



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**

**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**

**TEMA:**

**HERRAMIENTA PARA LA VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN  
DE MONITOREO EN OPERACIONES DE RESCATE BASADA EN LORAWAN Y  
GPS**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica**

**Autor:**

Darwin Edison Perachimba Cacuango

**Director:**

Dr. Carlos Xavier Rosero Chandi

Ibarra - Ecuador 2026



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

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

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Perachimba Cacuango Darwin Edison

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Herramienta para la Visualización y Análisis de la Información de Monitoreo en Operaciones de Rescate basada en LoRaWAN y GPS.
<b>AUTOR (ES):</b>	Perachimba Cacuango Darwin Edison
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	12/05/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>DIRECTOR /ASESOR:</b>	Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi/ Ing. Ana Cristina Umaquina

#### 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 12 días del mes de mayo de 2026

#### EL AUTOR:

.....  
Nombre: Perachimba Cacuango Darwin Edison



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

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 12 de mayo de 2026

Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

*(f)*.....

Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi  
**C.C.: 1002515821**



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

**APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “HERRAMIENTA PARA LA VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE MONITOREO EN OPERACIONES DE RESCATE BASADA EN LORAWAN Y GPS” elaborado por Darwin Edison Perachimba Cacuango, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f).....

Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi  
**C.C.: 1002515821**

(f).....

Ing. Ana Cristina Umaquina  
**C.C.: 1002333308**

# Dedicatorias

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y la sabiduría necesarias para no rendirme en los momentos difíciles y permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida profesional.

A mis padres y a mi familia, quienes han sido mi mayor motivación y apoyo incondicional. Gracias por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba, por cada sacrificio realizado y por enseñarme que el esfuerzo y la constancia son el camino para alcanzar los sueños.

A mis amigos y compañeros, especialmente a aquellos que han estado presentes durante este trayecto, compartiendo todo tipo de cosas entre ellas alegrías, dificultades y aprendizajes. Su compañía ha hecho que este proceso sea más llevadero y significativo.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo, por no haber renunciado, por haber seguido adelante a pesar de las dudas y el cansancio, y por demostrar que con disciplina, perseverancia y fe es posible convertir los sueños en realidad.

Me disculpo pues mis palabras no serán suficientes para demostrar todo mi agradecimiento.

Con mucho respeto,

Perachimba Cacuango Darwin Edison

# Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme salud, fortaleza y perseverancia durante todo este proceso académico, permitiéndome culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A la Universidad Técnica del Norte y a la carrera de Ingeniería Mecatrónica, por proporcionarme los conocimientos, herramientas y espacios necesarios para mi desarrollo académico y personal. De manera especial, agradezco a mis docentes, quienes con su experiencia, exigencia y compromiso contribuyeron significativamente a mi crecimiento profesional.

Mi gratitud a mi director de trabajo de titulación, por su orientación, paciencia y acompañamiento constante en el desarrollo de esta investigación. Sus aportes fueron fundamentales para consolidar este proyecto.

Finalmente, agradezco profundamente a mi familia, por su respaldo incondicional, sus sacrificios y su confianza permanente en mí. Ellos han sido el pilar fundamental que me permitió mantenerme firme y avanzar hasta alcanzar esta meta.

Con gratitud,

Perachimba Cacuango Darwin Edison

# Resumen

La presente investigación desarrolla un sistema de monitoreo y visualización para operaciones de rescate basado en tecnología GPS y comunicación LoRaWAN. El proyecto responde a la necesidad de contar con un sistema confiable de seguimiento en tiempo real del personal desplegado en escenarios de emergencia, donde los sistemas tradicionales de comunicación pueden presentar limitaciones de cobertura, consumo energético o infraestructura.

La metodología empleada corresponde a un enfoque de investigación aplicada y experimental, con sustento documental y descriptivo. El estudio comprende el análisis de algoritmos de procesamiento de datos GPS, el diseño e implementación de una interfaz adaptada a las necesidades operativas de los rescatistas y la integración de LoRaWAN para transmisión de datos de largo alcance y bajo consumo energético. Se realizaron pruebas funcionales en entornos controlados para validar la recepción, almacenamiento y visualización de la información.

Los resultados confirman la viabilidad técnica del sistema propuesto, evidenciando precisión en la localización GPS, estabilidad en la conectividad LoRaWAN y eficiencia en la visualización en tiempo real. La solución desarrollada constituye una herramienta escalable que fortalece la coordinación, seguridad y toma de decisiones en operaciones de rescate.

**Palabras clave:** operaciones de rescate, monitoreo GPS, LoRaWAN, seguimiento en tiempo real.

# Abstract

The present research develops a monitoring and visualization system for rescue operations based on GPS technology and LoRaWAN communication. The project addresses the need for a reliable real-time tracking system for personnel deployed in emergency scenarios, where traditional communication systems may present limitations in coverage, energy consumption, or infrastructure.

The methodology employed follows an applied and experimental research approach, supported by documentary and descriptive analysis. The study includes the analysis of GPS data processing algorithms, the design and implementation of an interface adapted to the operational needs of rescue personnel, and the integration of LoRaWAN for long-range and low-power data transmission. Functional tests were conducted in controlled environments to validate the reception, storage, and visualization of information.

The results confirm the technical feasibility of the proposed system, demonstrating accuracy in GPS positioning, stability in LoRaWAN connectivity, and efficiency in real-time visualization. The developed solution constitutes a scalable tool that enhances coordination, safety, and decision-making in rescue operations.

**Keywords:** rescue operations, GPS monitoring, LoRaWAN, real-time tracking.

# Índice general

<b>Cesión de derechos de autor a favor de la Universidad Técnica del Norte</b>	<b>II</b>
<b>Certificación del director del trabajo de integración curricular</b>	<b>III</b>
<b>Aprobación del comité calificador</b>	<b>IV</b>
<b>Dedicatorias</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>VI</b>
<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract</b>	<b>VIII</b>
<b>Índice general</b>	<b>IX</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. General . . . . .	2
1.2.2. Específicos . . . . .	3
1.3. Alcance . . . . .	3
1.4. Justificación . . . . .	4
<b>II. MARCO REFERENCIAL</b>	<b>5</b>
2.1. Estado del Arte . . . . .	5
2.2. Marco Teórico . . . . .	12

2.2.1.	Sistema de posicionamiento global (GPS y GNSS) . . . . .	12
2.2.2.	Redes LPWAN y tecnología LoRaWAN . . . . .	13
2.2.3.	Aplicaciones de LoRaWAN en monitoreo remoto rural . . . . .	15
2.2.4.	Sistema de comunicación LoRa en escenarios de emergencia y SAR . . . . .	16
2.2.5.	Tecnología de apoyo y sistemas híbridos en operaciones de rescate . . . . .	18
2.2.6.	Arquitectura de plataforma y gestión de atos en sistemas IoT . . . . .	20
2.2.7.	Entorno de desarrollo y herramienta de análisis . . . . .	21
<b>III. MARCO METODOLÓGICO</b>		<b>23</b>
3.1.	Enfoque de la Investigación . . . . .	23
3.2.	Diseño de la Investigación . . . . .	24
3.2.1.	Fase 1: <i>Análisis e investigación preliminar</i> . . . . .	24
3.2.2.	<b>Fase 2 :Desarrollo e integración de componentes</b> . . . . .	24
3.2.3.	Fase 3: <i>Integración y ajuste del sistema</i> . . . . .	25
3.2.4.	Fase 4: <i>Validación y pruebas finales</i> . . . . .	25
<b>IV. DESARROLLO</b>		<b>26</b>
4.1.	Definición del escenario de simulación . . . . .	28
4.1.1.	<b>Inicialización del entorno de desarrollo</b> . . . . .	30
4.1.2.	<b>Carga de librerías utilizadas en el sistema</b> . . . . .	31
4.1.3.	<b>Definición de coordenadas iniciales y punto objetivo</b> . . . . .	32
4.1.4.	<b>Configuración de variables del sistema de simulación</b> . . . . .	34
4.1.5.	<b>Visualización inicial del escenario en OpenStreetMap</b> . . . . .	35
4.2.	Configuración de parámetros del sistema . . . . .	36
4.2.1.	<b>Definición de coordenadas iniciales del rescatista</b> . . . . .	36
4.2.2.	<b>Definición de coordenadas objetivo</b> . . . . .	38
4.2.3.	<b>Parámetros de control de la simulación</b> . . . . .	38
4.2.4.	Inicialización de estructuras para almacenamiento de datos . . . . .	39
4.2.5.	Preparación del sistema para la ejecución de la simulación . . . . .	41
4.3.	Selección del modo de desplazamiento . . . . .	41
4.3.1.	Modo de desplazamiento directo . . . . .	42

4.3.2.	Modo de desplazamiento en zigzag . . . . .	44
4.3.3.	Modo de desplazamiento con pausa o descanso . . . . .	45
4.4.	Inicialización del algoritmo de simulación . . . . .	47
4.4.1.	<b>Preparación del entorno de ejecución</b> . . . . .	49
4.4.2.	Preparación del entorno de ejecución . . . . .	49
4.4.3.	<b>Inicialización de variables del sistema</b> . . . . .	50
4.4.4.	Definición de variables del algoritmo de simulación . . . . .	50
4.4.5.	Configuración de estructuras para almacenamiento de datos . . . . .	52
4.5.	Actualización dinámica de coordenadas GPS . . . . .	54
4.5.1.	Cálculo de la distancia entre coordenadas geográficas . . . . .	56
4.5.2.	Generación de nuevas coordenadas durante la simulación . . . . .	57
4.5.3.	Construcción de la trayectoria de desplazamiento . . . . .	59
4.6.	Visualización de la trayectoria en OpenStreetMap . . . . .	61
4.7.	Generación y almacenamiento de datos . . . . .	62
4.7.1.	Estructuración de los datos generados . . . . .	63
4.7.2.	Proceso de almacenamiento de la información . . . . .	63
4.7.3.	Importancia del archivo generado dentro del sistema . . . . .	64
<b>V.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS</b>	<b>66</b>
5.1.	Carga de datos en la plataforma de análisis . . . . .	66
5.1.1.	Interfaz de carga de archivos . . . . .	67
5.1.2.	Proceso de selección y lectura del archivo . . . . .	67
5.1.3.	Validación y organización de los datos cargados . . . . .	68
5.1.4.	Preparación de datos para el análisis . . . . .	69
5.2.	Procesamiento y análisis de métricas . . . . .	70
5.2.1.	Cálculo de distancia recorrida . . . . .	70
5.2.2.	Análisis del tiempo de desplazamiento . . . . .	71
5.2.3.	Evaluación de la velocidad del desplazamiento . . . . .	72
5.2.4.	Comparación entre tracker de desplazamiento . . . . .	73
5.2.5.	Interpretación de resultados . . . . .	74
5.3.	Visualización gráfica de resultados . . . . .	75

5.3.1.	Visualización de la trayectoria del desplazamiento . . . . .	76
5.3.2.	Gráficas de variables en función del tiempo . . . . .	76
5.3.3.	Visualización de la velocidad del desplazamiento . . . . .	77
5.3.4.	Comparación gráfica de métricas . . . . .	78
5.3.5.	Integración de visualizaciones para análisis global . . . . .	79
5.4.	Generación de informe técnico . . . . .	80
5.4.1.	Estructuración del informe generado . . . . .	80
5.4.2.	Inclusión de métricas y resultados relevantes . . . . .	81
5.4.3.	Integración de representaciones gráficas . . . . .	82
5.4.4.	Utilidad del informe en la toma de decisiones . . . . .	84
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y TRABAJO A FUTURO</b>	<b>86</b>
6.1.	CONCLUSIONES . . . . .	86
6.2.	RECOMENDACIONES . . . . .	87
6.3.	TRABAJO A FUTURO . . . . .	87
<b>Anexos</b>		<b>94</b>
0.1.	Repositorio del sistema desarrollado . . . . .	94

# Índice de figuras

2.1. Arquitectura de un sistema de rastreo basado en LoRa para operaciones de búsqueda y rescate [1]. . . . .	6
2.2. Arquitectura de sistema de localización basado en LoRaWAN . . . . .	7
2.3. Arquitectura del sistema de monitoreo y localización basado en LoRa . . . . .	8
2.4. Arquitectura de un sistema de monitoreo basado en IoT y LoRaWAN . . . . .	9
2.5. Sistema de monitoreo y rastreo basado en tecnologías IoT, GPS y LoRa . . . . .	10
2.6. Arquitectura de un sistema de monitoreo estructural basado en tecnologías IoT . . . . .	11
2.7. Funcionamiento del sistema GPS mediante trilateración satelital . . . . .	13
2.8. Arquitectura de una red LoRaWAN basada en nodos, gateways y servidor de red . . . . .	14
2.9. Arquitectura de red LoRaWAN para monitoreo ambiental e incendios forestales: . . . . .	16
2.10. Arquitectura de red LoRa tipo malla para comunicaciones de emergencia [2] . . . . .	17
2.11. Sistema robótico con comunicación LoRa para monitoreo en entornos de rescate [3] . . . . .	19
2.12. Arquitectura híbrida VLC–LoRa para transmisión y gestión de datos en sistemas IoT . . . . .	20
4.1. Diagrama de flujo general del sistema de simulación y análisis de datos de posicionamiento para operaciones de rescate. . . . .	28
4.2. Diagrama de flujo del proceso de generación del escenario de simulación para el desplazamiento del rescatista. . . . .	29
4.3. Entorno de desarrollo Jupyter Notebook utilizado para la implementación del algoritmo de simulación del sistema. . . . .	31
4.4. Importación de librerías utilizadas para la implementación del sistema de simulación en Python. . . . .	32

4.5. Definición de coordenadas geográficas iniciales utilizadas en el sistema de simulación. . . . .	34
4.6. Inicialización de variables utilizadas para el registro de información durante la simulación del desplazamiento. . . . .	35
4.7. Representación geográfica del escenario de simulación generada mediante la librería Folium y la plataforma OpenStreetMap. . . . .	36
4.8. Definición de las coordenadas iniciales del rescatista dentro del sistema de simulación . . . . .	37
4.9. Definición de las coordenadas del punto objetivo que representa la ubicación estimada de la víctima dentro del sistema de simulación . . . . .	38
4.10. Configuración de los parámetros del algoritmo que controlan el proceso iterativo de simulación del desplazamiento . . . . .	39
4.11. Inicialización de estructuras de almacenamiento utilizadas para registrar los datos de la trayectoria simulada . . . . .	40
4.12. Diagrama de flujo del proceso de selección del modo de desplazamiento del rescatista dentro del sistema de simulación . . . . .	42
4.13. Trayectoria generada mediante el modo de desplazamiento directo entre la posición inicial del rescatista y la ubicación estimada de la víctima . . . . .	43
4.14. Diagrama de flujo del algoritmo utilizado para generar el patrón de desplazamiento en zigzag dentro del sistema de simulación . . . . .	45
4.15. Trayectoria simulada del rescatista que incluye periodos de pausa o descanso durante el proceso de desplazamiento . . . . .	47
4.16. Flujo general del proceso de inicialización del algoritmo de simulación dentro del sistema desarrollado . . . . .	48
4.17. Bloque de código utilizado para la importación de librerías y preparación del entorno de ejecución dentro del entorno Jupyter Notebook . . . . .	50
4.18. Bloque de código correspondiente a la inicialización de las variables utilizadas en el algoritmo de simulación . . . . .	52
4.19. Fragmento del código correspondiente a la definición de las estructuras de almacenamiento utilizadas durante el proceso de simulación . . . . .	54

4.20. Actualización dinámica de las coordenadas geográficas durante la ejecución del algoritmo de simulación . . . . .	55
4.21. Implementación del cálculo de distancia geográfica mediante la fórmula de Haversine dentro del algoritmo de simulación . . . . .	57
4.22. Fragmento de código correspondiente al proceso de generación de nuevas coordenadas dentro del algoritmo de simulación . . . . .	59
4.23. Visualización de la trayectoria generada por el algoritmo de simulación sobre el mapa digital basado en OpenStreetMap . . . . .	60
4.24. Visualización de la trayectoria generada por el algoritmo sobre el mapa digital utilizando la biblioteca Folium y la plataforma OpenStreetMap . . . . .	61
4.25. Representación de la trayectoria completa del rescatista sobre el mapa digital mediante la unión de las coordenadas generadas durante la simulación . . . . .	62
4.26. Estructura del archivo de datos generado por el sistema de simulación en formato Excel . . . . .	63
4.27. Archivo generado en formato Excel que contiene el registro completo de los datos obtenidos durante la simulación . . . . .	64
4.28. Integración del archivo de datos generado por la simulación dentro de la plataforma de análisis del sistema . . . . .	65
5.1. Interfaz de la plataforma de análisis que permite seleccionar y cargar el archivo de datos generado durante la simulación . . . . .	67
5.2. Proceso de lectura y carga de datos desde el archivo Excel seleccionado . . . . .	68
5.3. Visualización y estructura de los datos cargados en el sistema antes del análisis . . . . .	69
5.4. Preparación de los datos para su uso en los módulos de análisis del sistema . . . . .	70
5.5. Ejemplo del cálculo de la distancia acumulada durante la simulación . . . . .	71
5.6. Evolución del tiempo durante la simulación del desplazamiento del rescatista . . . . .	72
5.7. Variación de la velocidad durante el recorrido simulado del rescatista . . . . .	73
5.8. Comparación del desempeño entre diferentes trackers de desplazamiento . . . . .	74
5.9. Interpretación integral de las métricas y comportamiento global del sistema . . . . .	75
5.10. Visualización de la trayectoria de desplazamiento del rescatista sobre el mapa . . . . .	76
5.11. Evolución de la distancia acumulada a lo largo del tiempo durante la simulación . . . . .	77

5.12. Evolución de la velocidad del rescatista a lo largo del tiempo durante la simulación . . . . .	78
5.13. Comparación de métricas entre distintos modos de desplazamiento . . . . .	79
5.14. Integración de distintos tipos de visualización dentro de una misma interfaz del sistema . . . . .	80
5.15. Estructura del informe técnico que integra información y métricas del sistema .	81
5.16. Presentación de las principales métricas del análisis dentro del informe técnico	82
5.17. Gráficas de variables generadas durante la simulación incluidas en el informe técnico . . . . .	83
5.18. Utilidad del informe técnico para la evaluación del desempeño y la toma de decisiones en escenarios de rescate . . . . .	85

# Capítulo I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

La integración del sistema de posicionamiento global (GPS) con redes LoRaWAN se aplica en diversos ámbitos, como el rastreo de activos, el monitoreo de embarcaciones y la supervisión de variables industriales, logrando resultados favorables en términos de precisión de localización y transmisión de datos en tiempo real [4]. No obstante, en múltiples casos, la información recopilada no se incorpora en entornos que faciliten un análisis dinámico ni una representación adecuada orientada a la toma de decisiones en situaciones críticas [5].

Adicionalmente, factores como la interferencia de señal, la presencia de obstáculos y las características del terreno afectan el desempeño de la comunicación inalámbrica, lo que provoca pérdidas de información o una disminución en la calidad de los datos transmitidos [6]. En respuesta a estas limitaciones, investigaciones recientes proponen que las operaciones de rescate en zonas remotas o afectadas por desastres naturales presentan múltiples dificultades debido a la limitada disponibilidad de mecanismos confiables de comunicación y seguimiento. En numerosos escenarios, la infraestructura de telecomunicaciones es inexistente, insuficiente o se encuentra comprometida tras el evento ocurrido, lo que dificulta determinar con precisión la ubicación tanto de las víctimas como del personal de intervención. Esta condición incrementa los tiempos de respuesta, disminuye la eficiencia operativa y pone en riesgo la seguridad de los involucrados. Por ello, contar con información de posicionamiento en tiempo real se vuelve esencial para optimizar la asignación de recursos y fortalecer la coordinación de las misiones [7].

El desarrollo del Internet de las Cosas (IoT) impulsa la creación de soluciones capaces de operar en contextos con limitaciones de infraestructura [8]. Dentro de este ámbito, las redes

de área amplia de baja potencia (LPWAN), especialmente LoRaWAN, destacan por su capacidad para transmitir información a largas distancias con un consumo energético reducido. Esta característica facilita su implementación en entornos rurales o de difícil acceso, donde otras tecnologías presentan limitaciones significativas [9]. Asimismo, diversos estudios evidencian que estas redes mantienen la comunicación incluso en condiciones adversas, consolidándose como una alternativa eficiente para el monitoreo remoto y la transmisión de datos críticos [10]. Mecanismos de optimización y algoritmos adaptativos que mejoran el rendimiento del sistema, lo que evidencia la necesidad de soluciones integrales que articulen componentes físicos, comunicación y herramientas de procesamiento dentro de un mismo entorno operativo [11].

