IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LOCALIZACIÓN DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD UTILIZANDO UNA APLICACIÓN WEB Y TECNOLOGÍA SIGFOX.

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
Estudiantes:
Andrés Fabian Urrea Riaño
Andrés Camilo Guzmán Méndez

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Ingeniería en Telecomunicaciones

Bogotá D.C. Junio, 2025

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LOCALIZACIÓN DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD UTILIZANDO UNA APLICACIÓN WEB Y TECNOLOGÍA SIGFOX.

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
Estudiantes:
Andrés Fabian Urrea Riaño 20212373004 anfurrear@udistrital.edu.co
Andrés Camilo Guzmán 20212373007 acguzmanm@udistrital.edu.co

Modalidad
Monografía

Presentado para optar al título de: Ingeniero(a) en Telecomunicaciones

Director:
ING. FRANK NIXON GIRALDO RAMOS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Ingeniería en Telecomunicaciones

Bogotá D.C. Junio, 2025

Dedicatoria

Primero que todo a Dios, por guiarme, por darme sabiduría y fortaleza en cada momento de este duro camino. A mi familia, por su amor y apoyo incondicional, en especial a mis padres. A mi pareja, por ser mi refugio, mi apoyo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. A mi mayor motivación en la vida: Lorena, Salomé y Sofía. A mis docentes, por compartir sus conocimientos y ser un gran ejemplo...

A todos ustedes, gracias por ser parte esencial de este logro, sin ustedes esto sería imposible.

Andrés Camilo Guzmán Méndez

Agradecer aquellos que me apoyaron y guiaron en este largo camino.

Andrés Fabian Urrea Riaño

Índice

Dedicatoria i
Índice ii
Índice de Figuras iv
Índice de Tablas v
Índice de Anexos vi
Glosario vii
Lista de Abreviaturas y Siglas viii
Resumen ix
1. Introducción 1
2. Planteamiento del problema 2
3. Justificación 3
4. Objetivos 4
4.1. Objetivo General 4
4.2. Objetivos específicos 4
5. Marco de referencia 5
5.1. Antecedentes 5
5.2. Marco teórico 6
5.2.1. Arduino Leonardo: Microcontrolador para Prototipos IoT 6
5.2.2. Tarjeta de desarrollo Soul One 6
5.2.3. Sistema de Posicionamiento Global (GPS) 9
5.2.4. Tecnología inalámbrica Sigfox 9
5.2.5. Tecnologías Alternativas a Sigfox 13
5.2.6. Bases de datos 13
5.2.7. Lenguajes de Programación: Java, TypeScript y SQL 13
5.2.8. Microsoft Azure: Servicios en la Nube 13
5.2.9. Proveedores alternativos a Azure 15
5.2.10. Leaflet: Visualización Geoespacial 15
5.2.11. Backend y Frontend: Desarrollo Web 15
5.2.12. Git, GitHub y GitHub Actions: Control de Versiones y Automatización 16
5.3. Marco Legal 16
5.3.1. Resolución 105 de 2020 – Agencia Nacional del Espectro (ANE) 16
5.3.2. Ley 1581 de 2012 – Protección de Datos Personales 16
5.3.3. Ley 1341 de 2009 – Ley TIC 17
5.3.4. Ley 1413 de 2010 – Enfoque diferencial para población vulnerable 17
5.3.5. NTC 5854:2012 – Accesibilidad para contenidos web 17
5.3.6. Ley 1273 de 2009 – Delitos Informáticos 17
5.3.7. Reglamento General de Protección de Datos (RGPD – Unión Europea) 17
5.3.8. Convención Interamericana sobre la Protección de los Derechos Humanos de las Personas Mayores (OEA, 2015) 17
6. Metodología 18
6.1. Fases del Proyecto 18
6.1.1. Análisis de requerimientos de infraestructura en la nube 18
6.1.2. Diseño de la interfaz web de seguimiento 20

6.1.3. Integración del microcontrolador y selección de tecnología inalámbrica 23
6.1.4. Pruebas y validación de registro en Base de Datos en línea..... 25
7. Resultados..... 27
7.1. Propuesta definitiva de solución..... 27
7.2. Restricciones de la solución 32
7.2.1. Limitaciones del servicio Atlas Native de Sigfox 32
7.2.2. Cobertura geográfica limitada 33
7.2.3. Dependencia de conexión a internet en el backend..... 34
7.3. Validación de la solución 34
7.3.1. Resultados-Jornada 1: Soacha 36
7.3.2. Resultados-Jornada 2: Sur de Bogotá..... 40
7.4. Evaluación del impacto de la solución 44
8. Conclusiones y Recomendaciones 46
8.1. Conclusiones..... 46
8.2. Recomendaciones 46
9. Referencias 47
10. Anexos..... 51

Índice de Figuras

Figura 1.Detalles tarjeta de desarrollo Soul One.Fuente TheSoulOfThings [18] 7
Figura 2.Mapa global de la cobertura de Sigfox. Fuente Sigfox[20] 10
Figura 3. Funcionamiento de la red inalámbrica Sigfox. Fuente Sigfox [20] 11
Figura 4.Ejemplo de localización de activos con Atlas Native. Fuente Sigfox [25]. 12
Figura 5.Esquema de recursos Microsoft Azure. Fuente propia. 19
Figura 6.Diagrama de módulos Frontend con React. Fuente propia 21
Figura 7. Conexión Azure Functions con Aplicación web. Fuente propia. 22
Figura 8.Recursos usados para el funcionamiento de la interfaz web. Fuente propia. 23
Figura 9.Cobertura Sigfox en Colombia. Fuente Sigfox [58] 24
Figura 10.Visualización de tablas en bases de datos Microsoft Azure SQL Server. Fuente propia 26
Figura 11.Diagrama de conexión Microcontrolador y modulo GPS. Fuente propia. 27
Figura 12.Formulario registro cuidador. Fuente propia 28
Figura 13.Formulario registro dispositivo Sigfox. Fuente propia 29
Figura 14.Formulario registro persona de la tercera Edad. Fuente propia 29
Figura 15.Ingreso a la zona privada por medio del Código único de acceso. Fuente propia 30
Figura 16.Visualización de ubicación. Fuente propia 31
Figura 17.Visualizacion de tabla con los registros recopilados. Fuente propia 31
Figura 18.Arquitectura prototipo de localización para personas de la tercera edad. Fuente propia. 32
Figura 19.Ejemplo de localización aproximada entregada por el servicio Atlas Native de Sigfox con un radio de 3.9 km. Fuente: Interfaz Sigfox Backend.[] 33
Figura 20 mapa de cobertura Sigfox en la región Andina de Colombia. Fuente Sigfox[58] 34
Figura 21.Almacenamiento de los datos del cuidador o familiar del adulto mayor. Fuente propia 35
Figura 22. Almacenamiento de los datos del dispositivo a usar en el adulto mayor. Fuente propia 35
Figura 23. Almacenamiento de los datos del adulto mayor. Fuente propia 35
Figura 24. Código de acceso único para el ingreso al sistema. Fuente propia 36
Figura 25.Área delimitada para pruebas en la comuna 3 de Soacha. Fuente propia. 37
Figura 26. Datos recopilados en la base de datos de Azure SQL en línea. Fuente propia 37
Figura 27. Diagrama de dispersión. Fuente propia. 38
Figura 28.Visualización mapa de las coordenadas obtenidas por el módulo GPS y ATLAS NATIVE. Fuente propia. 39
Figura 29.Área delimitada para pruebas en las localidades de Tunjuelito y Ciudad Bolívar-Bogotá. Fuente Propia 41
Figura 30. Datos recopilados en la base de datos de Azure SQL en línea para la jornada 2. Fuente propia 42
Figura 31. Diagrama de dispersión jornada número 2. Fuente propia. 43
Figura 32.Visualización mapa de las coordenadas obtenidas por el módulo GPS y ATLAS NATIVE. Fuente propia. 43
Figura 33.Prototipo del brazalete con el sistema localizador. Fuente propia 45

Índice de Tablas

Tabla 1.Especificaciones técnicas. Fuente TheSoulOfThings [18] 8
Tabla 2.Países con sus respectivas zonas geográficas. Fuente Sigfox[20] 9
Tabla 3.Características de configuraciones de radio. Fuente Sigfox[20] 10
Tabla 4. Resultados de pruebas de latencia entre centros de datos de Azure y AWS. Fuente: elaboración propia con datos de AzureSpeed y AWSSpeedTest[52]. 19
Tabla 5.Evaluación de alternativas frameworks. Frontend. Fuente propia 20
Tabla 6.Comparativa de plataformas de alojamientos. Fuente propia. 22
Tabla 7.Compartativa sencilla entre Sigfox y LoRaWAN. Fuente propia. 24
Tabla 8.enfoque experimental evaluativo. Fuente propia. 25
Tabla 9.Actividades realizadas para las pruebas de campo. Fuente propia. 25
Tabla 10.Servicios Api Rest expuestos desde la Azure functions. Fuente propia. 32
Tabla 11.Descripción de métricas obtenidas en las pruebas de campo. Fuente propia. 39
Tabla 12. Descripción de métricas obtenidas en las pruebas de campo Jornada número 2. Fuente propia. 44

Índice de Anexos

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO JORNADA 1: SOCHA 51
ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO JORNADA 2: SUR DE BOGOTÁ 56

Glosario

Concepto	Explicación breve y detallada del concepto
Sigfox	Es una red de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo (LPWAN) diseñada para el Internet de las cosas (IoT). Permite conectar dispositivos de bajo consumo, como sensores, a Internet para transmitir datos de forma eficiente y económica.
LPWAN	(Red de Área Amplia de Bajo Consumo). Es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para conectar dispositivos a largas distancias con un bajo consumo de energía, ideal para el Internet de las Cosas (IoT).
API	(Interfaz de Programación de Aplicaciones) es un conjunto de definiciones y protocolos que se usa para diseñar e integrar el software de las aplicaciones.
CRUD	(Crear, Leer, Actualizar, Eliminar) resume las funciones requeridas por un usuario para crear y gestionar datos con las operaciones fundamentales persistentes en sistemas de bases de datos.
Bases de Datos	Conjunto estructurado de datos que se almacenan y gestionan de manera que se facilite su acceso, modificación y organización.
JDBC	Es una API de Java que permite a los programas Java conectarse y trabajar con bases de datos SQL.
Azure	Plataforma de computación en la nube de Microsoft, que ofrece una amplia gama de servicios abarcan áreas como computación, almacenamiento, redes, análisis, inteligencia artificial y más.
HTTP	(Hypertext Transfer Protocol) es un protocolo de comunicación utilizado para transferir datos entre un servidor y un cliente en la World Wide Web, como un navegador web.
SQL	(Lenguaje de Consulta Estructurada), es un lenguaje de programación estandarizado para gestionar datos en bases de datos relacionales.
Java	Es un lenguaje de programación de alto nivel, orientado a objetos, multiplataforma y muy popular.
TypeScript	Es un lenguaje de programación de código abierto que se basa en JavaScript y añade tipado estático y otras características avanzadas

GPS	Sistema de posicionamiento global, es un sistema de navegación global por satélite que proporciona información relativa a ubicación, velocidad y sincronización horaria.
Frontend	Se refiere a la parte de una aplicación o sitio web que el usuario ve y con la que interactúa directamente.
Backend	Es la parte invisible que se encarga de la lógica de negocio, el manejo de datos y la interacción con el servidor
REACT	Es una biblioteca JavaScript de código abierto que se utiliza para construir interfaces de usuario interactivas y eficientes.

Lista de Abreviaturas y Siglas

Sigla/Abreviatura	**Significado**
IoT	Internet de las cosas
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
SQL	Lenguaje de Consulta Estructurada
BD	Bases de Datos

Resumen

A menudo es cotidiano leer o escuchar en las noticias nacionales la desaparición de personas de la tercera edad especialmente en las zonas urbanas. En muchos casos, este grupo de personas padecen alguna enfermedad degenerativa como el Alzheimer, lo cual incrementa el riesgo de desorientación y extravío en espacios públicos. Esta situación genera una profunda preocupación entre familiares y cuidadores, quienes enfrentan grandes dificultades para localizarlas de manera oportuna. En Colombia, aproximadamente 260.000 personas mayores de los 60 años padecen de Alzheimer [1]. En Bogotá no se ha establecido un mecanismo oficial de búsqueda de personas a diferencia de otras ciudades del mundo, donde se emplean tecnologías como manillas de identificación o los buses reportan en pantallas la foto de los ciudadanos perdidos [2].

Frente a esta problemática, el diseño de mecanismos que permitan localizar a personas de la tercera edad, las cuales están en riesgo de desorientación por enfermedades como el Alzheimer u otras plantea un reto importante y desafiante. En el contexto colombiano, se ha evidenciado brechas sociales y tecnológicas, especialmente en lo relacionado con el seguimiento de personas vulnerables y sumado a ello la ausencia de soluciones accesibles[2]. Actualmente el desarrollo global de sistemas de rastreo y alerta son enormes, sin embargo, en una ciudad como Bogotá y sus zonas aledañas no se cuenta con tecnologías eficaces, integradas y pensadas para familiares o cuidadores. Esta falta de respuesta estructurada limita las acciones de búsqueda y atención oportuna, lo cual justifica la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas adaptadas a las condiciones locales y con enfoque social.

Como respuesta a esta problemática, se desarrolló un sistema de localización para personas de la tercera edad, utilizando tecnologías de bajo consumo energético y con transmisiones a larga distancia. Este sistema integra varios componentes: un microcontrolador con conectividad Sigfox y un módulo GPS, permitiendo obtener y enviar las coordenadas de ubicación hacia la nube. Para el sistema se diseñó una arquitectura utilizando los servicios de Microsoft Azure, el cual recibe, procesa y almacena los datos geoespaciales mediante funciones sin servidor y una base de datos SQL. Mediante una aplicación web desplegada y desarrollada con React y una librería para mapas como Leaflet, los cuidadores o familiares pueden visualizar la ubicación del adulto mayor, lo que facilita el monitoreo remoto desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

Para los resultados finales, el prototipo construido demostró ser funcional y eficiente en la transmisión de datos de localización en entornos urbanos como en la ciudad de Bogotá y en el municipio aledaño de Soacha. La tecnología Sifgox presento durante las pruebas buen rendimiento en términos de cobertura y estabilidad de comunicación, también para las integraciones realizadas con los servicios de nube permitió realizar el procesamiento de datos de manera correcta. La interfaz web resulto ser intuitiva para los cuidadores o familiares del adulto mayor, desde diferentes tipos de dispositivos.

Palabras clave: localización, tecnología Sigfox, microcontrolador, SQL, Microsoft Azure, aplicaciones web, personas de la tercera edad.

1. Introducción

En Bogotá, un número creciente de adultos mayores convive con enfermedades degenerativas como el Alzheimer, las cuales afectan significativamente sus capacidades cognitivas y de orientación espacial [3]. Este contexto genera una alta vulnerabilidad en esta población, especialmente cuando se desplazan sin acompañamiento, dando lugar a frecuentes casos de extravío o desaparición [4].

Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar e implementar nuevas soluciones tecnológicas que permitan mejorar los procesos de localización de personas mayores, esto no solo para ayudar con la protección del adulto mayor, sino también para facilitar la tarea para las personas que son cuidadoras o responsables de ellos. A pesar del crecimiento de las tecnologías IoT aún son pocas las iniciativas en Colombia que se enfoquen en el rastreo y monitoreo de adultos mayores y aún menos que integren tecnologías como Sigfox con plataformas web funcionales.

El presente trabajo de grado propone un sistema que permita la localización de personas de la tercera edad mediante una aplicación web y el uso de tecnología Sigfox, que es la red IoT más grande del mundo y cuenta con cobertura no solo en todo el nivel nacional sino en la mayoría de los países [5]. Esta solución integrará hardware (microcontrolador con módulo GPS integrado), servicios en la nube para el almacenamiento de datos (Microsoft Azure) y se integrará con herramientas como Leaflet, y una interfaz web que permita a los familiares o cuidadores hacer seguimiento de la ubicación del adulto mayor.

El aporte diferencial de este trabajo radica en su carácter integrador: no solo propone una solución técnica viable, sino que también plantea una plataforma pensada para ser aplicada en el entorno colombiano, con potencial de escalabilidad y réplica en otras regiones. De este modo, se contribuye no solo a la solución de una problemática social, sino también al fortalecimiento del ecosistema de innovación nacional desde una perspectiva humanitaria y tecnológica.

2. Planteamiento del problema

En Bogotá, el envejecimiento va en crecimiento. Según el DANE (2021), más de 1.18 millones de personas superan los 60 años, representando aproximadamente el 15% de los habitantes de la ciudad [3]. Esta estadística entre otras cosas es una buena base para plantear nuevos desafíos en salud pública, bienestar social y cuidado asistido al adulto mayor. Uno de los principales problemas asociados a esta población como ya es conocido son las enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, las cuales deterioran progresivamente la memoria, el juicio y la orientación espacial.

Esta condición provoca que muchas personas mayores pierdan la noción del tiempo y el espacio, lo que las hace especialmente vulnerables a desorientarse y extraviarse. De hecho, es común conocer casos de adultos mayores que permanecen horas o incluso días sin ser encontrados, exponiéndose a accidentes, explotación, o en situaciones más críticas convertirse en habitantes de calle. A esto se le suma la poca capacidad de respuesta de las autoridades, esta situación obliga a las familias o cuidadores a recurrir a métodos informales, poco efectivos y además desgastantes como publicaciones en redes sociales, búsqueda en hospitales o estaciones de policía, instalación de avisos en la calle, entre otros.

Por todo lo anterior, se hace necesario tener herramientas tecnológicas accesibles que permitan conocer la ubicación de los adultos mayores que estén en riesgo de desorientación o perdida, es importante aclarar que, aunque en la actualidad existen en el mercado algunos dispositivos de localización, muchos de ellos tienen algunas limitantes como costos, requieren planes de datos móviles o no están adaptados a las condiciones del entorno colombiano. Es por ello por lo que se encuentra en las tecnologías de bajo consumo y largo alcance, como las redes LPWAN (Sigfox), una oportunidad viable para implementar soluciones de rastreo de forma eficiente [6].

3. Justificación

El envejecimiento de la población en ambientes urbanos de Bogotá o sus alrededores plantea desafíos importantes en salud, movilidad y seguridad. Con mayor frecuencia se presentan el extravío de personas mayores por enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer u alguna otra, lo que causa situaciones de angustia para sus familiares o cuidadores y problemas en los procesos de búsqueda [7]. Esta problemática demuestra un requerimiento concreto y perentorio: contar con mecanismos eficientes de localización que permitan reaccionar a tiempo ante situaciones de extravío para personas de la tercera edad.

En este marco, el desarrollo de un servicio tecnológico basado en una red global para comunicación inalámbrica, como Sigfox, específicamente diseñada para el Internet de las cosas (IoT), adquiere relevancia al brindar una alternativa viable a bajo costo para la vigilancia remota. Aunque ya se han trabajado con dispositivos de geolocalización en países extranjeros con esta tecnología, en Colombia su implementación es un poco reciente, sobre todo para soluciones accesibles para la población [8]. Se tienen hoy en día algunas soluciones de geolocalización GPS que brinda empresas tales como la Prosegur, NOVASEP o TSO Mobile, que se centran en el seguimiento de activos, vehículo o flota. Aunque estas tecnologías también son posibles para el seguimiento de personas, tienden a ser sistemas cerrados, con poca personalización, con mayores gastos por servicio y limitaciones en la medida de que se pueden integrar a plataformas abiertas o adaptables. Por lo anterior, este proyecto ofrece una alternativa tecnológica accesible, flexible e integral al bienestar de mayores, alineada con las políticas públicas de envejecimiento y vejez [9] y con principios de innovación social. a través de una aplicación web ligada a equipos con tecnología de seguimiento geográfico a través de la red Sigfox, se pretende facilitar a cuidadores o familiares el seguimiento geográfico casi en tiempo real, fomentando la autonomía, disminuyendo tiempos de búsqueda y previniendo eventos de riesgo. Diferente a tecnologías de soluciones cerradas comerciales, este sistema se construye con criterios de apertura, personalización y control por la población de los datos, lo que le permite brindar respuestas más eficaces a necesidades de poblaciones vulnerables. Así, el proyecto representa una respuesta concreta y humanizada a un problema social urgente, con un enfoque desde la ingeniería que conjuga tecnología, cuidado y derechos humanos.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Localizar personas de la tercera edad tomando las coordenadas GPS para su registro en línea a partir de una aplicación web y una base de datos en la nube a través de la plataforma Sigfox.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar una interfaz de usuario para la aplicación web que permita a los familiares o cuidadores realizar un seguimiento de la ubicación de las personas mayores desde la plataforma Sigfox.
- Implementar un microcontrolador para gestionar la comunicación entre la aplicación web y los dispositivos de localización GPS, utilizando tecnología inalámbrica Sigfox.
- Efectuar pruebas de localización de personas de la tercera edad en línea validando el registro en la base de datos desde la aplicación web.

5. Marco de referencia

5.1. Antecedentes

La problemática de la desorientación y extravío de personas mayores, especialmente aquellas con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, ha motivado múltiples esfuerzos de investigación tecnológica a nivel internacional. El estado del arte muestra un interés creciente en el uso de dispositivos IoT conectados mediante redes LPWAN (Low Power Wide Area Networks) para monitoreo geoespacial, con especial énfasis en eficiencia energética, autonomía y bajo costo operativo.

Estudios como el de Fernández-García e Ignacio Gil exploraron un sistema de rastreo portátil para adultos mayores basado en GPS y transmisión mediante Sigfox, evidenciando su viabilidad por su bajo consumo y cobertura en zonas urbanas. En Asia, iniciativas como la de Singapur integraron esta misma red en dispositivos para personas con demencia, eliminando la necesidad de SIM y reduciendo el mantenimiento técnico [10].

En Singapur, se propuso un rastreador para personas con demencia utilizando tecnología Sigfox, eliminando la necesidad de una tarjeta SIM y aprovechando la cobertura de la red para transmitir datos de ubicación en tiempo real. Este proyecto destacó la viabilidad de utilizar redes LPWAN para aplicaciones de salud y seguridad [11].

Por su parte, Acosta y Vizcaino evaluaron la cobertura de Sigfox en interiores de edificaciones, concluyendo que su arquitectura resulta adecuada para el monitoreo con el uso de sistemas de sensores debido a su bajo consumo y capacidad de penetración en interiores. Estos trabajos coinciden en resaltar que tecnologías como Sigfox permiten soluciones accesibles y escalables para el seguimiento de personas [12].

La revisión de Neubauer sobre dispositivos de rastreo ético también destaca la importancia de equilibrar seguridad con privacidad y autonomía en tecnologías aplicadas a poblaciones vulnerables. Esta visión es clave para desarrollar herramientas que no solo funcionen técnicamente, sino que respeten los derechos y la dignidad de sus usuarios [13].

En Colombia, algunos proyectos académicos han comenzado a explorar la integración de Sigfox en dispositivos de rastreo. La Universidad Católica de Colombia desarrolló un prototipo de geolocalización IoT para personas con síndrome de demencia en fase leve, utilizando esta red para transmitir la ubicación a una plataforma remota. Este trabajo evidenció el potencial técnico de Sigfox para monitoreo humano, aunque se centró exclusivamente en la comunicación del dispositivo, sin integrar una interfaz web para familiares o cuidadores [14].

Desde la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador), se desarrolló una solución similar, pero con un enfoque móvil basado en el sistema operativo Android. Aunque su objetivo también era el cuidado

de personas mayores, se diferenciaba por depender del uso de smartphones, lo cual introduce otras barreras tecnológicas [15].

También se identificó un proyecto orientado al rastreo de mascotas domésticas mediante Sigfox, implementado en la ciudad de Bogotá [16]. Aunque no fue diseñado para personas, su aporte radica en validar el comportamiento y cobertura de esta red LPWAN en entornos urbanos colombianos, lo cual respalda la viabilidad técnica del presente proyecto, que propone llevar esta tecnología a un enfoque social centrado en el cuidado de adultos mayores.

A pesar de estos avances, en Colombia se identifica un vacío significativo en implementaciones integrales. No se hallaron investigaciones que integren plataformas web abiertas con tecnologías LPWAN para aplicaciones orientadas directamente al seguimiento de personas mayores. Las soluciones comerciales existentes, como las ofrecidas por empresas como Prosegur, NOVASEP o TSO Mobile, están principalmente dirigidas al rastreo de activos o flotas vehiculares, sin contemplar las particularidades sociales y técnicas de un sistema humanizado. Por ello, el presente proyecto propone no solo aplicar tecnologías emergentes, sino adaptarlas al contexto colombiano, democratizando el acceso a herramientas de localización diseñadas con un enfoque inclusivo, familiar y ético.

5.2. Marco teórico

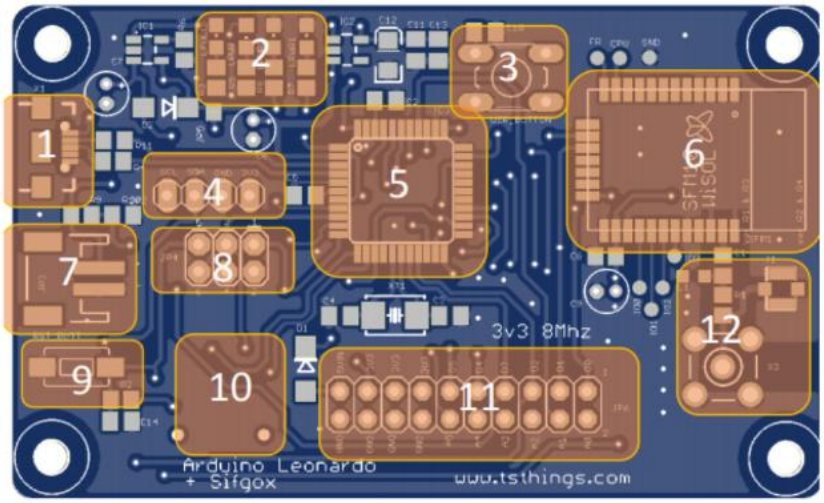
5.2.1. Arduino Leonardo: Microcontrolador para Prototipos IoT

El Arduino Leonardo es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega32u4. Se distingue por su capacidad de comunicación USB nativa, lo que permite que el dispositivo se identifique como un teclado, ratón o dispositivo de entrada estándar sin necesidad de un chip adicional. Cuenta con 20 pines de entrada/salidas digitales, 7 salidas PWM y 12 entradas analógicas, operando a una frecuencia de 16 MHz. Estas características lo hacen adecuado para aplicaciones que requieren interacción directa con una computadora o para proyectos de prototipado rápido en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT) [17].

5.2.2. Tarjeta de desarrollo Soul One

La tarjeta Soul One es un kit de desarrollo multipropósito diseñado para facilitar la integración de sensores en proyectos de Internet de las Cosas (IoT), gracias a su compatibilidad con la tecnología de comunicación Sigfox [18].

En la figura 1, se detalla las partes que componen la tarjeta de desarollo Soul One.



Módulo de la tarjeta SOUL ONE	
1. Conector micro USB (carga y programación)	2. Led's (carga, alimentación, UART Tx, UART Rx)
3. Botón de usuario D7	4. Conector I2C
5. Microcontrolador Atmega32u4	6. Modulos Wisol SFM11R2D
7. Conector batería litio Ion 3.7 Vdc	8. Conector ISCP
9. Botón reset	10. Conector para microSD (Parteinferior)
11. Conector de usuario pinhead 2x10	12. Conectores antena, RP-SMA, UFL, SMD

Figura 1.Detalles tarjeta de desarrollo Soul One.Fuente TheSoulOfThings [18]

En la tabla 1, se observan las características principales que posee la tarjeta Soul One, en cuanto a su funcionamiento.

