecha con la funcionalidad, facilidad de uso y utilidad del sistema, lo cual respalda la efectividad y aceptación de este en el monitoreo y cuidado de las personas mayores.