A pesar de los avances tecnológicos disponibles, aún se evidencia una carencia de soluciones que integren de manera eficiente la adquisición de datos de posicionamiento mediante GPS, su transmisión a través de redes LoRaWAN y su representación en interfaces orientadas específicamente a usuarios involucrados en operaciones de rescate. Esta fragmentación dificulta la interpretación oportuna de la información y puede retrasar la toma de decisiones en situaciones de emergencia [12].

De igual manera, la incorporación de sistemas de monitoreo en tiempo real demuestra ser un elemento clave para optimizar la gestión de información en entornos basados en IoT, lo que refuerza la necesidad de desarrollar propuestas que respondan a estas exigencias operativas [13].

En este contexto, se plantea el desarrollo de una herramienta que permita la visualización y el análisis de la información de monitoreo obtenida mediante dispositivos GPS y transmitida a través de redes LoRaWAN, proporcionando a los rescatistas una plataforma accesible, intuitiva y confiable que facilite la localización de víctimas y la coordinación de las operaciones en tiempo real, sin depender de infraestructura de telecomunicaciones convencional.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. General**

Desarrollar una herramienta de visualización y análisis de datos provenientes de GPS a través de LoRaWAN para la ubicación de las víctimas en operaciones de rescate.

### **1.2.2. Específicos**

- Diseñar un algoritmo que permita el análisis de información de posición global en el tiempo.
- Implementar una interfaz visual sencilla y de fácil uso para los rescatistas.
- Validar el sistema en condiciones reales de trabajo.

### **1.3. Alcance**

Con el presente proyecto se busca realizar una herramienta integral para la gestión y análisis de datos GPS obtenidos mediante tecnología LoRaWAN en operaciones de rescate. Este trabajo abarcará varias etapas fundamentales. Inicialmente, se obtendrá la información desde una base de datos que almacene las posiciones de los rescatistas. Posteriormente, se diseñará un algoritmo capaz de procesar estos datos de manera eficiente, permitiendo su análisis y visualización. El sistema será implementado en entornos de escritorio con una interfaz interactiva que ofrezca a los usuarios diversas funcionalidades. Entre estas, se incluirá la posibilidad de consultar posiciones actuales, acceder al historial de movimientos y calcular variables como trayectorias y velocidades. Esta herramienta estará orientada a optimizar la toma de decisiones en situaciones de emergencia, facilitando una localización más precisa de las víctimas y mejorando la coordinación de los rescatistas. El proyecto integra tecnología innovadora con un enfoque práctico y humanitario.

## 1.4. Justificación

En el campo de la ingeniería electrónica y de telecomunicaciones, el presente proyecto se fundamenta en la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que contribuyan a mejorar la localización y el seguimiento de información en tiempo real en escenarios donde la infraestructura de comunicación convencional resulta limitada o inexistente [14]. La integración de tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) con sistemas de geolocalización permite obtener datos precisos de posición y transferirlos hacia entornos de análisis, facilitando la toma de decisiones en aplicaciones críticas como el monitoreo y la gestión de emergencias [15].

El empleo de redes de comunicación de largo alcance y bajo consumo energético, como LoRaWAN, constituye una alternativa eficiente para su implementación en áreas rurales o de difícil acceso, debido a su capacidad para transmitir información a grandes distancias sin requerir infraestructura compleja [16]. Estas características favorecen el desarrollo de esquemas de supervisión confiables que operan durante periodos prolongados con un consumo energético reducido, aspecto clave en contextos de rescate donde la autonomía de los dispositivos resulta determinante [17].

Por otra parte, los sistemas de posicionamiento satelital, como el GPS, presentan limitaciones en determinados entornos debido a la obstrucción de la señal provocada por obstáculos físicos o condiciones geográficas adversas [18]. Estas restricciones impulsan el desarrollo de estrategias y algoritmos de procesamiento de datos orientados a mejorar la precisión de la localización y asegurar la disponibilidad de la información en escenarios complejos, incluyendo aplicaciones vinculadas a seguridad y rescate [19].

Finalmente, el desarrollo de dispositivos portátiles basados en tecnologías LoRa y GPS, junto con entornos de visualización y análisis en tiempo real, fortalece los sistemas de respuesta ante emergencias al facilitar la coordinación entre equipos de intervención y mejorar la capacidad de reacción frente a situaciones críticas. La incorporación de este tipo de soluciones representa un aporte relevante para la ingeniería aplicada a la seguridad y protección de la vida humana, ya que permite optimizar el uso de recursos y reducir los tiempos de respuesta en operaciones de rescate [20, 21].

# Capítulo II

## MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Estado del Arte

El desarrollo de sistemas de localización y monitoreo basados en tecnologías del Internet de las Cosas experimenta un avance significativo en los últimos años, impulsado especialmente por el uso de redes de comunicación de largo alcance y bajo consumo energético como LoRaWAN. Diversas investigaciones demuestran que es posible estimar la posición de dispositivos sin recurrir a módulos GPS adicionales mediante el uso de metadatos de comunicación, como el RSSI, junto con modelos de aprendizaje automático [22].

De forma complementaria, otros estudios evidencian que la implementación de técnicas de trilateración basadas en RSSI dentro de redes LoRaWAN permite determinar la posición de nodos móviles con errores aceptables y un consumo energético considerablemente menor en comparación con el uso directo de GPS [15].

Por otra parte, la comparación entre tecnologías de comunicación orientadas a aplicaciones IoT permite identificar ventajas relevantes de LoRaWAN frente a otras alternativas como LTE-M [20].

En el contexto de las operaciones de búsqueda y rescate, la incorporación de sistemas de rastreo basados en IoT y tecnología LoRa mejora la coordinación de equipos y la disponibilidad de información en tiempo real [1]. La arquitectura general de este tipo de soluciones se fundamenta en nodos sensores que envían información mediante LoRa hacia un Gateway y posteriormente a un entorno de visualización, como se muestra en la Fig. 2.1.

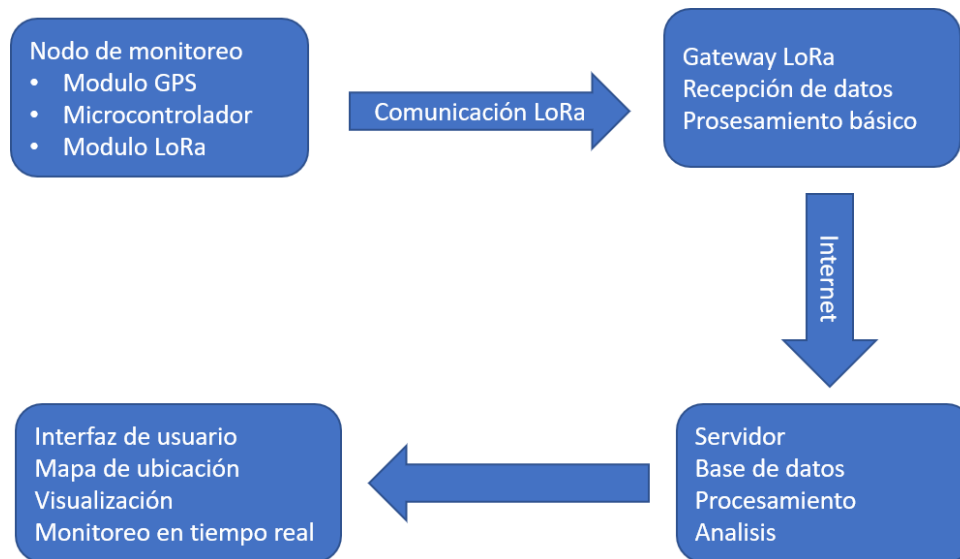


Figura 2.1: Arquitectura de un sistema de rastreo basado en LoRa para operaciones de búsqueda y rescate [1].

Asimismo, el uso de tecnologías LoRa se incorpora en sistemas robóticos y plataformas autónomas orientadas a la respuesta ante desastres, permitiendo la transmisión de datos ambientales y parámetros de navegación en entornos complejos. Estos desarrollos demuestran que la integración de sensores, comunicaciones de largo alcance y almacenamiento de datos mejora la toma de decisiones durante las misiones de rescate y aumenta la seguridad de los equipos humanos [22]. De manera similar, investigaciones sobre redes híbridas de sensores inalámbricos evidencian que LoRa ofrece mayor cobertura y eficiencia energética en escenarios SAR, especialmente cuando se emplean nodos móviles como robots o animales de búsqueda, lo que confirma su aplicabilidad en operaciones de emergencia en áreas de gran extensión [15].

En una investigación reciente se desarrolla un análisis comparativo entre tecnologías de comunicación para IoT, donde se evalúan las capacidades de LoRaWAN en escenarios de transmisión de datos a larga distancia. Los resultados muestran que esta tecnología permite una comunicación eficiente en términos de cobertura y consumo energético, lo que la hace adecuada para aplicaciones de monitoreo y localización en entornos extensos [20]. Por otro lado, se implementan soluciones basadas en Internet de las Cosas para el seguimiento de equipos de búsqueda y rescate mediante tecnología LoRa, permitiendo la transmisión de información de ubicación en tiempo real y mejorando la coordinación en operaciones de emergencia [23].

Asimismo, se desarrollan sistemas robóticos de vigilancia y navegación controlados de for-

ma remota mediante LoRa, los cuales permiten el monitoreo en zonas de desastre y la recolección de datos en entornos complejos. Estos sistemas demuestran que la integración de comunicaciones de largo alcance con plataformas móviles mejora la capacidad de respuesta y la seguridad en misiones de rescate [24]. De igual manera, estudios sobre localización en entornos industriales evalúan el uso de LoRaWAN junto con técnicas de procesamiento de datos para estimar posiciones en interiores y exteriores, evidenciando que esta tecnología puede ser utilizada no solo para comunicación, sino también para localización en escenarios críticos cuando se optimiza la infraestructura de red. La arquitectura general de este tipo de sistemas se muestra en la Figura 2.2.

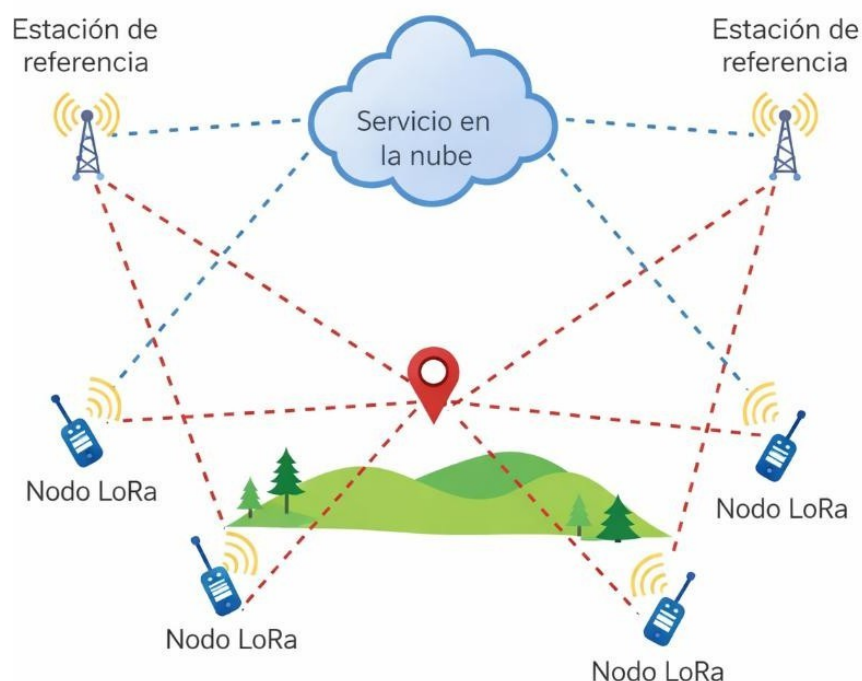


Figura 2.2: Arquitectura de sistema de localización basado en LoRaWAN

En aplicaciones orientadas a la seguridad y gestión de emergencias, se desarrollan sistemas de monitoreo que permiten supervisar en tiempo real el estado y la ubicación del personal operativo mediante tecnologías de comunicación de largo alcance. En este contexto, se proponen soluciones basadas en redes híbridas de sensores inalámbricos que integran tecnologías como LoRa para mejorar la cobertura y la confiabilidad en entornos de difícil acceso. Estos sistemas permiten la transmisión de información en tiempo real y su visualización en plataformas de escritorio diseñadas para facilitar la supervisión y el análisis operativo. Los resultados evidencian

que el uso de LoRa mejora la penetración de señal en entornos complejos y reduce el consumo energético en comparación con sistemas convencionales, lo que demuestra su viabilidad en operaciones de rescate y escenarios críticos [25]. La arquitectura general del sistema propuesto se muestra en la Figura 2.3.

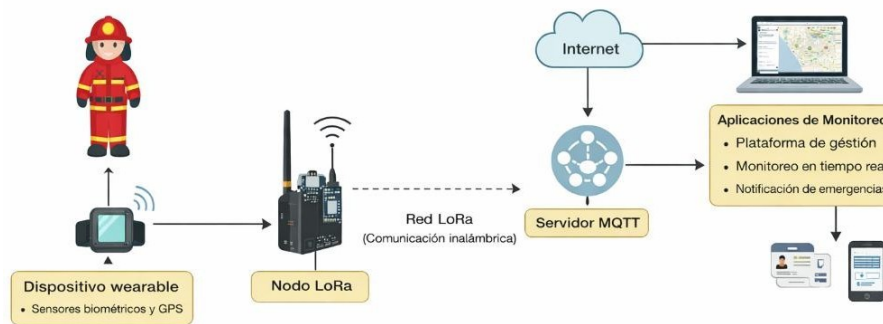


Figura 2.3: Arquitectura del sistema de monitoreo y localización basado en LoRa

Por otra parte, el desarrollo de sistemas inalámbricos basados en Internet de las Cosas también se aplica en el monitoreo y seguimiento en entornos reales, permitiendo la adquisición y transmisión de datos en tiempo real mediante tecnologías de comunicación de largo alcance. En este contexto, se diseñan plataformas que integran sensores, módulos de posicionamiento y sistemas de comunicación LoRaWAN, facilitando el registro y análisis de información en aplicaciones distribuidas. Estos sistemas permiten gestionar grandes volúmenes de datos y su visualización en entornos de escritorio orientados al análisis operativo. Los resultados experimentales demuestran que este tipo de soluciones presenta alta precisión, bajo consumo energético y viabilidad en escenarios de monitoreo en campo, consolidando el potencial de las tecnologías IoT en aplicaciones de seguimiento y localización en áreas extensas [26]. La estructura general de estos sistemas de monitoreo se presenta en la Figura 2.4.

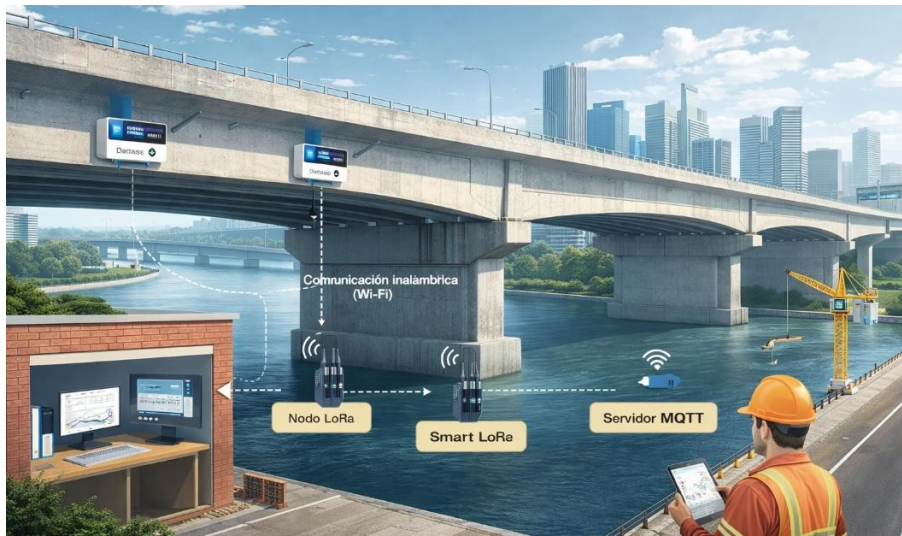


Figura 2.4: Arquitectura de un sistema de monitoreo basado en IoT y LoRaWAN

Asimismo, las tecnologías de geolocalización y comunicación inalámbrica se aplican en distintos contextos para el rastreo y monitoreo de activos en tiempo real, con el objetivo de mejorar la seguridad y reducir pérdidas. En este sentido, se exploran soluciones basadas en LoRa como alternativa o complemento a los sistemas tradicionales de posicionamiento, especialmente en entornos donde las señales GPS presentan limitaciones. Estos sistemas permiten la transmisión de información de ubicación hacia plataformas de supervisión, facilitando su visualización y análisis en entornos de escritorio orientados a la toma de decisiones.

Los resultados evidencian que la tecnología LoRa puede mantener comunicaciones estables y proporcionar estimaciones de ubicación en escenarios complejos, como zonas montañosas o de difícil acceso, lo que resalta su utilidad en aplicaciones de monitoreo y navegación en campo [27]. De igual manera, estudios sobre localización mediante LoRaWAN analizan el desempeño de diferentes enfoques y evidencian que esta tecnología puede emplearse para estimar posiciones con distintos niveles de precisión dependiendo de la infraestructura de red y los algoritmos utilizados [28]. El funcionamiento general del sistema se muestra en la Figura 2.5.

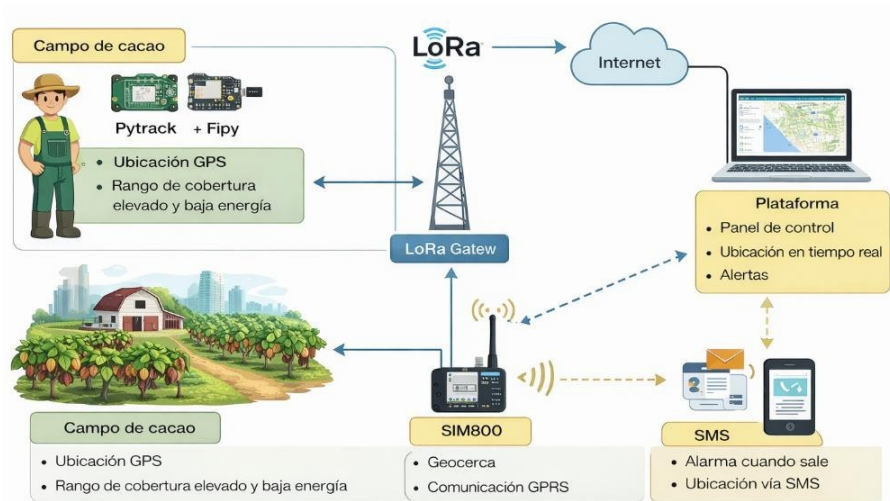


Figura 2.5: Sistema de monitoreo y rastreo basado en tecnologías IoT, GPS y LoRa

En investigaciones recientes como en [29], se continúa explorando el uso de tecnologías IoT para el monitoreo estructural mediante arquitecturas distribuidas de bajo costo. En este contexto, se desarrollan sistemas de monitoreo estructural basados en sensores y microcontroladores, capaces de adquirir, transmitir y analizar datos dinámicos de estructuras civiles en tiempo real. La arquitectura emplea protocolos de comunicación ligeros que permiten la interacción entre dispositivos y sistemas de procesamiento, facilitando una infraestructura escalable y eficiente. Además, se utilizan técnicas de análisis en el dominio de la frecuencia para la identificación de parámetros estructurales, logrando determinar con precisión características dinámicas relevantes. Los resultados demuestran la viabilidad técnica y económica de implementar sistemas IoT en aplicaciones de monitoreo estructural en entornos reales. En la Figura 2.6 se presenta la arquitectura general de un sistema de monitoreo estructural basado en tecnologías IoT.