Características generales	
Dimensiones	• 46 mm de Alto x 75mm de ancho.
Microcontrolador	• ATmega32u4
Temperatura de operaciones	• -30°C a 85°C
Vcc de entrada	• **USB - +5 Vdc** • **Bateria externa lipo Externa 3.7 Vdc**
	• **Entrada auxiliar +3.7 Vdc - + 12 Vdc**
Sigfox FCC Zona 2 y 4	• Salida *(output power)*: 22 dBm • Rx sensibilidad *(sensitivity)*: -124dBm • Frecuencias *uplink*: 902,2 MHz y 920,8 MHz
Interfaz externa	
Salidas PWM	• 2, D3, D5
Entradas analógicas	• 6, A0, A1, A2, A3, A4, A5
Entradas y salidas (I/O) digitales	• 5, D2, D3, D4, D5, D7(User Button)
Puerto SPI	• 1 por Pinheader ISP
Puerto I2C	• 1, D2 (SDA), D3 (SCL)
Memoria Flash	• 32kb (4KB para Bootloader)
SRAM	• 2.5 KB (ATmega32u4)
Memoria EEprom de usuario	• 1 KB (ATmega32u4)
Puerto Serial/UART	• Comandos AT disponibles
Comunicaciones	• USB Nativo • I2C conector dedicado, SDA y SCL. Pueden ser usados como GPIO digitales. • SPI a través de conector ISP • Antena helicoidal de 3dBm, opcional Conector SMA para antena externa, opcional pads para antena SMD chip cerámica.
Almacenamiento	• Socket para microSD, controlada por SPI, capacidade para memorias de hasta 32 GB.
Consumo	Modulo SigFox • Tx SigFox=170mA • Rx Sigfox= 32mA • Sleep SigFox=2.5mA MCU Operando a 8Mhz • Modo normal= 10mA • Power Down=<10uA • Consumo GPIO=20mA

Tabla 1.Especificaciones técnicas. Fuente TheSoulOfThings [18]

La tarjeta de desarrollo Soul One está basada en la plataforma Arduino con características similares a la placa Arduino Leonardo, lo cual facilita su programación.

5.2.3. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS es un sistema de navegación por satélite que permite determinar la ubicación geográfica de un receptor en cualquier parte del mundo. Funciona mediante la recepción de señales de al menos cuatro satélites, calculando la posición mediante trilateración. Es ampliamente utilizado en aplicaciones de navegación, seguimiento y geolocalización en tiempo real [19].

5.2.4. Tecnología inalámbrica Sigfox

Sigfox es una red de área amplia de baja potencia (LPWAN) diseñada para conectar dispositivos IoT que requieren transmitir pequeñas cantidades de datos a largas distancias con un consumo energético mínimo, opera en bandas de frecuencia específicas según la región, por ejemplo, en Europa 868 MHz, en América 915 MHz y en Asia 433 MHz y es ideal para aplicaciones donde la eficiencia energética y la cobertura son prioritarias [20].

Las zonas geográficas donde funciona Sigfox actualmente son 7. Cada zona contiene una serie de países. En la tabla 2, se describen los países a la zona que pertenecen.

RC	Región / Subregión	Países / Territorios
RC1	Europe	European Union, Andorra, Liechtenstein, Norway, Serbia, Switzerland, Ukraine, United Kingdom
	Overseas France	French Guiana, French Polynesia, Guadeloupe, Martinique, Mayotte, New Caledonia, Reunion
	Middle East and Africa	Bahrain, Botswana, Ivory Coast, Jordan, Kenya, Mauritius, Namibia, Nigeria, Oman, Saudi Arabia, Senegal, South Africa, Swaziland, Turkey, United Arab Emirates
RC2	North America	Brazil, Canada, Mexico, Puerto Rico, USA
RC3	East Asia	Japan
RC4	Latin America	Argentina, Chile, **Colombia**, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Trinidad & Tobago, Uruguay
	Asia Pacific	Australia, Hong Kong, Indonesia, Malaysia, New Zealand, Singapore, Taiwan, Thailand
RC5	East Asia	South Korea
RC6	South Asia	India
RC7	Eurasia	Russia

Tabla 2.Países con sus respectivas zonas geográficas. Fuente Sigfox[20]

Para Colombia la zona perteneciente es RC4, este dato es importante inicialmente para la búsqueda de los dispositivos, dado que no todos funcionan en todas las zonas RC.

En la figura 2, se observa geográficamente los RCs de las zonas de funciona Sigfox.

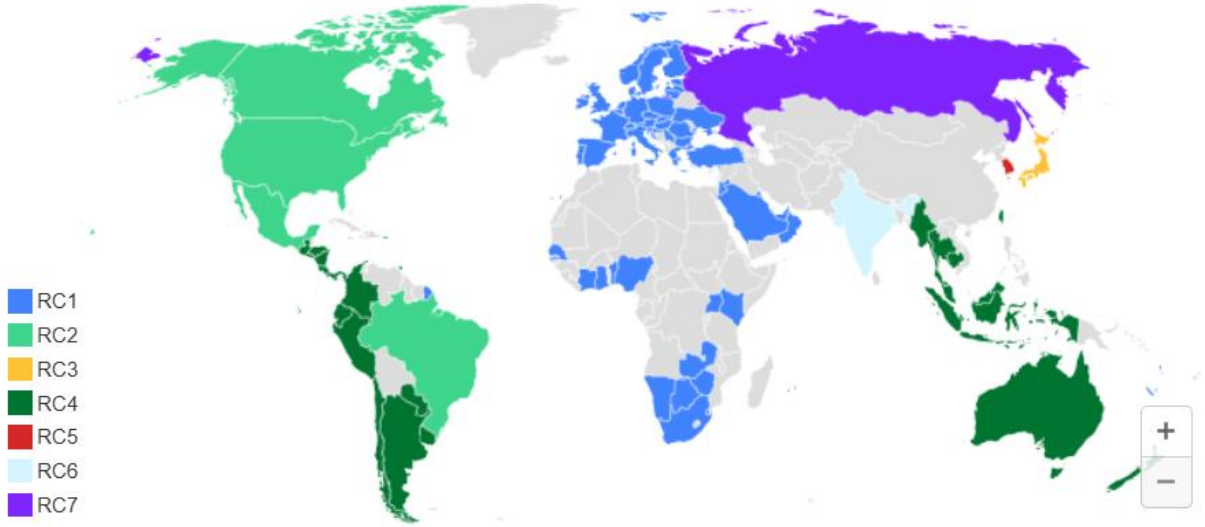


Figura 2.Mapa global de la cobertura de Sigfox. Fuente Sigfox[20]

La configuración de radio (RC) de Sigfox define los parámetros de radio en los que funcionará el dispositivo: Frecuencias de funcionamiento Sigfox, potencia de salida, mecanismo de acceso al espectro, rendimiento, coexistencia con otras tecnologías de radio, etc.

Cada configuración de radio incluye 4 clases de enlace ascendente: 0u, 1u, 2u y 3u.

La red Sigfox funciona globalmente en los rangos de 862 a 928 MHz. Pero no todas las RC requieren un rango de operación tan amplio [20].

En la tabla 3, se detallan las características de las configuraciones de radio por las 7 zonas que existen actualmente.

	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	RC6	RC7
Uplink center frequency (MHz)	868.130	902.200	923.200	920.800	923.300	865.200	868.800
Downlink center frequency (MHz)	869.525	905.200	922.200	922.300	922.300	866.300	869.100
Uplink data rate (bit/s)	100/600	600	100/600	600	100/600	100/600	100/600
Downlink data rate (bit/s)	600	600	600	600	600	600	600
Sigfox recommended EIRP (dBm)	16	24	16	24	14	16	16
Specifics	DC 1% *	FH **	LBT and/or DC 1%	FH **	LBT ***	DC 1% *	DC 1% *

Tabla 3.Características de configuraciones de radio. Fuente Sigfox[20]

Donde:

- * **DC: El ciclo de** trabajo es del 1% del tiempo por hora (36 segundos). Para una carga útil de 8 a 12 bytes, esto significa 6 mensajes por hora, 140 al día.
- ** **FH: Salto de frecuencia:** El dispositivo emite cada mensaje 3 veces en 3 frecuencias diferentes. Tiempo máximo de emisión 400 ms por canal. Ninguna nueva emisión antes de 20 s.
- *** **LBT:** Los dispositivos deben verificar que el canal de 200 kHz operado por Sigfox está libre de cualquier señal más fuerte que -80 dBm para RC3 y -65 dBm para RC5 antes de transmitir [20].

La recomendación de Sigfox se ajusta al enfoque tecnológico de Sigfox de:

- Bajo consumo de corriente
- Presupuesto de enlace equilibrado entre la comunicación de enlace ascendente y descendente [20].

En la figura 3, muestra el funcionamiento de la red Sigfox a alto nivel.

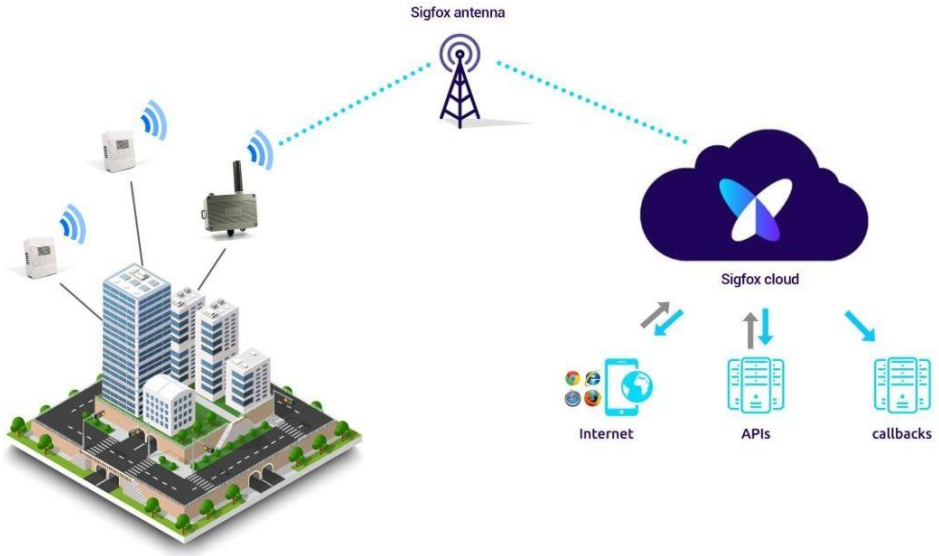


Figura 3. Funcionamiento de la red inalámbrica Sigfox. Fuente Sigfox [20]

A continuación, se describen otras características relevantes e importantes de la tecnología de red inalámbrica Sigfox:

1. **Backend Sigfox:** El back-end de Sigfox proporciona una interfaz de aplicación web para la gestión de dispositivos y la configuración de la integración de datos, así como API web basadas en estándares para automatizar la gestión de dispositivos e implementar la integración de datos [21].
2. **APIs:** Sigfox proporciona una API basada en REST, esto permite a los desarrolladores interactuar con su plataforma para gestionar dispositivos, recibir mensajes y configurar

callbacks. Esta API utiliza métodos HTTP estándar como GET, POST, PUT y DELETE, y responde en formato JSON. A través de esta interfaz, es posible automatizar tareas como la creación de dispositivos, la recuperación de datos de mensajes y la configuración de notificaciones hacia servidores externos [22].

3. **Callbacks en Sigfox:** Envía solicitudes personalizadas, que contienen datos del dispositivo, junto con otras variables, a un determinado servidor y/o plataformas de la nube. Una devolución de llamada **"Callbcks"** se activa por un evento específico que ocurre en la nube Sigfox [23].
4. **Sigfox Cloud:** Sigfox Cloud ofrece varias formas de integración con plataformas IoT de terceros.Puede configurar una devolución de llamada personalizada **"Callbacks"** basada en el protocolo HTTP(S) hacia su plataforma o servidor IoT (UnaConnect, Amazon Web Services, Microsoft Azure y IBM Watson) [24].
5. **Atlas Sigfox Native:** es un servicio de geolocalización generado por la misma red Sigfox, que permite determinar la ubicación de dispositivos IoT sin necesidad de incorporar hardware adicional como por ejemplo un sistema GPS independiente. Este servicio se basa exclusivamente en la infraestructura de la red Sigfox, utiliza la información de las señales recibidas por múltiples estaciones base para determinar la posición del dispositivo [25].

   El funcionamiento de Atlas Native basa su funcionamiento de la siguiente manera: cuando un dispositivo envía un mensaje, este es captado por varias estaciones base de la red Sigfox, luego de esto la plataforma en la nube de Sigfox analiza las características de estas señales, como la intensidad y el tiempo de llegada y con ello se calcula las coordenadas geográficas (latitud y longitud) del dispositivo, junto con un radio de precisión estimado. Esta información se entrega al usuario a través de callbacks configurables o mediante la API estándar de Sigfox[22]. En la figura 4, muestra un ejemplo práctico del funcionamiento del servicio Atlas Native para la localización de activos.

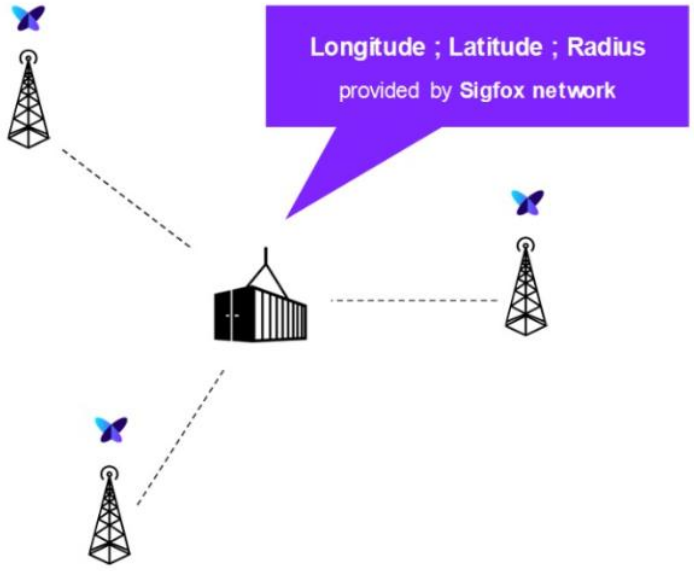


Figura 4.Ejemplo de localización de activos con Atlas Native. Fuente Sigfox [25].

5.2.5. Tecnologías Alternativas a Sigfox

Además de Sigfox, existen otras tecnologías LPWAN que ofrecen soluciones para la conectividad de dispositivos IoT:

- LoRaWAN: protocolo abierto que permite la comunicación bidireccional y es adecuado para aplicaciones que requieren personalización y control de la red.
- NB-IoT (Narrowband IoT): utiliza redes celulares existentes para ofrecer conectividad de bajo consumo y amplia cobertura, ideal para aplicaciones en interiores.
- LTE-M (Long Term Evolution for Machines): ofrece mayor ancho de banda que NB-IoT y es adecuado para aplicaciones que requieren movilidad y transmisión de datos más frecuentes [26].

5.2.6. Bases de datos

Una base de datos es una recopilación organizada de información y/o datos totalmente estructurados. Estos datos se almacenan de forma electrónica en un sistema informático. Una base de datos está controlada por un sistema de gestión de bases de datos (DBMS). En conjunto, los datos y el DBMS, junto con las aplicaciones asociadas a ellos, reciben el nombre de sistema de bases de datos, abreviado normalmente a simplemente base de datos.

Los datos de los tipos más comunes de bases de datos en funcionamiento actualmente se suelen utilizar como estructuras de filas y columnas en una serie de tablas para aumentar la eficacia del procesamiento y la consulta de datos. Así, se puede acceder, gestionar, modificar, actualizar, controlar y organizar fácilmente los datos [27].

5.2.7. Lenguajes de Programación: Java, TypeScript y SQL

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, conocido por su portabilidad y robustez. Es ampliamente utilizado en aplicaciones empresariales y sistemas de gran escala [28].
TypeScript es un superset de JavaScript que añade tipado estático y características de programación orientada a objetos, mejora la calidad del código y facilita el mantenimiento en proyectos grandes [29].
SQL (Structured Query Language) es un lenguaje estándar para la gestión de bases de datos relacionales [30]. Permite realizar operaciones como consultas, inserciones y actualizaciones de datos, por último, C++ es un lenguaje de programación de propósito general que combina características de programación procedimental y orientada a objetos, permite una gestión eficiente de recursos y es ampliamente utilizado en sistemas embebidos [31].

5.2.8. Microsoft Azure: Servicios en la Nube

Microsoft Azure es una plataforma de servicios en la nube que ofrece una amplia gama de herramientas para el desarrollo y despliegue de aplicaciones, permitiendo a desarrolladores y equipos de TI administrar e implementar los recursos ofrecidos por la plataforma a través de un gran centro de datos mundial [32].

La plataforma de Azure funciona con un gran un número de sistemas operativos, lenguajes de programación y herramientas[https://blog.conzultek.com/microsoft-azure-que-es-como-funciona-como-ayuda-a-las-empresas#que-es-microsoft-azure-para-que-sirve]. Dentro de las herramientas o recursos más usadas están:

1. **Azure IoTHub**: para proyectos IoT, Azure proporciona servicios como IoT Hub, que permite la conexión y gestión de dispositivos. Este servicio actua como un centro de mensajes central en una solución de IoT basada en la nube. Permite la comunicación confiable y segura a escala entre una aplicación IoT y el dispositivo conectado [33].
2. **Azure Functions:** es un servicio de computación sin servidor (serverless) que permite ejecutar pequeños bloques de código en la nube sin necesidad de administrar una infraestructura. Las funciones se ejecutan en respuesta a eventos específicos (triggers), como solicitudes HTTP, mensajes de colas, cambios en bases de datos o eventos desde dispositivos IoT. Esta arquitectura ofrece escalabilidad automática, facturación por ejecución y facilidad de integración con otros servicios de Azure, lo que la convierte en una solución eficiente para tareas de procesamiento ligero, automatización de eventos.
   Su uso en este proyecto permite procesar datos de localización enviados desde dispositivos IoT y redirigirlos a servicios de visualización, almacenamiento o alerta [34].
   Estos son los triggers de ejecución de los que dispone actualmente un Azure Function para su ejecución:
   - **EventHubTrigger**: es un tipo de desencadenador en Azure Functions que permite ejecutar funciones en respuesta a eventos enviados a un Azure Event Hub. Esto es especialmente útil para procesar flujos de datos, como telemetría de dispositivos IoT. Al configurar una función con este trigger, se puede consumir y procesar datos de eventos de manera eficiente, facilitando la construcción de soluciones, además es compatible con varios lenguajes de programación como C, Java, JavaScript, PowerShell, Python o TypeScript. [34] .
   - **HTTP Trigger:** es un tipo de desencadenador en Azure Functions que permite ejecutar funciones en respuesta a eventos enviados a un Azure Event Hub. Esto es especialmente útil para procesar flujos de datos, como telemetría de dispositivos IoT. Al configurar una función con este trigger, se puede consumir y procesar datos de eventos de manera eficiente, facilitando la construcción de soluciones, además es compatible con varios lenguajes de programación como C, Java, JavaScript, PowerShell, Python o TypeScript. [34].
   - **TimerTrigger:** es un tipo de desencadenador que permite que una función se ejecute según una programación definida, generalmente utilizando una expresión CRON. Esto significa que la función se invocará automáticamente en los momentos especificados, sin necesidad de una solicitud o evento externo [34].
3. **Azure SQL Database:** es un servicio de base de datos relacional en la nube creado por Microsoft. Ofrece una plataforma como servicio (PaaS) que permite a los desarrolladores crear y administrar bases de datos SQL sin preocuparse por la infraestructura. Entre sus ventajas se incluyen alta disponibilidad, escalabilidad automática y seguridad integrada [35].
4. **Azure Static Web Apps:** es un servicio que permite implementar aplicaciones web modernas de forma rápida y eficiente. Al integrar automáticamente con repositorios de

código como GitHub, permite la publicación continua de aplicaciones estáticas desarrolladas con frameworks como React, Angular o Vue. Además, ofrece características como enrutamiento personalizado, funciones de backend mediante Azure Functions y certificados SSL gratuitos, todo gestionado automáticamente por el servicio [36].

5.2.9. Proveedores alternativos a Azure

Existen diversas alternativas a Microsoft Azure en el ámbito de los servicios en la nube, cada una con características y ventajas particulares:

- **Amazon Web Services (AWS):** líder en el mercado con una amplia gama de servicios y presencia global.
- **Google Cloud Platform (GCP):** destaca por sus capacidades en análisis de datos e inteligencia artificial.
- **IBM Cloud:** ofrece soluciones híbridas y enfoque en seguridad empresarial.
- **Oracle Cloud Infrastructure:** especializado en bases de datos y aplicaciones empresariales.
- **DigitalOcean:** orientado a desarrolladores y pequeñas empresas, con una interfaz sencilla y precios competitivos [37].

5.2.10. Leaflet: Visualización Geoespacial

Leaflet es una biblioteca JavaScript de código abierto para la creación de mapas interactivos. Es ligera y extensible, permitiendo la integración de capas, marcadores y eventos personalizados. La combinación de Azure Maps y Leaflet permite desarrollar aplicaciones de geolocalización ricas en funcionalidades y con una experiencia de usuario fluida [38].

5.2.11. Backend y Frontend: Desarrollo Web

En el desarrollo de aplicaciones web, es fundamental comprender el significado de cada concepto:

1. **Frontend:** es la parte visible de una aplicación web con la que interactúan los usuarios. Incluye elementos como botones, formularios y menús, y se desarrolla utilizando tecnologías como HTML, CSS y JavaScript. Para el desarrollo frontend se puede usar Vite, siendo esta una herramienta de construcción que proporciona un entorno de desarrollo rápido y eficiente para aplicaciones modernas. Utiliza módulos ES nativos y ofrece recarga en caliente, lo que mejora significativamente la experiencia del desarrollador [20] y con React la cual es una biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario. Su enfoque basado en componentes y su eficiencia en la actualización del DOM lo hacen ideal para aplicaciones web interactivas. La combinación de Vite y React permite desarrollar aplicaciones frontend de alto rendimiento y mantenibilidad [39].
2. **Backend:** es la parte no visible que gestiona la lógica de negocio, el acceso a bases de datos y la autenticación de usuarios. Se implementa utilizando lenguajes de programación como Java, Python,Javascript,Go entre otros y frameworks como apoyo a los lenguajes están

Node.js,Spring Boot, Quakus,DJango etcétera lo que permite construir aplicaciones más rápido y que sean escalables [39].

5.2.12. Git, GitHub y GitHub Actions: Control de Versiones y Automatización

Git es un sistema de control de versiones distribuido que permite a los desarrolladores rastrear cambios en el código fuente durante el desarrollo de software, además, permite gestionar múltiples versiones de un proyecto, facilitar la colaboración entre equipos y mantener un historial completo de cambios, lo que mejora la eficiencia y la calidad del desarrollo [40], por otro lado, GitHub es una plataforma de hospedaje de código que utiliza el sistema de control de versiones Git. Facilita la colaboración entre desarrolladores y el seguimiento de cambios en el código fuente [41].
GitHub Actions es una herramienta de integración y entrega continua (CI/CD) que permite automatizar flujos de trabajo, como pruebas, compilaciones y despliegues, directamente desde el repositorio de GitHub [42].

5.3. Marco Legal

El desarrollo de soluciones tecnológicas para la localización de personas mayores implica la implementación de un conjunto de normas y disposiciones legales tanto a nivel nacional como internacional. Estas regulaciones garantizan que el diseño, implementación y uso de los sistemas tecnológicos cumplan con estándares de seguridad, privacidad, interoperabilidad y accesibilidad, en beneficio de los usuarios y de la sociedad, como lo son:

5.3.1. Resolución 105 de 2020 – Agencia Nacional del Espectro (ANE)

Esta resolución establece los requisitos técnicos y operativos para el uso del espectro radioeléctrico por parte de redes de baja potencia y largo alcance (LPWAN), como es el caso de Sigfox. Regula las frecuencias no licenciadas y define parámetros para evitar interferencias y garantizar la eficiencia del espectro [43].

5.3.2. Ley 1581 de 2012 – Protección de Datos Personales

Esta ley establece disposiciones generales para la protección de los datos personales en Colombia. En el contexto del proyecto, regula el tratamiento de datos como la ubicación GPS del adulto mayor, que son considerados datos sensibles. Obliga a los desarrolladores a obtener autorización previa, implementar medidas de seguridad, y garantizar los derechos del titular [44].

5.3.3. Ley 1341 de 2009 – Ley TIC

Conocida como la Ley de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, esta norma promueve el acceso, uso y apropiación de las TIC para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Además, define los principios para el desarrollo de servicios de telecomunicaciones, como neutralidad tecnológica, libre competencia y seguridad [45].

5.3.4. Ley 1413 de 2010 – Enfoque diferencial para población vulnerable

Establece lineamientos para la formulación de políticas públicas que incluyan indicadores de desarrollo humano con enfoque diferencial, en particular hacia adultos mayores. Este marco apoya proyectos que mejoren la calidad de vida y promuevan el cuidado y seguimiento a esta población [46].

5.3.5. NTC 5854:2012 – Accesibilidad para contenidos web

Esta es una norma técnica colombiana basada en los estándares internacionales WCAG 2.0, que establece los requisitos mínimos de accesibilidad para plataformas web, garantizando que puedan ser usadas por personas con discapacidad o adultos mayores. Es aplicable al diseño de la aplicación web de este proyecto [47].

5.3.6. Ley 1273 de 2009 – Delitos Informáticos

Modifica el Código Penal colombiano para tipificar los delitos informáticos, como el acceso no autorizado a datos personales o la interceptación ilícita de comunicaciones. Aplica a este proyecto como precaución legal frente a posibles vulneraciones a los datos personales de los usuarios [48].

5.3.7. Reglamento General de Protección de Datos (RGPD – Unión Europea)

Aunque es una norma internacional, sirve como referencia global en materia de protección de datos personales. Establece principios como la minimización de datos, el consentimiento explícito, la privacidad desde el diseño y el derecho al olvido. Puede ser tomado como guía en el tratamiento de datos sensibles en entornos en la nube [49].

5.3.8. Convención Interamericana sobre la Protección de los Derechos Humanos de las Personas Mayores (OEA, 2015)

Este tratado internacional promueve el respeto y la protección de los derechos de las personas mayores, incluyendo su integridad física, salud, seguridad y participación en la vida social. Los

Estados firmantes, como Colombia, deben fomentar políticas y tecnologías que garanticen estos derechos [50].

6. Metodología

El desarrollo para implementar este proyecto de grado conllevo a la organización por fases y con un enfoque exploratorio-aplicado, ideal para procesos de innovación tecnológica y corroborar soluciones en entornos reales [51], lo que permitieron llevar cada requerimiento de una manera eficiente basado a los objetivos propuestos.

A partir de los objetivos planteados que son claros, medibles y realistas, permitió o facilito el seguimiento y la evaluación de cada uno de ellos, asignando las responsabilidades necesarias para la ejecución de este. A medida que se avanzó en el desarrollo del proyecto, se iban validando con los objetivos y ajustando si era necesario, con el fin que, en cada fase, se pudiera realizar una evaluación de resultados en relación con los objetivos, permitiendo así áreas de mejora en el transcurso de la ejecución.
La distribución del proyecto se realizó en diferentes etapas o fases. A continuación, serán detalladas cada una de las fases que forjaron el desarrollo del proyecto e hicieron posible un resultado final exitoso.

6.1. Fases del Proyecto

La ejecución del proyecto se estructuró en cuatro fases, alineadas con los objetivos específicos planteados. A continuación, se describe la metodología aplicada para cada uno, justificando la elección de las tecnologías y destacando los métodos de evaluación y análisis aplicados.

6.1.1. Análisis de requerimientos de infraestructura en la nube

Previo al diseño del sistema, se realizó una investigación comparativa entre diferentes plataformas de servicios en la nube, con el fin de seleccionar la más adecuada para alojar, procesar y visualizar los datos provenientes del sistema IoT. Esta fase se centró exclusivamente en la selección de la nube.

Para garantizar el rendimiento y la eficiencia del sistema se evaluaron dos plataformas de servicios en la nube: Amazon Web Services (AWS) y Microsoft Azure.El criterio principal para seleccionar la plataforma en la nube fue la latencia de la red, que se refiere al tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde su origen hasta su destino [33] En el proyecto de localización, una latencia baja es esencial para garantizar una respuesta ágil y eficiente. Aunque el sistema no opera en tiempo real estricto, presenta un desfase estimado entre 40 y 50 segundos, de acuerdo con la documentación oficial del servicio Sigfox Atlas Native [25]. Este tiempo de respuesta es adecuado para aplicaciones de localización y monitoreo de personas, permitiendo una comunicación prácticamente en tiempo real desde el microcontrolador hasta la plataforma en la nube, sin comprometer la funcionalidad del sistema.

Para la medición de la latencia, se utilizaron las herramientas de AzureSpeed y AWSSpeedTest, que permiten evaluar la latencia desde el punto de origen hasta los centros de datos de cada proveedor a nivel global [52] Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Proveedor	Región	Latencia (ms)
Azure	US East 2 (Virginia)	165
Azure	US East (Virginia)	167
AWS	US East (Virginia)	210
AWS	US East (Ohio)	231
AWS	SA East (Sao Paulo)	268
Azure	Brazil South (Sao Paulo)	295

Tabla 4. Resultados de pruebas de latencia entre centros de datos de Azure y AWS. Fuente: elaboración propia con datos de AzureSpeed y AWSSpeedTest[52].