Figura 2.6: Arquitectura de un sistema de monitoreo estructural basado en tecnologías IoT

Por otra parte, como se plantea en [30], el uso de tecnologías de comunicación de largo alcance también se investiga en el ámbito de la seguridad y gestión de emergencias, donde la localización del personal operativo resulta crítica. En este contexto, se desarrollan sistemas basados en tecnologías LPWAN como LoRa que, en conjunto con módulos de posicionamiento y sensores, permiten la geolocalización y el monitoreo en tiempo real. Estos sistemas facilitan la transmisión de información a largas distancias con bajo consumo energético y permiten su visualización en entornos de escritorio orientados a la supervisión operativa.

La integración de estos dispositivos con plataformas IoT permite la gestión eficiente de datos y la generación de alertas ante eventos críticos, como caídas o condiciones de riesgo, contribuyendo a mejorar la seguridad del personal en campo. Los resultados evidencian que la implementación de estas soluciones mejora la capacidad de respuesta en situaciones de emergencia y optimiza la toma de decisiones en escenarios críticos [30]. Con los siguientes antecedentes se puede dar a entender que el potencial de las tecnologías LoRaWAN y GPS se destacan en diferentes contextos, además de su relevancia para aplicaciones orientadas a operaciones de rescate, monitoreo ambiental y seguridad.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Sistema de posicionamiento global (GPS y GNSS)**

Los sistemas de posicionamiento global constituyen la base tecnológica para la determinación de coordenadas geográficas en aplicaciones civiles, industriales y de emergencia. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, fue inicialmente concebido con fines militares; sin embargo, su apertura al uso civil permitió su adopción masiva en sectores como transporte, agricultura de precisión, telecomunicaciones y operaciones de búsqueda y rescate. Actualmente, el GPS forma parte de un conjunto más amplio de sistemas denominados GNSS (Global Navigation Satellite Systems), entre los que se incluyen GLONASS (Rusia), Galileo (Unión Europea) y BeiDou (China), los cuales mejoran la disponibilidad y precisión del posicionamiento en aplicaciones críticas.

El funcionamiento del GPS se basa en la recepción de señales emitidas por una constelación de satélites que orbitan la Tierra. Cada satélite transmite información relacionada con su posición y el instante exacto de emisión de la señal. El receptor calcula su ubicación mediante la medición del tiempo que tarda la señal en llegar desde al menos cuatro satélites, aplicando principios de trilateración para determinar latitud, longitud y altitud. Este método permite alcanzar precisiones métricas en condiciones estándar, pudiendo mejorarse mediante técnicas diferenciales como DGPS o RTK en aplicaciones que requieren mayor exactitud. El principio de funcionamiento del sistema GPS mediante trilateración satelital se ilustra en la Fig. 2.7.

A pesar de su amplia adopción, el GPS presenta limitaciones en entornos donde existen obstrucciones físicas como edificaciones, zonas montañosas o vegetación densa. Asimismo, factores atmosféricos, interferencias electromagnéticas y errores en la sincronización de los relojes satelitales pueden afectar la calidad de la señal. Estas restricciones resultan especialmente relevantes en escenarios de emergencia o rescate, donde la continuidad en la transmisión de información de localización es un factor crítico para la coordinación operativa. En este contexto, surge la necesidad de complementar el posicionamiento satelital con tecnologías de comunicación de largo alcance que permitan transmitir de manera eficiente los datos obtenidos.



Figura 2.7: Funcionamiento del sistema GPS mediante trilateración satelital

### 2.2.2. Redes LPWAN y tecnología LoRaWAN

Las redes de área amplia y bajo consumo energético, conocidas como LPWAN (Low Power Wide Area Network), han surgido como una solución eficiente para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) que requieren transmisión de datos a largas distancias con un consumo energético reducido. A diferencia de tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth o LTE, las cuales priorizan altas velocidades de transmisión, las LPWAN están diseñadas para enviar pequeños paquetes de datos de forma periódica, optimizando la autonomía de los dispositivos y permitiendo su operación durante largos periodos sin reemplazo frecuente de baterías.

Entre las tecnologías LPWAN más utilizadas se encuentra LoRaWAN, la cual emplea la modulación LoRa basada en espectro ensanchado (Chirp Spread Spectrum). Esta técnica permite mantener enlaces de comunicación robustos incluso en condiciones de interferencia o baja relación señal-ruido. La arquitectura de LoRaWAN se compone de nodos finales, gateways y un servidor de red encargado de gestionar la comunicación y el enrutamiento de los datos hacia una plataforma de aplicación, como se muestra en la Fig. 2.8. Esta estructura facilita la

implementación de sistemas distribuidos de monitoreo en zonas rurales o de difícil acceso.

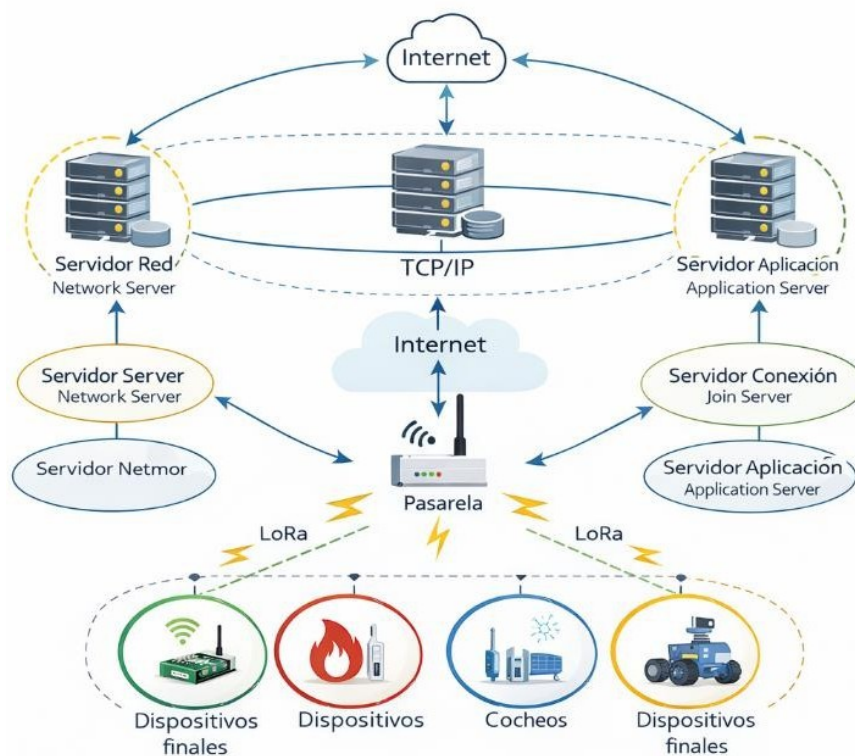


Figura 2.8: Arquitectura de una red LoRaWAN basada en nodos, gateways y servidor de red

Una de las principales ventajas de LoRaWAN es su capacidad de cobertura, alcanzando distancias superiores a 10 km en entornos rurales y varios kilómetros en zonas urbanas, dependiendo de factores como la potencia de transmisión, el Spread Factor y la topología del terreno. Asimismo, opera en bandas de frecuencia no licenciadas, lo que reduce los costos de implementación en comparación con tecnologías celulares. Sin embargo, su tasa de transmisión es limitada, generalmente inferior a 50 kbps, lo cual restringe su uso a aplicaciones que no demanden grandes volúmenes de datos en tiempo real.

En el contexto de sistemas de localización y rescate, LoRaWAN no reemplaza al GPS como fuente primaria de coordenadas, sino que actúa como medio de transmisión eficiente para los datos de posicionamiento. Esta combinación permite mantener la comunicación en escenarios donde la infraestructura convencional es inexistente o ha sido afectada por desastres naturales. De esta manera, las redes LPWAN y particularmente LoRaWAN constituyen una alternativa tecnológica adecuada para sistemas de monitoreo remoto orientados a la gestión de emergen-

cias y operaciones SAR.

### **2.2.3. Aplicaciones de LoRaWAN en monitoreo remoto rural**

La implementación de LoRaWAN en entornos rurales se presenta como una solución eficiente para sistemas de monitoreo remoto que requieren amplia cobertura geográfica y bajo consumo energético. Diversos estudios evalúan su desempeño en aplicaciones de seguimiento y supervisión de variables estructurales y de localización, destacando su capacidad para transmitir datos en tiempo real a largas distancias sin depender de infraestructura celular convencional. Esta característica resulta especialmente relevante en zonas de difícil acceso, donde la conectividad es limitada o inexistente.

En este contexto, se desarrollan soluciones basadas en IoT y LoRaWAN para el monitoreo estructural, integrando sensores y sistemas de comunicación que permiten la adquisición y análisis de datos en tiempo real, evidenciando su viabilidad en aplicaciones de ingeniería [31]. De igual manera, se implementan sistemas de monitoreo y rastreo en entornos agrícolas que combinan tecnologías IoT para la supervisión de activos en campo, demostrando la capacidad de estas soluciones para operar en condiciones rurales y extensas [32].

En aplicaciones de monitoreo y localización, los dispositivos equipados con módulos de posicionamiento y transmisores LoRa permiten el seguimiento continuo de activos en entornos rurales y de difícil acceso. Los resultados experimentales evidencian que estas tecnologías ofrecen niveles adecuados de precisión y cobertura para tareas de supervisión territorial y gestión de recursos, manteniendo un bajo consumo energético [30].

Asimismo, el uso de sistemas basados en IoT y LoRaWAN permite la adquisición y transmisión de datos en tiempo real, facilitando el monitoreo de variables en campo y su posterior análisis mediante plataformas especializadas [31]. Estos sistemas suelen integrar microcontroladores, sensores y herramientas de procesamiento de información que permiten almacenar y representar datos geográficos mediante interfaces de visualización en entornos de escritorio, favoreciendo la toma de decisiones basada en datos [33].

Asimismo, LoRaWAN se aplica en sistemas de monitoreo ambiental orientados a la detección temprana de incendios forestales y al control de variables climáticas, demostrando capacidades de cobertura extendida y estabilidad en la transmisión de datos. En estos escenarios, la red permite el envío periódico de parámetros como temperatura, humedad o concentración de

gases hacia un servidor central, donde son analizados en tiempo real [34].

La arquitectura típica de estos sistemas, basada en nodos sensores distribuidos y uno o varios gateways conectados a un servidor, se muestra en la Figura 2.9. Esta estructura distribuida garantiza cobertura extendida con bajo consumo energético, lo que resulta fundamental en aplicaciones donde los dispositivos deben operar durante largos periodos sin mantenimiento frecuente, evidenciando su aplicabilidad en entornos reales [35].

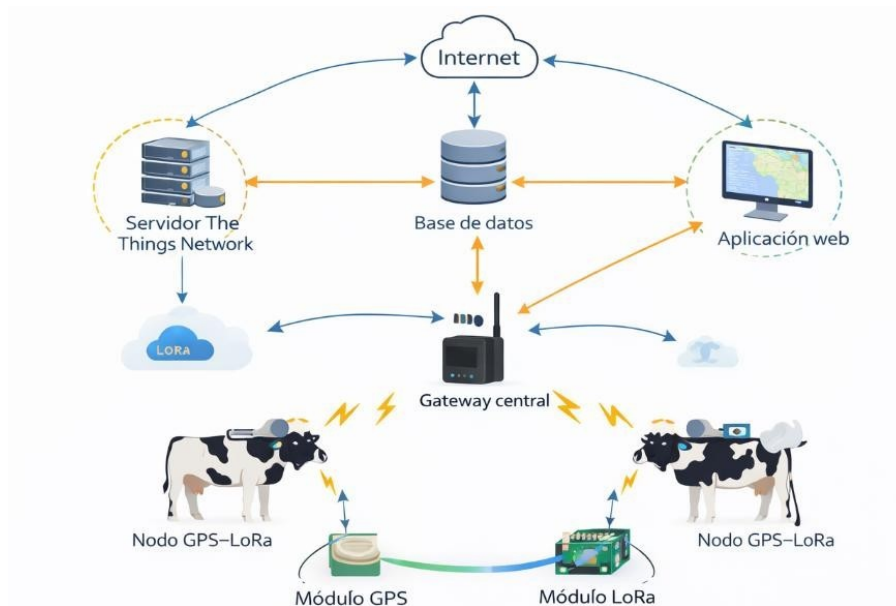


Figura 2.9: Arquitectura de red LoRaWAN para monitoreo ambiental e incendios forestales:

Los resultados obtenidos en estas investigaciones evidencian que LoRaWAN constituye una alternativa viable para sistemas de geolocalización y monitoreo en exteriores, manteniendo un equilibrio adecuado entre alcance, precisión y eficiencia energética. En el contexto de operaciones de búsqueda y rescate, estas características permiten considerar esta tecnología como un medio confiable para la transmisión de coordenadas de posicionamiento desde dispositivos desplegados en campo hacia un centro de comando, asegurando la continuidad de la comunicación incluso en terrenos extensos o con infraestructura limitada [36].

#### 2.2.4. Sistema de comunicación LoRa en escenarios de emergencia y SAR

En situaciones de desastre natural o emergencia, las infraestructuras de comunicación convencionales, como redes celulares o enlaces cableados, pueden verse severamente afectadas o completamente inoperativas. En este contexto, las tecnologías LPWAN, particularmente LoRa,

se evalúan como una alternativa robusta para establecer redes de comunicación autónomas y de rápida implementación en operaciones de búsqueda y rescate (SAR) [37]. Su capacidad de operar en bandas no licenciadas y con bajo consumo energético permite desplegar nodos de comunicación en campo sin depender de infraestructura preexistente.

Diversos estudios han propuesto arquitecturas basadas en redes LoRa tipo malla o configuraciones ad-hoc, diseñadas para mantener la conectividad entre equipos de rescate en entornos hostiles. Estas redes permiten el intercambio de mensajes de estado, coordenadas de ubicación y alertas operativas entre los nodos desplegados, asegurando comunicación básica incluso en condiciones adversas. La estructura general de este tipo de red distribuida, compuesta por nodos móviles y puntos de retransmisión, puede observarse como se muestra en la Fig. 2.10. Este enfoque incrementa la resiliencia del sistema, ya que la falla de un nodo no implica la pérdida total de conectividad.

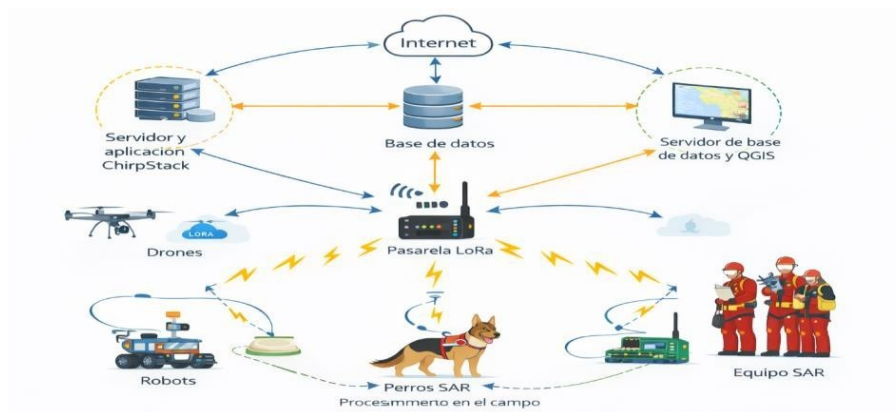


Figura 2.10: Arquitectura de red LoRa tipo malla para comunicaciones de emergencia [2]

En aplicaciones específicas de búsqueda y rescate (SAR), se evalúa la integración de tecnologías LoRa en sistemas de comunicación de emergencia, permitiendo la transmisión de información entre dispositivos en campo sin depender de infraestructura convencional. En este contexto, se desarrollan soluciones basadas en redes LoRa que facilitan el intercambio de datos y la coordinación operativa mediante plataformas de monitoreo y análisis.

La utilización de múltiples nodos y configuraciones adecuadas de la red permite optimizar la cobertura y la confiabilidad de la transmisión en terrenos montañosos o de difícil acceso. Asimismo, se demuestra que la comunicación mediante LoRa puede complementar el uso de dispositivos móviles en tareas de reconocimiento, facilitando la transmisión de información

crítica hacia el centro de comando [2].

Los resultados experimentales indican que la implementación de redes LoRa en escenarios de emergencia mejora la coordinación operativa, reduce los tiempos de respuesta y permite mantener un canal de comunicación estable en áreas donde otras tecnologías resultan ineficaces [38]. En el marco de esta investigación, estas evidencias respaldan el uso de LoRaWAN como medio de transmisión para datos de posicionamiento en operaciones de rescate, contribuyendo a la localización eficiente de víctimas y personal desplegado en campo [39].

En aplicaciones específicas de búsqueda y rescate (SAR), se analiza la integración de tecnologías LoRa con sistemas de monitoreo y plataformas de gestión de información, permitiendo la visualización de datos de ubicación en tiempo real y facilitando la coordinación operativa. La utilización de múltiples nodos y configuraciones adecuadas de la red permite optimizar la cobertura y confiabilidad de la transmisión en terrenos montañosos o de difícil acceso. Asimismo, se evidencia que la comunicación mediante LoRa puede complementar el uso de drones y robots en tareas de reconocimiento, facilitando la transmisión de información crítica hacia el centro de comando [39]. Los resultados experimentales indican que la implementación de redes LoRa en escenarios de emergencia mejora la coordinación operativa, reduce los tiempos de respuesta y permite mantener un canal de comunicación estable en áreas donde otras tecnologías resultan ineficaces [40]. En el marco de esta investigación, estas evidencias respaldan el uso de LoRaWAN como medio de transmisión para datos de posicionamiento GPS en operaciones de rescate, contribuyendo a la localización eficiente de víctimas y personal desplegado en campo [41].

### **2.2.5. Tecnología de apoyo y sistemas híbridos en operaciones de rescate**

Las operaciones de búsqueda y rescate (SAR) se desarrollan en entornos altamente variables, donde las condiciones del terreno, la infraestructura dañada y los riesgos estructurales dificultan el acceso y la comunicación. En este contexto, la incorporación de tecnologías de apoyo, como sistemas robóticos y redes de sensores, permite mejorar la seguridad del personal y optimizar la adquisición de información en tiempo real [42]. Estas soluciones tecnológicas complementan los sistemas de localización y comunicación, ampliando la capacidad operativa en escenarios de desastre.

Los sistemas robóticos habilitados con módulos de comunicación LoRa se emplean pa-

ra tareas de vigilancia, exploración y monitoreo ambiental en zonas afectadas por desastres naturales. Estos dispositivos integran microcontroladores, sensores y módulos de transmisión inalámbrica que permiten enviar información hacia una estación base sin necesidad de infraestructura convencional. La arquitectura general de este tipo de sistema, compuesta por un robot móvil, sensores y un enlace LoRa hacia una plataforma de supervisión, se muestra en la Figura 2.11. Esta configuración reduce la exposición directa del personal de rescate a entornos peligrosos, permitiendo la exploración remota de áreas inestables [43].



Figura 2.11: Sistema robótico con comunicación LoRa para monitoreo en entornos de rescate [3]

Paralelamente, las técnicas operativas tradicionales de rescate, como el uso de sistemas de cuerdas y maniobras especializadas en terrenos verticales o estructuras colapsadas, evidencian la complejidad logística de estas misiones. En tales condiciones, la coordinación precisa entre los equipos resulta fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia de la intervención. La integración de tecnologías de comunicación de largo alcance con estas prácticas operativas permite mantener un monitoreo constante del personal desplegado, facilitando la supervisión de su ubicación y estado durante la ejecución de maniobras críticas [44].

La combinación de sistemas robóticos, redes inalámbricas y técnicas operativas especializadas demuestra que las soluciones tecnológicas deben concebirse como herramientas de apoyo complementarias al trabajo humano. En este sentido, la incorporación de dispositivos GPS–LoRaWAN en operaciones SAR no sustituye los procedimientos tradicionales, sino que forta-

lece la capacidad de coordinación, mejora la conciencia situacional y contribuye a una gestión más eficiente de los recursos en escenarios de emergencia [45].

## 2.2.6. Arquitectura de plataforma y gestión de atos en sistemas IoT

El desarrollo de sistemas IoT orientados al monitoreo y transmisión de datos no se limita únicamente a la capa de comunicación, sino que requiere una arquitectura integral que permita la gestión, procesamiento y visualización de la información recolectada. En este contexto, se proponen soluciones que integran tecnologías de transmisión de largo alcance junto con plataformas de supervisión que permiten el análisis de datos en tiempo real [46]. Este enfoque garantiza que los datos obtenidos por los sensores puedan ser administrados de forma eficiente desde un entorno centralizado.

Un ejemplo representativo de esta integración tecnológica es el diseño de sistemas que emplean diferentes técnicas de comunicación y procesamiento de datos para optimizar la transmisión en entornos distribuidos. En este tipo de arquitectura, los datos capturados por sensores conectados a microcontroladores son transmitidos hacia un gateway o servidor central mediante tecnologías como LoRaWAN, donde pueden ser procesados y analizados mediante algoritmos avanzados [47]. La estructura general de este sistema se presenta en la Figura 2.12, donde se observa la interacción entre los módulos de adquisición, transmisión y plataforma de gestión [48].

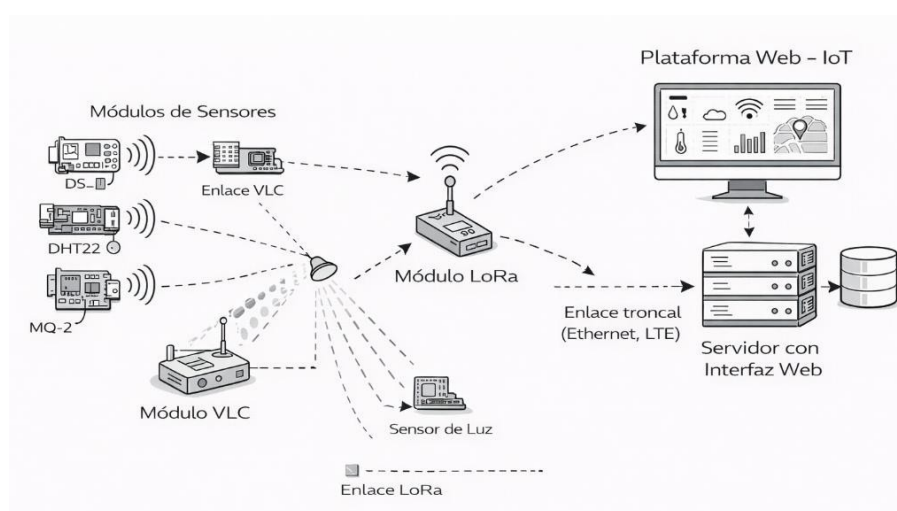


Figura 2.12: Arquitectura híbrida VLC-LoRa para transmisión y gestión de datos en sistemas IoT

En la capa de software, la implementación de un backend basado en Node.js y una interfaz frontend desarrollada en Angular permite la visualización en tiempo real de los parámetros recolectados, facilitando la supervisión remota de los dispositivos. Estas plataformas web de monitoreo y análisis de datos proporcionan herramientas para el almacenamiento, consulta y representación gráfica de la información, mejorando la accesibilidad y la capacidad de análisis por parte de los usuarios. La validación experimental del sistema demostró que el enlace LoRa puede alcanzar distancias de hasta 16 km en áreas rurales, mientras que el enlace VLC opera eficientemente en interiores con alcances aproximados de 3 metros en condiciones óptimas [45].

La implementación de arquitecturas de este tipo evidencia la importancia de integrar comunicación, procesamiento y visualización dentro de un mismo ecosistema tecnológico. En aplicaciones de búsqueda y rescate, disponer de una plataforma centralizada que permita monitorear en tiempo real la ubicación y el estado de los dispositivos desplegados resulta fundamental para la toma de decisiones operativas. Por lo tanto, la incorporación de un sistema de gestión basado en tecnologías web fortalece la funcionalidad de los dispositivos GPS–LoRaWAN, asegurando que la información transmitida pueda ser interpretada y utilizada de manera eficiente en escenarios de emergencia [42].

### **2.2.7. Entorno de desarrollo y herramienta de análisis**

El desarrollo y validación de sistemas de monitoreo basados en GPS y LoRaWAN requieren herramientas que permitan procesar y visualizar la información obtenida. En este contexto, los entornos de programación basados en Python ofrecen una solución adecuada debido a su facilidad de integración con bibliotecas de análisis numérico y representación gráfica [48]. Plataformas como Anaconda y entornos como Spyder facilitan la ejecución y organización del código, permitiendo trabajar con datos estructurados generados por el sistema.

Mediante el uso de librerías especializadas es posible calcular métricas como la velocidad estimada, la distancia entre puntos consecutivos y la distancia acumulada en función del tiempo, las cuales resultan fundamentales para evaluar el desempeño del sistema de localización. Asimismo, la generación de gráficas permite visualizar trayectorias y analizar el comportamiento dinámico de los dispositivos desplegados. Estas herramientas contribuyen a la validación experimental del sistema propuesto, asegurando que los datos transmitidos por los módulos GPS–

LoRaWAN puedan ser interpretados de manera clara y objetiva dentro de una plataforma de análisis integrada [\[47\]](#).

# Capítulo III

## MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Enfoque de la Investigación

El presente trabajo se enmarca dentro de un enfoque metodológico aplicado, tecnológico y experimental, orientado al diseño e implementación de una herramienta de escritorio para la visualización y análisis de datos de posicionamiento obtenidos mediante tecnología LoRa-WAN en operaciones de rescate [49]. La naturaleza aplicada de la investigación radica en la solución de una problemática real asociada al monitoreo y localización en entornos de emergencia, mientras que el componente tecnológico se fundamenta en la integración de sistemas de comunicación inalámbrica, procesamiento de datos y plataformas de visualización.

Investigaciones recientes evalúan la viabilidad de sistemas tecnológicos orientados al apoyo en tareas de evacuación, rescate y exploración, demostrando que la integración de dispositivos inteligentes y plataformas de análisis permite mejorar la gestión de información en escenarios de emergencia [50].

El enfoque adoptado también se sustenta en antecedentes donde se han desarrollado soluciones tecnológicas para la gestión de emergencias y rescate. El diseño de aplicaciones web para optimizar el traslado de pacientes críticos en zonas rurales evidencia la importancia de integrar bases de datos estructuradas, arquitecturas organizadas y sistemas de visualización georeferenciada para mejorar la coordinación operativa [49]. Además, investigaciones en robótica aplicada a búsqueda y rescate han demostrado que la validación experimental en entornos simulados o reales permite medir el desempeño y eficiencia de sistemas inteligentes orientados a la localización de víctimas [50].

En la fase experimental, la investigación contempla el diseño del algoritmo de análisis de trayectorias, la simulación y procesamiento automatizado de datos GPS, así como la implemen-

tación de una interfaz web para su representación geográfica. Para el manejo de información espacial se adoptan enfoques similares a los utilizados en estudios que integran herramientas de análisis geoespacial y automatización mediante programación para el tratamiento eficiente de grandes volúmenes de datos [47].

Finalmente, la validación del sistema se realiza mediante pruebas funcionales en un entorno controlado, verificando la correcta recepción, almacenamiento y visualización de datos. De esta manera, el enfoque metodológico integra revisión de antecedentes tecnológicos, desarrollo experimental y evaluación funcional, asegurando coherencia entre el marco conceptual y la solución implementada para aplicaciones de monitoreo en operaciones de rescate.

## **3.2. Diseño de la Investigación**

### **3.2.1. Fase 1: *Análisis e investigación preliminar***

#### **Actividad 1: *Desarrollo del algoritmo de procesamiento de datos GPS***

Se estudian los diferentes tipos de algoritmos para el análisis de la información de posicionamiento global (GPS) con el propósito de diseñar un sistema eficiente de monitoreo. La información que recopila proviene de libros, artículos científicos, trabajos académicos y otras fuentes confiables que se relacionen con la localización geográfica y el procesamiento de datos GPS.

#### **Actividad 2: *Análisis de necesidad y diseño de la interfaz de usuario***

Se identifican las necesidades de los rescatistas para la creación de una interfaz visual de usuario que sea amigable y funcional. Se definen los requisitos de diseño que garanticen la facilidad de uso y su accesibilidad a la información obtenida por el sistema.

### **3.2.2. Fase 2 :*Desarrollo e integración de componentes***

#### **Actividad 1: *Desarrollo del algoritmo de procesamiento de datos GPS***

Se desarrolla un algoritmo para poder procesar la información recibida de los dispositivos GPS. El propósito es consolidar los datos para presentarlos de forma visual en la interfaz de usuario. Esta actividad incluye pruebas de simulación y la depuración del código para asegurar

su correcto funcionamiento.

### **Actividad 2: *Desarrollo de la interfaz de usuario basada en la necesidad de los rescatistas***

Se diseña e implementa una interfaz visual intuitiva que sea accesible para los rescatistas. La interfaz permite acceder de forma rápida a la información de ubicación obtenida por los dispositivos GPS.

### **3.2.3. Fase 3: *Integración y ajuste del sistema***

#### **Actividad 1: *Integración del algoritmo y la interfaz de usuario***

El algoritmo de procesamiento de datos GPS se integra con la interfaz de usuario para fortalecer el sistema de monitoreo. Se realizan pruebas de funcionamiento que validen la correcta función y comunicación de ambos componentes.

#### **Actividad 2: *Ajustes y puesta a punto del sistema***

Se realizan los ajustes finales que el sistema requiera, sea para el software o el hardware, para de esta manera asegurar su correcto funcionamiento en las condiciones reales. De igual manera, se implica la corrección de errores, la calibración de los dispositivos y la optimización de la interfaz de usuario.

### **3.2.4. Fase 4: *Validación y pruebas finales***

#### **Actividad 1: *Pruebas de funcionamiento del sistema en condiciones reales***

Con simulaciones bajo condiciones reales de una operación de rescate, el sistema se somete a pruebas en un entorno controlado. Se verifica la precisión de la ubicación GPS, la conectividad de la red LoRaWAN y la correcta visualización de la información en la interfaz.

#### **Actividad 2: *Recolección y análisis de resultados***

Los datos obtenidos en las pruebas se analizan para evaluar la precisión, la estabilidad y la efectividad del sistema. Se generan informes que permitan realizar las correcciones necesarias para la mejora continua del sistema.

# Capítulo IV

## DESARROLLO

El presente capítulo describe el proceso de desarrollo, implementación y validación del sistema propuesto para la visualización y análisis de información de monitoreo en operaciones de rescate, basado en datos de posicionamiento geográfico y orientado a su integración con tecnologías de transmisión de largo alcance como LoRaWAN. En esta sección se presentan los procedimientos técnicos empleados, las herramientas de desarrollo utilizadas y los resultados obtenidos a partir de las diferentes etapas de implementación y prueba del sistema.

A diferencia del capítulo anterior, en el cual se establecieron los fundamentos metodológicos y el enfoque de investigación que sustentan el trabajo, en este capítulo se expone la materialización práctica del sistema desarrollado, evidenciando el cumplimiento de los objetivos específicos planteados en la investigación. Para ello, se describen las etapas de diseño, implementación y evaluación de las herramientas de software creadas para la generación, procesamiento y análisis de datos de posicionamiento geográfico.

El desarrollo del sistema se estructura en dos componentes principales. El primero corresponde a la implementación de un entorno de simulación desarrollado en el entorno de programación Anaconda utilizando Jupyter Notebook. Esta etapa permite modelar escenarios de desplazamiento de un rescatista hacia una posible víctima, generando trayectorias geográficas y métricas asociadas al movimiento. Durante la simulación se emplean modelos matemáticos para el cálculo de distancias geodésicas entre coordenadas GPS y se realiza la actualización dinámica de la posición del rescatista, permitiendo representar gráficamente el recorrido sobre un mapa interactivo basado en OpenStreetMap. Como resultado de este proceso, el sistema genera archivos estructurados en formato Excel que almacenan información temporal y espacial del desplazamiento simulado.

El segundo componente corresponde al desarrollo de una plataforma de análisis de datos

implementada en el entorno de programación Anaconda utilizando Spyder. Esta plataforma permite cargar los archivos generados durante la etapa de simulación o provenientes de dispositivos reales de monitoreo, con el objetivo de procesar la información y calcular diversas métricas relacionadas con el comportamiento del desplazamiento. Dentro de esta interfaz se incorporan herramientas de visualización que facilitan la interpretación de los datos mediante gráficas, representaciones geográficas del recorrido y cálculos automáticos de parámetros como distancia acumulada, velocidad de desplazamiento y tiempos estimados de llegada.

El sistema se concibe bajo un enfoque modular, lo que permite separar claramente la etapa de generación de datos de la etapa de análisis. Esta estructura facilita la escalabilidad del sistema y su adaptación a escenarios reales de monitoreo en operaciones de rescate. Asimismo, permite integrar posteriormente datos obtenidos desde sensores físicos o dispositivos de localización que transmiten información mediante tecnologías de comunicación de bajo consumo como LoRaWAN.

Con el fin de proporcionar una visión global del funcionamiento del sistema implementado, en la Fig. 4.1, se presenta el diagrama de flujo general del proceso desarrollado. Este diagrama ilustra las diferentes etapas que componen el sistema, desde la generación de datos mediante la simulación de trayectorias hasta el análisis y visualización de la información, permitiendo comprender de manera estructurada el flujo de procesamiento de los datos dentro de la herramienta propuesta.

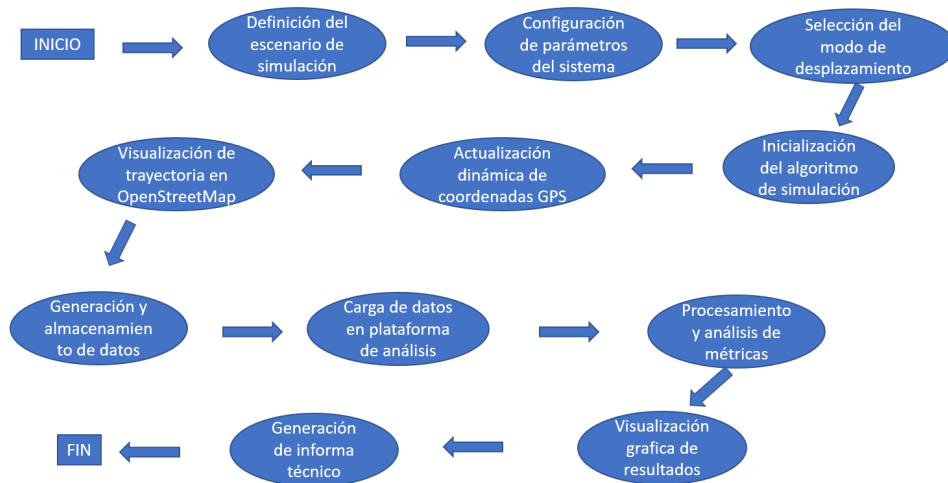


Figura 4.1: Diagrama de flujo general del sistema de simulación y análisis de datos de posicionamiento para operaciones de rescate.

Este capítulo se organiza en secciones que describen detalladamente cada etapa del proceso, incluyendo la estructura del algoritmo de simulación, la implementación de la interfaz de análisis y la validación del sistema mediante pruebas con datos simulados y datos reales. De esta manera, se garantiza una exposición clara y técnica del funcionamiento del sistema, sustentando los resultados obtenidos y su contribución al cumplimiento de los objetivos de la investigación.

## 4.1. Definición del escenario de simulación

La definición del escenario de simulación constituye la primera etapa del proceso de desarrollo del sistema propuesto para el análisis de operaciones de rescate. En esta fase se establecen las condiciones iniciales bajo las cuales se genera el entorno virtual que permite modelar el desplazamiento de un rescatista hacia una posible ubicación de una víctima utilizando coordenadas geográficas.

El escenario de simulación se implementa mediante el entorno de desarrollo Anaconda Jupyter Notebook, el cual permite ejecutar código de forma interactiva y organizar el proceso de programación en bloques estructurados. Esta característica facilita la construcción progresiva del algoritmo de simulación y permite visualizar los resultados generados durante cada etapa del proceso.

En el sistema desarrollado, el escenario se construye considerando la representación espacial de un entorno geográfico real mediante coordenadas de latitud y longitud, las cuales permiten ubicar posiciones específicas sobre la superficie terrestre. A partir de estas coordenadas se modela el movimiento del rescatista hacia un punto objetivo que representa la posible localización de la víctima dentro de una operación de rescate.

La simulación se estructura mediante un conjunto de bloques de código que permiten configurar el entorno de ejecución, definir las coordenadas iniciales del sistema, establecer los parámetros de desplazamiento y generar las trayectorias que representan el recorrido del rescatista. Cada bloque cumple una función específica dentro del proceso de simulación, permitiendo separar de manera clara las distintas etapas del algoritmo.

Adicionalmente, el sistema incorpora herramientas de visualización geográfica basadas en OpenStreetMap, lo que permite representar el desplazamiento del rescatista sobre un mapa interactivo. Esta representación facilita la interpretación del movimiento generado por el algoritmo y permite observar de forma gráfica el comportamiento del sistema durante la simulación.

Con el fin de comprender el proceso completo de generación del escenario de simulación, en la Fig. 4.2 se presenta el diagrama de flujo correspondiente a esta etapa, en el cual se muestran las principales actividades realizadas durante la configuración inicial del sistema.

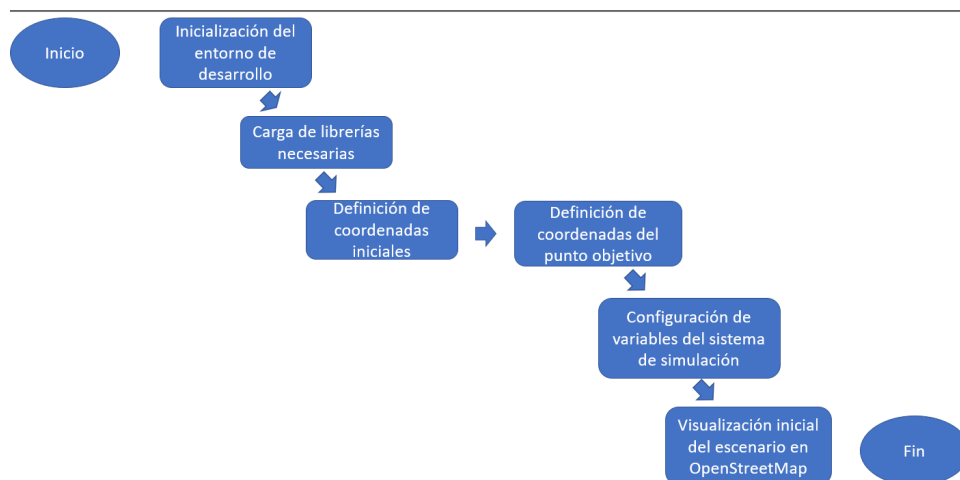


Figura 4.2: Diagrama de flujo del proceso de generación del escenario de simulación para el desplazamiento del rescatista.

### 4.1.1. Inicialización del entorno de desarrollo

La implementación del sistema de simulación se desarrolla utilizando la distribución Anaconda, la cual proporciona un entorno integrado para el desarrollo de aplicaciones científicas y el análisis de datos mediante el lenguaje de programación Python. Este entorno ofrece herramientas especializadas para la gestión de bibliotecas, ejecución de código y visualización de resultados, facilitando el desarrollo de aplicaciones orientadas al procesamiento de información.

Dentro de la plataforma Anaconda se utiliza específicamente Jupyter Notebook, una herramienta que permite ejecutar código en celdas independientes, lo que facilita la organización del algoritmo en bloques estructurados. Esta característica resulta especialmente útil durante el desarrollo de modelos de simulación, ya que permite evaluar el comportamiento del sistema en cada etapa del proceso sin necesidad de ejecutar el programa completo de forma continua.

El entorno de Jupyter Notebook permite además integrar código, visualizaciones gráficas y descripciones textuales dentro de un mismo documento, como se muestra en la Fig. 4.3. Esta funcionalidad facilita tanto el análisis de los resultados obtenidos como la documentación del proceso de desarrollo. En el sistema propuesto, esta herramienta se emplea para implementar el algoritmo encargado de simular el desplazamiento de un rescatista hacia una ubicación objetivo dentro del escenario de rescate.

La inicialización del entorno de desarrollo consiste en ejecutar la plataforma Jupyter Notebook desde la distribución Anaconda y crear un archivo de trabajo en el cual se organizan los diferentes bloques de código que conforman el sistema de simulación. Cada bloque cumple una función específica dentro del proceso, incluyendo la importación de librerías necesarias, la definición de variables del sistema y la generación de los resultados obtenidos durante la simulación.