Los datos muestran que el centro de datos US East 2 de Azure, ubicado en Virginia, presentó la menor latencia, con 165 ms, lo que representa una ventaja significativa sobre los 210 ms del centro de datos de AWS en la misma región. Esto asegura que la infraestructura de Azure permite la captura y recepción de datos en menor tiempo, en comparación con AWS [53], lo que es esencial para la eficiencia del prototipo de localización de la tercera edad.

En la figura 5, se observa los recursos utilizados de Microsoft Azure para el desarrollo del sistema.

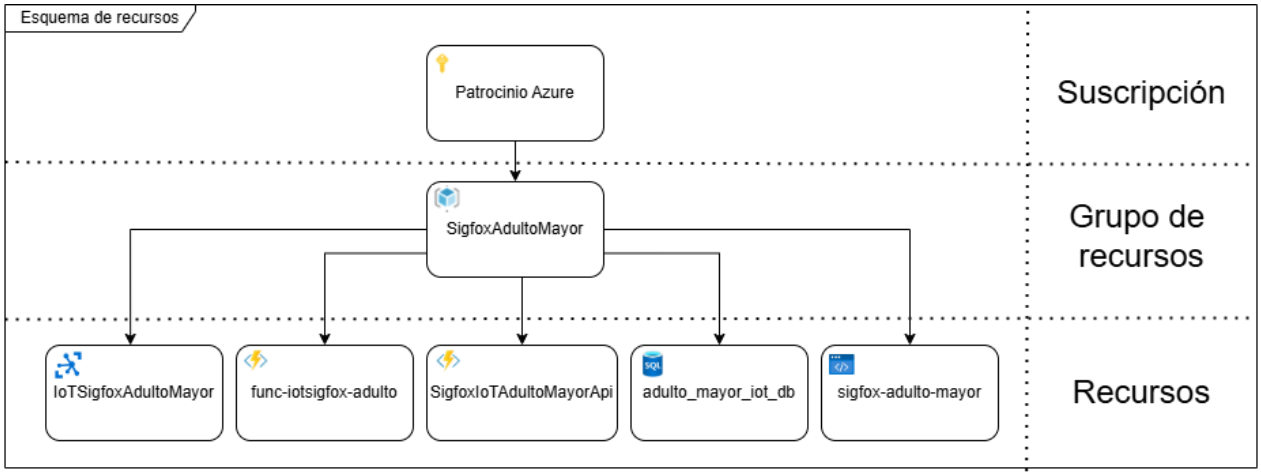


Figura 5.Esquema de recursos Microsoft Azure. Fuente propia.

La elección de Azure como plataforma base permitió consolidar un ecosistema completo e integrado, capaz de recibir datos IoT, almacenarlos, procesarlos y visualizarlos, facilitando así el cumplimiento del objetivo general del proyecto.

6.1.2. Diseño de la interfaz web de seguimiento

Se construyó una aplicación web de tipo SPA (Single Page Aplication), desarrollada con Vite-React y usando como lenguaje de programación Typescript por su sintaxis fuertemente tipada. Para la representación gráfica de la localización se utilizó la librería Leafet.js. Para la comunicación e intercambio de datos la interfaz web consume servicios API Rest desarrollados por medio de Azure Functions usando como lenguaje de programación Java en su versión 17, los cuales exponen los registros almacenados en Azure SQL Server.

Con el diseño de la interfaz web permitió que los cuidadores o familiares a cargo de un adulto mayor pudieran visualizar la ubicación registrada. Esta interfaz debía ser accesible desde cualquier navegador y desde cualquier dispositivo, sea de escritorio o móvil.

Para dar cumplimiento a los requisitos del objetivo, se optó por la siguiente arquitectura tecnológica:

-**Frontend**: desarrollado con React.js, biblioteca de JavaScript basada en componentes. En la tabla 5 se justifica el uso de React por encima de otras herramientas relacionadas.

Alternativa evaluada	Limitaciones	React.js(elegido)
Angular	Arquitectura más compleja para proyectos pequeños; curva de aprendizaje más alta	React es más simple, más ligero y tiene mayor rendimiento para SPAs
Vue.js	Muy potente, pero menor integración directa con el ecosistema Azure y menor comunidad local	React tiene amplia comunidad, soporte oficial de Microsoft en Azure
Web tradicional (HTML + JS)	No escalable, difícil mantenimiento, sin separación de lógica	React permite componentes reutilizables, escalabilidad y organización modular

Tabla 5.Evaluación de alternativas frameworks. Frontend. Fuente propia

Para el desarrollo de software moderno debe adoptar enfoques modulares y adaptativos, que faciliten el mantenimiento y evolución de sistema reutilizables [54].

En la figura 6, se puede observar la estructura modular que se realizó para la construcción Frontend.

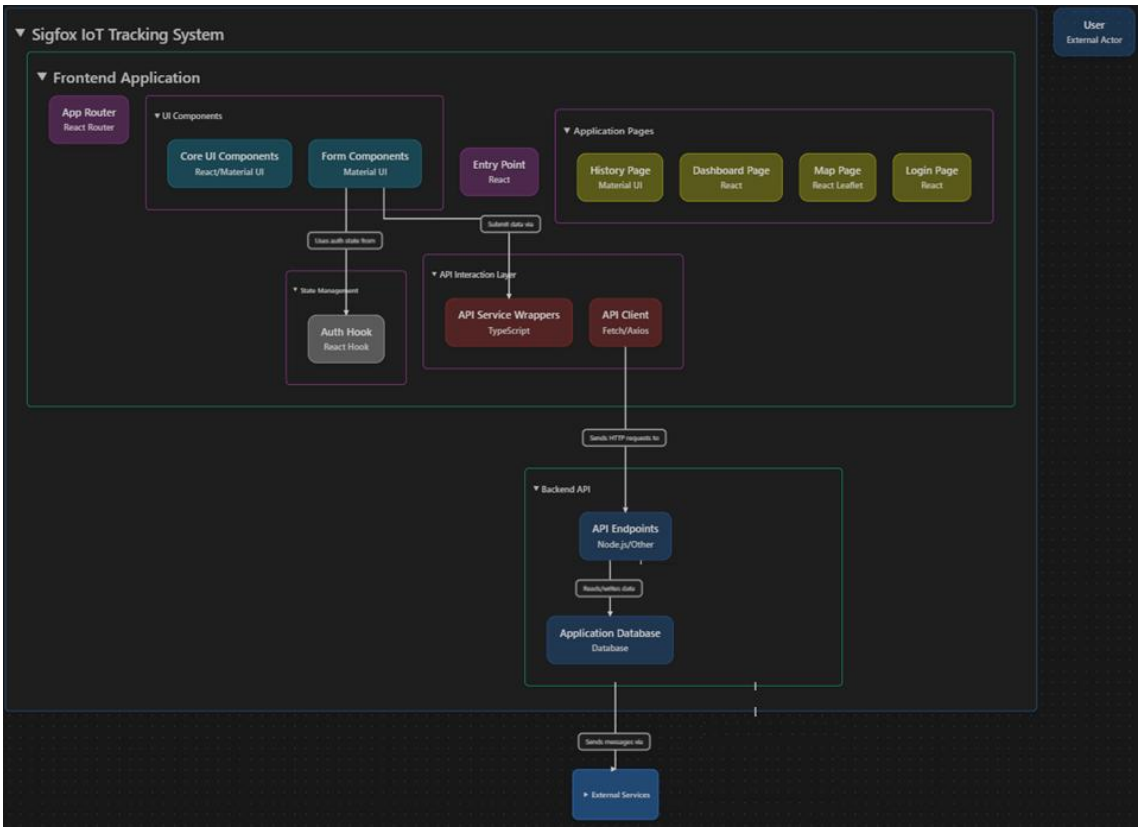


Figura 6.Diagrama de módulos Frontend con React. Fuente propia

- Visualización de mapas – Leaflet.js: Se optó por Leaflet.js como librería para visualizar coordenadas GPS debido a su ligereza, código abierto y compatibilidad con múltiples proveedores de mapas (OpenStreetMap, Mapbox, etc.). A diferencia de Google Maps que requiere llaves API con límites de uso, Leaflet es una fantástica alternativa de mapeo, este paquete es muy fácil de usar, su gran ventaja es que es de código abierto y lo mejor no se requiere clave API [55]

Por último, esta decisión también favorece la sostenibilidad del proyecto a largo plazo sin depender de servicios pagos.

- Backend sin servidor – Azure Functions: Para procesar las coordenadas GPS y exponerlas a la interfaz web, se utilizó Azure Functions, una plataforma FaaS (Function as a Service) que permite ejecutar lógica sin administrar servidores y orientada a la programación orientada a los eventos.

Las ventajas de Azure Functions frente a otras alternativas son por la escalabilidad automática, ideal para tráfico variable. Adicional, permite codificar en diferentes lenguajes de programación, como C#, F#, Node.js, Java o PHP [56].

- Alojamiento de la aplicación – Azure Web App Static: por medio de Azure Web App, el cual es un servicio PaaS (Platform as a Service), permitió hostear la aplicación web sin la necesidad de

preocupación por la infraestructura. En la tabla 6, se realiza la comparación con otros Hosting existentes en el mercado.

Plataforma	Limitaciones	Ventajas Azure Web App
Heroku	Ha limitado planes gratuitos	Azure incluye cuota gratuita con integración a otras herramientas
Firebase	No es ideal para React puro (más orientado a Angular)	Azure soporta React directamente y de forma nativa
Netlify	Buena opción, pero sin integración con Azure Functions	Azure permite gestionar toda la solución desde un solo portal

Tabla 6.Comparativa de plataformas de alojamientos. Fuente propia.

En la figura 7, se puede visualizar las conexiones necesarias para el funcionamiento de la interfaz web.

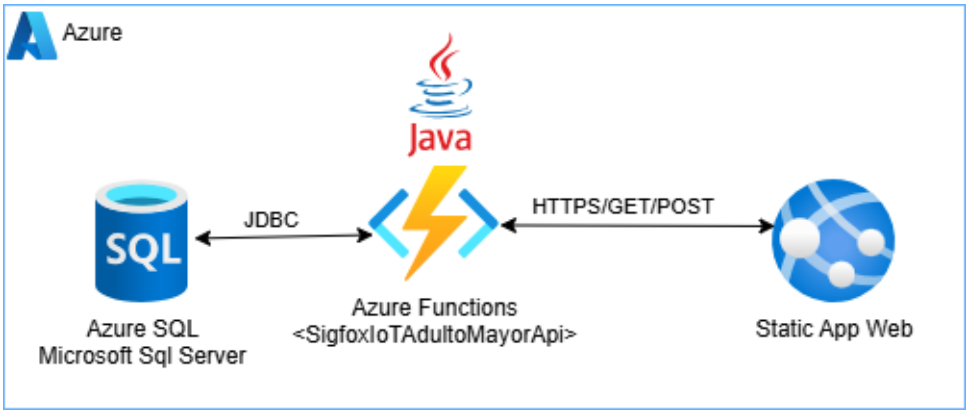


Figura 7. Conexión Azure Functions con Aplicación web. Fuente propia.

- CI/CD – GitHub Actions: Aprovechando las herramientas de automatizaciones integradas y las entregas continuas junto con el control de versiones, se usó GitHub Acitons. En comparación con otras alternativas como Jenkins o GitLab CI, GitHub Actions, no requiere servidores adicionales, la configuración está basada a un archivo YAML y el despliegue hacia Azure cuenta con plantillas oficiales lo que facilita la integración. Esta herramienta promueve prácticas DevOps modernas alineadas con ISO/IEC 12207, que promueve la automatización de pruebas, compilación y despliegue como parte integral del ciclo de vida del software [57].

En la figura 8, se identifica los recursos y/o componentes que actúan sobre la interfaz web para que esta tenga el funcionamiento deseado para la administración de los cuidados o familiares.

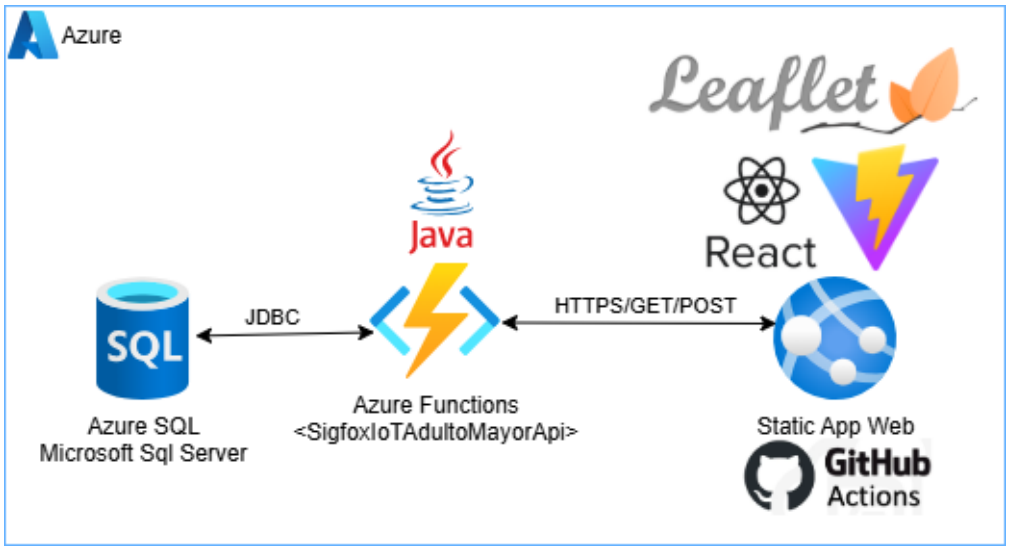


Figura 8.Recursos usados para el funcionamiento de la interfaz web. Fuente propia.

6.1.3. Integración del microcontrolador y selección de tecnología inalámbrica

Para el diseño del prototipo en la parte física (Hardware), se utilizó el microcontrolador SOUL ONE fabricado por la empresa colombiana tsthings, el cual está sobre una placa Arduino Leonardo, facilitando así la programación de este por medio del lenguaje de programación C++ [18]. La elección del microcontrolador se basó a las zonas regionales en las que funciona, para adquirirlo se tuvieron dos posibles opciones, SOUL ONE y DEVKIT UFOX, donde se escogió el primero por su bajo coste de adquisición. El chip WISOL SFM11R2D viene incorporado sobre el microcontrolador y permite la conexión hacia las antenas bases de la tecnología inalámbrica Sigfox la cual se encuentra desplegada en varias zonas del país. Para este proyecto en específico se validó la cobertura en la ciudad de Bogotá y algunos municipios aledaños. En la figura 9, se muestra la cobertura actual de Colombia, destacando en color azul las zonas donde ya se ha desplegado esta tecnología inalámbrica.

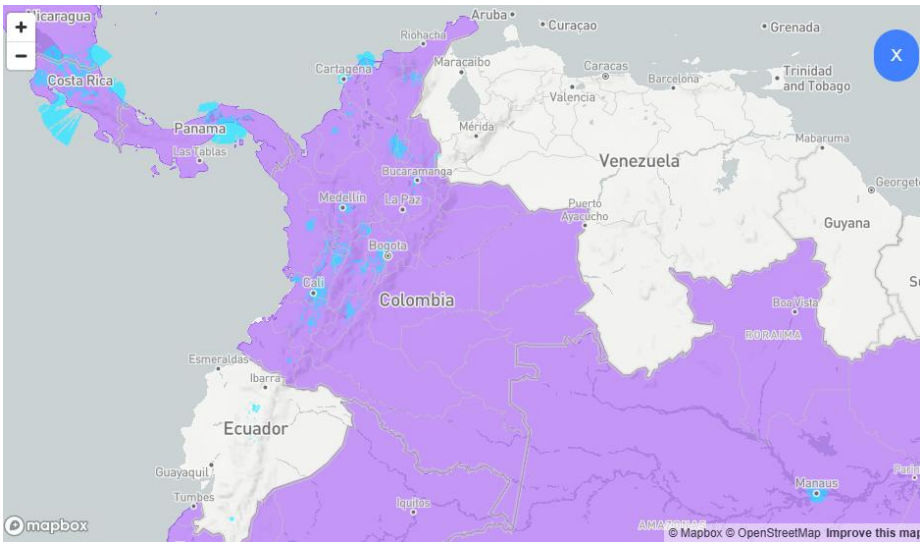


Figura 9.Cobertura Sigfox en Colombia. Fuente Sigfox [58]

Para la tecnología inalámbrica, se evaluaron diferentes tecnologías LPWAN (Low Power Wide Area Network) como Sigfox y LoRaWAN. La elección de Sigfox se basó en varios factores claves relacionados con los objetivos específicos del proyecto.

Además, Sigfox es una tecnología optimizada para el envío de mensajes cortos y de bajo consumo energético, lo cual permite que los dispositivos portátiles tengan una mayor autonomía, prolongando la duración de la batería y reduciendo la necesidad de mantenimiento frecuente, un aspecto crítico al tratarse de usuarios que pueden no estar familiarizados con la tecnología. La tabla 7, resume esta comparación inicial:

Característica	**Sigfox**	**LoRaWAN**
Infraestructura	Red pública existente	Requiere instalar gateways
Consumo de energía	Muy bajo	Bajo
Cobertura	Amplia (según despliegue operador)	Depende del despliegue propio
Costo de despliegue	Bajo (pago por uso de red)	Medio (compra e instalación de gateways)
Facilidad de integración	Alta (backend sencillo)	Requiere configuración de red
Ideal para:	Mensajes cortos, localización sencilla	Casos más personalizados o privados

Tabla 7.Compartativa sencilla entre Sigfox y LoRaWAN. Fuente propia.

La elección de Sigfox como tecnología LPWAN principal se fundamentó en los siguientes aspectos críticos, alineados con los requerimientos específicos del proyecto:

- Infraestructura existente y cobertura nacional: en Colombia, la red Sigfox es operada por OGColombia, con cobertura funcional en zonas urbanas como Soacha y Bogotá. Sumado a lo anterior, no requiere instalar ni mantener infraestructura propia como gateways,facilitando así los despliegues.
- Facilidad de integración con backend en la nube: Sigfox por medio de sus configuraciones permite el uso de callbacks que se conectan directamente hacia Azure IoT Hub, sin la necesidad de crear servicios intermedios (brokers MQTT)
- Consumo energético ultra bajo: Los mensajes de 12 bytes, transmitidos una vez cada varios minutos, son ideales para dispositivos portátiles alimentados por batería.

De esta manera, Sigfox se presentó como la mejor opción en función de la cobertura, el bajo consumo energético, la facilidad de integración y la simplicidad en el mantenimiento de la solución.

6.1.4. Pruebas y validación de registro en Base de Datos en línea

Esta última fase tuvo como propósito verificar el funcionamiento completo del sistema, desde el nivel inicial —incluyendo el hardware y la captura de coordenadas— hasta la etapa final, representada por la interfaz web para la visualización de los datos obtenidos, validando la eficacia de la solución propuesta para la localización de personas mayores. Se realizaron pruebas reales en entornos urbanos donde la cobertura Sigfox es funcional, simulando desplazamientos reales de usuarios.

En la tabla 8, demuestra el enfoque experimental evaluativo que se utilizó, basado en la observación y medición de variables clave del sistema en funcionamiento real.

Técnica	**Propósito**
Pruebas de campo	Verificar funcionalidad completa del sistema
Exportación de registros	Analizar consistencia y confiabilidad del sistema
Comparación GPS vs ATLAS	Comparación GPS vs ATLAS

Tabla 8.enfoque experimental evaluativo. Fuente propia.

Las actividades realizadas fueron llevadas a cabo en dos jornadas como se describen en la tabla 9.

Día	Ubicación	Contexto
1	Soacha	Zona urbana con edificios bajos
2	Sur de Bogotá	Entorno urbano con mayor densidad

Tabla 9.Actividades realizadas para las pruebas de campo. Fuente propia.

Durante cada jornada:

1. El dispositivo fue activado para capturar coordenadas GPS cada cierto intervalo de tiempo (aprox. 1 minuto).
2. Los datos fueron transmitidos por Sigfox y recibidos en **Azure IoT Hub** mediante **callbacks**.
3. Una función en **Azure Functions** procesó cada mensaje y lo almacenó en **Azure SQL Server**.
4. La interfaz web (React + Leaflet) mostró la ubicación recibida.
5. Posteriormente, se exportaron los datos para análisis posterior.

Por último, se realizan las validaciones pertinentes en la base de datos en línea la cual está sobre Microsfot Azure, para corroborar que se almacenan los datos registrados desde la aplicación web (Formularios de registro) y los datos capturados por el módulo GPS. En la figura 10, se visualiza el esquema de la base de datos diseñada, en donde se crearon las tablas Patient(Almacenar persona de la tercera edad),Carer(Almacenar datos del cuidador o familiar), Device(Almacenar información del dispositivo) y DeviceHistory(Almacenar el histórico de localizaciones).

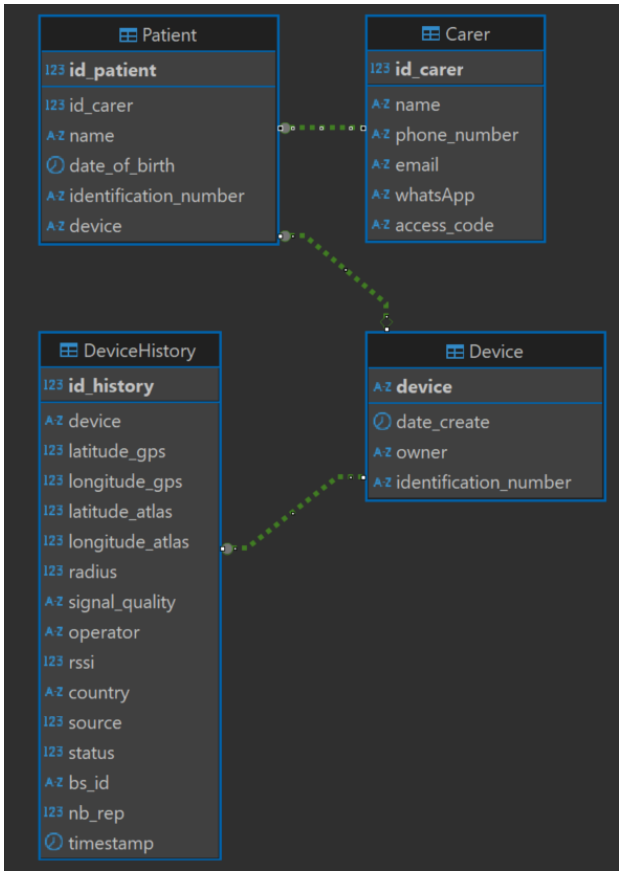


Figura 10.Visualización de tablas en bases de datos Microsoft Azure SQL Server. Fuente propia

7. Resultados

7.1. Propuesta definitiva de solución

El prototipo desarrollado permitió una solución eficiente, escalable y funcional, permitiendo así la localización de la persona de la tercera edad. Por medio del uso de la red Sigfox, el backend en la nube con Microsoft Azure, y una aplicación web estática desarrollada en React, se logró un sistema completo de monitoreo que responde a las necesidades iniciales del proyecto.

El sistema se compone de los siguientes elementos:

-La parte del sistema de hardware implementado en este proyecto incluyo el microcontrolador SOUL ONE basado en la placa Arduino y el módulo GPS NEO-6M. Se conectaron estos dispositivos y por medio del CHIP WISOL SFM11R2D incorporado en el microcontrolador se envían los datos a las antenas bases pertenecientes a la red inalámbrica Sigfox, para así gestionar la comunicación con el resto del sistema.

En la figura 11, muestra el diagrama de conexión entre el microcontrolador y el módulo GPS.

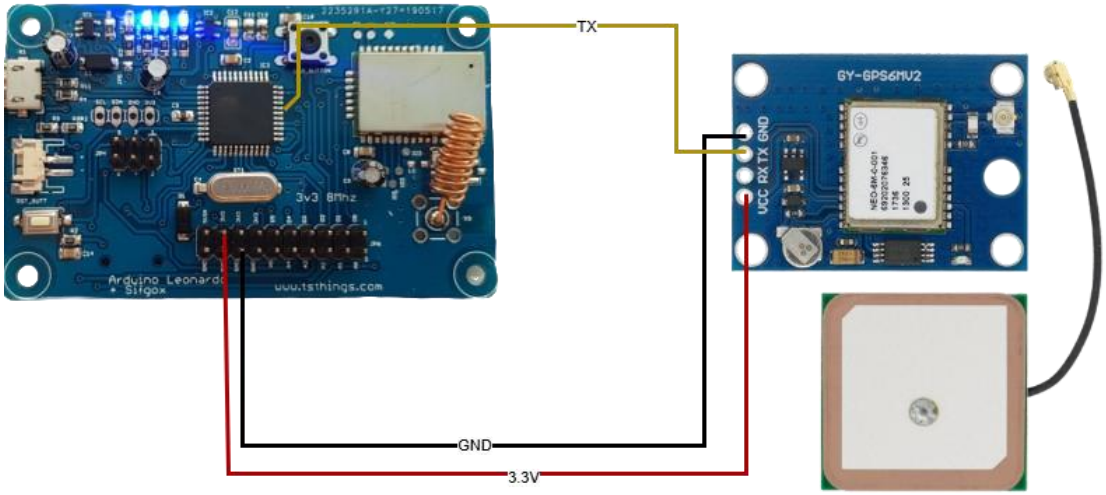


Figura 11.Diagrama de conexión Microcontrolador y modulo GPS. Fuente propia.

-Para la transmisión de los datos se utiliza la red inalámbrica Sigfox, la cual envía en una trama de 12 bytes de las coordenadas capturadas por el módulo GPS.

-Para el procesamiento de datos se utiliza Microsoft Azure, con el uso de los recursos que ofrece el mismo, como los son:

1. **Azure IoT Hub** recibe los mensajes desde Sigfox mediante callbacks.
2. **Azure Functions** procesa y almacena los datos.
3. **Azure SQL Server** conserva el historial de localizaciones y los datos relevantes del cuidador y del paciente, como también información del dispositivo.

4. **Azure Static Web App**, aloja la interfaz web desarrollada para las visualizaciones de los cuidadores o familiares.

-Para la interfaz web, fue desarrollada con React.js y la visualización geográfica con la librería Leaflet.js, permitiendo a cuidadores o familiares acceder a la ubicación e historial de las localizaciones. Se describen a continuación las pantallas claves del sistema:

1. Formularios de cuidador o familiar, dispositivo GPS y Adulto Mayor: Permite registrar los datos en el sistema del cuidador o familiar. los datos del dispositivo GPS a usar y los datos del adulto mayor. En las figuras 12, 13 y 14, se observa los formularios a diligenciar por el cuidador o familiar.