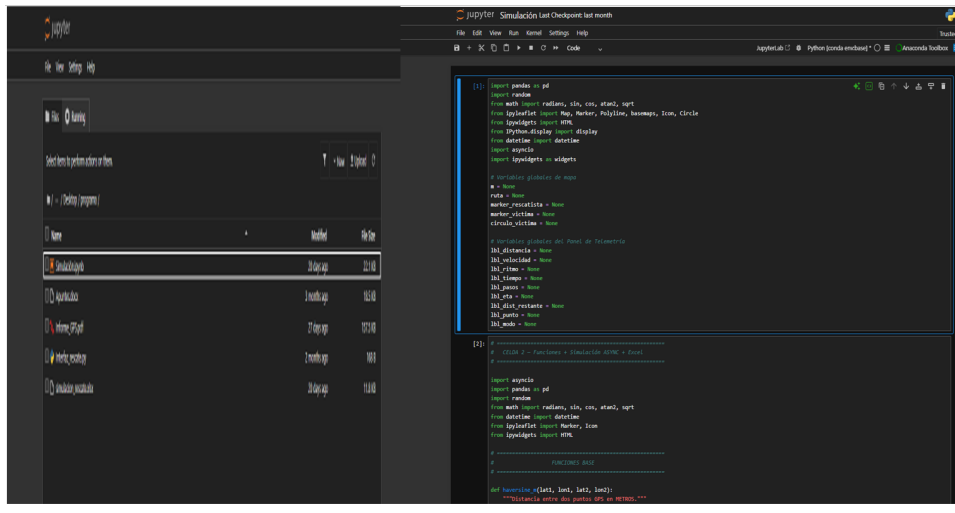


Figura 4.3: Entorno de desarrollo Jupyter Notebook utilizado para la implementación del algoritmo de simulación del sistema.

#### 4.1.2. Carga de librerías utilizadas en el sistema

Una vez inicializado el entorno de desarrollo, el siguiente paso consiste en cargar las librerías necesarias para la ejecución del sistema de simulación. En el lenguaje de programación Python, las librerías corresponden a conjuntos de funciones y herramientas previamente desarrolladas que permiten realizar operaciones matemáticas, manipular datos, generar visualizaciones y trabajar con información geográfica.

En el sistema propuesto se utilizan diversas librerías especializadas que permiten implementar las diferentes funcionalidades requeridas por el algoritmo de simulación, como se muestra en la Fig. 4.4. Entre las principales librerías utilizadas se encuentran NumPy, Pandas, Folium, Matplotlib y Math, cada una de las cuales cumple funciones específicas dentro del procesamiento y visualización de los datos generados.

La librería NumPy se emplea para realizar operaciones matemáticas y manejar estructuras de datos numéricos de manera eficiente. Esta librería resulta especialmente útil para ejecutar cálculos relacionados con distancias, desplazamientos y operaciones vectoriales que intervienen en el proceso de simulación.

Por otra parte, Pandas se utiliza para la manipulación y almacenamiento de los datos generados durante la simulación. Mediante esta librería es posible organizar la información en estructuras tipo tabla conocidas como DataFrames, lo que facilita el registro de variables como

latitud, longitud, distancia recorrida y tiempo de desplazamiento.

La visualización geográfica del recorrido del rescatista se realiza mediante la librería Folium, la cual permite generar mapas interactivos basados en la plataforma OpenStreetMap. Esta herramienta facilita la representación espacial del movimiento del rescatista y permite observar la trayectoria generada durante la simulación.

Adicionalmente, la librería Matplotlib se utiliza para generar representaciones gráficas de los datos obtenidos durante el proceso de simulación, permitiendo analizar variables como la distancia recorrida y la evolución temporal del desplazamiento.

Finalmente, la librería Math proporciona funciones matemáticas básicas necesarias para realizar cálculos trigonométricos y operaciones utilizadas en la actualización de coordenadas geográficas dentro del algoritmo de simulación.

```
import pandas as pd
import random
from math import radians, sin, cos, atan2, sqrt
from ipyleaflet import Map, Marker, Polyline, basemaps, Icon, Circle
from ipywidgets import HTML
from IPython.display import display
from datetime import datetime
import asyncio
import ipywidgets as widgets
```

Figura 4.4: Importación de librerías utilizadas para la implementación del sistema de simulación en Python.

Las librerías anteriormente mencionadas permiten implementar las diferentes funciones necesarias dentro del algoritmo de simulación.

### 4.1.3. Definición de coordenadas iniciales y punto objetivo

Una vez cargadas las librerías necesarias para la ejecución del sistema de simulación, el siguiente paso consiste en definir las coordenadas geográficas que establecen el escenario espacial donde se desarrolla el proceso de desplazamiento del rescatista. Estas coordenadas permiten representar posiciones reales sobre la superficie terrestre y constituyen la base para el cálculo de trayectorias dentro del sistema.

Las coordenadas geográficas se expresan mediante dos parámetros fundamentales: latitud y longitud. La latitud representa la distancia angular de un punto con respecto a la línea del

ecuador terrestre, mientras que la longitud indica la distancia angular respecto al meridiano de Greenwich. La combinación de ambos valores permite identificar de manera precisa la ubicación de un punto específico sobre la superficie del planeta.

En el sistema desarrollado se definen dos posiciones principales. La primera corresponde al punto inicial del rescatista, el cual representa la ubicación desde donde comienza el desplazamiento durante la operación de rescate simulada. La segunda corresponde al punto objetivo, el cual representa la posible localización de la víctima dentro del escenario analizado.

Estas coordenadas se almacenan en variables dentro del código del sistema de simulación y son utilizadas posteriormente por el algoritmo encargado de calcular las trayectorias de desplazamiento. Durante la ejecución del programa, el sistema actualiza progresivamente la posición del rescatista mediante la generación de nuevas coordenadas que representan el avance hacia el punto objetivo.

La correcta definición de estas coordenadas resulta fundamental para garantizar que la simulación represente de manera adecuada un escenario de desplazamiento geográfico real. A partir de estas posiciones iniciales se generan posteriormente los cálculos de distancia, el tiempo estimado de desplazamiento y las trayectorias recorridas por el rescatista, como se muestra en la Fig. 4.5.

```
# Coordenadas del rescatista
rescuer_lat = 0.363209
rescuer_lon = -78.110327

# Coordenadas de la víctima
victim_lat = 0.361200
victim_lon = -78.109157

# Reset de valores globales
m = None
ruta = None
marker_rescatista = None
marker_victima = None
circulo_victima = None
```

Figura 4.5: Definición de coordenadas geográficas iniciales utilizadas en el sistema de simulación.

#### 4.1.4. Configuración de variables del sistema de simulación

Una vez definidas las coordenadas iniciales del escenario, el sistema procede a configurar las variables necesarias para el funcionamiento del algoritmo de simulación. Estas variables permiten almacenar la información generada durante el proceso de desplazamiento del rescatista y facilitan el cálculo de las métricas que posteriormente serán utilizadas para el análisis de los resultados.

Dentro del programa desarrollado en el entorno Jupyter Notebook se inicializan diversas variables que permiten registrar parámetros como la posición actual del rescatista, el tiempo transcurrido durante la simulación, la distancia recorrida y la distancia acumulada del desplazamiento. Estas variables se actualizan de manera dinámica a medida que el algoritmo genera nuevas posiciones dentro de la trayectoria simulada.

Adicionalmente, el sistema utiliza estructuras de almacenamiento que permiten registrar los datos generados durante cada iteración del algoritmo. Estas estructuras generalmente se implementan mediante listas o estructuras tipo DataFrame proporcionadas por la librería Pandas, las cuales permiten organizar la información en formato tabular.

El uso de estructuras tipo DataFrame resulta particularmente útil para el manejo de datos

generados durante la simulación, ya que permite almacenar de forma estructurada información como las coordenadas de posición, el tiempo asociado a cada punto del recorrido y la distancia calculada entre posiciones consecutivas. Esta organización de datos facilita posteriormente la exportación de la información hacia archivos en formato Excel para su posterior análisis.

La correcta configuración de estas variables garantiza que el sistema pueda registrar de manera ordenada toda la información generada durante el proceso de simulación, permitiendo posteriormente calcular métricas relevantes para la evaluación del desempeño del desplazamiento del rescatista, como se muestra en la Fig. 4.6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Z	Hora	Latitud	Longitud	Distancia_delta_m	Distancia_total_m	Distancia_a_victima_m	Pasos	Avance_estimado_m	Modo

Figura 4.6: Inicialización de variables utilizadas para el registro de información durante la simulación del desplazamiento.

#### 4.1.5. Visualización inicial del escenario en OpenStreetMap

Una vez definidas las coordenadas del escenario y configuradas las variables necesarias para el funcionamiento del sistema, el siguiente paso consiste en generar la representación geográfica del escenario de simulación. Para ello se utiliza la librería Folium, la cual permite crear mapas interactivos basados en la plataforma cartográfica OpenStreetMap.

Mediante esta herramienta el sistema genera un mapa que muestra la ubicación del punto inicial del rescatista y del punto objetivo dentro del escenario de simulación. Esta representación visual permite verificar que las coordenadas definidas previamente corresponden a ubicaciones válidas dentro del entorno geográfico considerado.

El uso de mapas interactivos facilita además la interpretación de los resultados generados por el sistema, ya que permite visualizar el recorrido del rescatista sobre una representación geográfica real. Durante la simulación, el sistema actualiza el mapa incorporando nuevos puntos que representan la trayectoria generada por el algoritmo de desplazamiento.

Esta capacidad de visualización constituye una herramienta fundamental para el análisis del comportamiento del sistema, ya que permite observar de manera gráfica el proceso de desplazamiento del rescatista hacia el punto objetivo dentro del escenario definido, como se muestra en la Fig. 4.7.

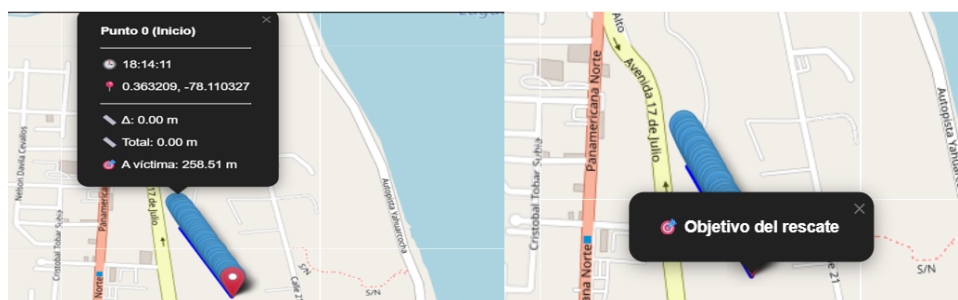


Figura 4.7: Representación geográfica del escenario de simulación generada mediante la librería Folium y la plataforma OpenStreetMap.

## 4.2. Configuración de parámetros del sistema

### 4.2.1. Definición de coordenadas iniciales del rescatista

El proceso de simulación del desplazamiento del rescatista requiere establecer inicialmente un punto geográfico de referencia desde el cual se inicia el movimiento dentro del escenario de búsqueda. Para ello, el sistema define las coordenadas iniciales correspondientes a la posición del rescatista utilizando el sistema de referencia geográfica basado en latitud y longitud.

Las coordenadas geográficas permiten representar posiciones sobre la superficie terrestre mediante valores angulares que indican la ubicación respecto al ecuador y al meridiano de referencia. En el contexto del sistema desarrollado, estas coordenadas constituyen el punto de partida del algoritmo de simulación y sirven como base para la generación progresiva de nuevas posiciones durante el desplazamiento.

La latitud representa la distancia angular de un punto respecto al ecuador terrestre y se expresa en grados hacia el norte o hacia el sur. Por su parte, la longitud representa la distancia angular respecto al meridiano de Greenwich y se expresa en grados hacia el este o hacia el oeste. La combinación de estos dos valores permite determinar de manera precisa la ubicación geográfica del rescatista dentro del escenario de simulación.

Durante la configuración del sistema, estas coordenadas iniciales se definen como variables dentro del código de simulación. Dichas variables permiten almacenar los valores correspondientes a la posición inicial del rescatista y funcionan como referencia para el cálculo de las siguientes posiciones generadas por el algoritmo. A partir de este punto inicial, el sistema actua-

liza progresivamente las coordenadas con el fin de simular el desplazamiento hacia la ubicación estimada de la víctima.

El uso de coordenadas geográficas como punto de inicio permite representar el desplazamiento dentro de un contexto espacial realista, lo cual resulta fundamental para analizar posteriormente el comportamiento de la trayectoria generada y las métricas asociadas al movimiento.

```
# Coordenadas del rescatista
rescuer_lat = 0.363209
rescuer_lon = -78.110327

# Coordenadas de la víctima
victim_lat = 0.361200
victim_lon = -78.109157

# Reset de valores globales
m = None
ruta = None
marker_rescatista = None
marker_victima = None
circulo_victima = None
```

Figura 4.8: Definición de las coordenadas iniciales del rescatista dentro del sistema de simulación

Como se observa en la Fig. 4.8, el sistema define las variables que almacenan los valores de latitud y longitud correspondientes a la posición inicial del rescatista. Estas variables permiten establecer el punto de partida del algoritmo y constituyen la base para el cálculo de las nuevas coordenadas generadas durante el proceso de simulación del desplazamiento. Una vez establecida la posición inicial del rescatista, el sistema procede a definir el punto geográfico hacia el cual se dirige el desplazamiento simulado. Este punto corresponde a la ubicación estimada de la víctima y funciona como referencia para orientar el movimiento dentro del escenario de búsqueda.

### 4.2.2. Definición de coordenadas objetivo

Después de establecer la posición inicial del rescatista, el sistema requiere definir el punto geográfico que representa el destino del desplazamiento dentro del escenario de simulación. Este punto corresponde a la ubicación estimada de la víctima y funciona como referencia espacial para orientar el movimiento generado por el algoritmo.

La definición de este punto objetivo se realiza mediante coordenadas geográficas expresadas en términos de latitud y longitud. Estas coordenadas permiten representar la ubicación del destino dentro del mapa y facilitan el cálculo de la relación espacial existente entre la posición actual del rescatista y el punto hacia el cual se dirige durante la simulación.

Dentro del algoritmo, estas coordenadas se almacenan en variables específicas que contienen los valores correspondientes al punto objetivo. A partir de esta información, el sistema puede determinar la dirección general del desplazamiento y calcular las variaciones necesarias en las coordenadas durante cada iteración del proceso de simulación.

La presencia de un punto objetivo resulta fundamental para el funcionamiento del modelo, ya que permite establecer una referencia clara hacia la cual se orienta el movimiento del rescatista. De esta manera, el algoritmo puede generar trayectorias que representen el avance progresivo desde la posición inicial hasta la ubicación estimada de la víctima dentro del escenario de búsqueda, como se muestra en la Fig. 4.9.

```
# Coordenadas de la víctima  
victim_lat = 0.361200  
victim_lon = -78.109157
```

Figura 4.9: Definición de las coordenadas del punto objetivo que representa la ubicación estimada de la víctima dentro del sistema de simulación

### 4.2.3. Parámetros de control de la simulación

Una vez definidos el punto inicial del rescatista y la ubicación objetivo dentro del escenario de búsqueda, el sistema establece los parámetros que regulan el comportamiento del algoritmo durante la ejecución de la simulación. Estos parámetros permiten controlar la manera en que se generan las posiciones geográficas y determinan la dinámica del desplazamiento representado.

El algoritmo implementado funciona mediante un proceso iterativo en el cual las coordenadas del rescatista se actualizan progresivamente a lo largo del tiempo. Cada iteración produce una nueva posición geográfica que forma parte de la trayectoria simulada. Por esta razón, es necesario definir ciertos valores que permitan regular la cantidad de iteraciones y la magnitud de los cambios aplicados a las coordenadas.

Uno de los parámetros fundamentales corresponde al número de pasos de simulación. Este valor determina cuántas veces se ejecuta el proceso de actualización de coordenadas y, por lo tanto, establece la cantidad total de posiciones que formarán parte de la trayectoria generada. A través de este parámetro es posible controlar el nivel de detalle del recorrido representado dentro del sistema.

Otro aspecto relevante corresponde al incremento aplicado durante cada paso del algoritmo. Este valor define la magnitud del desplazamiento que experimenta el rescatista entre dos posiciones consecutivas. La selección adecuada de este parámetro permite generar trayectorias más suaves y progresivas, lo cual facilita posteriormente el análisis del comportamiento del movimiento, como se muestra en la Fig. 4.10.

```
# Parámetros de paso
paso_m = 0.75
pasos_min, pasos_max = 8, 20
distancia_objetivo = 6

lat_r, lon_r = rescuer_lat, rescuer_lon
dist_acum = 0.0
punto_id = 0
```

Figura 4.10: Configuración de los parámetros del algoritmo que controlan el proceso iterativo de simulación del desplazamiento

#### 4.2.4. Inicialización de estructuras para almacenamiento de datos

Durante la ejecución del algoritmo se generan múltiples valores asociados al desplazamiento del rescatista, incluyendo las coordenadas geográficas calculadas en cada iteración y las

distancias recorridas entre posiciones consecutivas. Para registrar esta información de manera organizada, el sistema inicializa previamente las estructuras de almacenamiento que permitirán guardar los datos producidos durante la simulación.

Estas estructuras funcionan como contenedores donde se almacenan secuencialmente los valores generados por el algoritmo. A medida que el proceso de simulación avanza, cada nueva posición calculada se incorpora a estas estructuras, formando un registro completo de la trayectoria recorrida.

La organización de los datos mediante este tipo de estructuras facilita el procesamiento posterior de la información, ya que permite acceder a los valores generados durante cada paso de la simulación y utilizarlos para calcular métricas relacionadas con el desplazamiento, como se muestra en la Fig. 4.11.

```
inicio_marker = Marker(location=(lat_r, lon_r))
inicio_marker.popup = popup0
m.add_layer(inicio_marker)

registros = []
registros.append({
    "Punto": 0,
    "Hora": hora0,
    "Latitud": lat_r,
    "Longitud": lon_r,
    "Distancia_delta_m": 0,
    "Distancia_total_m": 0,
    "Distancia_a_victima_m": dist0,
    "Pasos": 0,
    "Avance_estimado_m": 0,
    "Modo": modo
})
```

Figura 4.11: Inicialización de estructuras de almacenamiento utilizadas para registrar los datos de la trayectoria simulada

#### **4.2.5. Preparación del sistema para la ejecución de la simulación**

Una vez definidos los parámetros del sistema y preparadas las estructuras destinadas al almacenamiento de datos, el algoritmo se encuentra listo para iniciar el proceso de simulación del desplazamiento del rescatista. En esta etapa, todos los elementos necesarios para la ejecución del modelo han sido previamente configurados, lo que permite garantizar un funcionamiento adecuado del sistema.

La preparación del entorno de simulación incluye la verificación de las variables iniciales, la correcta inicialización de las estructuras de almacenamiento y la disponibilidad de los parámetros que controlan el comportamiento del algoritmo. De esta manera, el sistema puede iniciar el proceso iterativo encargado de generar la trayectoria del rescatista dentro del escenario de búsqueda.

Este procedimiento marca el final de la etapa de configuración del sistema y da paso a la ejecución del algoritmo de simulación, en el cual se implementan los diferentes modos de desplazamiento definidos para representar posibles estrategias de movimiento dentro de una operación de rescate.

### **4.3. Selección del modo de desplazamiento**

Una vez finalizada la etapa de configuración de los parámetros del sistema, el algoritmo se encuentra preparado para iniciar el proceso de simulación del desplazamiento del rescatista dentro del escenario de búsqueda. Sin embargo, antes de ejecutar el cálculo de nuevas coordenadas geográficas, el sistema debe determinar el patrón de movimiento que será utilizado para representar la trayectoria del rescatista.

La selección del modo de desplazamiento constituye un elemento fundamental dentro del modelo de simulación, ya que permite representar diferentes estrategias de movimiento que pueden presentarse durante una operación real de búsqueda y rescate. Cada modo implementado dentro del sistema define una forma particular de desplazamiento, lo cual influye directamente en la trayectoria generada y en las métricas obtenidas durante el proceso de análisis.

En el sistema desarrollado se implementan tres modos de desplazamiento principales, los cuales permiten simular distintos comportamientos de movimiento durante la operación de rescate. Estos modos corresponden al modo de desplazamiento directo, el modo de desplazamiento

en zigzag y el modo de descanso, cada uno de los cuales presenta características específicas que afectan la forma en que se actualizan las coordenadas geográficas durante la simulación.

La implementación de múltiples modos de desplazamiento permite evaluar diferentes escenarios de movimiento y analizar el comportamiento del rescatista bajo distintas condiciones operativas. De esta manera, el sistema no solo genera trayectorias simuladas, sino que también proporciona información útil para el análisis del desempeño del desplazamiento en función del patrón de movimiento seleccionado. En la Fig. 4.12 se presenta un diagrama de flujo que describe el proceso general mediante el cual el sistema selecciona el modo de desplazamiento que será utilizado durante la simulación.