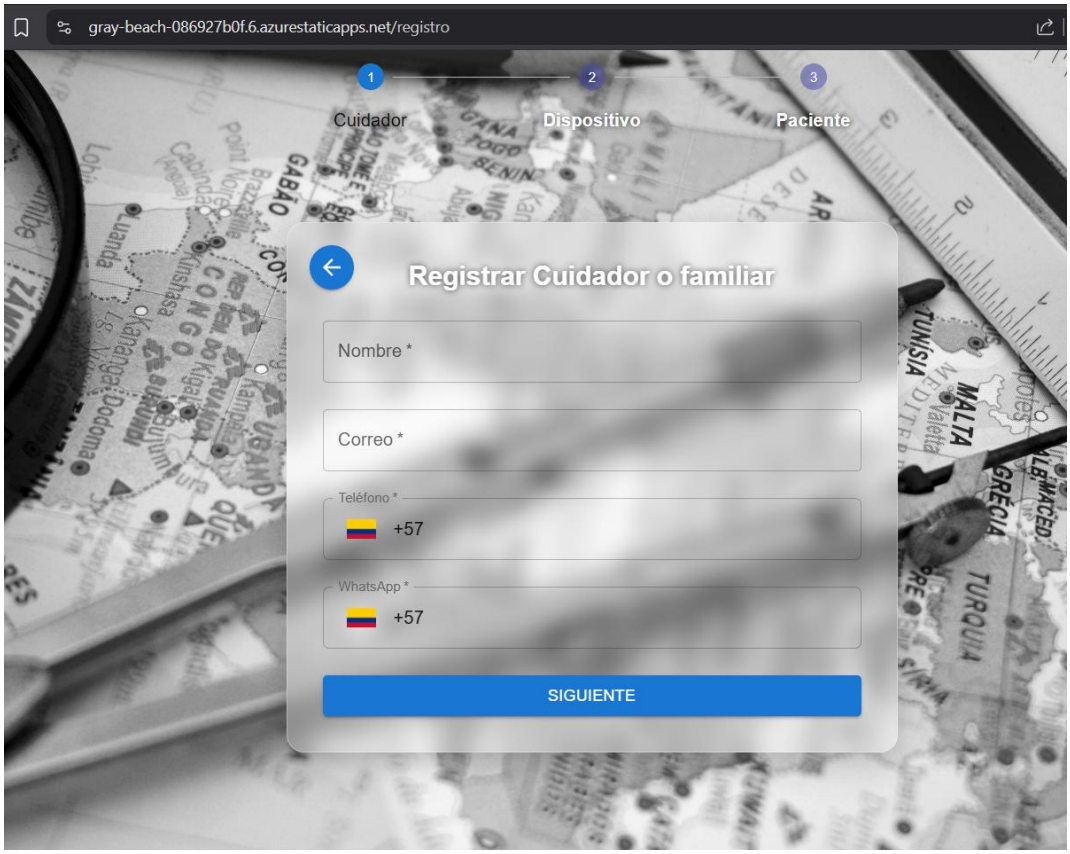


Figura 12.Formulario registro cuidador. Fuente propia

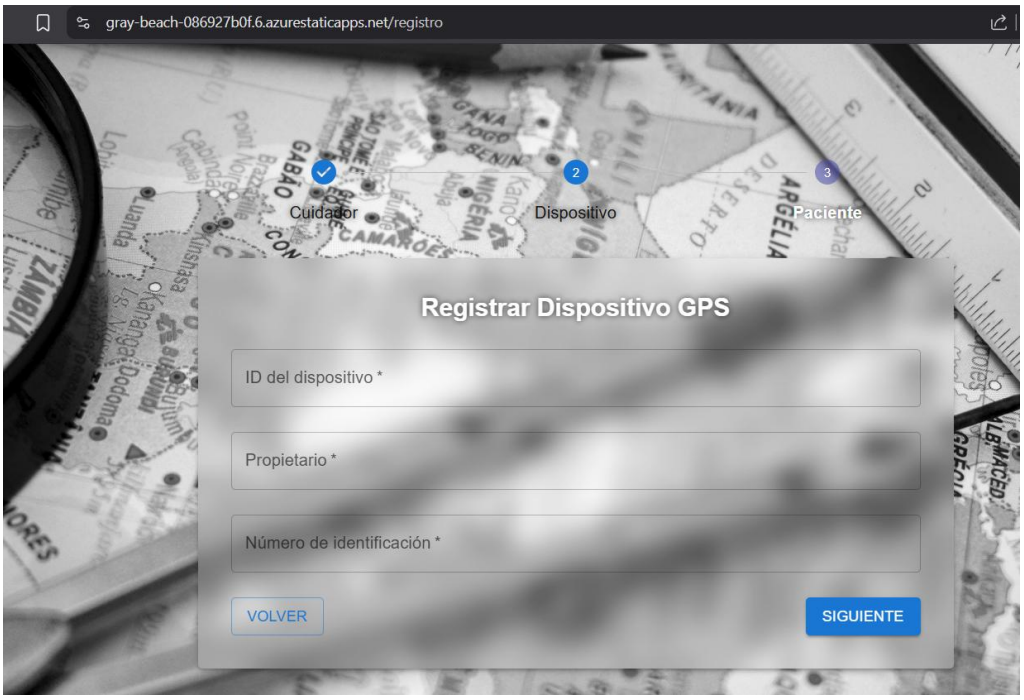


Figura 13.Formulario registro dispositivo Sigfox. Fuente propia

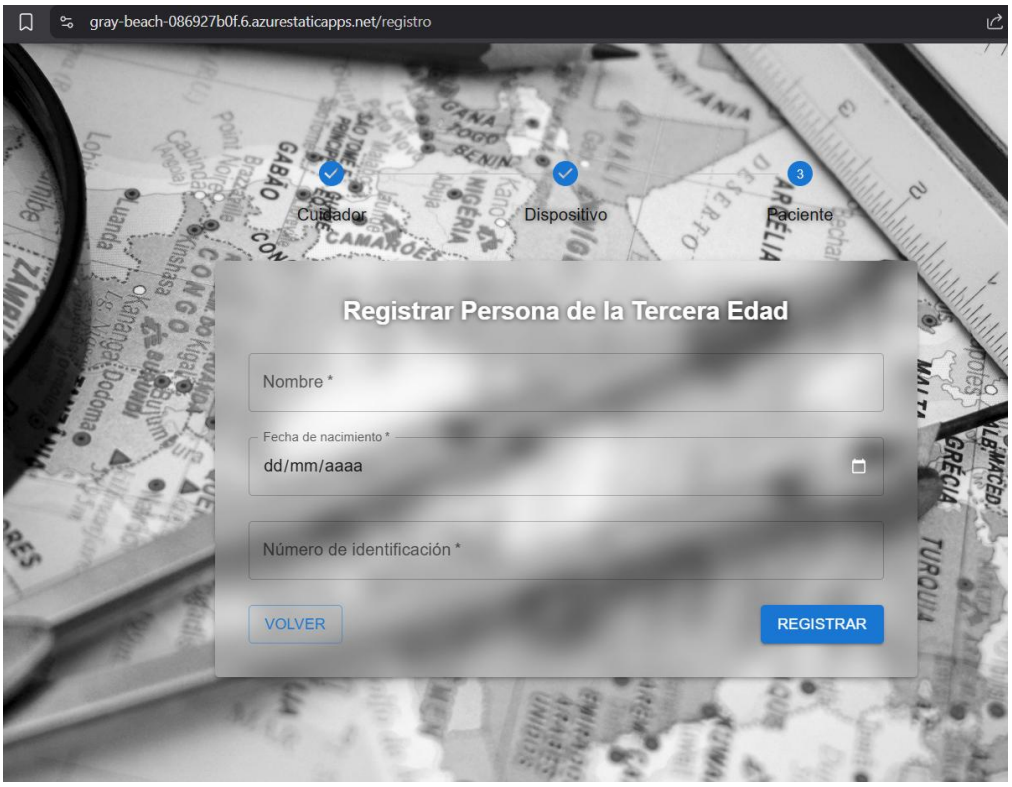


Figura 14.Formulario registro persona de la tercera Edad. Fuente propia

2. Inicio de Sesión y validación de cuidadores o familiares: La aplicación solicita un código de acceso seguro. Esta capa permite que solo usuarios registrados puedan acceder al seguimiento. En la figura 15, se observa la pantalla de Inicio de Sesión por medio del código de acceso generado en el registro.

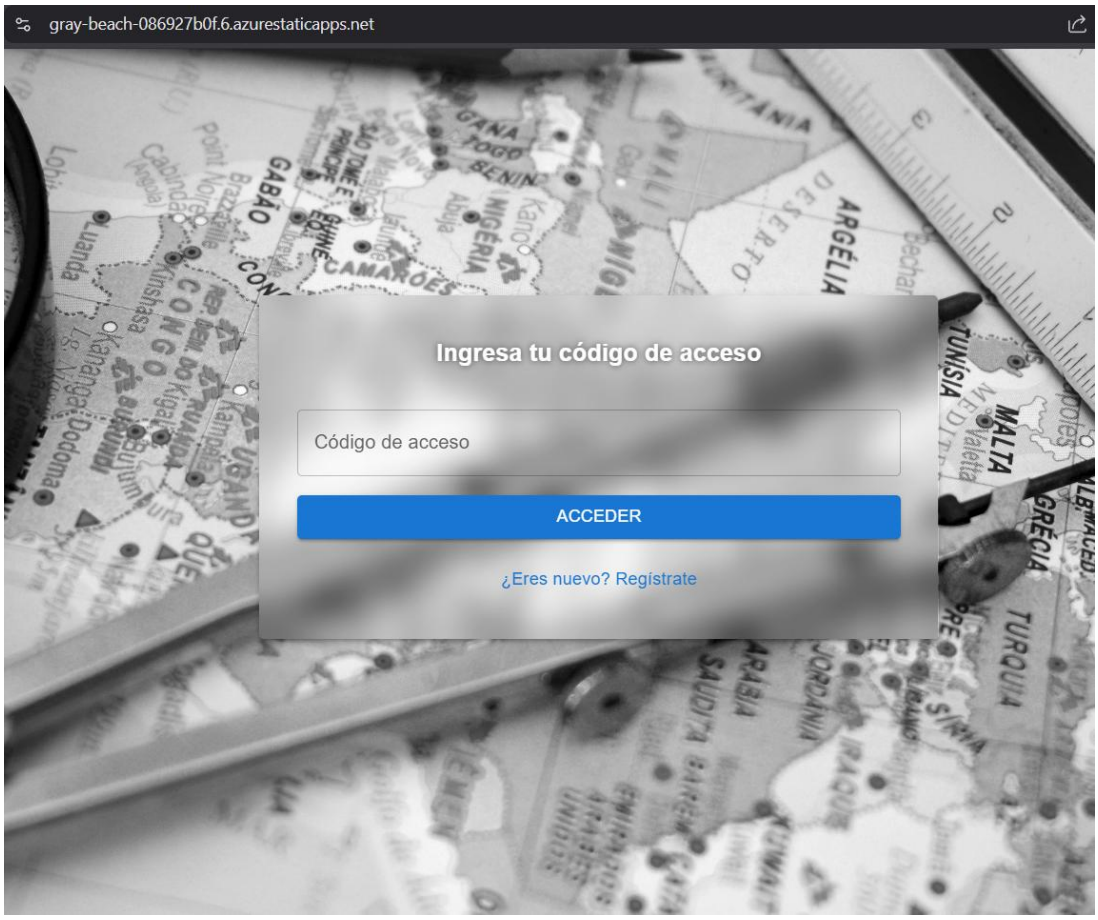


Figura 15.Ingreso a la zona privada por medio del Código único de acceso. Fuente propia

3. **Visualización de ubicación:** Una vez autenticado, el cuidador accede a un mapa donde se representa la posición del adulto mayor con coordenadas recibidas del dispositivo. En la figura 16, se visualiza la posición geográfica del dispositivo que posee el adulto mayor.

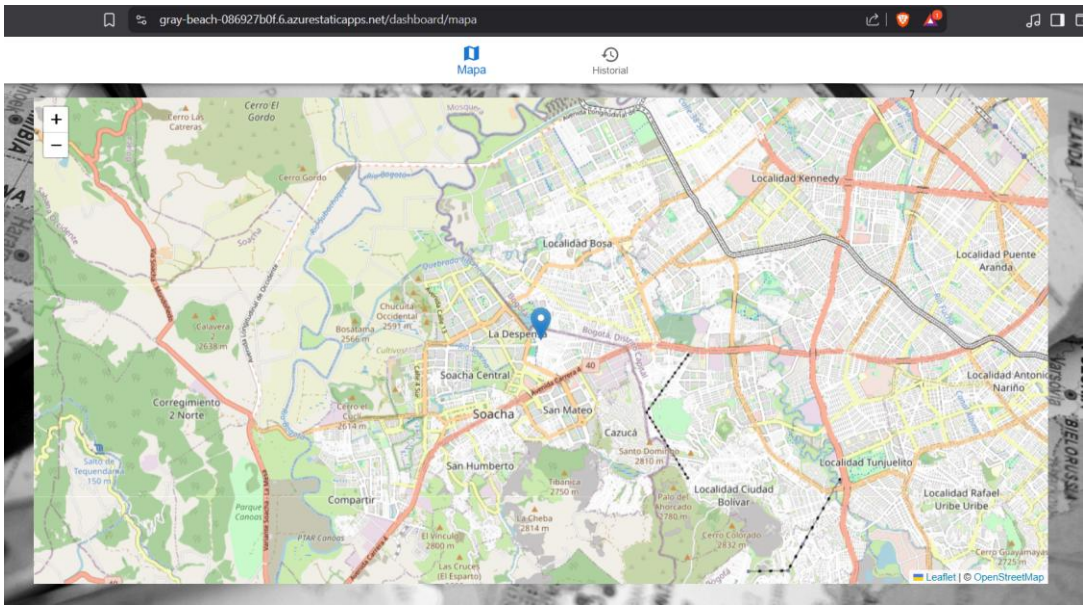


Figura 16.Visualización de ubicación. Fuente propia

4. Historial de ubicaciones: Se ofrece una vista cronológica de los lugares reportados por el dispositivo, permitiendo análisis de trayectorias o comportamientos.

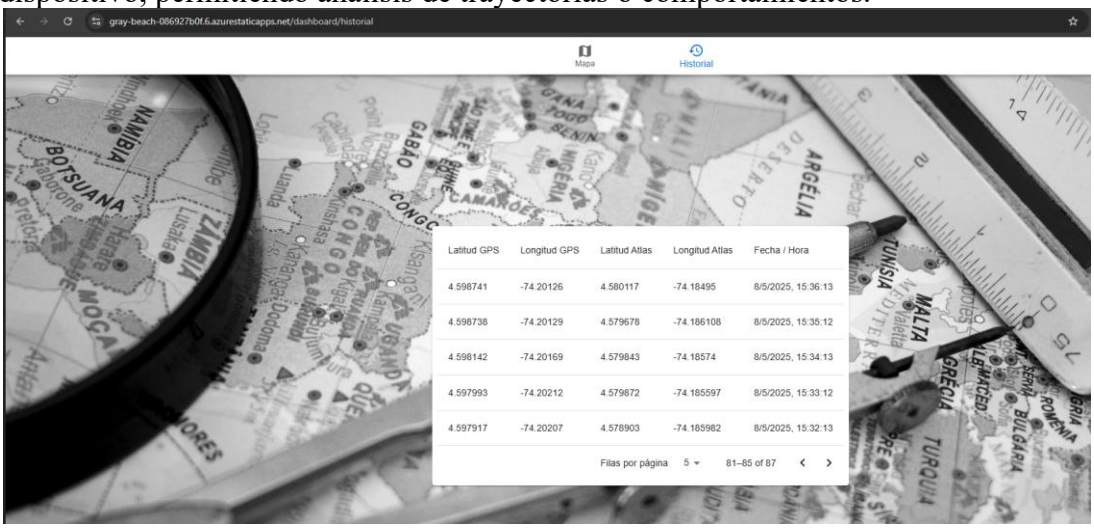


Figura 17.Visualizacion de tabla con los registros recopilados. Fuente propia

- Para el intercambio de datos dentro del sistema, se expusieron seis endpoints en Azure Functions bajo arquitectura serverless. Esto permite escalar fácilmente sin mantener infraestructura dedicada.

En la tabla 10, se describe los servicios Api Rest construidos para el sistema.

URL Base	Endpoint	Método de consumo	Descripción
https://sigfoxiotadultomayorapi.azurewebsites.net/api	/registerCarer	POST	Permite registrar el cuidador o familiar
https://sigfoxiotadultomayorapi.azurewebsites.net/api	/registerDevice	POST	Permite registrar el dispositivo
https://sigfoxiotadultomayorapi.azurewebsites.net/api	/registerPatient	POST	Permite registrar el paciente
https://sigfoxiotadultomayorapi.azurewebsites.net/api	/patient/validateAccessCode	GET	Permite validar el código de acceso
https://sigfoxiotadultomayorapi.azurewebsites.net/api	/patient/history	GET	Permite recuperar el historico de localizaciones
https://sigfoxiotadultomayorapi.azurewebsites.net/api	/patient/location	GET	Permite recuperar la última localización

Tabla 10.Servicios Api Rest expuestos desde la Azure functions. Fuente propia.

Cada componente involucrado en el proyecto (hardware, red, backend y frontend) fue diseñado e integrado cumpliendo los objetivos definidos, asegurando la continuidad en la transmisión de datos, su almacenamiento y por último su visualización geográfica e histórica. También facilita las futuras mejoras o ampliaciones del sistema gracias a su diseño modular.

Por último, en la figura 18, se observa la arquitectura global utilizada para el funcionamiento del sistema.

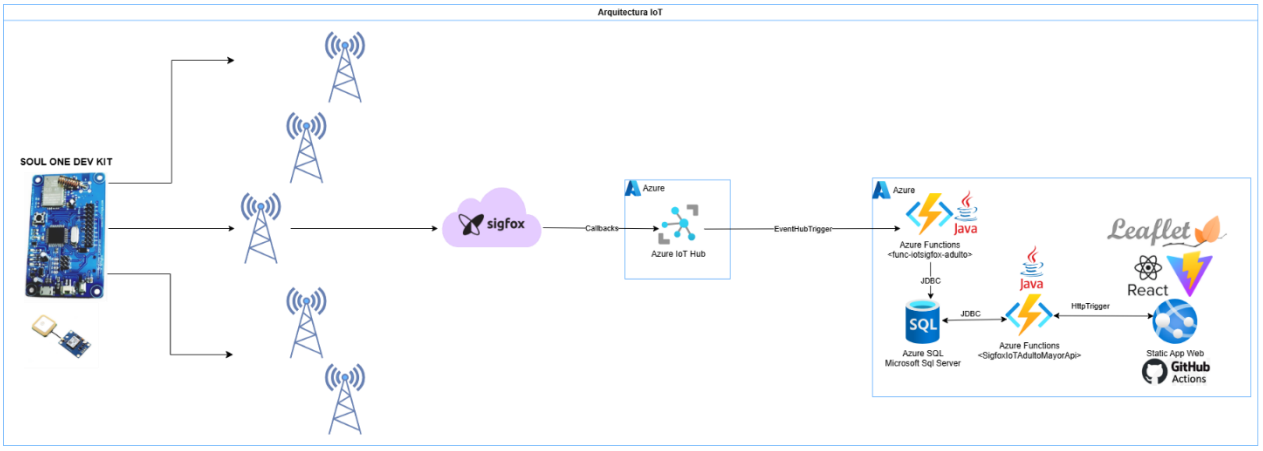


Figura 18.Arquitectura prototipo de localización para personas de la tercera edad. Fuente propia.

En resumen, el sistema final implementado combina tecnologías de bajo consumo energético (Sigfox), infraestructura escalable en la nube (Azure) y visualización moderna (React + Leaflet) para ofrecer una solución confiable y efectiva en el seguimiento de personas mayores.

7.2. Restricciones de la solución

Durante la implementación del sistema se identificaron ciertas restricciones técnicas y operativas que limitaron parcialmente su alcance y desempeño en condiciones específicas. Estas restricciones se describen a continuación, junto con su impacto en el funcionamiento del sistema:

7.2.1. Limitaciones del servicio Atlas Native de Sigfox

Durante la fase inicial del proyecto, se contempló el uso del servicio Atlas Native, como parte de una solución ofrecida por Sigfox la cual permite mediante la triangulación de sus estaciones bases

conocer las coordenadas del dispositivo sin el uso de algún modulo GPS adicional a nivel de hardware. Este servicio resultaba como una opción viable para el proyecto y ofrecía simplicidad en la arquitectura del dispositivo. Sin embargo, tras las pruebas de campo realizadas, se identificó un radio de incertidumbre entre 2.4km y 3.9km (ver figura 19), lo que implicaba una precisión insuficiente para aplicaciones de localización personal, donde es fundamental saber con exactitud la posición del adulto mayor. Ante esta situación, se descartó el uso de esta tecnología, pese a su bajo consumo y facilidad de integración, ofreciendo una solución interesante para seguimientos de activos.

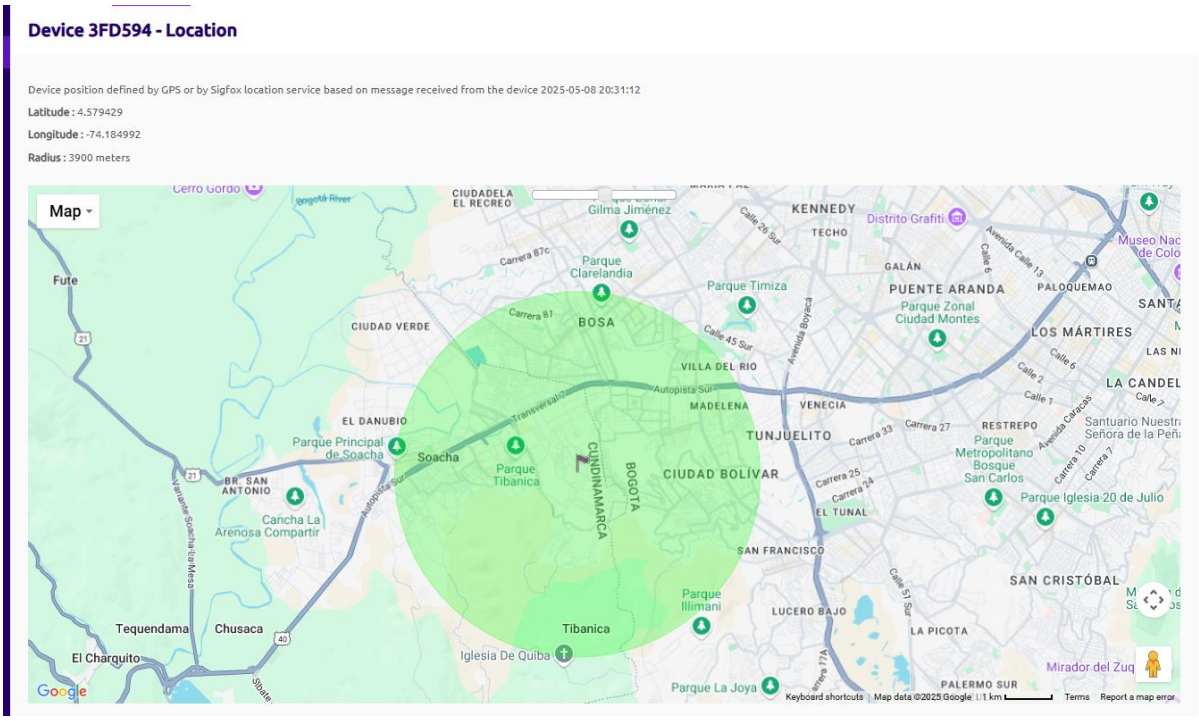


Figura 19.Ejemplo de localización aproximada entregada por el servicio Atlas Native de Sigfox con un radio de 3.9 km. Fuente: Interfaz Sigfox Backend.[]

7.2.2. Cobertura geográfica limitada

La red Sigfox en Colombia, operada por OGColombia, tiene presencia principalmente en zonas urbanas como Bogotá y Soacha, donde se realizaron las validaciones del sistema. No obstante, el sistema no puede garantizar funcionamiento en zonas rurales o remotas donde no haya estaciones base disponibles. Esto limita su aplicabilidad en regiones fuera del alcance actual del operador, y sería necesario verificar previamente la cobertura para nuevas zonas de despliegue.

En la figura 20, se muestra el mapa de cobertura para la región Andina, siendo esta donde se realizaron las pruebas de campo.

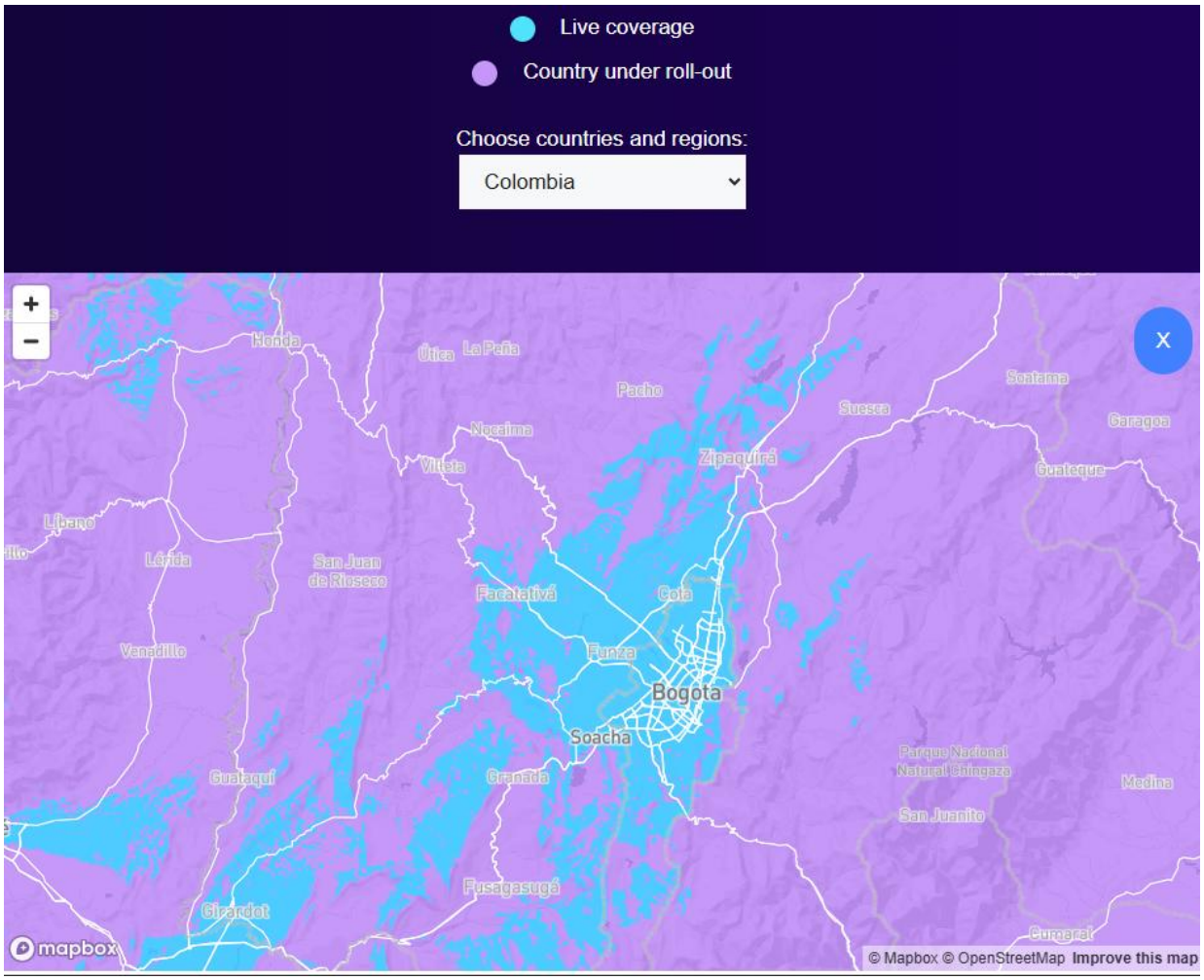


Figura 20 mapa de cobertura Sigfox en la región Andina de Colombia. Fuente Sigfox[58]

7.2.3. Dependencia de conexión a internet en el backend

La solución está basada en servicios en la nube (Azure IoT Hub, Azure Functions y Azure Web App), lo cual facilita la escalabilidad y mantenimiento. Sin embargo, esto implica una **dependencia total de conexión a internet** en el backend. En zonas donde la red de datos móviles o fijas es inestable, el usuario podría experimentar retrasos en la visualización o recepción de datos.

7.3. Validación de la solución

Para validar el funcionamiento del sistema desarrollado, se realizaron pruebas en campo en la zona urbana del municipio de Soacha y en el sur de Bogotá, evaluando la precisión del posicionamiento, la calidad de señal y la consistencia de los datos recibidos. Para llevar a cabo las pruebas, fue necesario registrar los datos del cuidador o familiar, los datos del dispositivo GPS y los datos de la persona de la tercera edad, lo cual se logro satisfactoriamente por medio de los 3 formularios existentes, donde se generó un código único de acceso, el cual permite el acceso al sistema (ver mapa y tabla de históricos).

En la figura 21,22 y 23, se observan los registros almacenados en la base de datos en línea, correspondientes a la información ingresada por el usuario a través del portal web.

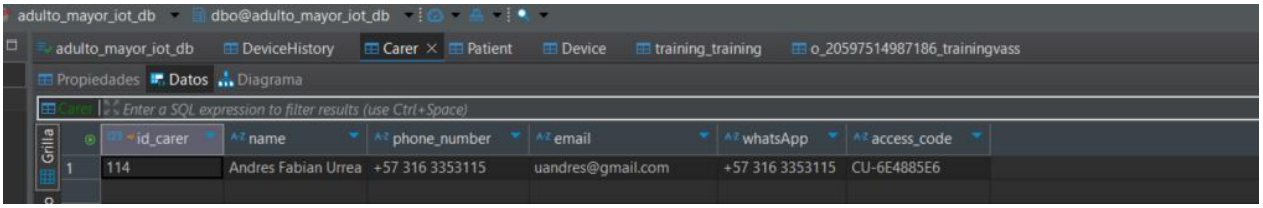


Figura 21.Almacenamiento de los datos del cuidador o familiar del adulto mayor. Fuente propia

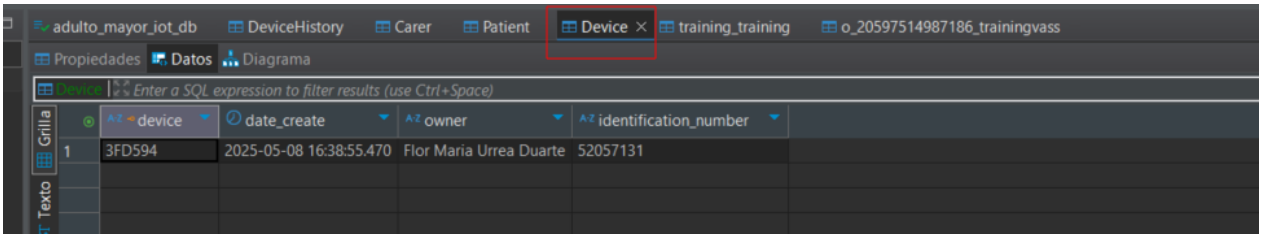


Figura 22. Almacenamiento de los datos del dispositivo a usar en el adulto mayor. Fuente propia

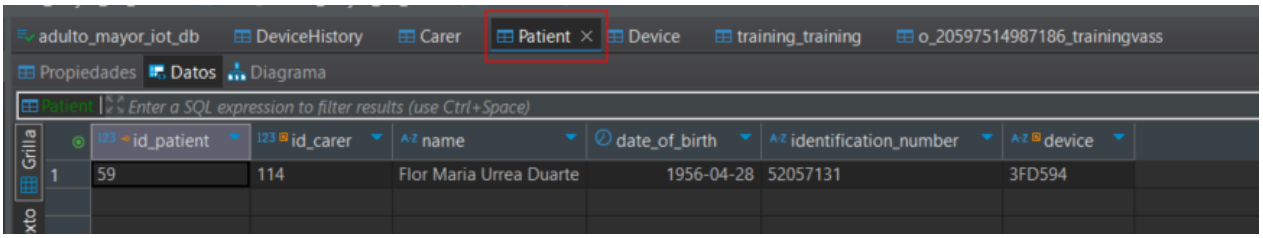


Figura 23. Almacenamiento de los datos del adulto mayor. Fuente propia

En la figura 24, se visualiza el código acceso único generado de manera satisfactoria

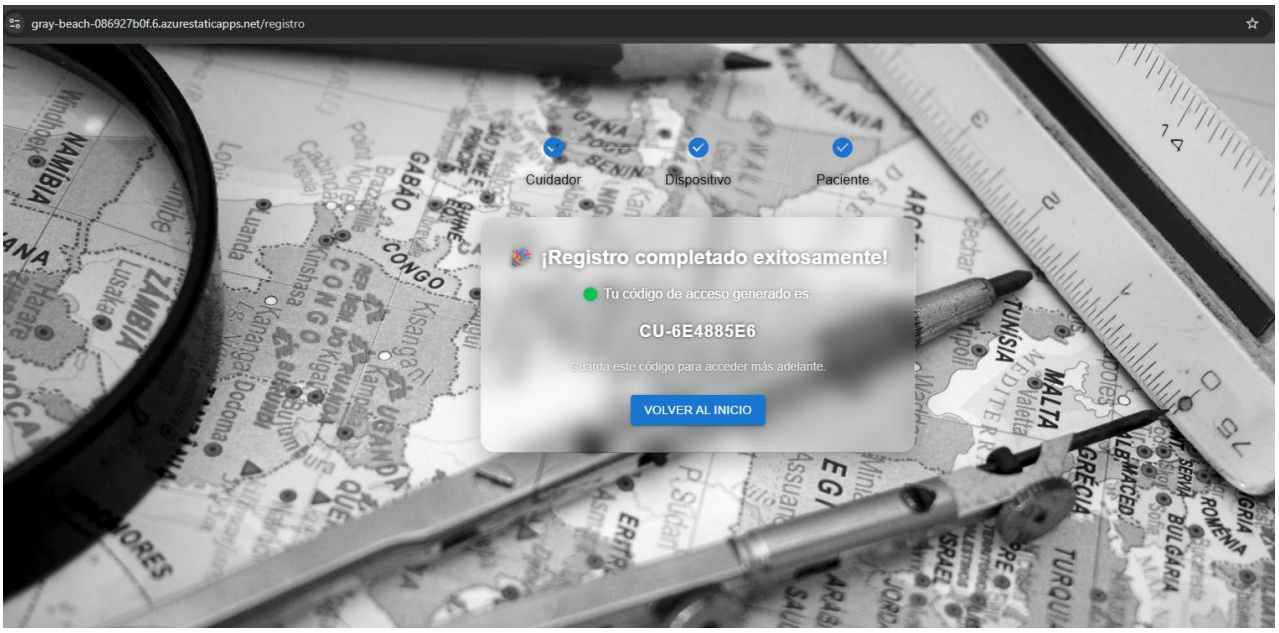


Figura 24. Código de acceso único para el ingreso al sistema. Fuente propia

A continuación, se presentan los resultados de dicha validación, estructurados con base en los siguientes aspectos clave:

7.3.1. Resultados-Jornada 1: Soacha

1. **Evaluación de resultados del proyecto.**

A partir de las pruebas realizadas se evidencia un desempeño del sistema de localización para personas de la tercera edad estable y funcional. El sistema logra capturar, transmitir, procesar y visualizar las coordenadas del dispositivo GPS, asegurando el cumplimento de los objetivos funcionales del prototipo.

Se utilizó la red Sigfox para la transmisión de datos, integrándose con Azure IoT Hub, Functions,Azure Functions y SQL Server, lo que permitió almacenar más de 30 registros consecutivos sin pérdidas, con procesamiento fluido para el día 1 en el municipio de Soacha-Comuna 3.

En la figura 20, se observa el área o la zona en donde realizaron las pruebas de campo para la jornada número 1.

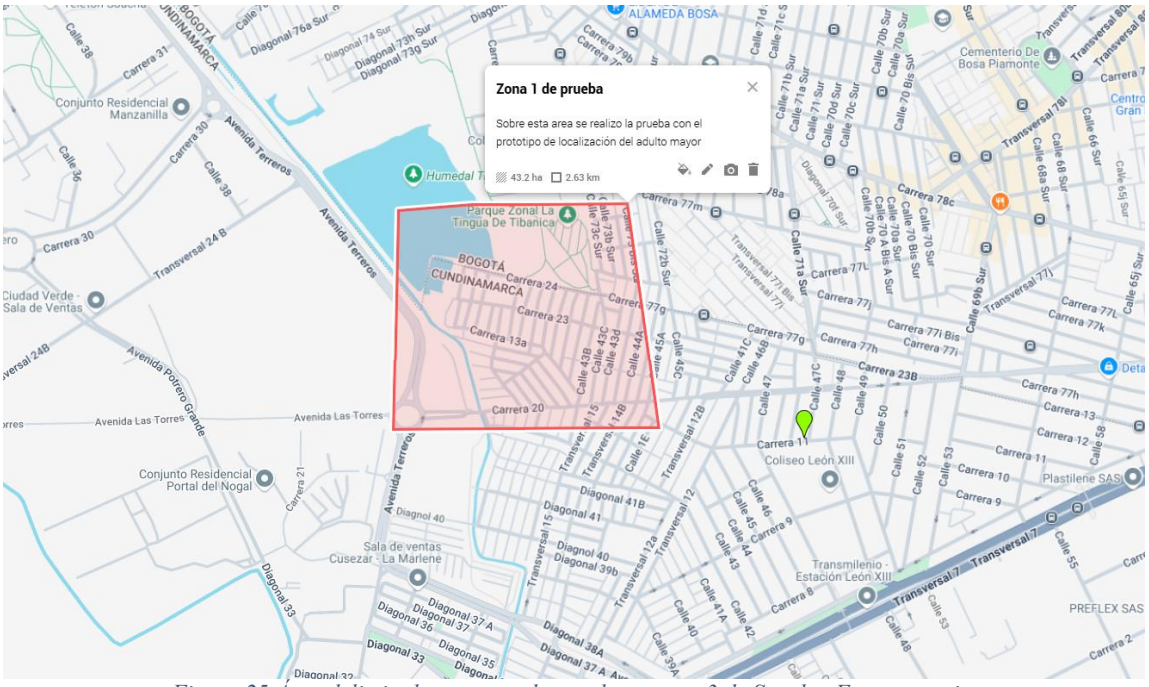
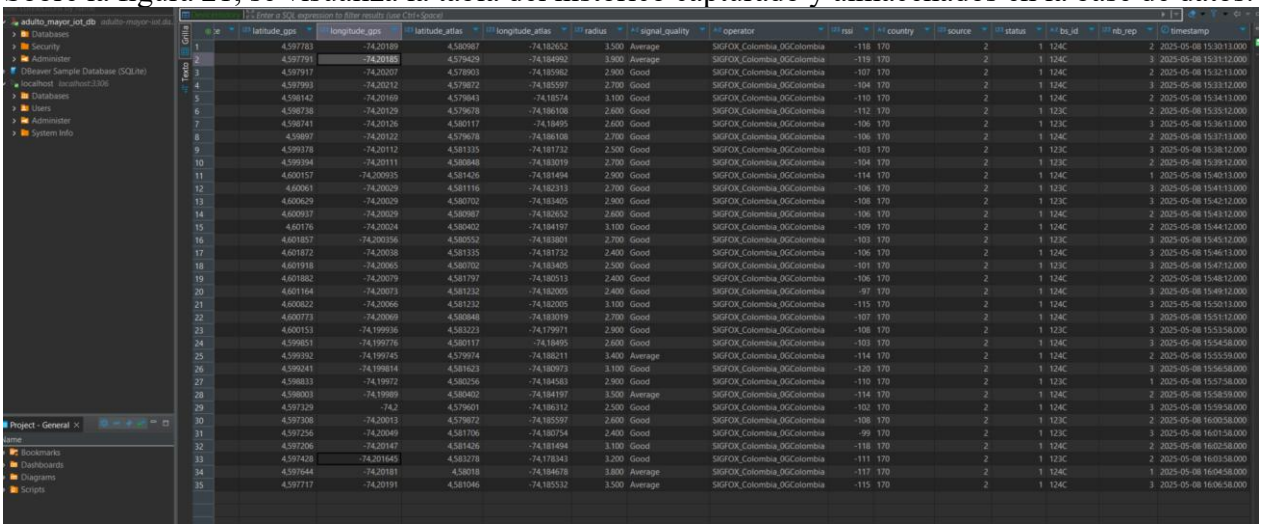


Figura 25.Área delimitada para pruebas en la comuna 3 de Soacha. Fuente propia.

2. Evaluación de aciertos y fallas del sistema

Se recibieron un total de 35 mensajes los cuales se almacenaron de manera satisfactoria en la base de datos. No se detectaron datos con errores en el formato de la trama como tampoco datos truncados ni duplicados. Adicional, no se presentaron perdidas de señal ni interrupciones, lo cual indica cero fallas de transmisión.

Sobre la figura 21, se visualiza la tabla del histórico capturado y almacenados en la base de datos.



id	latitude_gps	longitude_gps	latitude_atlas	longitude_atlas	radius	signal_quality	operator	rssi	country	source	status	bs_id	nb_rep	timestamp
1	4,597783	-74,20189	4,580987	-74,182652	3.500	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-118	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:30:13.000
2	4,597791	-74,20185	4,579429	-74,184992	3.900	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-119	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:31:12.000
3	4,597917	-74,20207	4,578903	-74,185982	2.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-107	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:32:13.000
4	4,597993	-74,20212	4,579872	-74,185597	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-104	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:33:12.000
5	4,598142	-74,20169	4,579843	-74,18574	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-110	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:34:13.000
6	4,598738	-74,20129	4,579678	-74,186108	2.600	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-112	170	2	1	123C	2	2025-05-08 15:35:12.000
7	4,598741	-74,20126	4,580117	-74,18495	2.600	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	123C	3	2025-05-08 15:36:13.000
8	4,59897	-74,20122	4,579678	-74,186108	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:37:13.000
9	4,599378	-74,20112	4,581335	-74,181732	2.500	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-103	170	2	1	123C	3	2025-05-08 15:38:12.000
10	4,599394	-74,20111	4,580848	-74,183019	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-104	170	2	1	123C	2	2025-05-08 15:39:12.000
11	4,600157	-74,200935	4,581426	-74,181494	2.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-114	170	2	1	124C	1	2025-05-08 15:40:13.000
12	4,60061	-74,20029	4,581116	-74,182313	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	123C	3	2025-05-08 15:41:13.000
13	4,600629	-74,20029	4,580702	-74,183405	2.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-108	170	2	1	123C	3	2025-05-08 15:42:12.000
14	4,600937	-74,20029	4,580987	-74,182652	2.600	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:43:12.000
15	4,60176	-74,20024	4,580402	-74,184197	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-109	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:44:12.000
16	4,601857	-74,200356	4,580552	-74,183801	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-103	170	2	1	123C	3	2025-05-08 15:45:12.000
17	4,601872	-74,20038	4,581335	-74,181732	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:46:13.000
18	4,601918	-74,20065	4,580702	-74,183405	2.500	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-101	170	2	1	123C	3	2025-05-08 15:47:12.000
19	4,601882	-74,20079	4,581797	-74,180513	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:48:12.000
20	4,601164	-74,20073	4,581232	-74,182005	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-97	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:49:12.000
21	4,600822	-74,20066	4,581232	-74,182005	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-115	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:50:13.000
22	4,600773	-74,20069	4,580848	-74,183019	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-107	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:51:12.000
23	4,600153	-74,199936	4,583223	-74,179971	2.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-108	170	2	1	123C	3	2025-05-08 15:53:58.000
24	4,599851	-74,199776	4,580117	-74,18495	2.600	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-103	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:54:58.000
25	4,599392	-74,199745	4,579974	-74,188211	3.400	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-114	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:55:59.000
26	4,599241	-74,199814	4,581623	-74,180973	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-120	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:56:58.000
27	4,598833	-74,19972	4,580256	-74,184583	2.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-110	170	2	1	123C	1	2025-05-08 15:57:58.000
28	4,598003	-74,19989	4,580402	-74,184197	3.500	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-114	170	2	1	124C	2	2025-05-08 15:58:59.000
29	4,597329	-74,2	4,579601	-74,186312	2.500	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-102	170	2	1	124C	3	2025-05-08 15:59:58.000
30	4,597308	-74,20013	4,579872	-74,185597	2.600	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-108	170	2	1	123C	2	2025-05-08 16:00:58.000
31	4,597256	-74,20049	4,581706	-74,180754	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-99	170	2	1	123C	3	2025-05-08 16:01:58.000
32	4,597206	-74,20147	4,581426	-74,181494	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-118	170	2	1	124C	2	2025-05-08 16:02:58.000
33	4,597428	-74,201645	4,583278	-74,178343	3.200	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-111	170	2	1	123C	2	2025-05-08 16:03:58.000
34	4,597644	-74,20181	4,58018	-74,184678	3.800	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-117	170	2	1	124C	1	2025-05-08 16:04:58.000
35	4,597717	-74,20191	4,581046	-74,185532	3.500	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-115	170	2	1	124C	3	2025-05-08 16:06:58.000

Figura 26. Datos recopilados en la base de datos de Azure SQL en línea. Fuente propia

3. Evaluación del nivel de precisión del sistema

Para las validaciones frente al nivel de precisión del sistema se compararon las coordenadas capturadas por el dispositivo GPS (latitude_gps/longitude_gps) con las suministradas por Atlas Native (latitude_atlas/longitude_atlas). En donde:

- El radio promedio reportado por Atlas Native fue de ≈ 2.9 km, con un máximo de 3.9 km y un mínimo de 2.4 km, representando una zona de incertidumbre amplia para el uso en localizaciones para personas de la tercera edad.
- A diferencia, con el uso del módulo GPS conectado al microcontrolador, este proporciono coordenadas con una precisión de pocos metros, suficientes para usarse en aplicaciones que necesite seguir a una persona de la tercera edad.

En la figura 22, se visualiza por medio de un diagrama de dispersión se compara las latitudes del módulo GPS y del servicio Atlas Native donde los círculos representan las coordenadas obtenidas por el módulo GPS y con Cruz se indica las coordenadas estimadas por el servicio Atlas Native de Sigfox. Este gráfico es útil para analizar la dispersión y diferencia espacial entre ambas tecnologías de geolocalización.

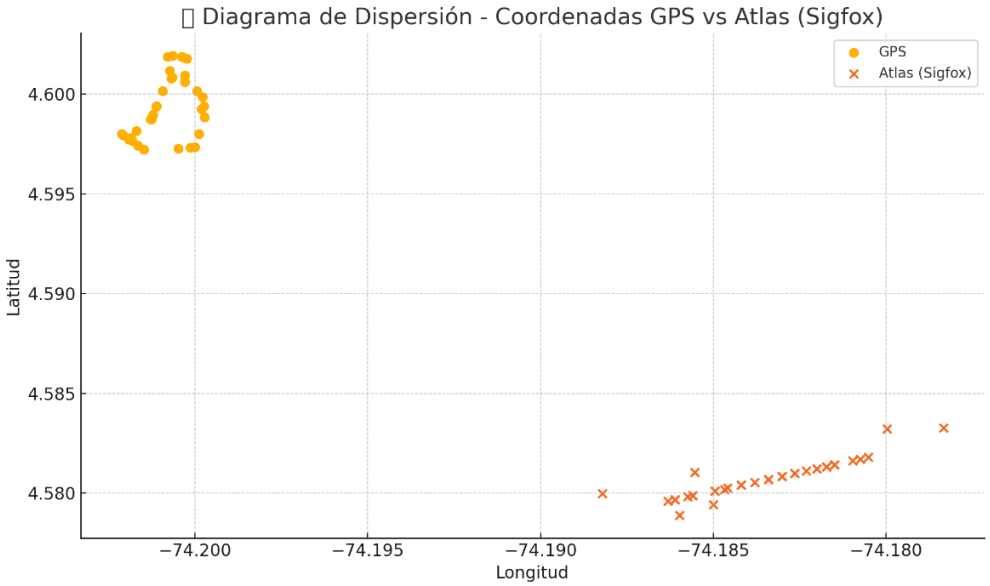


Figura 27. Diagrama de dispersión. Fuente propia.

Se evidencia claramente sobre la figura 22, que las posiciones GPS están agrupadas en una zona coherente y continua, reflejando el recorrido real del usuario con alta precisión y baja dispersión. Por el contrario, los puntos correspondientes a Atlas Native aparecen significativamente alejados del recorrido real, dispersos en una región completamente distinta, con una separación promedio de más de 1 km respecto a las coordenadas GPS.

Al analizar la Figura 23, se observa las posiciones registradas simultáneamente por el módulo GPS (azul) y por el servicio Atlas Native (naranja) durante una caminata controlada en la comuna 3 del municipio de Soacha. Mientras el GPS reflejó con precisión la trayectoria recorrida, Atlas Native

estimó coordenadas en una ubicación completamente diferente sobre otro sector totalmente alejado, aproximadamente 3.2 km de distancia.

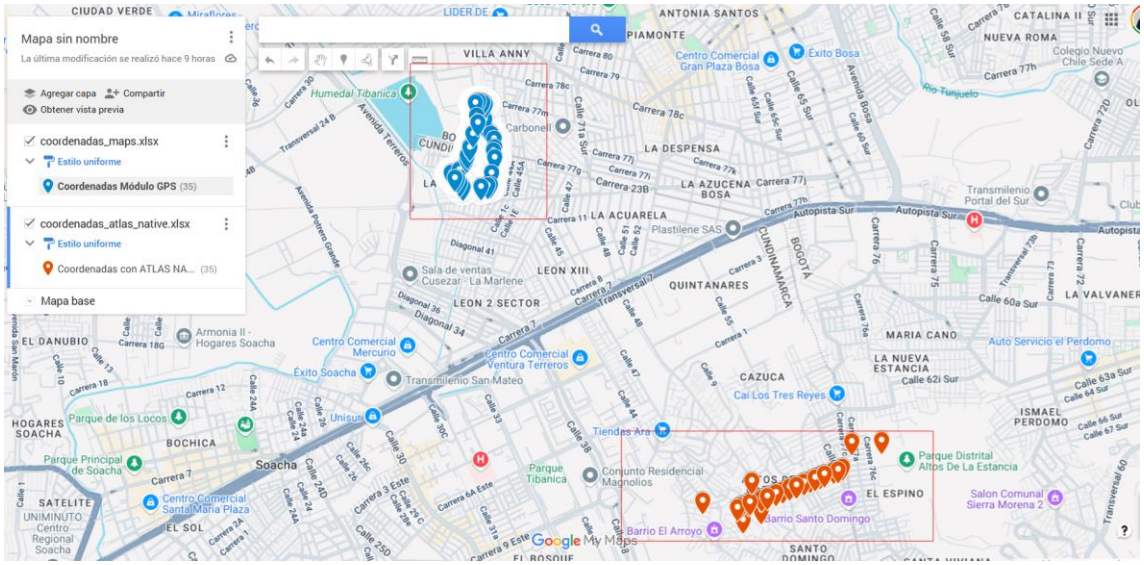


Figura 28.Visualización mapa de las coordenadas obtenidas por el módulo GPS y ATLAS NATIVE. Fuente propia.

Esta desviación confirma que la solución basada únicamente en Atlas Native no es viable para aplicaciones de localización personal, aunque sigue siendo útil en casos donde una precisión baja es tolerable, como el seguimiento de activos en tránsito.

4. Evaluación de criterios de medición de resultados

En la tabla 11, se visualiza las métricas que se identificaron en las pruebas de campo realizadas.

Métrica	Descripción	Valor destacado
Precisión de ubicación	Diferencia entre coordenadas GPS y Atlas Native	Error de hasta 3.9 km
RSSI promedio	Potencia de señal en dBm	Entre -970 y -1200 dBm
Repeticiones promedio	N° de veces que un mensaje es captado por estaciones	~2.3 veces
Demora promedio (Delay)	Tiempo en ms para recibir y procesar el mensaje	~1,100 ms
Integridad de datos	Porcentaje de tramas completas y correctas	100% en esta jornada

Tabla 11.Descripción de métricas obtenidas en las pruebas de campo. Fuente propia.

5. Evaluación del nivel de confiabilidad del sistema

Frente a la confiablidad técnica del sistema se considera que fue alta basado a:

- Calidad de señal: Indicada como "Good" en 30 de 35 registros.
- Repeticiones por mensaje: En promedio, cada mensaje fue captado por más de una estación base (ID 123C y 124C), mejorando la robustez.

- RSSI promedio: Entre -990 y -1200 dBm, dentro del rango esperable para Sigfox, confirmando recepción incluso en interiores. Esto demuestra una alta confiabilidad operativa, especialmente considerando que el municipio de Soacha tiene cobertura activa de Sigfox por medio de sus antenas bases instaladas en toda la zona.

6. Evaluación de las fallas identificadas en el sistema

Durante la ejecución de pruebas de campo sobre la jornada 1, las únicas limitaciones observadas fueron:

- **Imprecisión de Altas Native:** El cual es útil o ideal para seguimiento general como activos, no es la adecuada para el uso de localización de personas de la tercera edad. Dada esta situación, se optó por añadir un módulo GPS al sistema.
- **Cobertura dependiente:** Pese a que no se presentaron perdidas sobre el municipio de Soacha, se advierte que este dependerá de la zona en donde se encuentre el sistema, dado a la falta de coberturas sobre otras zonas del país. Por eso es importante validar inicialmente la cobertura de esta tecnología inalámbrica Sigfox.

7.3.2. Resultados-Jornada 2: Sur de Bogotá

1. Evaluación de resultados del proyecto.

Realizadas las pruebas para la jornada número 2, se evidencia un desempeño del sistema de localización para personas de la tercera edad estable y funcional muy similar a la jornada número 1. El sistema logra capturar, transmitir, procesar y visualizar las coordenadas del dispositivo GPS, asegurando el cumplimento de los objetivos funcionales del prototipo.

Las pruebas de campo para la jornada número 2, se realizaron en el sur de Bogotá sobre las localidades de Tunjuelito y Ciudad Bolívar, donde se almacenaron aproximadamente 50 registros consecutivos sin pérdidas, con procesamiento fluido

En la figura 24, se observa el área o la zona en donde realizaron las pruebas de campo para la jornada número 2.

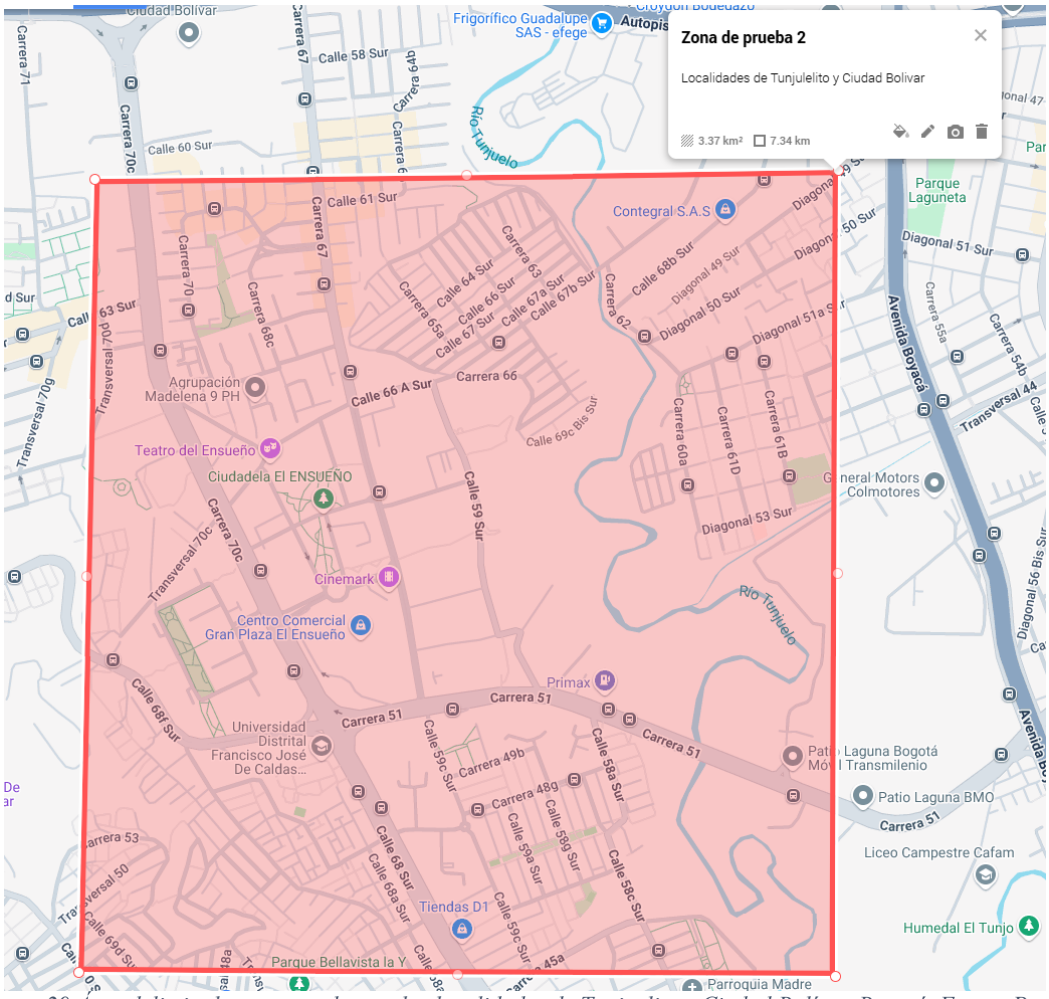
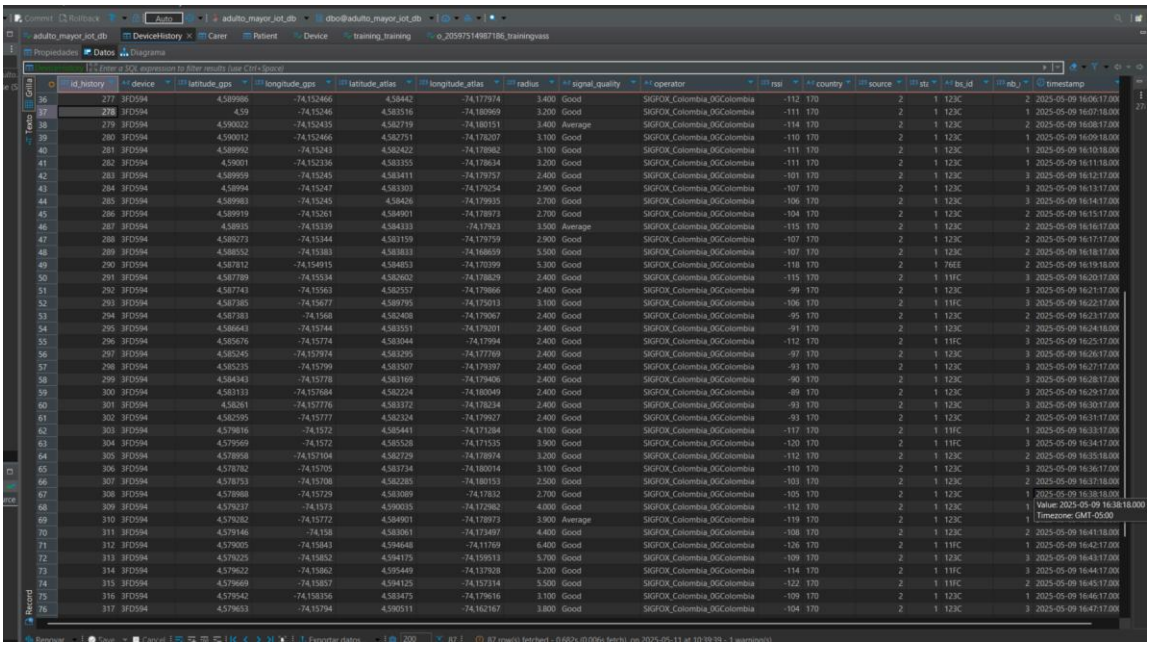


Figura 29.Área delimitada para pruebas en las localidades de Tunjuelito y Ciudad Bolívar-Bogotá. Fuente Propia

2. Evaluación de aciertos y fallas del sistema

Para la jornada número 2, se recibieron un total de 53 mensajes los cuales se almacenaron de manera satisfactoria en la base de datos. No se detectaron datos con errores en el formato de la trama como tampoco datos truncados ni duplicados. Adicional, no se presentaron perdidas de señal ni interrupciones, lo cual indica cero fallas de transmisión.