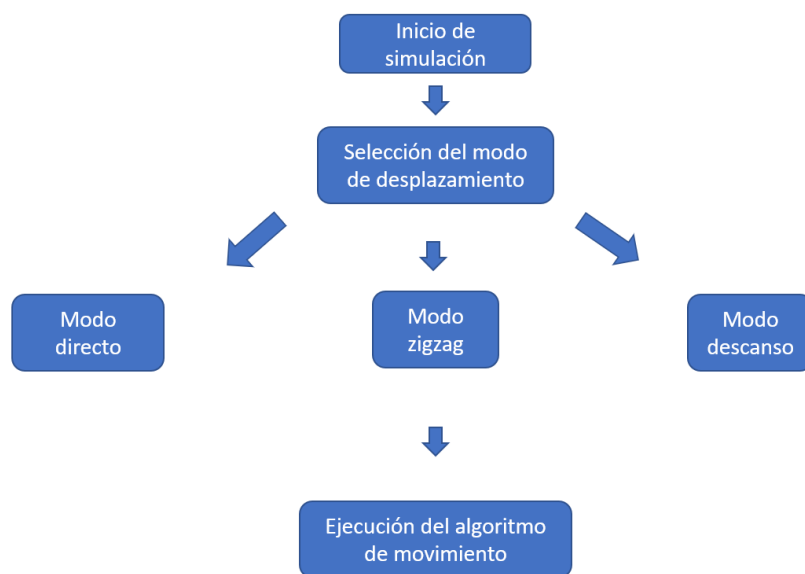


Figura 4.12: Diagrama de flujo del proceso de selección del modo de desplazamiento del rescatista dentro del sistema de simulación

### 4.3.1. Modo de desplazamiento directo

El modo de desplazamiento directo representa el escenario más simple dentro del modelo de simulación desarrollado. En este modo, el rescatista se desplaza de manera progresiva desde su posición inicial hacia la ubicación estimada de la víctima siguiendo una trayectoria orientada directamente hacia el punto objetivo.

Este tipo de desplazamiento permite simular situaciones en las cuales el rescatista tiene

conocimiento claro de la dirección en la que se encuentra la víctima o cuando el terreno permite realizar un movimiento relativamente recto hacia el destino. Bajo estas condiciones, el algoritmo actualiza las coordenadas geográficas del rescatista de manera gradual, reduciendo progresivamente la distancia existente entre el punto inicial y la ubicación objetivo.

Durante la ejecución del algoritmo, el sistema calcula en cada iteración una nueva posición geográfica que se aproxima al punto objetivo. Este procedimiento genera una serie de coordenadas que, al ser representadas sobre el mapa, forman una trayectoria continua entre el punto de inicio y el destino de la simulación.

El comportamiento del desplazamiento directo permite analizar de forma sencilla el progreso del movimiento, ya que la trayectoria generada mantiene una orientación relativamente constante hacia el objetivo. Esto facilita la interpretación de métricas como la distancia recorrida, el tiempo estimado de desplazamiento y la eficiencia del movimiento dentro del escenario de simulación, como se muestra en la Fig. 4.13.

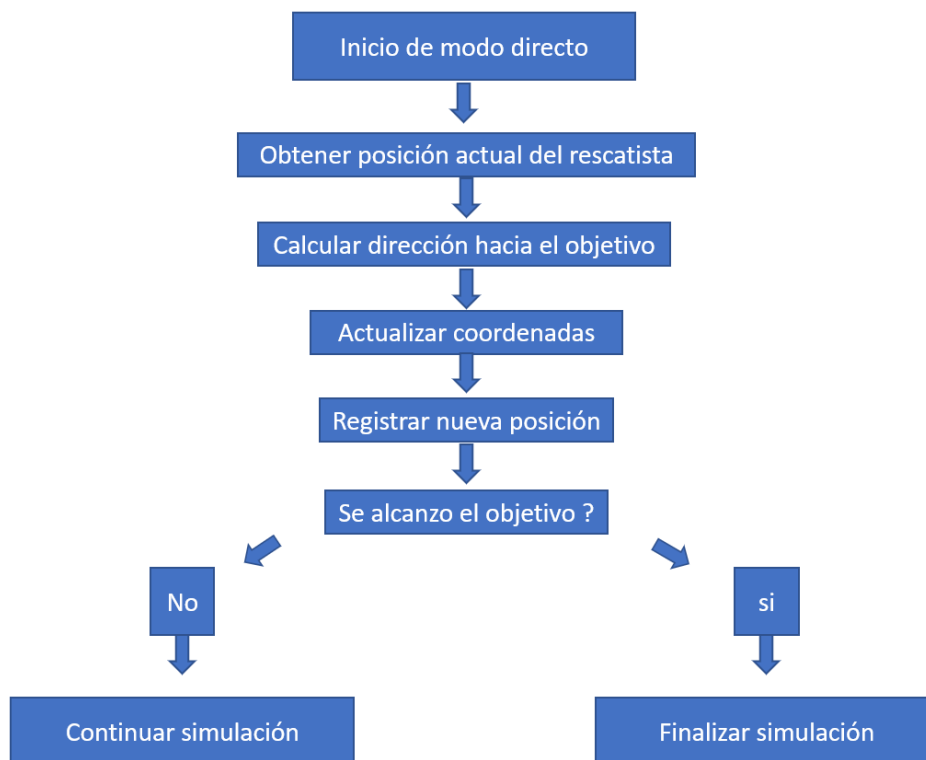


Figura 4.13: Trayectoria generada mediante el modo de desplazamiento directo entre la posición inicial del rescatista y la ubicación estimada de la víctima

### **4.3.2. Modo de desplazamiento en zigzag**

A diferencia del desplazamiento directo, el modo de movimiento en zigzag permite representar un patrón de exploración más amplio dentro del escenario de búsqueda. Este tipo de trayectoria se emplea para simular situaciones en las que el rescatista no se dirige únicamente hacia un punto específico, sino que realiza desplazamientos laterales alternados con el objetivo de cubrir una mayor extensión del terreno.

El patrón de movimiento en zigzag suele aplicarse en operaciones de búsqueda cuando existe incertidumbre acerca de la ubicación exacta de la víctima. En estos casos, los rescatistas realizan desplazamientos alternados que permiten explorar diferentes zonas del entorno mientras mantienen una dirección general de avance hacia el área objetivo.

En el sistema propuesto, este comportamiento se implementa introduciendo variaciones controladas en las coordenadas geográficas generadas durante cada iteración del algoritmo. Estas variaciones producen cambios alternados en la trayectoria del rescatista, generando un patrón de desplazamiento que se asemeja a una secuencia de movimientos diagonales respecto a la dirección principal del recorrido.

Este tipo de trayectoria permite representar de manera más realista ciertos escenarios de búsqueda en los que es necesario explorar el terreno mientras se avanza hacia una posible ubicación de la víctima. Como consecuencia, la trayectoria resultante presenta cambios periódicos en la dirección del movimiento, lo cual se refleja posteriormente en las métricas obtenidas durante el análisis de la simulación. En la Fig. 4.14 se presenta un diagrama de flujo que describe el procedimiento general utilizado por el algoritmo para generar el patrón de desplazamiento en zigzag.

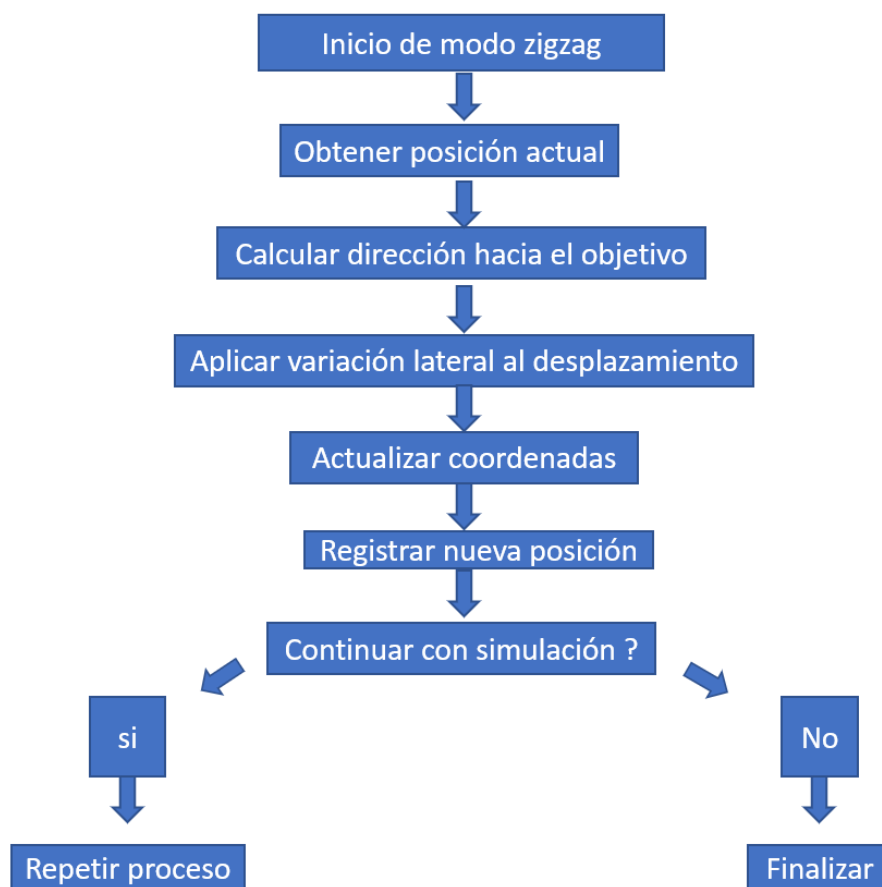


Figura 4.14: Diagrama de flujo del algoritmo utilizado para generar el patrón de desplazamiento en zigzag dentro del sistema de simulación

### 4.3.3. Modo de desplazamiento con pausa o descanso

El modo de desplazamiento con pausa o descanso representa un escenario dentro del modelo de simulación en el cual el rescatista interrumpe temporalmente su movimiento mientras se dirige hacia la zona de búsqueda o hacia la ubicación estimada de la víctima. Este comportamiento resulta relevante en operaciones reales de rescate, ya que factores como las condiciones del terreno, el cansancio físico, la verificación de equipos o la necesidad de establecer comunicación con el centro de monitoreo pueden generar pausas durante el desplazamiento.

En el sistema desarrollado, este modo permite simular intervalos en los cuales el rescatista permanece en una posición geográfica fija durante un número determinado de iteraciones del algoritmo. A diferencia de los modos de desplazamiento directo o en zigzag, en los cuales las coordenadas se actualizan de forma continua, en este caso el algoritmo mantiene constantes los

valores de latitud y longitud durante los periodos definidos como tiempo de descanso.

La inclusión de este comportamiento dentro del modelo de simulación permite analizar la influencia de las pausas operativas en variables relevantes como el tiempo total de desplazamiento, la velocidad promedio de avance y la duración estimada de la operación de rescate. De esta manera, el sistema no solo reproduce trayectorias de movimiento continuo, sino que también incorpora situaciones más cercanas a las condiciones reales que pueden presentarse durante una misión en campo.

Desde el punto de vista computacional, el algoritmo identifica los intervalos de descanso mediante una condición que detiene temporalmente la actualización de las coordenadas geográficas. Durante estos periodos, el sistema continúa registrando información temporal dentro del conjunto de datos generado, lo que permite conservar la secuencia completa de eventos producidos durante la simulación.

El registro de estos intervalos resulta especialmente útil durante la etapa de análisis posterior, ya que permite identificar los momentos en los cuales el rescatista no realiza desplazamiento y evaluar su impacto en el desempeño general de la operación. Además, estos datos pueden emplearse para estudiar la eficiencia del desplazamiento bajo diferentes estrategias de movimiento.

En la Fig. 4.15 se presenta un ejemplo de la trayectoria generada durante una simulación que incluye periodos de pausa o descanso, visualizada sobre el mapa digital utilizado por el sistema. Esta representación gráfica permite identificar claramente los momentos en los cuales el desplazamiento del rescatista se detiene temporalmente, lo que facilita la interpretación de los resultados obtenidos y contribuye a generar datos más realistas para el análisis de distintos escenarios operativos dentro de las tareas de rescate.

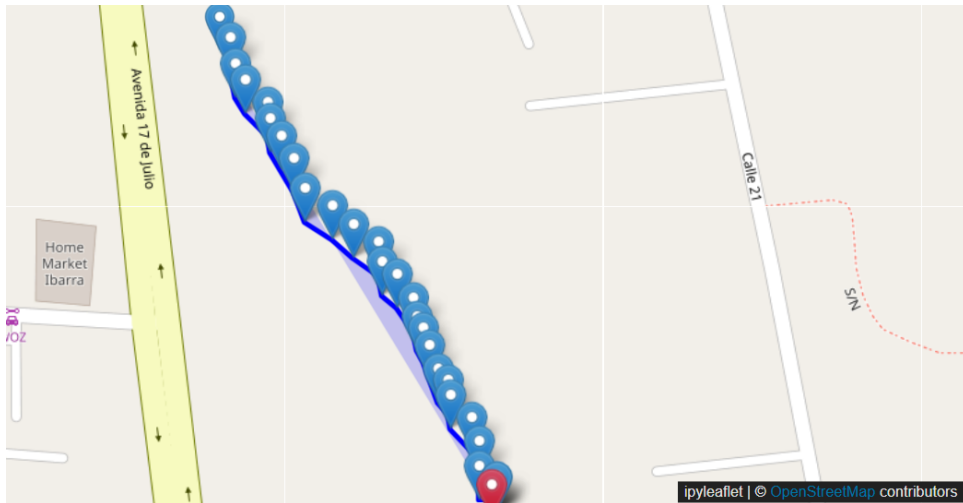


Figura 4.15: Trayectoria simulada del rescatista que incluye periodos de pausa o descanso durante el proceso de desplazamiento

#### 4.4. Inicialización del algoritmo de simulación

Una vez definidos los parámetros del sistema y seleccionado el modo de desplazamiento que se utilizará durante la simulación, el siguiente paso consiste en iniciar el algoritmo encargado de generar el movimiento del rescatista dentro del escenario virtual. Esta etapa corresponde a la inicialización del algoritmo de simulación, proceso mediante el cual se preparan los elementos necesarios para ejecutar el modelo de desplazamiento desarrollado.

La implementación del algoritmo se realiza dentro del entorno Anaconda Jupyter Notebook, plataforma que permite organizar el desarrollo del programa en diferentes bloques de código. Esta característica facilita la ejecución progresiva de cada etapa del sistema, permitiendo verificar el comportamiento del algoritmo durante su desarrollo y realizar ajustes cuando sea necesario.

Durante la fase de inicialización se establecen las condiciones necesarias para iniciar el proceso de simulación. Entre las acciones principales que se realizan en esta etapa se encuentran la preparación del entorno de programación, la definición de variables iniciales y la configuración de las estructuras de almacenamiento que registrarán la información generada durante la simulación.

De forma general, el proceso de inicialización del algoritmo puede resumirse en tres actividades principales:

- Preparación del entorno de ejecución dentro del entorno de programación.
- Definición de las variables necesarias para controlar el proceso de simulación.
- Configuración de las estructuras que almacenarán las coordenadas y métricas generadas durante el desplazamiento.

La correcta ejecución de estas actividades permite que el sistema inicie el proceso de simulación de forma ordenada, garantizando que todas las variables y estructuras de datos se encuentren correctamente definidas antes de comenzar la generación de trayectorias. Con el fin de representar de manera clara la organización de esta etapa, en la Fig. 4.16 se muestra el flujo general que describe el proceso de inicialización del algoritmo antes de ejecutar la simulación.

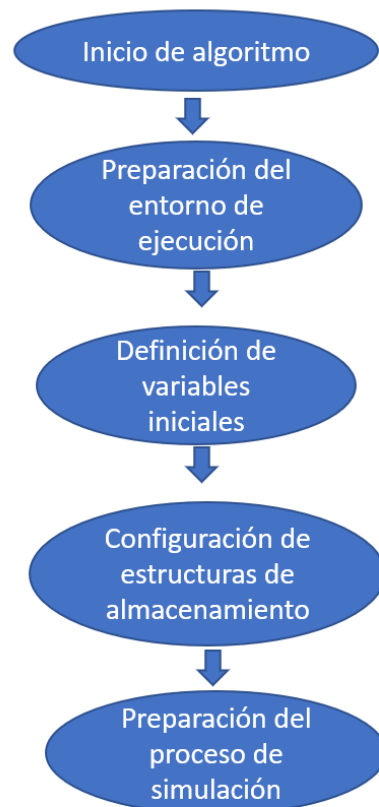


Figura 4.16: Flujo general del proceso de inicialización del algoritmo de simulación dentro del sistema desarrollado

#### **4.4.1. Preparación del entorno de ejecución**

#### **4.4.2. Preparación del entorno de ejecución**

Antes de iniciar el proceso de simulación, el sistema requiere preparar el entorno de ejecución dentro del cuaderno de programación utilizado para el desarrollo del algoritmo. Esta preparación consiste en habilitar las herramientas necesarias para realizar el procesamiento de datos, ejecutar cálculos matemáticos y representar gráficamente la información generada durante la simulación.

En el caso del sistema desarrollado, esta etapa se ejecuta dentro del entorno Jupyter Notebook, el cual permite organizar el código en bloques independientes que pueden ejecutarse de forma secuencial. Esta estructura facilita el desarrollo del algoritmo, ya que permite verificar el funcionamiento de cada componente del sistema antes de avanzar hacia etapas posteriores del proceso.

Durante esta fase se realiza la importación de las librerías de programación utilizadas por el sistema. Dichas librerías proporcionan funciones especializadas para el manejo de datos, el cálculo de variables relacionadas con el posicionamiento geográfico y la generación de visualizaciones basadas en mapas digitales.

Es importante señalar que la descripción detallada de estas librerías se presenta en secciones anteriores de este trabajo. Por esta razón, en esta etapa únicamente se realiza su importación dentro del entorno de programación con el propósito de habilitar su utilización durante la ejecución del algoritmo de simulación.

Una vez que el entorno de programación se encuentra preparado, el sistema puede continuar con la definición de variables y estructuras de datos que permitirán controlar el comportamiento del algoritmo durante el proceso de simulación, tal como se muestra en la Fig. 4.17.

```

import pandas as pd
import random
from math import radians, sin, cos, atan2, sqrt
from ipyleaflet import Map, Marker, Polyline, basemaps, Icon, Circle
from ipywidgets import HTML
from IPython.display import display
from datetime import datetime
import asyncio
import ipywidgets as widgets

# Variables globales de mapa
m = None
ruta = None
marker_rescatista = None
marker_victima = None
circulo_victima = None

# Variables globales del Panel de Telemetría
lbl_distancia = None
lbl_velocidad = None
lbl_ritmo = None
lbl_tiempo = None
lbl_pasos = None
lbl_eta = None
lbl_dist_restante = None
lbl_punto = None
lbl_modos = None

```

Figura 4.17: Bloque de código utilizado para la importación de librerías y preparación del entorno de ejecución dentro del entorno Jupyter Notebook

### 4.4.3. Inicialización de variables del sistema

### 4.4.4. Definición de variables del algoritmo de simulación

Una vez preparado el entorno de ejecución del programa, el siguiente paso consiste en definir las variables que controlan el comportamiento del algoritmo de simulación. Estas variables permiten establecer las condiciones iniciales del sistema y almacenar la información que se genera durante el desplazamiento del rescatista dentro del escenario simulado.

La inicialización de variables constituye una etapa importante dentro del algoritmo, ya que a partir de estas estructuras se registran las coordenadas geográficas, las distancias recorridas y otras métricas que posteriormente serán utilizadas para el análisis del comportamiento del sistema.

Dentro del modelo desarrollado, las variables del sistema se organizan en diferentes grupos según la función que cumplen durante el proceso de simulación.

### **Variables de posición inicial**

El primer conjunto de variables corresponde a la definición de la posición inicial del rescatista dentro del escenario de simulación. Estas variables almacenan las coordenadas geográficas de partida, expresadas en términos de latitud y longitud.

La definición de estas coordenadas permite establecer el punto desde el cual comienza el desplazamiento del rescatista durante la ejecución del algoritmo. A partir de esta posición inicial, el sistema calcula las nuevas coordenadas generadas en cada iteración del proceso de simulación.

### **Variables de posición objetivo**

El sistema también define variables que representan la ubicación aproximada de la víctima o del punto hacia el cual se dirige el rescatista durante la simulación. Estas coordenadas permiten establecer una referencia espacial que orienta el desplazamiento generado por el algoritmo.

La diferencia entre las coordenadas iniciales y las coordenadas objetivo permite calcular la distancia geográfica existente entre ambos puntos, información que posteriormente se utiliza para analizar el progreso del desplazamiento.

### **Variables de control del algoritmo**

Otro grupo de variables se utiliza para controlar el funcionamiento interno del algoritmo de simulación. Estas variables permiten definir aspectos como el número de iteraciones del proceso, el contador de pasos ejecutados y las condiciones que determinan el final de la simulación.

La utilización de este tipo de variables facilita la ejecución del modelo de forma controlada, ya que permite establecer límites para el número de movimientos que el rescatista puede realizar dentro del escenario simulado.

## Variables de almacenamiento de datos

Finalmente, el sistema define estructuras de almacenamiento destinadas a registrar la información generada durante el proceso de simulación. Estas estructuras suelen implementarse mediante listas o arreglos que permiten almacenar secuencias de datos correspondientes a cada paso del desplazamiento.

Dentro de estas estructuras se registran variables como:

- latitud generada en cada iteración
- longitud generada en cada iteración
- distancia recorrida entre posiciones consecutivas
- distancia acumulada del desplazamiento
- tiempo asociado a cada punto de la trayectoria

La organización de esta información permite construir posteriormente una base de datos que describe el comportamiento completo de la simulación. Estos datos son posteriormente exportados a archivos en formato Excel, los cuales sirven como entrada para la plataforma de análisis desarrollada en la segunda etapa del sistema.

En la Fig. 4.18 se muestra el bloque de código correspondiente a la inicialización de las principales variables utilizadas dentro del algoritmo de simulación.

```
# Coordenadas del rescatista  
rescuer_lat = 0.363209  
rescuer_lon = -78.110327
```

Figura 4.18: Bloque de código correspondiente a la inicialización de las variables utilizadas en el algoritmo de simulación

### 4.4.5. Configuración de estructuras para almacenamiento de datos

Una vez definidas las variables principales del sistema, el algoritmo requiere establecer las estructuras que permitirán registrar la información generada durante el proceso de simulación.

Estas estructuras cumplen la función de almacenar de manera organizada los datos correspondientes a cada paso del desplazamiento del rescatista dentro del escenario virtual.

Durante la ejecución del algoritmo, cada iteración del proceso de simulación genera nueva información relacionada con la posición geográfica del rescatista y con las métricas asociadas a su desplazamiento. Para conservar estos datos de forma ordenada, el sistema utiliza estructuras de almacenamiento que permiten registrar secuencias de valores a medida que avanza la simulación.

En el sistema desarrollado, estas estructuras se implementan mediante listas o arreglos dinámicos que permiten almacenar múltiples registros correspondientes a cada paso del algoritmo. A medida que el rescatista avanza dentro del escenario de simulación, las nuevas coordenadas y métricas calculadas se agregan progresivamente a estas estructuras.

Entre los principales datos que se almacenan durante la simulación se encuentran los siguientes:

- coordenadas de latitud generadas en cada iteración
- coordenadas de longitud correspondientes a cada punto de la trayectoria
- distancia recorrida entre posiciones consecutivas
- distancia acumulada del desplazamiento
- tiempo asociado a cada punto de la trayectoria
- identificador del modo de desplazamiento utilizado durante la simulación

La organización de estos datos permite construir una secuencia completa que describe el movimiento del rescatista desde el punto inicial hasta el final de la simulación. Esta información constituye la base de datos que posteriormente será utilizada para el análisis de métricas y la generación de representaciones gráficas dentro de la plataforma de análisis desarrollada en la segunda etapa del sistema.

Desde el punto de vista computacional, el uso de estructuras de almacenamiento dinámicas facilita la expansión progresiva del conjunto de datos generado por el algoritmo. Cada nueva iteración añade un registro adicional dentro de las estructuras definidas, permitiendo conservar la información completa del desplazamiento.

En la Fig. 4.19 se muestra un fragmento del bloque de código correspondiente a la definición de las estructuras utilizadas para almacenar los datos generados durante la simulación.

```
# Registrar datos
registros.append({
    "Punto": punto_id,
    "Hora": datetime.now().strftime("%H:%M:%S"),
    "Latitud": lat_r,
    "Longitud": lon_r,
    "Distancia_delta_m": round(distancia_delta, 2),
    "Distancia_total_m": round(dist_acum, 2),
    "Distancia_a_victima_m": round(dist_restante, 2),
    "Pasos": pasos,
    "Avance_estimado_m": round(avance_m, 2),
    "Modo": modo
})
```

Figura 4.19: Fragmento del código correspondiente a la definición de las estructuras de almacenamiento utilizadas durante el proceso de simulación

## 4.5. Actualización dinámica de coordenadas GPS

Una vez inicializado el algoritmo de simulación y configuradas las estructuras necesarias para el almacenamiento de datos, el sistema procede a ejecutar el proceso encargado de generar el desplazamiento del rescatista dentro del escenario simulado. Esta etapa corresponde a la actualización dinámica de las coordenadas geográficas, mecanismo mediante el cual el algoritmo calcula nuevas posiciones a partir de la ubicación actual del rescatista.

El objetivo principal de este proceso consiste en simular el movimiento progresivo del rescatista hacia el área de búsqueda o hacia la ubicación estimada de la víctima. Para lograrlo, el algoritmo realiza actualizaciones sucesivas de las coordenadas de latitud y longitud, generando una trayectoria compuesta por múltiples puntos geográficos.

Cada punto de la trayectoria corresponde a una nueva posición calculada durante una iteración del algoritmo. Estas posiciones se determinan utilizando modelos matemáticos que permiten modificar las coordenadas geográficas considerando la dirección del desplazamiento, la distancia recorrida y el modo de movimiento seleccionado durante la simulación.

El funcionamiento del algoritmo se basa en un proceso iterativo que se ejecuta repetidamente durante el tiempo que dura la simulación. En cada iteración se realizan las siguientes operaciones principales:

- cálculo de la dirección de desplazamiento
- generación de nuevas coordenadas geográficas
- actualización de la posición del rescatista
- registro de la información generada dentro de las estructuras de almacenamiento

Este procedimiento permite construir progresivamente una trayectoria que representa el desplazamiento del rescatista dentro del escenario simulado. A medida que el algoritmo avanza, el sistema genera nuevos puntos geográficos que posteriormente pueden visualizarse sobre el mapa digital utilizado por la plataforma, como se muestra en la Fig. 4.20.

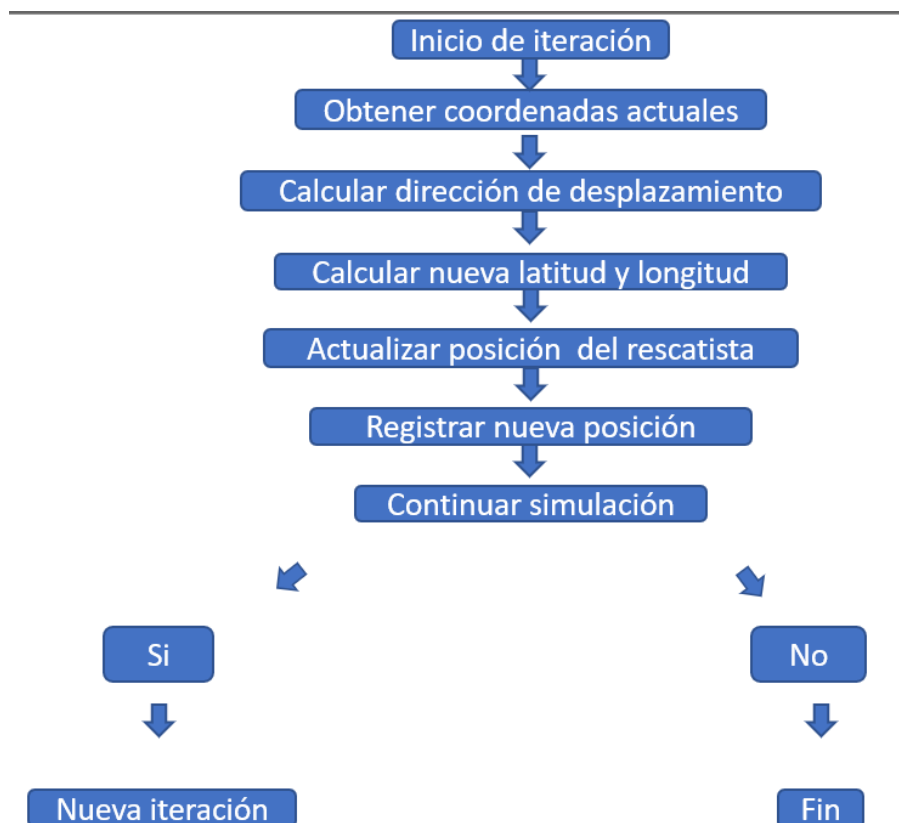


Figura 4.20: Actualización dinámica de las coordenadas geográficas durante la ejecución del algoritmo de simulación

### 4.5.1. Cálculo de la distancia entre coordenadas geográficas

Durante el proceso de simulación del desplazamiento, el sistema necesita determinar la distancia existente entre las diferentes posiciones geográficas generadas por el algoritmo. Este cálculo resulta fundamental para evaluar el progreso del movimiento del rescatista y para determinar métricas relevantes como la distancia recorrida entre posiciones consecutivas y la distancia total acumulada durante la operación simulada.

Para realizar este cálculo, el algoritmo utiliza un modelo matemático basado en la fórmula de Haversine, la cual permite determinar la distancia entre dos puntos ubicados sobre la superficie terrestre considerando la curvatura de la Tierra. Este método es ampliamente utilizado en aplicaciones de geolocalización debido a su precisión para calcular distancias geodésicas a partir de coordenadas de latitud y longitud.

El principio de este método consiste en calcular el arco de circunferencia que conecta dos puntos sobre una esfera, utilizando las diferencias angulares entre sus coordenadas geográficas. De esta forma, es posible estimar la distancia real entre dos ubicaciones utilizando únicamente sus valores de latitud y longitud.

La expresión matemática utilizada para calcular esta distancia se presenta en la Ecuación 4.1.

$$d = 2R \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta\varphi}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right) \quad (4.1)$$

donde:

- $d$  representa la distancia entre dos puntos geográficos.
- $R$  corresponde al radio aproximado de la Tierra.
- $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  representan las latitudes de los puntos considerados.
- $\Delta\varphi$  corresponde a la diferencia entre las latitudes.
- $\Delta\lambda$  representa la diferencia entre las longitudes geográficas.

Dentro del algoritmo de simulación, esta fórmula se utiliza para calcular la distancia entre la posición actual del rescatista y la nueva coordenada generada durante cada iteración del proceso de simulación. El resultado obtenido se emplea posteriormente para actualizar la distancia

recorrida entre puntos consecutivos y para calcular la distancia acumulada del desplazamiento total.

En la Fig. 4.21 se presenta la implementación del cálculo que permite que el sistema registre métricas precisas del desplazamiento generado por el algoritmo, lo cual resulta fundamental para la posterior evaluación del comportamiento del modelo de simulación.

```
if modo == "directo":
    lat_n, lon_n = mover_rescatista(lat_r, lon_r, victim_lat, victim_lon, avance_m)
elif modo == "descanso":
    if random.random() < 0.25:
        await asyncio.sleep(intervalo_real)
        continue
    lat_n, lon_n = mover_rescatista_realista(lat_r, lon_r, victim_lat, victim_lon, avance_m)
else:
    lat_n, lon_n = mover_rescatista_realista(lat_r, lon_r, victim_lat, victim_lon, avance_m)

distancia_delta = haversine_m(lat_r, lon_r, lat_n, lon_n)
dist_acum += distancia_delta
```

Figura 4.21: Implementación del cálculo de distancia geográfica mediante la fórmula de Haversine dentro del algoritmo de simulación

#### 4.5.2. Generación de nuevas coordenadas durante la simulación

El proceso de generación de nuevas coordenadas constituye uno de los componentes centrales del algoritmo de simulación, ya que permite representar el desplazamiento progresivo del rescatista dentro del escenario virtual. A partir de las coordenadas iniciales definidas previamente, el sistema calcula nuevas posiciones geográficas que describen la trayectoria seguida durante la simulación.

El algoritmo ejecuta este procedimiento mediante un proceso iterativo que se repite en cada ciclo de la simulación. En cada iteración, el sistema toma como referencia la posición actual del rescatista y calcula una nueva ubicación geográfica que representa el siguiente paso dentro del desplazamiento.

De manera general, el proceso de generación de nuevas coordenadas se desarrolla a través de las siguientes etapas:

##### **Obtención de la posición actual**

En primer lugar, el sistema identifica las coordenadas geográficas correspondientes a la última posición registrada dentro de la trayectoria. Estas coordenadas representan el punto desde el cual se calcula el siguiente movimiento del rescatista.

### **Cálculo de la variación de coordenadas**

Posteriormente, el algoritmo determina una variación en los valores de latitud y longitud que representa el desplazamiento realizado durante el siguiente paso de la simulación. Esta variación depende de la dirección de movimiento y de los parámetros definidos para el modo de desplazamiento seleccionado.

### **Actualización de la posición geográfica**

Una vez calculada la variación de coordenadas, el sistema actualiza los valores de latitud y longitud, generando una nueva posición geográfica que representa el siguiente punto dentro de la trayectoria simulada.

### **Registro de la nueva posición**

Finalmente, las coordenadas generadas se almacenan dentro de las estructuras de datos previamente definidas, permitiendo conservar el registro completo del desplazamiento realizado durante la simulación.

El comportamiento de este proceso se encuentra directamente influenciado por el modo de desplazamiento seleccionado en el sistema. Cuando se utiliza el modo de desplazamiento directo, las nuevas coordenadas se orientan progresivamente hacia el punto objetivo. En cambio, en el modo de desplazamiento en zigzag el algoritmo introduce variaciones laterales que generan trayectorias alternadas alrededor de la dirección principal de avance. Por otro lado, cuando se activa el modo de descanso, el sistema mantiene temporalmente la misma posición geográfica durante ciertos intervalos de la simulación.

Este procedimiento permite simular diferentes estrategias de movimiento dentro del escenario de rescate, generando trayectorias que posteriormente pueden ser analizadas para evaluar el comportamiento del sistema. En la Fig. 4.22 se muestra el fragmento de código correspondiente a la implementación de este proceso dentro del algoritmo de simulación.

```

inicio_marker = Marker(location=(lat_r, lon_r))
inicio_marker.popup = popup0
m.add_layer(inicio_marker)

registros = []
registros.append({
    "Punto": 0,
    "Hora": hora0,
    "Latitud": lat_r,
    "Longitud": lon_r,
    "Distancia_delta_m": 0,
    "Distancia_total_m": 0,
    "Distancia_a_victima_m": dist0,
    "Pasos": 0,
    "Avance_estimado_m": 0,
    "Modo": modo
})

```

Figura 4.22: Fragmento de código correspondiente al proceso de generación de nuevas coordenadas dentro del algoritmo de simulación

### 4.5.3. Construcción de la trayectoria de desplazamiento

Una vez que el algoritmo comienza a generar nuevas coordenadas geográficas durante cada iteración de la simulación, el sistema inicia el proceso de construcción de la trayectoria que describe el desplazamiento completo del rescatista dentro del escenario virtual. Esta trayectoria se forma a partir de la secuencia ordenada de posiciones generadas progresivamente por el algoritmo.

Cada punto generado durante la simulación representa una ubicación específica del rescatista en un instante determinado del proceso de desplazamiento. A medida que el algoritmo ejecuta nuevas iteraciones, estas posiciones se agregan de manera consecutiva dentro de las estructuras de almacenamiento previamente definidas. Como resultado, el sistema construye un conjunto de datos que describe de forma detallada la evolución del movimiento a lo largo del tiempo.

Desde el punto de vista computacional, la trayectoria puede entenderse como una secuencia

de coordenadas geográficas organizadas de forma cronológica. Cada elemento de esta secuencia contiene información relacionada con la posición del rescatista, incluyendo valores de latitud, longitud y otras métricas asociadas al desplazamiento. La acumulación de estos registros permite representar el recorrido completo realizado durante la simulación.

El proceso de construcción de la trayectoria se desarrolla de forma progresiva durante la ejecución del algoritmo. Cada vez que se calcula una nueva posición geográfica, el sistema añade esta información a las estructuras de datos utilizadas para almacenar las coordenadas generadas. De esta manera, el sistema mantiene un registro continuo de todos los puntos que conforman el recorrido del rescatista.

Una vez finalizado el proceso de simulación, el conjunto de coordenadas almacenadas representa la trayectoria completa generada por el algoritmo. Esta información puede utilizarse posteriormente para realizar diferentes tipos de análisis, como el cálculo de distancias acumuladas, la estimación del tiempo de desplazamiento y la evaluación del comportamiento del sistema bajo distintos modos de movimiento.

Además del almacenamiento de los datos, el sistema permite visualizar gráficamente la trayectoria generada mediante su representación sobre un mapa digital basado en la plataforma OpenStreetMap. Esta visualización facilita la interpretación del desplazamiento simulado, permitiendo observar de manera clara la ruta seguida por el rescatista dentro del escenario de simulación, como se muestra en la Fig. 4.23.

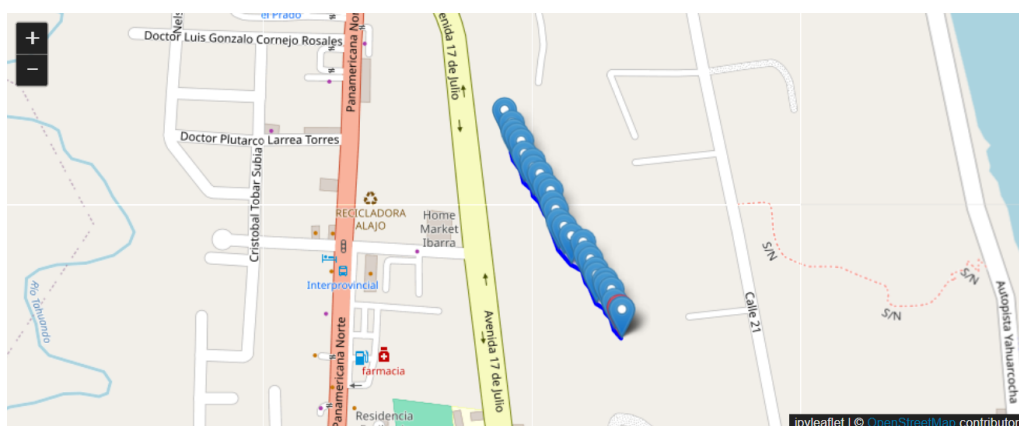


Figura 4.23: Visualización de la trayectoria generada por el algoritmo de simulación sobre el mapa digital basado en OpenStreetMap

## 4.6. Visualización de la trayectoria en OpenStreetMap

La visualización espacial de la trayectoria generada por el algoritmo constituye una etapa fundamental dentro del sistema desarrollado, ya que permite interpretar de manera gráfica el desplazamiento simulado del rescatista dentro del escenario definido. Para ello, el sistema utiliza herramientas de representación cartográfica que permiten proyectar las coordenadas geográficas generadas durante la simulación sobre un mapa digital.

En este trabajo se emplea la biblioteca Folium, la cual permite integrar datos geográficos dentro de mapas interactivos basados en la plataforma OpenStreetMap. Esta combinación facilita la representación visual de rutas, puntos de localización y trayectorias, permitiendo analizar de forma intuitiva el comportamiento del desplazamiento generado por el algoritmo.

Durante la ejecución del sistema, las coordenadas geográficas almacenadas en las estructuras de datos son utilizadas para construir una representación visual de la trayectoria sobre el mapa digital. Cada punto generado por el algoritmo corresponde a una posición específica del rescatista dentro del entorno simulado, lo que permite reconstruir el recorrido completo mediante la unión secuencial de dichas posiciones.

El proceso de visualización se inicia con la generación del mapa base centrado en la ubicación inicial definida durante la configuración del escenario de simulación. Posteriormente, el sistema añade los puntos correspondientes a las coordenadas generadas, permitiendo observar de manera progresiva el recorrido del rescatista, como se muestra en la Fig. 4.24.