Sobre la figura 25, se visualiza la tabla del histórico capturado y almacenados en la base de datos.



id_history	device	latitude_gps	longitude_gps	latitude_atlas	longitude_atlas	radius	signal_quality	operator	rssi	country	source	str	bs_id	nb_i	timestamp
277	3FD594	4,589986	-74,152466	4,58442	-74,177974	3.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-112	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:06:17.00
278	3FD594	4,59	-74,15246	4,583516	-74,180969	3.200	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-111	170	2	1	123C	1	2025-05-09 16:07:18.00
279	3FD594	4,590022	-74,152435	4,582719	-74,180151	3.400	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-114	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:08:17.00
280	3FD594	4,590012	-74,152466	4,582751	-74,178207	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-110	170	2	1	123C	1	2025-05-09 16:09:18.00
281	3FD594	4,589992	-74,15243	4,582422	-74,178982	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-111	170	2	1	123C	1	2025-05-09 16:10:18.00
282	3FD594	4,59001	-74,152336	4,583355	-74,178634	3.200	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-111	170	2	1	123C	1	2025-05-09 16:11:18.00
283	3FD594	4,589959	-74,15245	4,583411	-74,179757	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-101	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:12:17.00
284	3FD594	4,58994	-74,15247	4,583303	-74,179254	2.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-107	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:13:17.00
285	3FD594	4,589983	-74,15245	4,58426	-74,179935	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:14:17.00
286	3FD594	4,589919	-74,15261	4,584901	-74,178973	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-104	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:15:17.00
287	3FD594	4,58935	-74,15339	4,584333	-74,17923	3.500	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-115	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:16:17.00
288	3FD594	4,589273	-74,15344	4,583159	-74,179759	2.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-107	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:17:17.00
289	3FD594	4,588552	-74,15383	4,583833	-74,168659	5.500	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-107	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:18:17.00
290	3FD594	4,587812	-74,154915	4,584853	-74,170399	5.300	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-118	170	2	1	76EE	2	2025-05-09 16:19:18.00
291	3FD594	4,587789	-74,15534	4,582602	-74,178829	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-115	170	2	1	11FC	3	2025-05-09 16:20:17.00
292	3FD594	4,587743	-74,15563	4,582557	-74,179866	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-99	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:21:17.00
293	3FD594	4,587385	-74,15677	4,589795	-74,175013	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-106	170	2	1	11FC	3	2025-05-09 16:22:17.00
294	3FD594	4,587383	-74,1568	4,582408	-74,179067	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-95	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:23:17.00
295	3FD594	4,586643	-74,15744	4,583551	-74,179201	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-91	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:24:18.00
296	3FD594	4,585676	-74,15774	4,583044	-74,17994	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-112	170	2	1	11FC	3	2025-05-09 16:25:17.00
297	3FD594	4,585245	-74,157974	4,581295	-74,177769	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-97	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:26:17.00
298	3FD594	4,585235	-74,15799	4,583507	-74,179397	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-93	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:27:17.00
299	3FD594	4,584343	-74,15778	4,583169	-74,179406	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-90	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:28:17.00
300	3FD594	4,583133	-74,157684	4,582224	-74,180049	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-89	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:29:17.00
301	3FD594	4,58261	-74,157776	4,583372	-74,178234	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-93	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:30:17.00
302	3FD594	4,582595	-74,15777	4,582324	-74,179927	2.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-93	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:31:17.00
303	3FD594	4,579816	-74,1572	4,585441	-74,171284	4.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-117	170	2	1	11FC	1	2025-05-09 16:33:17.00
304	3FD594	4,579569	-74,1572	4,585528	-74,171535	3.900	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-120	170	2	1	11FC	3	2025-05-09 16:34:17.00
305	3FD594	4,578958	-74,157104	4,582729	-74,178974	3.200	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-112	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:35:18.00
306	3FD594	4,578782	-74,15705	4,583734	-74,180014	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-110	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:36:17.00
307	3FD594	4,578753	-74,15706	4,582285	-74,180153	2.500	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-103	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:37:18.00
308	3FD594	4,578988	-74,15729	4,583089	-74,17832	2.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-105	170	2	1	123C	1	2025-05-09 16:38:18.00
309	3FD594	4,579237	-74,1573	4,590035	-74,172982	4.000	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-112	170	2	1	123C	1	Value: 2025-05-09 16:38:18.000
310	3FD594	4,579282	-74,15772	4,584901	-74,178973	3.900	Average	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-119	170	2	1	123C	1	Timezone: GMT-05:00
311	3FD594	4,579146	-74,158	4,583061	-74,173497	4.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-108	170	2	1	123C	2	2025-05-09 16:41:18.00
312	3FD594	4,579005	-74,15843	4,594648	-74,11769	6.400	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-126	170	2	1	11FC	1	2025-05-09 16:42:17.00
313	3FD594	4,579225	-74,15852	4,594175	-74,159513	5.700	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-109	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:43:17.00
314	3FD594	4,579622	-74,15862	4,595449	-74,137928	5.200	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-114	170	2	1	11FC	3	2025-05-09 16:44:17.00
315	3FD594	4,579669	-74,15857	4,594125	-74,157314	5.500	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-122	170	2	1	11FC	2	2025-05-09 16:45:17.00
316	3FD594	4,579542	-74,158356	4,583475	-74,179616	3.100	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-109	170	2	1	123C	1	2025-05-09 16:46:17.00
317	3FD594	4,579653	-74,15794	4,590511	-74,162167	3.800	Good	SIGFOX_Colombia_0GColombia	-104	170	2	1	123C	3	2025-05-09 16:47:17.00

Figura 30. Datos recopilados en la base de datos de Azure SQL en línea para la jornada 2. Fuente propia

3. Evaluación del nivel de precisión del sistema

Para esta nueva jornada se compararon nuevamente las coordenadas capturadas por el módulo GPS y las del servicio Atlas Native y se concluyó que:

- El radio promedio de incertidumbre para Atlas fue de aproximadamente 3.9 km, con valores máximos que alcanzaron hasta 6.4 km, evidenciando una alta dispersión espacial.
- El módulo GPS, por el contrario, ofreció precisión de pocos metros, con coordenadas agrupadas sobre la trayectoria real del recorrido.
- Se identificaron casos en los que Atlas Native posicionó al usuario a más de 4 km del lugar real.

En la figura 26, se visualiza por medio de un diagrama de dispersión se compara las latitudes del módulo GPS y del servicio Atlas Native para la jornada número 2 donde los círculos representan las coordenadas obtenidas por el módulo GPS y con una equis(X) se indica las coordenadas estimadas por el servicio Atlas Native de Sigfox. Este gráfico es útil para analizar la dispersión y diferencia espacial entre ambas tecnologías de geolocalización.

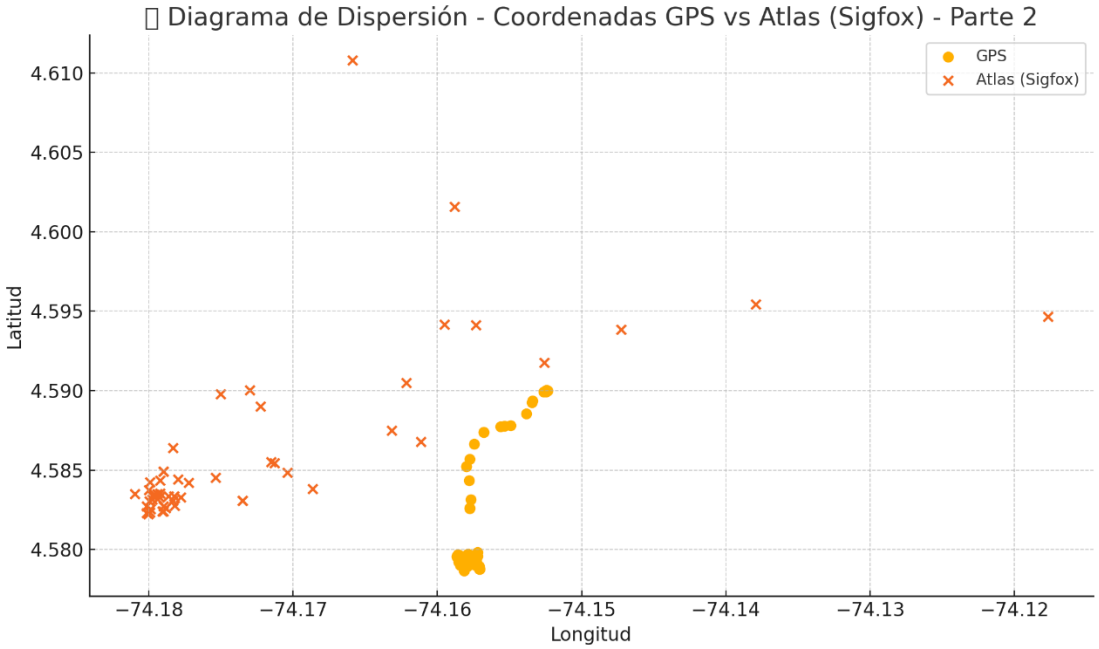


Figura 31. Diagrama de dispersión jornada número 2. Fuente propia.

Este nivel de imprecisión hace inviable el uso exclusivo de Atlas Native para localización de personas mayores, tal cual se evidencio en la jornada número 1.

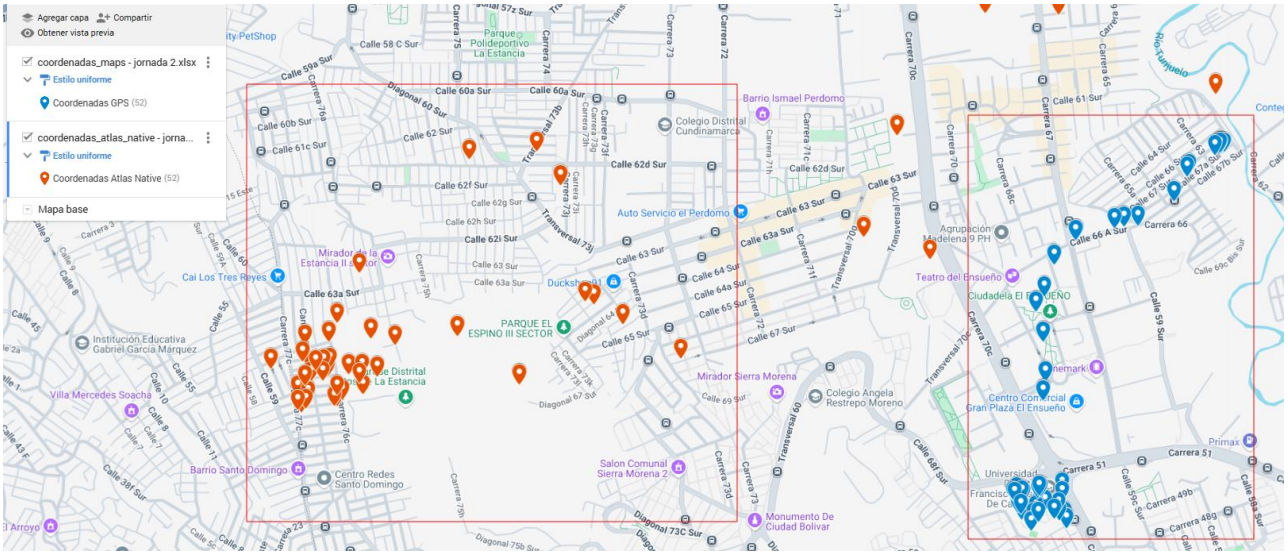


Figura 32.Visualización mapa de las coordenadas obtenidas por el módulo GPS y ATLAS NATIVE. Fuente propia.

4. Evaluación de criterios de medición de resultados

En la tabla 12, se visualiza las métricas que se identificaron en las pruebas de campo realizadas para la jornada número 2.

Métrica	Descripción	Valor destacado
Precisión de ubicación	Diferencia entre coordenadas GPS y Atlas Native	Error de hasta 6.4 km
RSSI promedio	Potencia de señal en dBm	Entre -980 y -1250 dBm
Repeticiones promedio	Mensaje captado por más de una estación base	~2.1 veces
Demora promedio	Tiempo de envío y procesamiento	~1.2 s
Integridad de datos	% de tramas recibidas completas	100% en esta jornada

Tabla 12. Descripción de métricas obtenidas en las pruebas de campo Jornada número 2. Fuente propia.

5. **Evaluación del nivel de confiabilidad del sistema**

Frente a la confiablidad técnica del sistema se considera que fue alta basado a:

- Calidad de señal: "Good" en el **85% de los registros**, aunque se observó una ligera disminución comparado con los datos del municipio de Soacha.
- RSSI promedio: Rango entre -980 y -1250 dBm, dentro de los valores aceptables para tecnología Sigfox.
- Repeticiones por mensaje: Promedio de 2.1, captados por múltiples estaciones base (123C, 11FC, 76EE).

6. **Evaluación de las fallas identificadas en el sistema**

Imprecisión de Atlas Native: A pesar de la buena cobertura en la zona, la localización estimada por Atlas Native se mostró inconsistente y errática en varios puntos. En un caso extremo, la desviación superó los 6 km respecto al punto GPS.

7.4. Evaluación del impacto de la solución

1. **Lugar de instalación del sensor**

El prototipo el cual contiene el microcontrolador, el módulo GPS y la batería se instalaría, dependiendo del caso de uso, en cinturones, bolsillos internos, bastones o mochilas del adulto mayor. Se prioriza la portabilidad y comodidad, por lo que el diseño debe ser compacto y liviano. En contextos hospitalarios o de cuidado institucional, podría integrarse a la ropa o dispositivos médicos existentes.

Para este proyecto se diseñó un brazalete el cual se instala sobre el brazo de la persona mayor. En la figura 24, se observa el brazalete instalado sobre en brazo de la persona mayor.

Figura 33.Prototipo del brazalete con el sistema localizador. Fuente propia

2. Modelo económico

Para comercializar este prototipo, inicialmente los costos pueden ser asumidos por el consumidor final, para este caso en específico los cuidadores o familiares, mediante alguna suscripción mensual como un modelo **SaaS (Software como Servicio).**

Dentro de la comercialización del prototipo podría aplicar para entidades gubernamentales o entidades promotoras de salud, en programas de monitoreo para la población de la tercera edad. Por otra parte, las ONGs o empresas que ofrezcan seguros podrían incluirlos en sus planes de servicios integrales del cuidado preventivo.

3. Impacto esperado

El desarrollo de este sistema permitiría aumentar la seguridad y autonomía de personas de la tercera edad, reduciendo los tiempos de respuesta en casos de extravío dentro del perímetro urbano. El bienestar también se ve reflejado a los familiares o cuidadores, brindando tranquilidad con el seguimiento continuo.

Por último, facilita la toma de decisiones mediante el historial de coordenadas. Más allá del impacto tecnológico que puede conllevar este sistema, incide directamente en la calidad de vida de la persona de la tercera edad, con un enfoque social importante para esta población que va en aumento.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

- El sistema de localización desarrollado, basado en Sigfox + módulo GPS, resultó técnicamente robusto y confiable en dos entornos urbanos distintos. Si bien Atlas Native puede servir como respaldo en zonas sin cobertura GNSS, su uso exclusivo no es viable para localización de personas, debido a su alta incertidumbre.

- El sistema completo (hardware, software, red LPWAN-Sigfox) cumple los objetivos del proyecto, ofreciendo una solución estable, con bajo consumo energético y adecuada para monitorear personas mayores en espacios urbanos.

- A lo largo del desarrollo de este proyecto, se logró implementar un sistema funcional para la localización de personas de la tercera edad, combinando tecnologías de bajo consumo como Sigfox con servicios en la nube de Azure. Este prototipo demostró ser eficaz al permitir el monitoreo remoto mediante una aplicación web diseñada para ser intuitiva y accesible desde un computador tradicional y un teléfono móvil al ser Responsive.

- Desde una perspectiva práctica, los resultados validan que la red Sigfox, en su configuración RC4 empleada en Colombia por 0G Colombia, ofrece una cobertura adecuada incluso en zonas urbanas densas como Ciudad Bolívar. Se comprobó que los mensajes fueron recibidos por múltiples estaciones base, lo que refuerza la confiabilidad del sistema gracias a su redundancia en la recepción de datos. Además, el uso de una arquitectura escalable en la nube permitió integrar de forma eficiente el backend, el almacenamiento y la visualización de los datos recolectados.

- Se identificaron algunas limitaciones. Aunque se evaluó el servicio Atlas Native para geolocalización, se optó por un módulo GPS físico debido a su mayor precisión, lo cual aumentó la complejidad del hardware. Adicionalmente, si bien la latencia promedio fue aceptable para un sistema de localización, esta podría representar un reto en escenarios donde se requiera una reacción inmediata.

8.2. Recomendaciones

- Para proyectos futuros debido a la alta dispersión observada con Atlas Native, se recomienda que en futuras versiones se priorice el uso del módulo GPS cuando se requiera alta precisión, como en el seguimiento de personas vulnerables. También se podría profundizar sobre el servicio de sigfox llamado Atlas Wifi.
- Se recomienda incluir una fase de estudio de cobertura previo a cada despliegue o idea nueva de proyecto las cuales se lleven en diferentes zonas del país o del mundo.
- Incluir retroalimentación directa de los usuarios (adultos mayores, cuidadores) para futuras mejoras del hardware y la interfaz de visualización, por medio de algún canal de retroalimentación.

9. Referencias

[1] L. N. Económica, «La Nota Económica,» La Nota Económica, 19 Septiembre 2024. [En línea]. Available: https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/en-colombia-cerca-de-260-000-personas-mayores-de-60-anos-padecen-de-alzheimer-una-enfermedad-devastadora-que-afecta-a-millones-de-personas-en-todo-el-mundo/. [Último acceso: 10 Abril 2025].

[2] C. Malaver, «El Tiempo,» El Tiempo, 20 Septiembre 2019. [En línea]. Available: https://www.eltiempo.com/bogota/alzheimer-y-abuelos-perdidos-en-bogota-414770. [Último acceso: 10 Abril 2025].

[3] Dane, «Dane,» Dane, 04 Junio 2021. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-habitantes-de-la-calle. [Último acceso: 01 Junio 2025].

[4] C. capital, «Canal capital,» Canal capital, 20 Junio 2023. [En línea]. Available: https://www.canalcapital.gov.co/ahora-vote/radiografia-las-personas-mayores-bogota. [Último acceso: 25 Mayo 2025].

[5] Sigfox, «Sigfox,» Sigfox, 15 Enero 2023. [En línea]. Available: https://alfaiot.com/iot/sigfox-la-red-de-iot-mas-grande-del-mundo/. [Último acceso: 22 Mayo 2025].

[6] dset, «dset energy,» dset energy, 10 Enero 2025. [En línea]. Available: https://productos-iot.com/sigfox-3/. [Último acceso: 18 Mayo 2025].

[7] V. P. Castellanos, «El Tiempo,» El Tiempo, 18 Diciembre 2024. [En línea]. Available: https://www.eltiempo.com/bogota/preocupacion-por-hilda-barreto-abuelita-que-desaparecio-en-bogota-y-sufre-alzheimer-no-ha-podido-regresar-3410234. [Último acceso: 01 Mayo 2025].

[8] E. d. Francia, «ambafrance,» ambafrance.org, 07 Diciembre 2016. [En línea]. Available: https://co.ambafrance.org/SIGFOX-exhibe-en-Bogota-su-tecnologia-del-internet-de-las-cosas. [Último acceso: 10 Marzo 2025].

[9] M. d. Salud, «ministerio de salud,» ministerio de salud, 02 Mayo 2022. [En línea]. Available: https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/promocion-social/Paginas/envejecimiento-vejez.aspx. [Último acceso: 13 Marzo 2025].

[10] R. Fernández-Garcia, «MDPI,» MDPI, 14 Marzo 2017. [En línea]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/592. [Último acceso: 13 Marzo 2025].

[11] Y. Neo, «Nanyang technological Singapore,» Nanyang technological Singapore, 10 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://dr.ntu.edu.sg/entities/publication/57115126-8a95-44d6-8347-e91d835eb09d. [Último acceso: 10 Mayo 2025].

[12] C. E. A. Eduardo Revelo Vizcaino, «redalyc,» redalyc, 10 Noviembre 2022. [En línea]. Available: https://www.redalyc.org/journal/5722/572273150003/. [Último acceso: 01 Mayo 2025].

[13] W. A. A. Trujillo, «ResearchGate,» ResearchGate, 12 Enero 2025. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/388336482. [Último acceso: 03 Junio 2025].

[14] V. M. N. Esteban, «Universidad Católica de Colombia,» Universidad Católica de Colombia, 02 Marzo 2022. [En línea]. Available: https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/24c12a49-491d-46ad-9dd5-b3392a2955dd. [Último acceso: 05 Marzo 2025].

[15] J. J. Ayala, «bibdigital epn,» bibdigital epn, 01 Febrero 2022. [En línea]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22127/1/CD%2011620.pdf. [Último acceso: 10 Febrero 2025].

[16] G. S. J. Stevens, «Universidad Católica de Colombia,» Universidad Católica de Colombia, 15 Enero 2022. [En línea]. Available: https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/996f857b-23c1-45dc-86e5-b85b32c1c9d2. [Último acceso: 28 Marzo 2025].

[17] Arduino, «Docs Arduino,» Docs Arduino, 26 Octubre 2020. [En línea]. Available: https://docs.arduino.cc/hardware/leonardo. [Último acceso: 01 Mayo 2025].

[18] TheSoulOfThings, «TheSoulOfThings SoulOne,» TheSoulOfThings SoulOne, Septiembre 2020. [En línea]. Available: https://github.com/TheSoulOfThings/SoulOne. [Último acceso: 20 Diciembre 2024].

[19] novaseguridad, «novaseguridad,» 2017. [En línea]. Available: https://www.novaseguridad.com.co/gps-usos-y-aplicaciones. [Último acceso: 30 Mayo 2025].

[20] Sigfox, «Sigfox,» Sigfox, 2020. [En línea]. Available: https://build.sigfox.com/sigfox-radio-configurations-rc. [Último acceso: 15 Mayo 2025].

[21] Sigfox Networking Guide, «Sigfox Networking Guide,» Qué es el Backend Sigfox, 2021. [En línea]. Available: https://development.libelium.com/sigfox_networking_guide/sigfox-back-end. [Último acceso: 30 Mayo 2025].

[22] sigfox, «sigfox,» Rest Api Sigfox, 2020. [En línea]. Available: https://build.sigfox.com/backend-callbacks-and-api#rest-api. [Último acceso: 30 Mayo 2025].

[23] support sigfox, «support sigfox,» Callbacks Sigfox, 2020. [En línea]. Available: https://support.sigfox.com/docs/callbacks-documentation. [Último acceso: 29 Mayo 2025].

[24] support sigfox, «support sigfox,» Sigfox Cloud, 2020. [En línea]. Available: https://support.sigfox.com/docs/callback-and-connectors. [Último acceso: 30 Mayo 2025].

[25] build sigfox, «build sigfox,» Atlas Native, 2018. [En línea]. Available: https://build.sigfox.com/geolocation-sigfox-atlas. [Último acceso: 03 Junio 2025].

[26] R. Carrasco, «data-alliance,» Tecnologías inalámbricas NB-IoT, LPWAN, LTE-M, Sigfox y Red Senet, 26 Junio 2024. [En línea]. Available: https://www.data-alliance.net/es/. [Último acceso: 15 Mayo 2025].

[27] Oracle, «Oracle,» ¿Qué es una base de datos?, 2021. [En línea]. Available: https://www.oracle.com/co/database/what-is-database. [Último acceso: 05 Junio 2025].

[28] java, «java,» Qué es Java, 2018. [En línea]. Available: https://www.java.com/es/download/help/whatis_java.html. [Último acceso: 10 Mayo 2025].

[29] mytaskpanel, «mytaskpanel,» Qué es Typescript, 2023. [En línea]. Available: https://www.mytaskpanel.com/lenguaje-de-programacion-typescript. [Último acceso: 06 Mayo 2025].

[30] universidadeuropea, «universidadeuropea,» Qué es y para qué sirve ?, 24 Fberero 2025. [En línea]. Available: [https://universidadeuropea.com/blog/lenguaje-programacion-sql. [Último acceso: 04 Junio 2025].

[31] Escuela de Ingenierías Industriales, «eii.uva,» Lenguaje C++, 2024. [En línea]. Available: https://www2.eii.uva.es/fund_inf/cpp/temas/1_introduccion/introduccion.html. [Último acceso: 10 Mayo 2025].

[32] Conzultek, «blog.conzultek,» Qué es Azure, 2022. [En línea]. Available: https://blog.conzultek.com/microsoft-azure-que-es-como-funciona-como-ayuda-a-las-empresas#que-es-microsoft-azure-para-que-sirve. [Último acceso: 30 Mayo 2025].

[33] learn microsoft, «learn.microsoft,» ¿Qué es Azure IoT Hub?, 27 Febrero 2025. [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/es-es/azure/iot-hub/iot-concepts-and-iot-hub. [Último acceso: 10 Mayo 2025].

[34] learn microsoft, «learn.microsoft,» Introducción Azure Functions, 03 Marzo 2025. [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/azure-functions/functions-get-started?pivots=programming-language-csharp. [Último acceso: 10 Mayo 2025].

[35] learn microsoft, «learn.microsoft,» ¿Qué es Azure SQL Database?, 04 Abril 2025. [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/es-es/azure/azure-sql/database/sql-database-paas-overview?view=azuresql. [Último acceso: 29 Abril 2025].

[36] learn microsoft, «learn.microsoft,» ¿Qué es Azure Static Web Apps?, 25 Junio 2024. [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/es-es/azure/static-web-apps/overview. [Último acceso: 01 Junio 2025].

[37] gartner, «gartner,» Alternativas para Microsoft, 2024. [En línea]. Available: https://www.gartner.com/reviews/market/strategic-cloud-platform-services/vendor/microsoft/product/azure/alternatives. [Último acceso: 28 Mayo 2025].

[38] «Leaflet,» Introducción Leaflet, 18 Mayo 2025. [En línea]. Available: https://leafletjs.com/. [Último acceso: 03 Junio 2025].

[39] maldeadora, «platzi,» Qué es Frontend y Backend: características, diferencias y ejemplos, 03 Junio 2025. [En línea]. Available: https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/. [Último acceso: 04 Junio 2025].

[40] learn microsoft, «learn.microsoft,» ¿Qué es Git?, 04 Octubre 2023. [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/es-es/devops/develop/git/what-is-git. [Último acceso: 03 Junio 2025].

[41] docs github, «docs.github,» Acerca de GitHub, 2023. [En línea]. Available: https://docs.github.com/es/get-started/start-your-journey/about-github-and-git. [Último acceso: 03 Junio 2025].

[42] docs.github, «docs.github,» Entender las GitHub Actions, 2023. [En línea]. Available: https://docs.github.com/es/actions/about-github-actions/understanding-github-actions. [Último acceso: 03 Junio 2025].

[43] ane, «ane,» Resolución 105 de 2020, 2020. [En línea]. Available: https://www.ane.gov.co/SitePages/inicio.aspx. [Último acceso: 01 Mayo 2025].

[44] sic, «sic,» Protección datos personales, 2021. [En línea]. Available: https://www.sic.gov.co/sites/default/normatividad/Ley_1581_2012.pdf. [Último acceso: 01 Mayo 2025].

[45] «minitic,» Ley 1341 de 2009, 2021. [En línea]. Available: https://www.mintic.gov.co/portal/inicio. [Último acceso: 10 Mayo 2025].

[46] funcionpublica, «funcionpublica,» Gestor Normativo-EVA, 2021. [En línea]. Available: https://www1.funcionpublica.gov.co/web/eva/gestor-normativo. [Último acceso: 05 Mayo 2025].

[47] icontec, «icontec,» Normativas y certificaciones de calidad con Icontec, 2020. [En línea]. Available: https://www.icontec.org/. [Último acceso: 03 Junio 2025].

[48] funcionpublica, «funcionpublica,» Ley 1273 de 2009 - Gestor Normativo, 2020. [En línea]. Available: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34492. [Último acceso: 05 Mayo 2025].

[49] eur-lex.europa.eu, «eur-lex.europa.eu,» Reglamento - 2016/679 - EN - GDPR - EUR-Lex, 2021. [En línea]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679. [Último acceso: 05 Mayo 2025].

[50] oas, «oas,» CONVENCIÓN INTERAMERICANA SOBRE LA PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS, 2021. [En línea]. Available: https://www.oas.org/es/sla/ddi/docs/tratados_multilaterales_interamericanos_a-70_derechos_humanos_personas_mayores.pdf. [Último acceso: 02 Mayo 2025].

[51] C. F. C. y. P. B. Lucio, Metodología de la Investigación, Bogotá: Mc Gram Hil, 2018.

[52] azurespeed, «azurespeed,» Medidor de la Latencia, [En línea]. Available: https://www.azurespeed.com/Azure/Latency. [Último acceso: 21 Febrero 2025].

[53] awsspeedtest, «awsspeedtest,» Medidor de Latencia AWS, [En línea]. Available: https://awsspeedtest.com/latency. [Último acceso: 05 Mayo 2025].

[54] R. S. Pressman, Ingeniería del Software, Bogotá: Mc Graw Hill, 2021.

[55] platzi, «platzi,» Leaflet una excelente alternativa para Google Maps en tus proyectos de React Js, 2019. [En línea]. Available: https://platzi.com/tutoriales/1548-react-2019/5682-leaflet-una-excelente-alternativa-para-google-maps-en-tus-proyectos-de-react-js/]. [Último acceso: 29 Mayo 2025].

[56] bravent, «bravent,» Azure Function: cómo crearlo, sus características y ventajas, 07 Noviembre 2018. [En línea]. Available: https://www.bravent.net/noticias/azure-function-caracteristicas-ventajas. [Último acceso: 28 Mayo 2025].

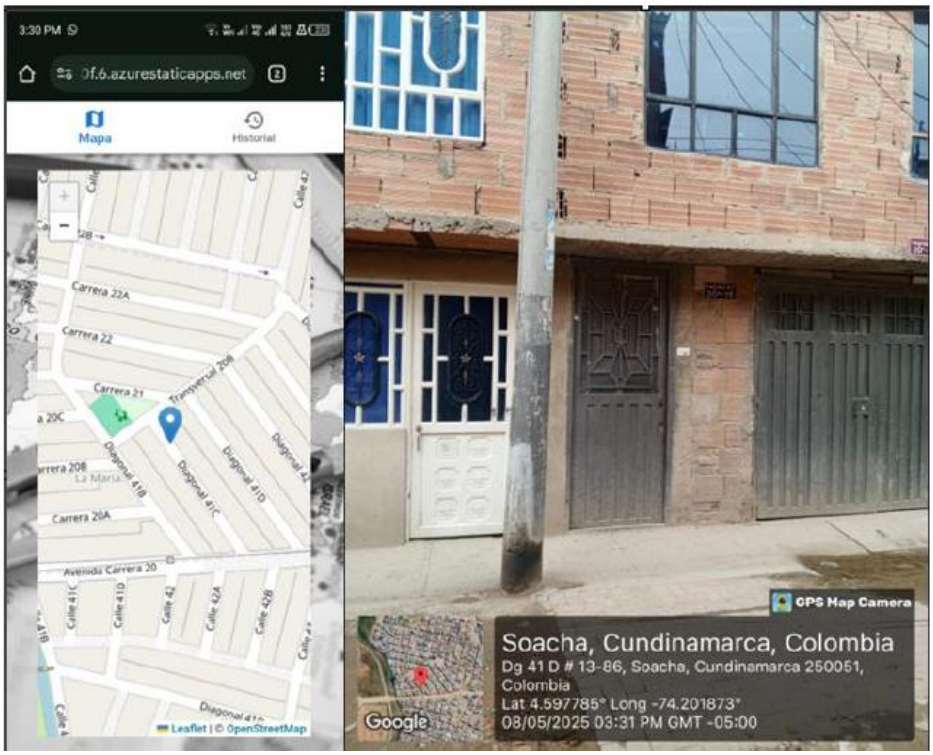
[57] bureauveritas, «bureauveritas,» ISO/IEC 12207. Ciclo de vida del software, 2022. [En línea]. Available: https://www.bureauveritas.es/certificacion/certificacion-de-equipos-e-instalaciones/isoiec-12207-ciclo-de-vida-del-software. [Último acceso: 02 Mayo 2025].

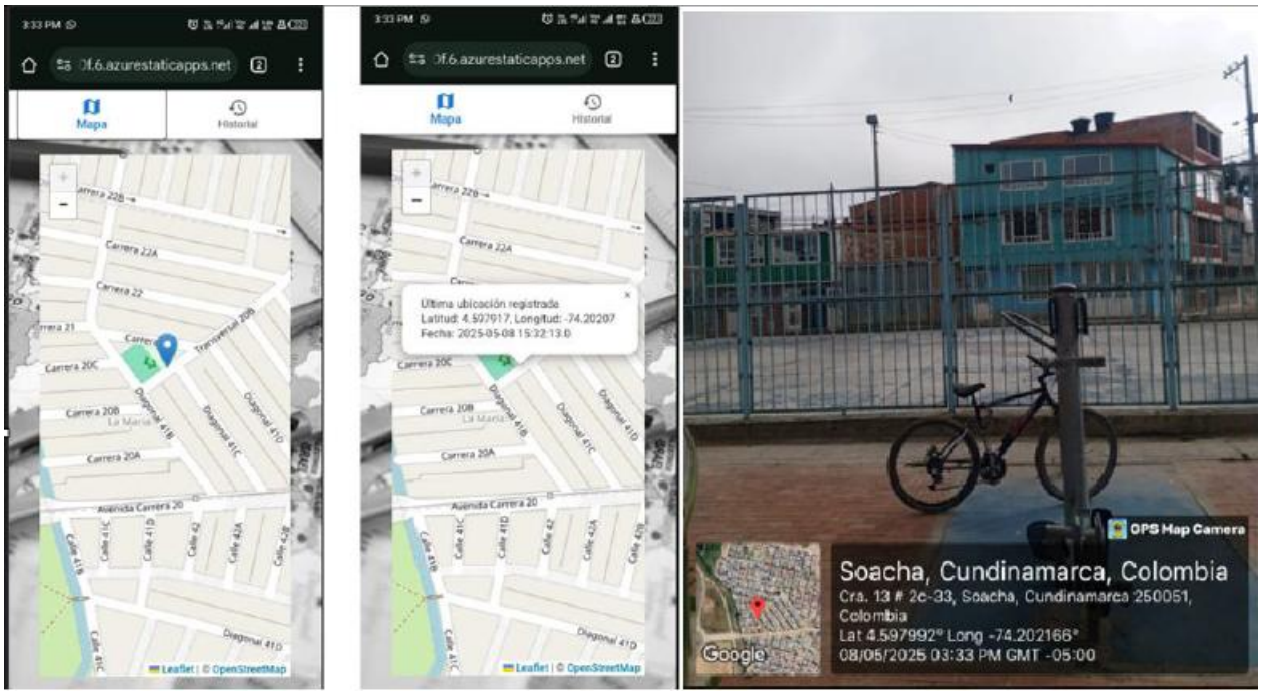
[58] sigfox, «sigfox,» Cobertura Sigfox, 2024. [En línea]. Available: https://sigfox.com/coverage. [Último acceso: 25 Mayo 2025].

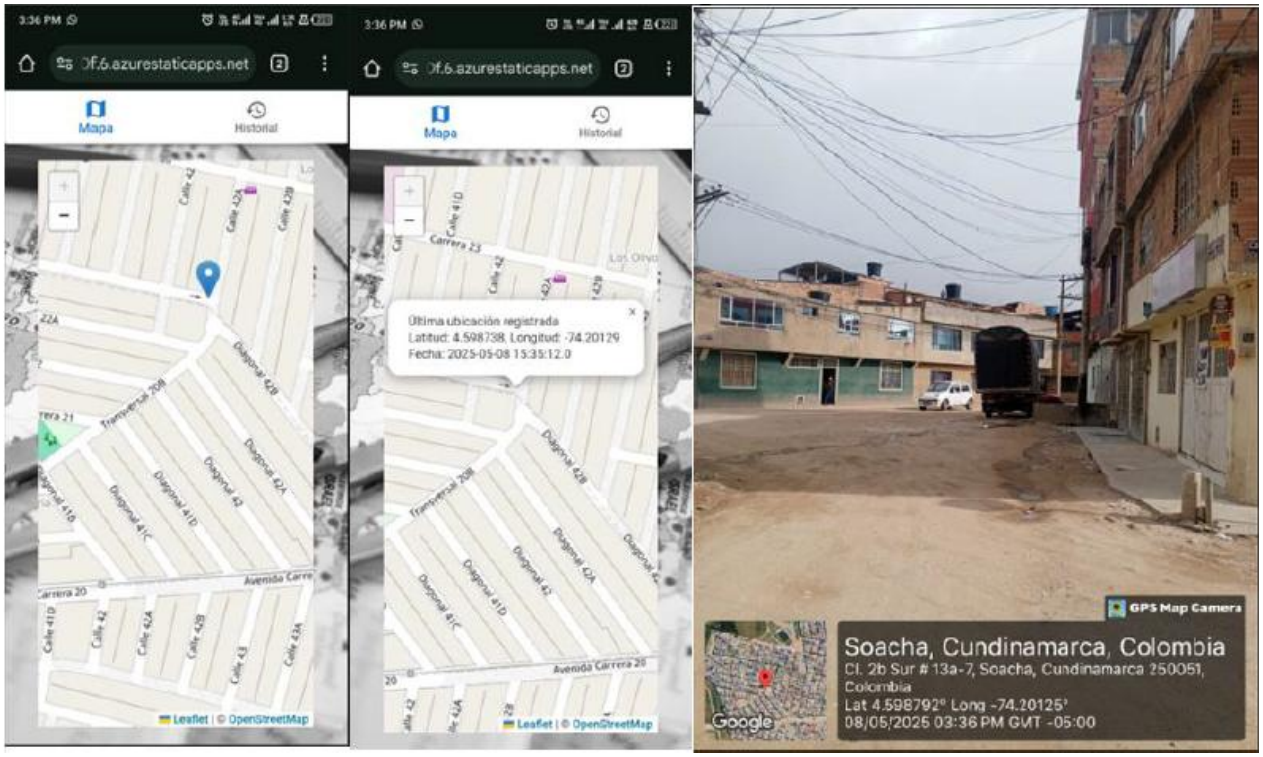
10.Anexos

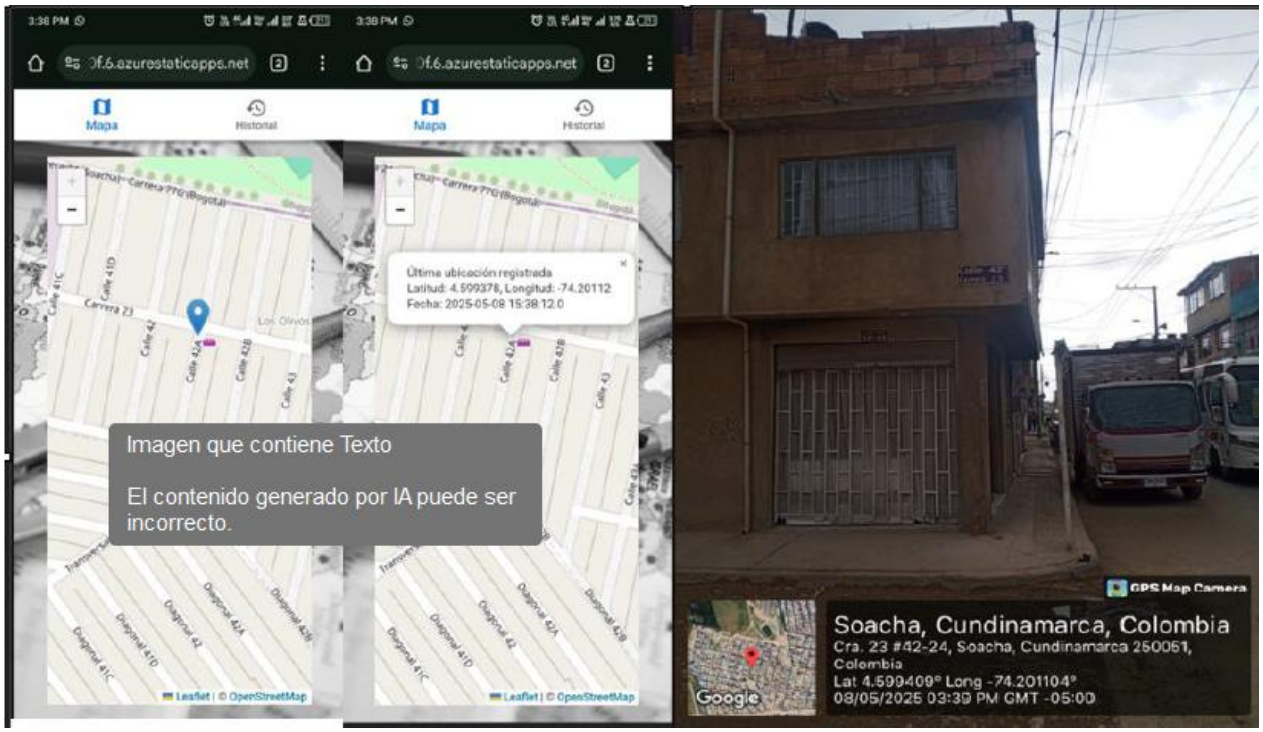
Anexo A. Registro fotográfico Jornada 1: Socha

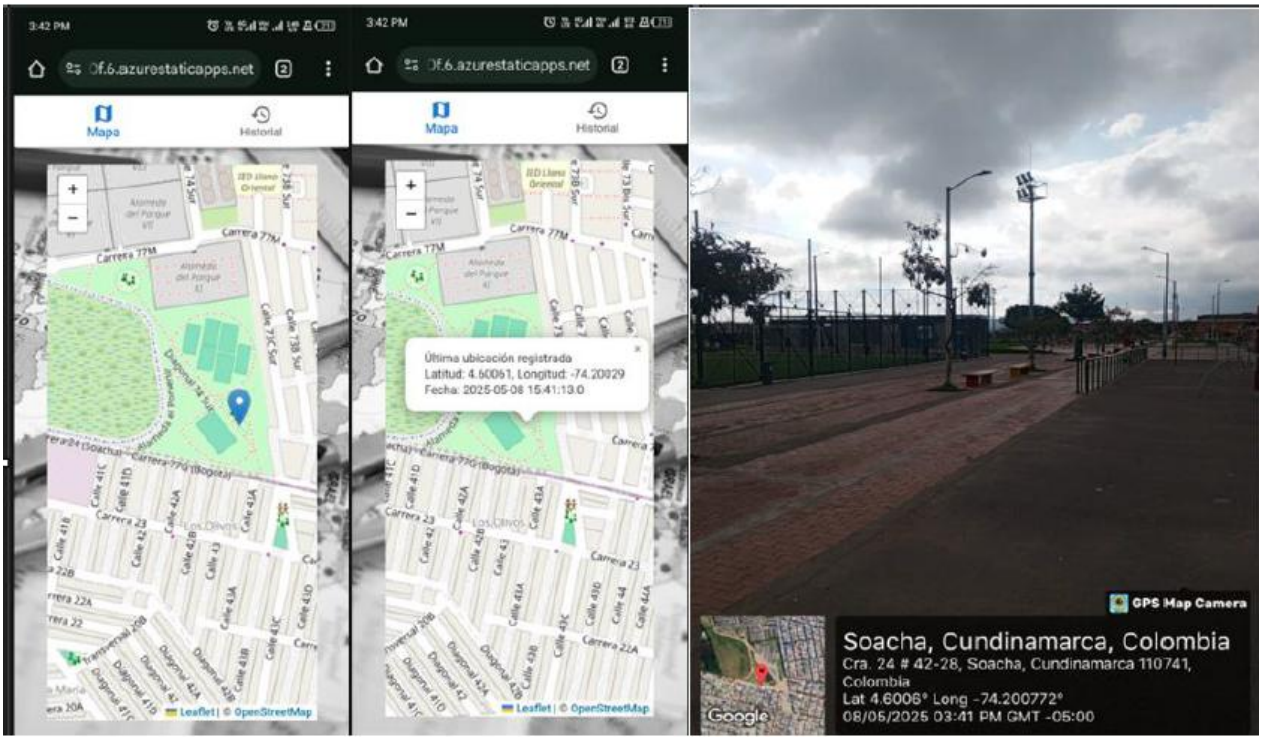
A continuación, se anexan los registros fotográficos con una orden secuencial basada a la caminata que se realizó para dicho día.

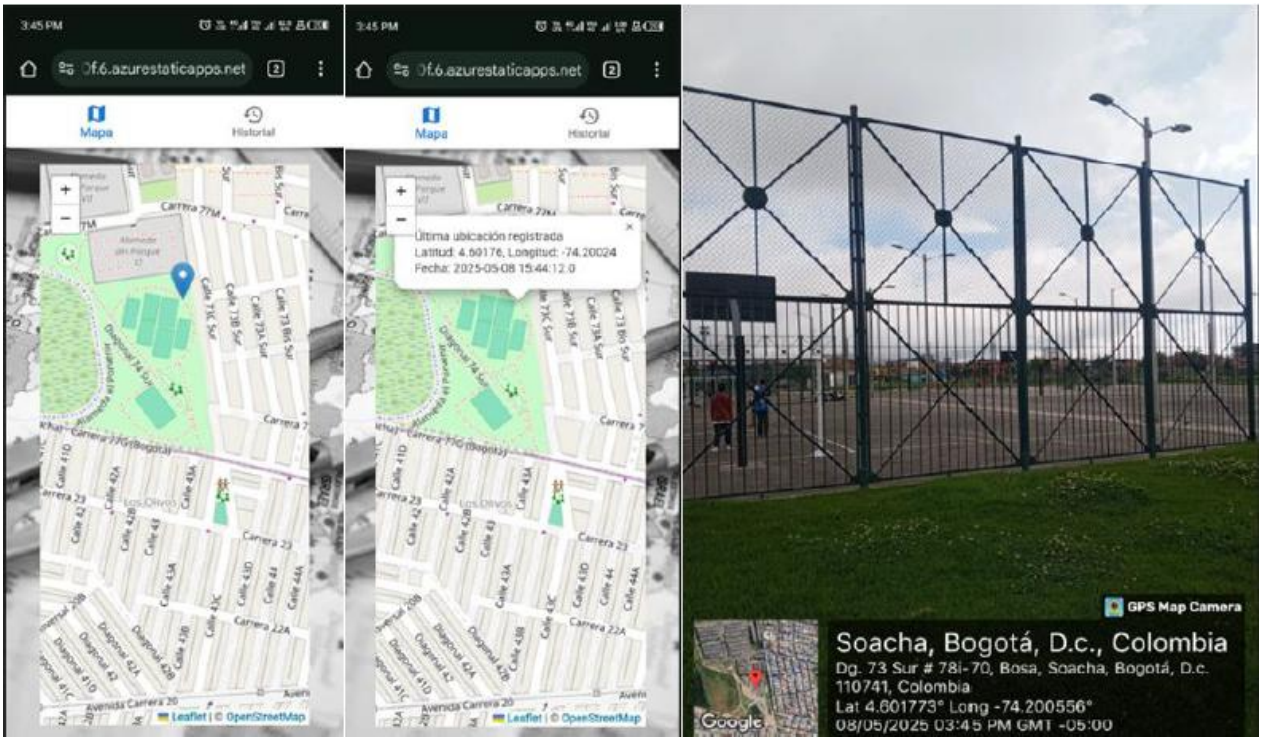


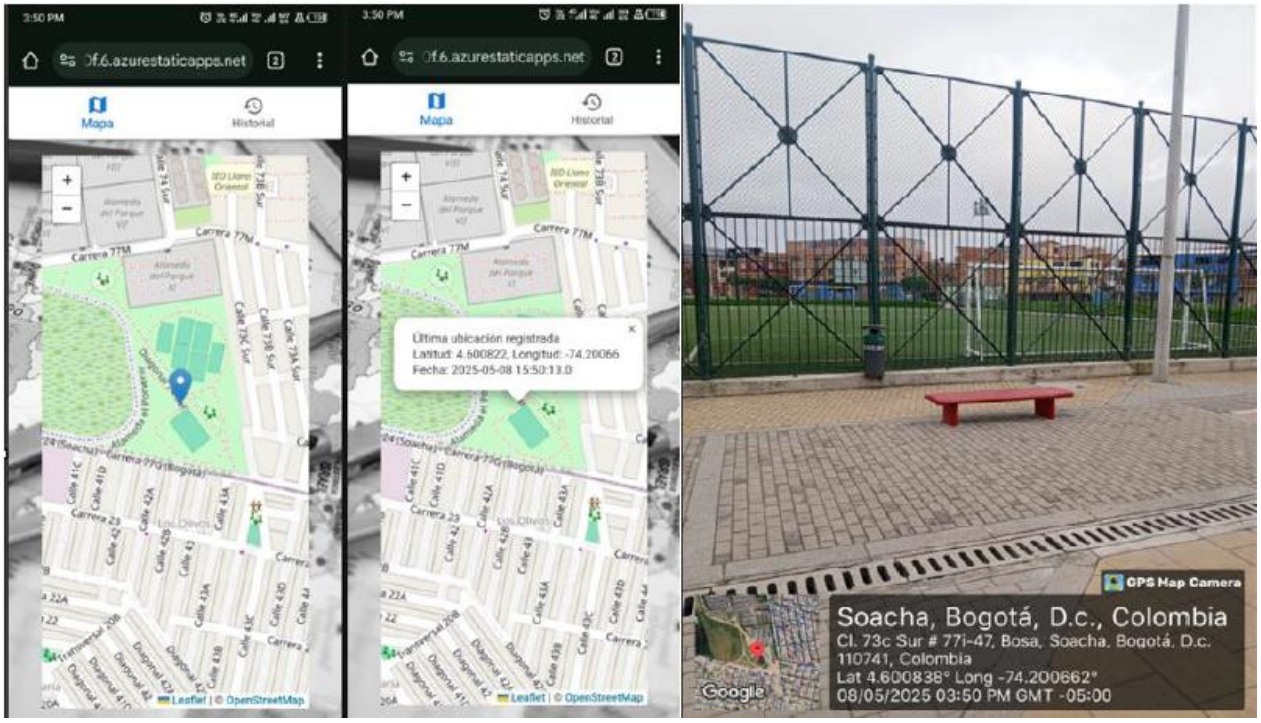

3:33 PM
f.6.azurestaticapps.net
Mapa
Historial
Carrera 22A
Carrera 22
Carrera 20C
Carrera 20B
Carrera 20A
Avenida Carrera 20
Diagonal 41B
Diagonal 41C
Diagonal 41D
Leaflet | © OpenStreetMap
Última ubicación registrada
Latitud: 4.597917, Longitud: -74.20207
Fecha: 2025-05-08 15:32:13.0
GPS Map Camera
Soacha, Cundinamarca, Colombia
Cra. 13 # 2c-33, Soacha, Cundinamarca 250051, Colombia
Lat 4.597992° Long -74.202166°
08/05/2025 03:33 PM GMT -05:00
Google

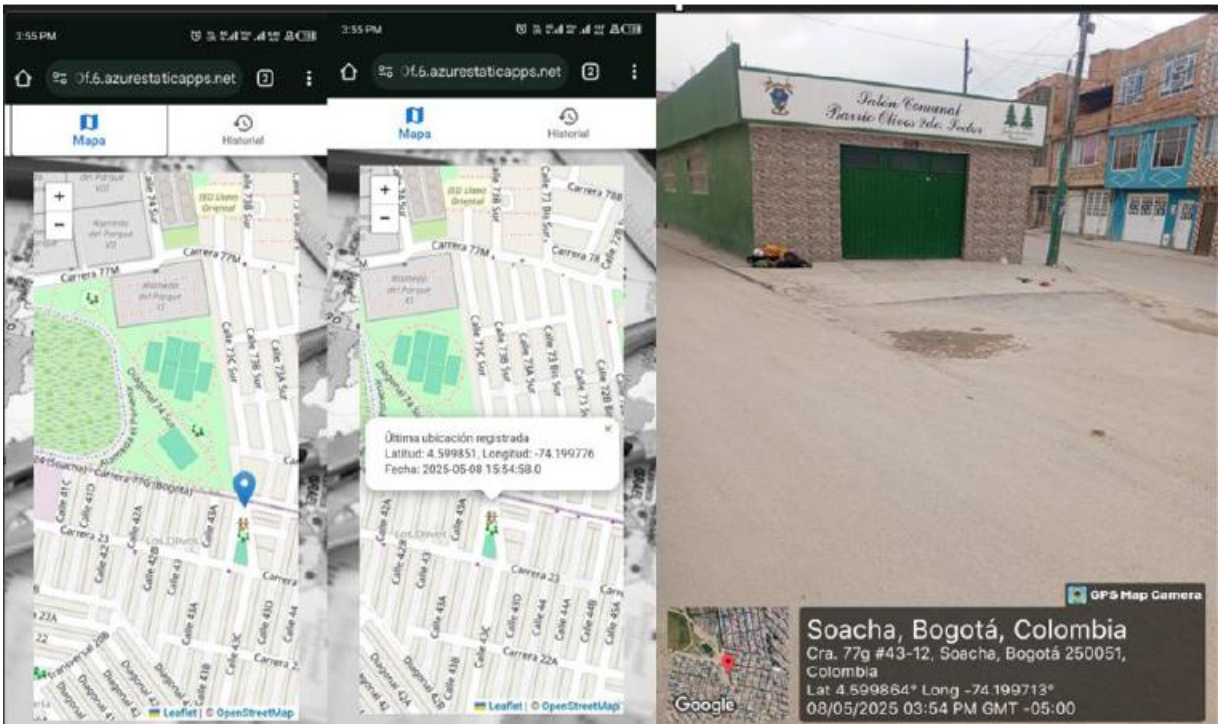

3:36 PM
f.6.azurestaticapps.net
Mapa
Historial
Carrera 20
Avenida Carrera 20
Leaflet | © OpenStreetMap
Última ubicación registrada
Latitud: 4.598738, Longitud: -74.20129
Fecha: 2025-05-08 15:35:12.0
GPS Map Camera
Soacha, Cundinamarca, Colombia
Cl. 2b Sur # 13a-7, Soacha, Cundinamarca 250051, Colombia
Lat 4.598792° Long -74.20125°
08/05/2025 03:36 PM GMT -05:00
Google


3:38 PM
f.6.azurestaticapps.net
Mapa
Historial
Última ubicación registrada
Latitud: 4.599378, Longitud: -74.20112
Fecha: 2025-05-08 15:38:12.0
Imagen que contiene Texto
El contenido generado por IA puede ser incorrecto.
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Soacha, Cundinamarca, Colombia
Cra. 23 #42-24, Soacha, Cundinamarca 250061, Colombia
Lat 4.599409° Long -74.201104°
08/05/2025 03:39 PM GMT -05:00
Google


3:42 PM
f.6.azurestaticapps.net
Mapa
Historial
Última ubicación registrada
Latitud: 4.60061, Longitud: -74.20029
Fecha: 2025-05-08 15:41:13.0
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Soacha, Cundinamarca, Colombia
Cra. 24 # 42-28, Soacha, Cundinamarca 110741, Colombia
Lat 4.6006° Long -74.200772°
08/05/2025 03:41 PM GMT -05:00
Google

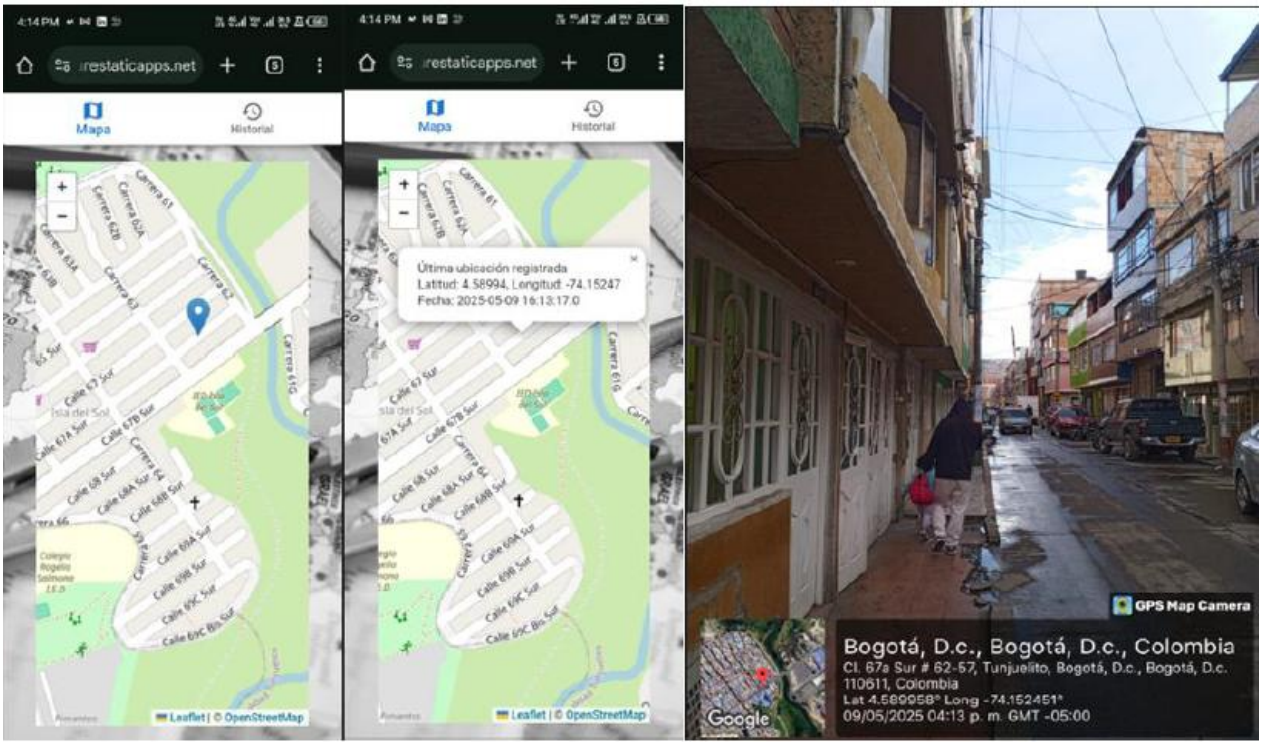

3:45 PM
0f.6.azurestaticapps.net
Mapa
Historial
Último ubicación registrada
Latitud: 4.60176, Longitud: -74.20024
Fecha: 2025-05-08 15:44:12.0
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Soacha, Bogotá, D.c., Colombia
Dg. 73 Sur # 78i-70, Bosa, Soacha, Bogotá, D.c.
110741, Colombia
Lat 4.601773° Long -74.200556°
08/05/2025 03:45 PM GMT -05:00
Google

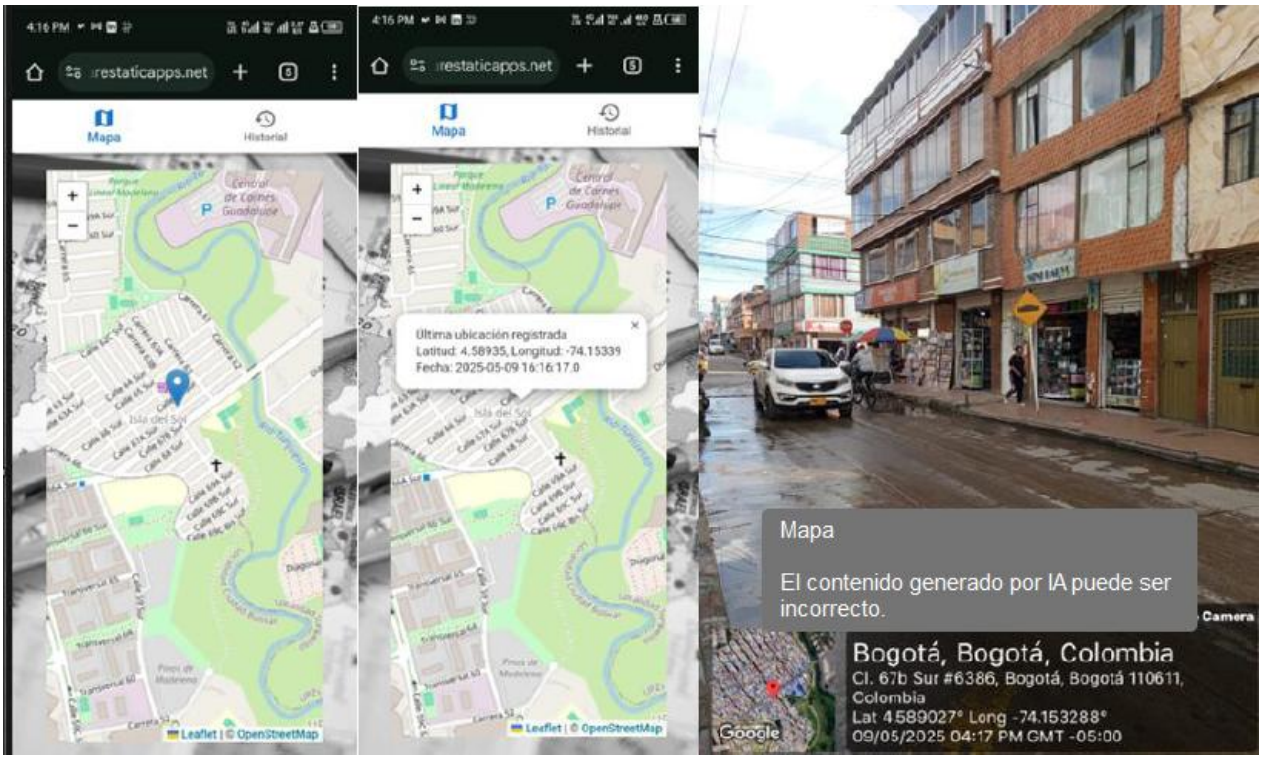

3:50 PM
0f.6.azurestaticapps.net
Mapa
Historial
Último ubicación registrada
Latitud: 4.600822, Longitud: -74.20066
Fecha: 2025-05-08 15:50:13.0
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Soacha, Bogotá, D.c., Colombia
Cl. 73c Sur # 77i-47, Bosa, Soacha, Bogotá, D.c.
110741, Colombia
Lat 4.600838° Long -74.200662°
08/05/2025 03:50 PM GMT -05:00
Google

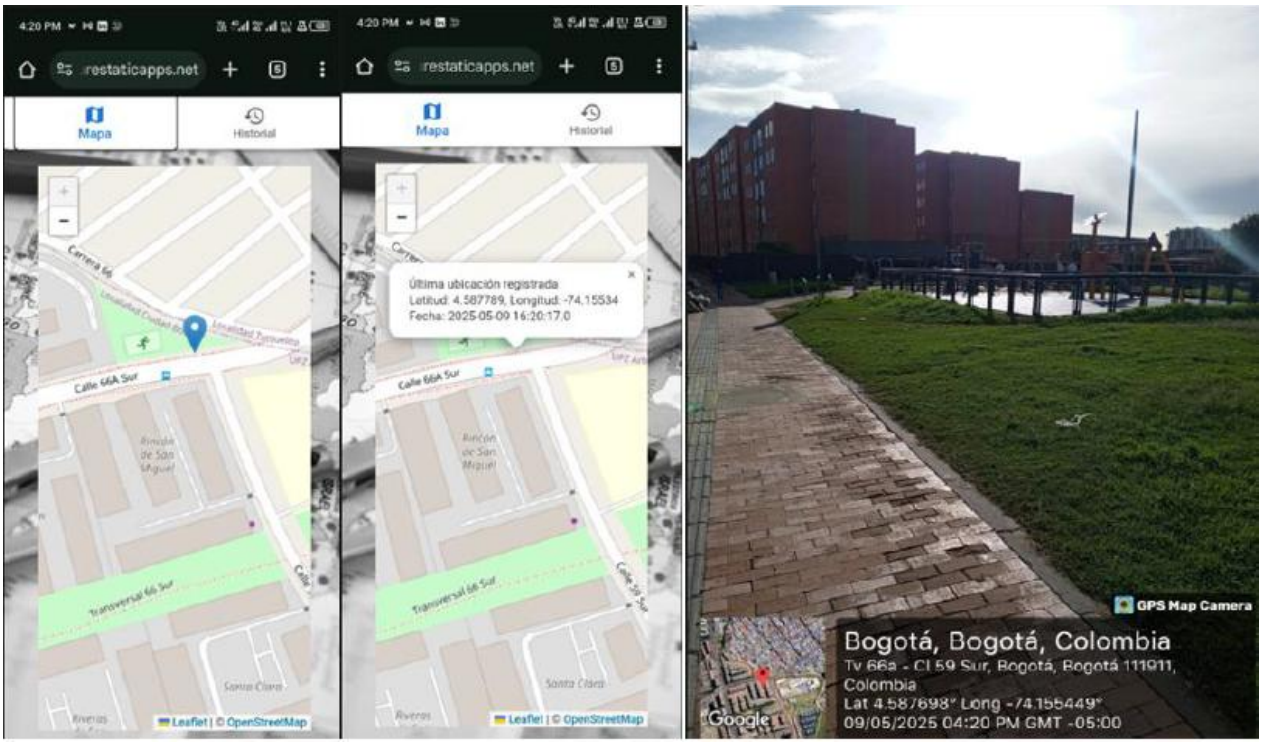

3:55 PM
0f.6.azurestaticapps.net
Mapa
Historial
Carrera 77M
Carrera 77N (Bogotá)
Carrera 23
Carrera 22A
Leaflet | © OpenStreetMap
Última ubicación registrada
Latitud: 4.599851, Longitud: -74.199776
Fecha: 2025-05-08 15:54:58.0
Salón Comunal
Barrio Olivos 3da. Sector
GPS Map Camera
Soacha, Bogotá, Colombia
Cra. 77g #43-12, Soacha, Bogotá 250051, Colombia
Lat 4.599864° Long -74.199713°
08/05/2025 03:54 PM GMT -05:00
Google

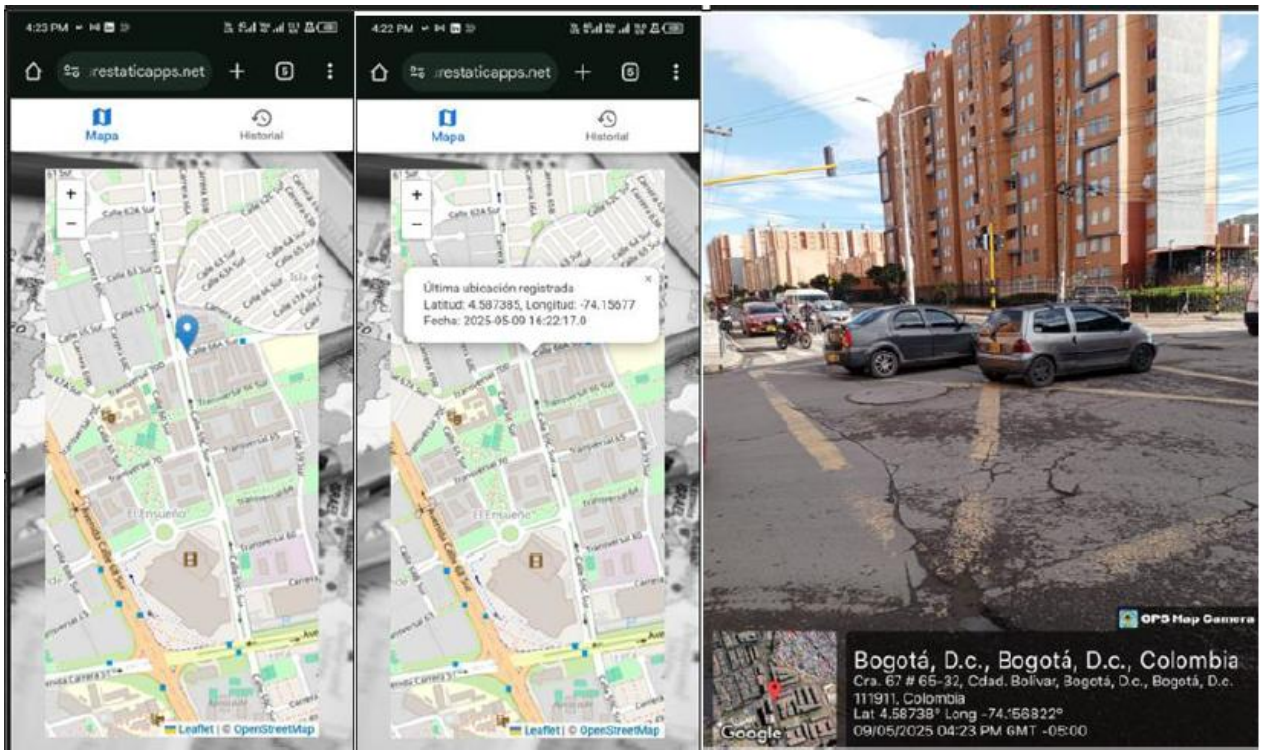
Anexo B. Registro fotográfico Jornada 2: Sur de Bogotá

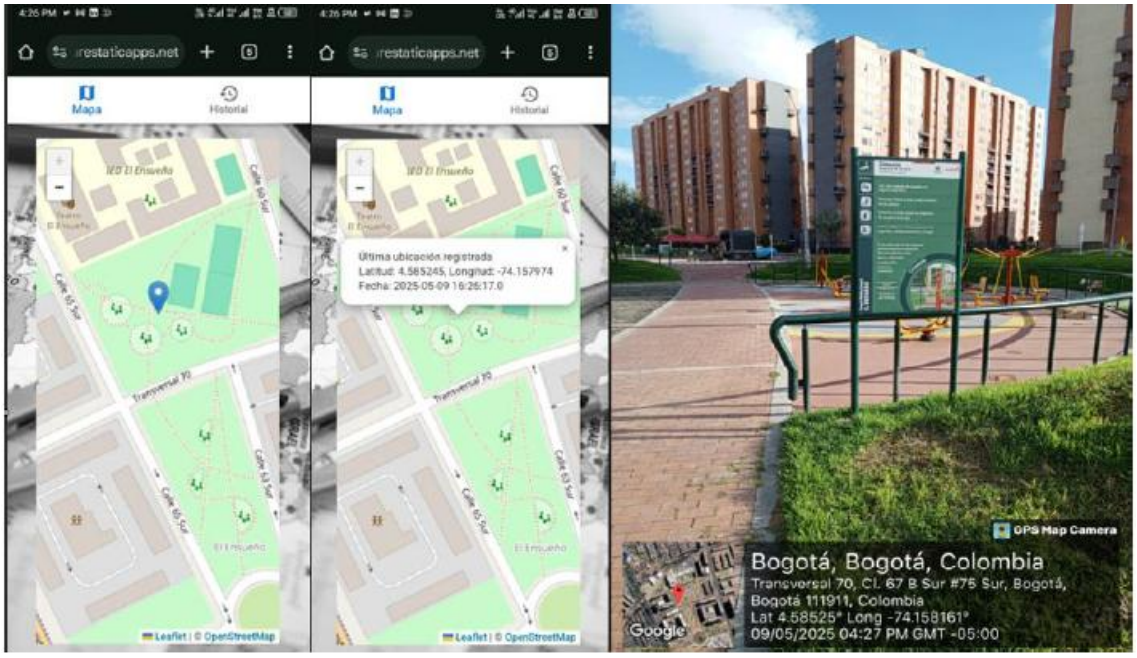
A continuación, se anexan los registros fotográficos con una orden secuencial basada a la caminata que se realizó para la jornada número 2, sobre la ciudad de Bogotá

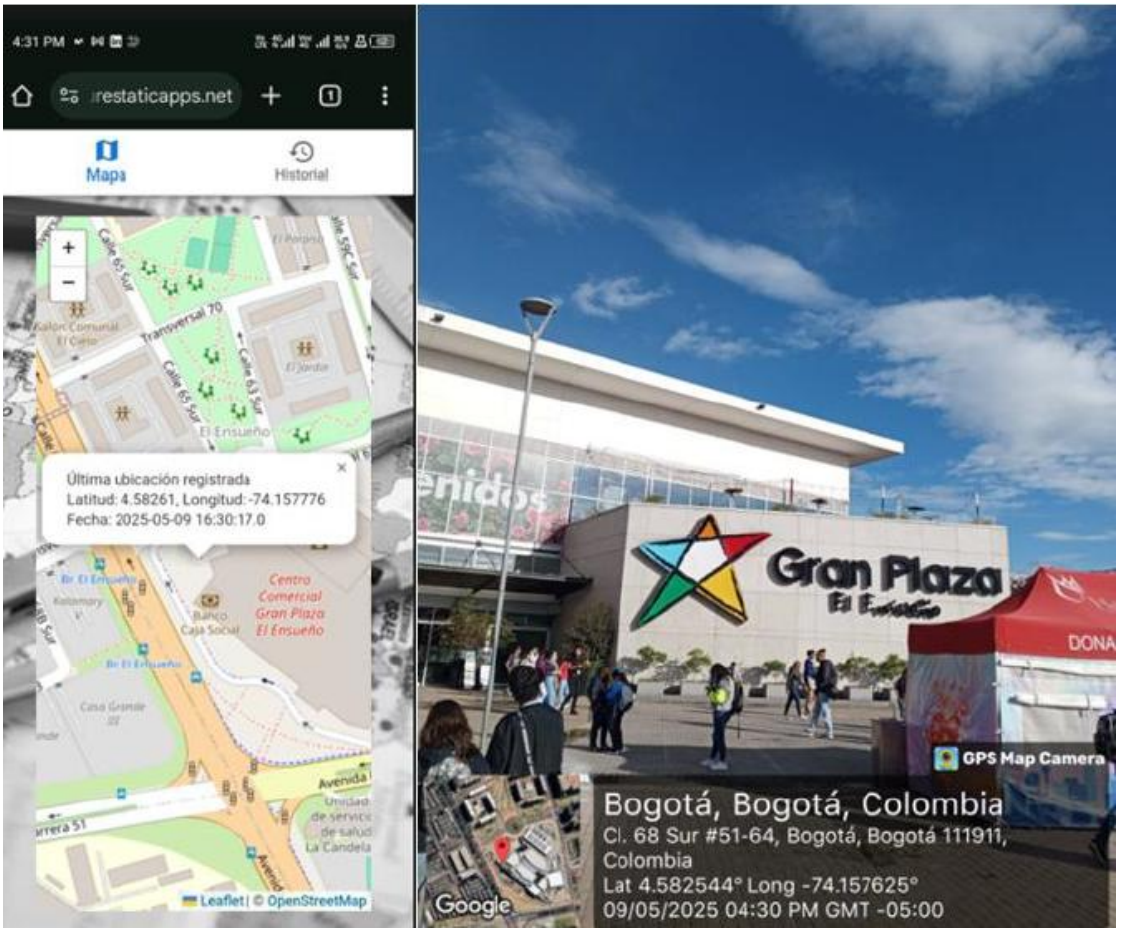


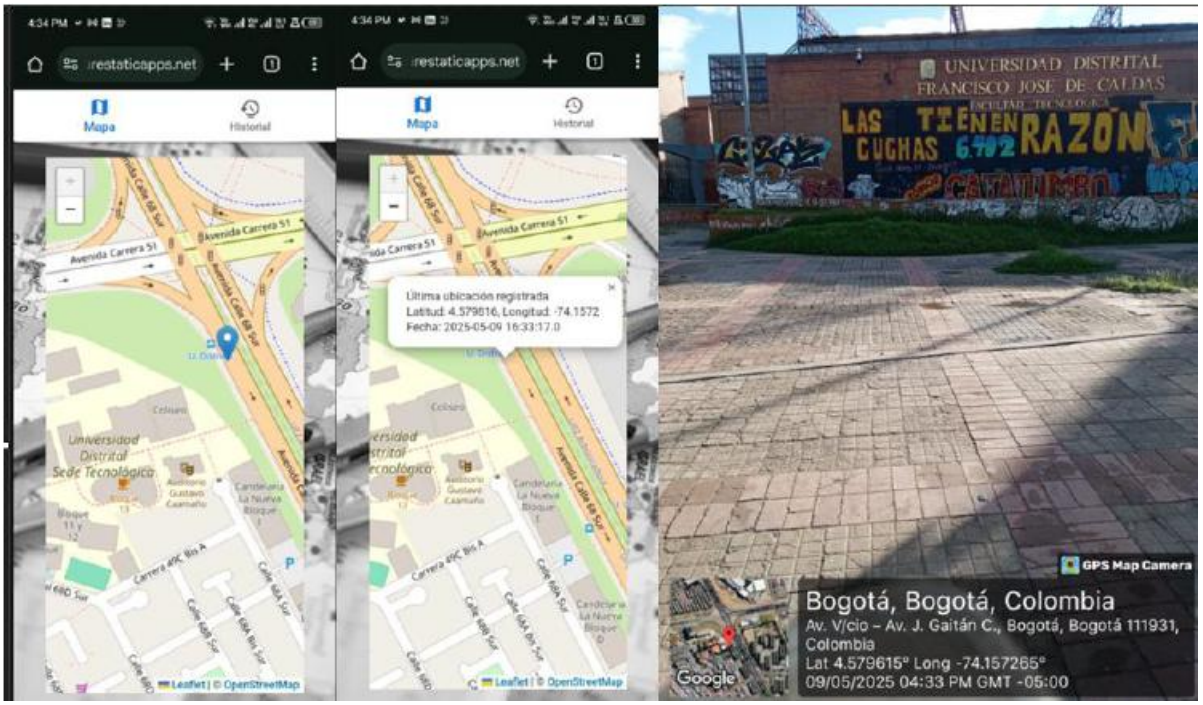

restaticapps.net
Mapa
Historial
Última ubicación registrada
Latitud: 4.58935, Longitud: -74.15339
Fecha: 2025-05-09 16:16:17.0
Leaflet | © OpenStreetMap
Mapa
El contenido generado por IA puede ser incorrecto.
Camera
Bogotá, Bogotá, Colombia
Cl. 67b Sur #6386, Bogotá, Bogotá 110611, Colombia
Lat 4.589027° Long -74.153288°
09/05/2025 04:17 PM GMT -05:00
Google

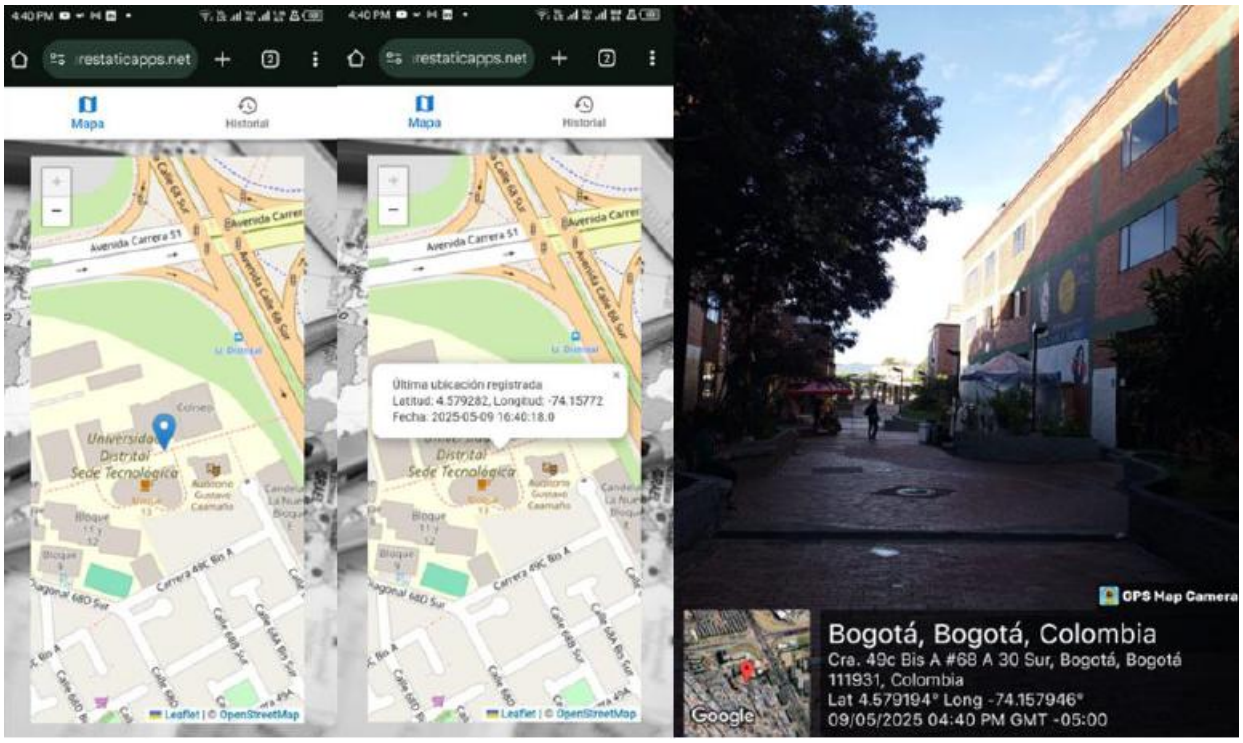

restaticapps.net
Mapa
Historial
Última ubicación registrada
Latitud: 4.587789, Longitud: -74.15534
Fecha: 2025-05-09 16:20:17.0
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Bogotá, Bogotá, Colombia
Tv 66a - Cl 59 Sur, Bogotá, Bogotá 111911, Colombia
Lat 4.587698° Long -74.155449°
09/05/2025 04:20 PM GMT -05:00
Google


restaticapps.net
Mapa
Historial
Última ubicación registrada
Latitud: 4.587385, Longitud: -74.15677
Fecha: 2025-05-09 16:22:17.0
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Bogotá, D.c., Bogotá, D.c., Colombia
Cra. 67 # 65-32, Cdad. Bolívar, Bogotá, D.c., Bogotá, D.c.
111911, Colombia
Lat 4.58738° Long -74.156822°
09/05/2025 04:23 PM GMT -05:00
Google


restaticapps.net
Mapa
Historial
Última ubicación registrada
Latitud: 4.585245, Longitud: -74.157974
Fecha: 2025-05-09 16:26:17.0
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Bogotá, Bogotá, Colombia
Transversal 70, Cl. 67 B Sur #75 Sur, Bogotá,
Bogotá 111911, Colombia
Lat 4.58525° Long -74.158161°
09/05/2025 04:27 PM GMT -05:00
Google


4:31 PM
restaticapps.net
Mapa
Historial
Última ubicación registrada
Latitud: 4.58261, Longitud: -74.157776
Fecha: 2025-05-09 16:30:17.0
Centro Comercial Gran Plaza El Ensueño
Leaflet | © OpenStreetMap
Gran Plaza
GPS Map Camera
Bogotá, Bogotá, Colombia
Cl. 68 Sur #51-64, Bogotá, Bogotá 111911, Colombia
Lat 4.582544° Long -74.157625°
09/05/2025 04:30 PM GMT -05:00
Google


restaticapps.net
Mapa
Historial
Avenida Carrera 51
Universidad Distrital Sede Tecnológica
Última ubicación registrada
Latitud: 4.579616, Longitud: -74.1572
Fecha: 2025-05-09 16:33:17.0
Leaflet | © OpenStreetMap
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
LAS TIENEN RAZON
GPS Map Camera
Bogotá, Bogotá, Colombia
Av. Vicio – Av. J. Gaitán C., Bogotá, Bogotá 111931, Colombia
Lat 4.579615° Long -74.157265°
09/05/2025 04:33 PM GMT -05:00
Google


restaticapps.net
Mapa
Historial
Avenida Carrera 51
Universidad Distrital Sede Tecnológica
Última ubicación registrada
Latitud: 4.579282, Longitud: -74.15772
Fecha: 2025-05-09 16:40:18.0
Leaflet | © OpenStreetMap
GPS Map Camera
Bogotá, Bogotá, Colombia
Cra. 49c Bis A #68 A 30 Sur, Bogotá, Bogotá
111931, Colombia
Lat 4.579194° Long -74.157946°
09/05/2025 04:40 PM GMT -05:00
Google