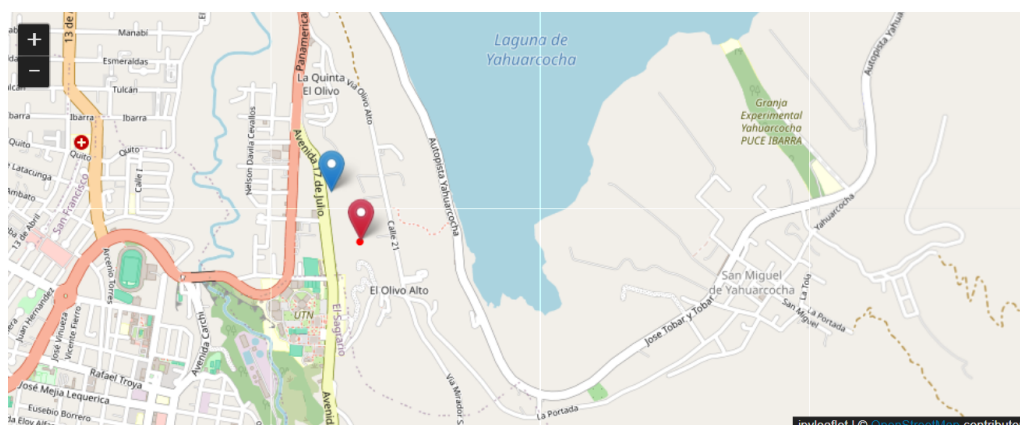


Figura 4.24: Visualización de la trayectoria generada por el algoritmo sobre el mapa digital utilizando la biblioteca Folium y la plataforma OpenStreetMap

Una vez generado el mapa base, el sistema procede a representar la trayectoria completa mediante la unión de las coordenadas generadas durante la simulación. Esta representación permite visualizar el recorrido seguido por el rescatista dentro del entorno virtual, facilitando la interpretación del comportamiento del algoritmo de desplazamiento, como se muestra en la Fig. 4.25.



Figura 4.25: Representación de la trayectoria completa del rescatista sobre el mapa digital mediante la unión de las coordenadas generadas durante la simulación

## 4.7. Generación y almacenamiento de datos

El proceso de generación y almacenamiento de datos constituye una etapa clave dentro del sistema desarrollado, ya que permite transformar la información generada durante la simulación en un formato estructurado que puede ser utilizado posteriormente en la fase de análisis. A partir de la ejecución del algoritmo, se obtiene un conjunto de datos que describe el comportamiento del desplazamiento del rescatista, incluyendo variables espaciales y temporales relevantes.

Con el objetivo de garantizar la integridad y organización de la información, el sistema implementa un mecanismo de almacenamiento basado en archivos en formato Excel, permitiendo conservar los datos generados de manera ordenada y accesible. Este formato facilita la posterior manipulación de la información, permitiendo realizar análisis estadísticos, generar representaciones gráficas y evaluar el desempeño del algoritmo de simulación dentro del entorno de estudio.

### 4.7.1. Estructuración de los datos generados

Durante la ejecución de la simulación, cada iteración del algoritmo produce un conjunto de valores asociados a la posición y al estado del desplazamiento del rescatista. Estos datos son organizados en una estructura tabular, donde cada fila representa un instante específico del recorrido, mientras que cada columna corresponde a una variable determinada.

Las variables almacenadas incluyen información fundamental como la latitud, longitud, distancia recorrida, tiempo transcurrido y otras métricas derivadas del proceso de simulación. Esta organización permite representar de manera clara la evolución del desplazamiento a lo largo del tiempo. Como se muestra en la Fig. 4.26, el archivo generado presenta una estructura organizada en columnas, donde cada variable se encuentra claramente identificada, facilitando su interpretación y posterior análisis.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Punto	Hora	Latitud	Longitud	Distancia_delta_m	Distancia_total_m	Distancia_a_victima_m	Pasos	Avance_estimado_m	Modo

Figura 4.26: Estructura del archivo de datos generado por el sistema de simulación en formato Excel

### 4.7.2. Proceso de almacenamiento de la información

Una vez estructurados los datos generados durante la simulación, el sistema procede a su almacenamiento en un archivo en formato Excel. Este proceso se realiza de manera automática al finalizar la ejecución del algoritmo, asegurando que toda la información generada sea registrada sin pérdida de datos.

El almacenamiento se lleva a cabo mediante la creación de un archivo que contiene la totalidad de los registros obtenidos durante la simulación. Cada nuevo dato generado es añadido de forma secuencial, permitiendo construir un historial completo del desplazamiento del rescatista. De acuerdo con la Fig. 4.27, el archivo resultante contiene múltiples registros organizados cronológicamente, lo que permite observar la evolución del recorrido desde el punto inicial hasta el punto final de la simulación.

Punto	Hora	Latitud	Longitud	Distancia_delta_m	Distancia_total_m	Distancia_a_victima_m	Pasos	Avance_estimado_m	Modo
0	19:42:23	0,363209	-78,1103	0	0	258,5114958	0		0 directo
1	19:42:23	0,363151	-78,1103	7,5	7,5	258,51	10	7,5	directo
2	19:42:24	0,363098	-78,1103	6,75	14,25	251,01	9	6,75	directo
3	19:42:25	0,362993	-78,1102	13,5	27,75	244,26	18	13,5	directo
4	19:42:26	0,362947	-78,1102	6	33,75	230,76	8		directo
5	19:42:27	0,362871	-78,1101	9,75	43,5	224,76	13	9,75	directo
6	19:42:28	0,362772	-78,1101	12,75	56,25	215,01	17	12,75	directo
7	19:42:29	0,362667	-78,11	13,5	69,75	202,26	18	13,5	directo
8	19:42:30	0,362597	-78,11	9	78,75	188,76	12		directo
9	19:42:32	0,362533	-78,1099	8,25	87	179,76	11	8,25	directo
10	19:42:33	0,362486	-78,1099	6	93	171,51	8		directo
11	19:42:34	0,362399	-78,1099	11,25	104,25	165,51	15	11,25	directo
12	19:42:35	0,362306	-78,1098	12	116,25	154,26	16		directo
13	19:42:36	0,362253	-78,1098	6,75	123	142,26	9	6,75	directo
14	19:42:37	0,362154	-78,1097	12,75	135,75	135,51	17	12,75	directo
15	19:42:38	0,362067	-78,1097	11,25	147	122,76	15	11,25	directo
16	19:42:39	0,361968	-78,1096	12,75	159,75	111,51	17	12,75	directo
17	19:42:40	0,361921	-78,1096	6	165,75	98,76	8		directo
18	19:42:41	0,361822	-78,1095	12,75	178,5	92,76	17	12,75	directo
19	19:42:42	0,361769	-78,1095	6,75	185,25	80,01	9	6,75	directo
20	19:42:43	0,361682	-78,1094	11,25	196,5	73,26	15	11,25	directo
21	19:42:44	0,361577	-78,1094	13,5	210	62,01	18	13,5	directo
22	19:42:45	0,36153	-78,1093	6	216	48,51	8		directo

Figura 4.27: Archivo generado en formato Excel que contiene el registro completo de los datos obtenidos durante la simulación

Este mecanismo de almacenamiento garantiza que la información pueda ser reutilizada posteriormente sin necesidad de repetir el proceso de simulación, lo que optimiza el uso del sistema y facilita su aplicación en distintos escenarios.

### 4.7.3. Importancia del archivo generado dentro del sistema

El archivo Excel generado no solo cumple la función de almacenar datos, sino que también actúa como un elemento fundamental dentro de la arquitectura del sistema propuesto. Este archivo representa el punto de conexión entre la etapa de simulación y la etapa de análisis, permitiendo que los datos generados sean utilizados como entrada para procesos posteriores.

A partir de este archivo, el sistema desarrollado en el entorno de análisis puede cargar la información, procesarla y generar métricas adicionales que permiten evaluar el desempeño del desplazamiento. En este sentido, el archivo se convierte en un recurso clave para la toma de decisiones y la interpretación de resultados.

El archivo generado puede ser utilizado directamente dentro de la plataforma de análisis, facilitando la transición entre ambas etapas del sistema, como se observa en la Fig. 4.28.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Punto	Hora	Latitud	Longitud	Distancia_delta_m	Distancia_total_m	Distancia_a_victima_m	Pasos	Avance_estimado_m	Modo
0	19:42:23	0,363209	-78,1103		0	0	258,5114958	0		0 directo
1	19:42:23	0,363151	-78,1103		7,5	7,5	258,51	10		7,5 directo
2	19:42:24	0,363098	-78,1103		6,75	14,25	251,01	9		6,75 directo
3	19:42:25	0,362993	-78,1102		13,5	27,75	244,26	18		13,5 directo
4	19:42:26	0,362947	-78,1102		6	33,75	230,76	8		6 directo
5	19:42:27	0,362871	-78,1101		9,75	43,5	224,76	13		9,75 directo
6	19:42:28	0,362772	-78,1101		12,75	56,25	215,01	17		12,75 directo
7	19:42:29	0,362667	-78,111		13,5	69,75	202,26	18		13,5 directo
8	19:42:30	0,362597	-78,111		9	78,75	188,76	12		9 directo
9	19:42:32	0,362533	-78,1099		8,25	87	179,76	11		8,25 directo
10	19:42:33	0,362486	-78,1099		6	93	171,51	8		6 directo
11	19:42:34	0,362399	-78,1099		11,25	104,25	165,51	15		11,25 directo
12	19:42:35	0,362306	-78,1098		12	116,25	154,26	16		12 directo
13	19:42:36	0,362253	-78,1098		6,75	123	142,26	9		6,75 directo
14	19:42:37	0,362154	-78,1097		12,75	135,75	135,51	17		12,75 directo
15	19:42:38	0,362067	-78,1097		11,25	147	122,76	15		11,25 directo
16	19:42:39	0,361968	-78,1096		12,75	159,75	111,51	17		12,75 directo
17	19:42:40	0,361921	-78,1096		6	165,75	98,76	8		6 directo
18	19:42:41	0,361822	-78,1095		12,75	178,5	92,76	17		12,75 directo
19	19:42:42	0,361769	-78,1095		6,75	185,25	80,01	9		6,75 directo
20	19:42:43	0,361682	-78,1094		11,25	196,5	73,26	15		11,25 directo
21	19:42:44	0,361577	-78,1094		13,5	210	62,01	18		13,5 directo
22	19:42:45	0,36153	-78,1093		6	216	48,51	8		6 directo

Figura 4.28: Integración del archivo de datos generado por la simulación dentro de la plataforma de análisis del sistema

# Capítulo V

## IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

La etapa de implementación y pruebas del sistema corresponde al proceso mediante el cual los diferentes componentes desarrollados son integrados y evaluados dentro del entorno de programación. Durante esta fase se verifica el funcionamiento del algoritmo de simulación, así como la correcta interacción entre los módulos encargados de la generación de coordenadas geográficas, el cálculo de distancias, la construcción de la trayectoria y el almacenamiento de los datos generados. Estas pruebas permiten comprobar que la información obtenida durante la simulación pueda ser utilizada de manera adecuada en las etapas posteriores del sistema. A partir de esta integración, se procede a la incorporación de los datos generados dentro de la plataforma de análisis, lo cual permite continuar con el procesamiento, visualización e interpretación de la información obtenida durante la simulación.

### 5.1. Carga de datos en la plataforma de análisis

Una vez generado el archivo con la información del desplazamiento, el siguiente paso dentro del sistema consiste en su incorporación en la plataforma de análisis. Esta etapa permite transformar los datos previamente almacenados en información útil mediante su procesamiento, visualización y evaluación.

La plataforma de análisis ha sido desarrollada en el entorno de programación Spyder, dentro de la distribución Anaconda, lo cual permite implementar una interfaz que facilita la interacción con el usuario. A través de esta interfaz es posible cargar los archivos generados durante la simulación y preparar los datos para su posterior procesamiento, permitiendo así continuar con las etapas de análisis y evaluación del comportamiento del desplazamiento simulado.

### 5.1.1. Interfaz de carga de archivos

La plataforma de análisis presenta una interfaz gráfica diseñada para permitir al usuario seleccionar y cargar el archivo Excel generado previamente. Esta interfaz incluye elementos interactivos como botones, etiquetas y cuadros de diálogo que facilitan la navegación dentro del sistema.

Como se muestra en la Fig. 5.1, la interfaz permite identificar claramente la opción de carga de archivos, facilitando la interacción del usuario con el sistema. El proceso de carga inicia cuando el usuario selecciona la opción correspondiente dentro de la interfaz, lo que habilita la apertura de un explorador de archivos. Desde este entorno, el usuario puede ubicar el archivo generado durante la simulación y proceder a su selección.

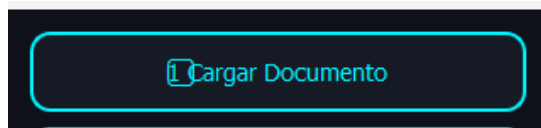


Figura 5.1: Interfaz de la plataforma de análisis que permite seleccionar y cargar el archivo de datos generado durante la simulación

### 5.1.2. Proceso de selección y lectura del archivo

Una vez que el usuario selecciona el archivo, el sistema inicia la lectura de los datos almacenados en el documento Excel. Esta fase es crucial, ya que permite transformar la información en un formato que pueda ser gestionado dentro del entorno de análisis.

Durante la operación, el sistema comprueba primero que el archivo exista y verifica que su formato sea compatible, garantizando así una correcta interpretación de los datos. Luego, la información se carga en estructuras internas, como tablas o marcos de datos, que facilitan su manipulación y procesamiento. De esta manera, el sistema reconoce y gestiona correctamente el contenido del archivo, tal como se ilustra en la Fig. 5.2.

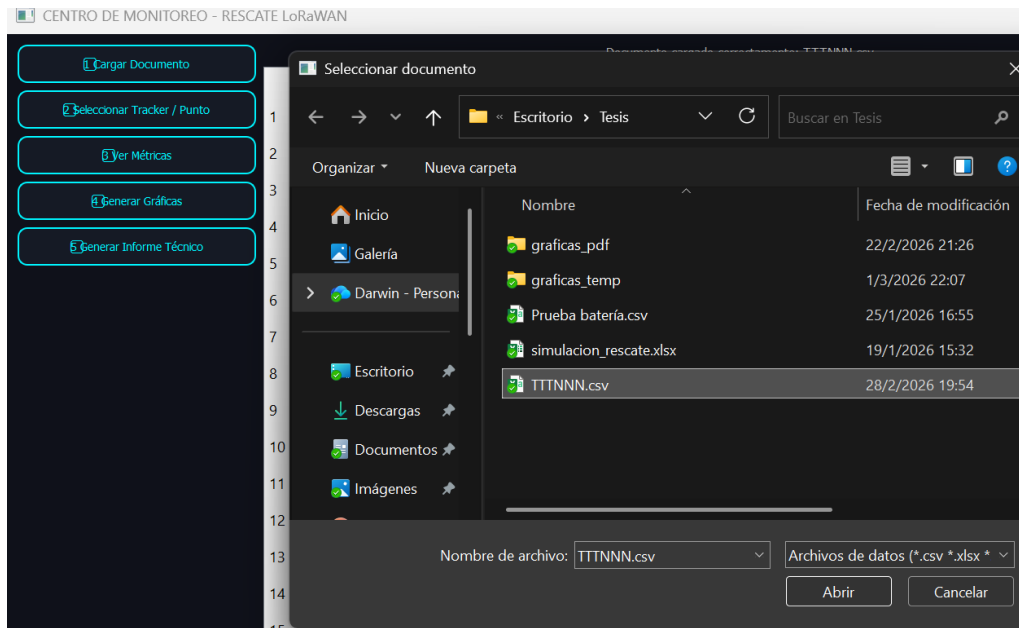


Figura 5.2: Proceso de lectura y carga de datos desde el archivo Excel seleccionado

### 5.1.3. Validación y organización de los datos cargados

Una vez que los datos han sido incorporados al sistema, se realiza un proceso de validación para asegurar su integridad. Esta verificación permite identificar posibles errores, como información faltante, formatos incorrectos o inconsistencias entre variables.

El sistema organiza los datos en estructuras apropiadas para su posterior procesamiento, garantizando que cada variable esté correctamente identificada y sea accesible. Esta etapa es crucial para prevenir errores durante el análisis y asegurar la confiabilidad de los resultados. Además, la información cargada se presenta de manera estructurada dentro del sistema, lo que permite al usuario visualizarla antes de iniciar el análisis, como se muestra en la Fig. 5.3.

	ID Tracker	Usuario Asignado	Fecha	Hora	Latitud	Longitud
1	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:20:51	0.0	0.0
2	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:21:56	0.0	0.0
3	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:20:36	0.34292	-78.182344
4	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:21:22	0.343113	-78.182224
5	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:21:53	0.343032	-78.182296
6	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:22:26	0.343056	-78.182416
7	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:22:58	0.34306	-78.182352
8	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:23:01	0.0	0.0
9	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:23:29	0.343184	-78.182544
10	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:24:00	0.343028	-78.182584
11	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:24:29	0.343086	-78.18272
12	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:24:56	0.343049	-78.18272
13	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:25:08	0.342936	-78.182864
14	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:25:47	0.343093	-78.182776
15	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:25:48	0.343074	-78.182768
16	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:26:28	0.343114	-78.182792

Figura 5.3: Visualización y estructura de los datos cargados en el sistema antes del análisis

#### 5.1.4. Preparación de datos para el análisis

Con los datos validados y correctamente organizados, el sistema inicia la preparación de la información para la fase de análisis. Esta etapa tiene como objetivo acondicionar los datos de manera que puedan emplearse en el cálculo de métricas, la generación de gráficos y la elaboración de reportes.

Durante este proceso, se llevan a cabo operaciones como la conversión de formatos, la normalización de datos o el cálculo de variables adicionales necesarias para el análisis. Estas

transformaciones permiten enriquecer la información original y obtener resultados más completos. Como se observa en la Fig. 5.4, los datos se encuentran listos para ser utilizados en los módulos de análisis, marcando la transición hacia la siguiente etapa del sistema.

Esta fase constituye el cierre del proceso de carga de datos y el inicio del análisis, durante el cual la información será empleada para evaluar el comportamiento del sistema y respaldar la toma de decisiones en escenarios de rescate.

Documento cargado correctamente: TTTNNN.csv

ID Tracker	Usuario Asignado	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	
1	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:20:51	0.0	0.0
2	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:21:56	0.0	0.0
3	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:20:36	0.34292	-78.182344
4	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:21:22	0.343113	-78.182224
5	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:21:53	0.343032	-78.182296
6	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:22:26	0.343056	-78.182416
7	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:22:58	0.34306	-78.182352
8	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:23:01	0.0	0.0

Buttons in sidebar: Cargar Documento, Seleccionar Tracker / Punto, Ver Métricas, Generar Gráficas, Generar Informe Técnico

Bottom bar: Análisis Gráfico del Tracker

Figura 5.4: Preparación de los datos para su uso en los módulos de análisis del sistema

## 5.2. Procesamiento y análisis de métricas

Una vez que los datos han sido cargados y preparados dentro de la plataforma de análisis, el sistema procede a ejecutar una serie de procesos orientados a la obtención de métricas que permiten evaluar el comportamiento del desplazamiento simulado. Esta etapa resulta fundamental, ya que transforma los datos en información interpretable que puede ser utilizada para la toma de decisiones.

El análisis se enfoca en variables clave como la distancia recorrida, el tiempo de desplazamiento, la velocidad y el comportamiento del recorrido en función del modo de simulación seleccionado. Estas métricas permiten caracterizar el movimiento del rescatista y evaluar la eficiencia del sistema bajo diferentes condiciones.

### 5.2.1. Cálculo de distancia recorrida

El cálculo de la distancia recorrida se realiza a partir de las coordenadas geográficas registradas durante la simulación. Para ello, el sistema aplica métodos de cálculo geodésico que

permiten determinar la separación entre puntos consecutivos sobre la superficie terrestre.

Cada segmento de distancia obtenido se acumula progresivamente, lo que permite calcular la distancia total recorrida por el rescatista. Esta métrica es especialmente relevante, ya que proporciona información clave sobre la eficiencia del desplazamiento. En la Fig. 5.5 se muestra un ejemplo de la distancia acumulada a lo largo del tiempo, evidenciando cómo esta variable incrementa conforme avanza la simulación.

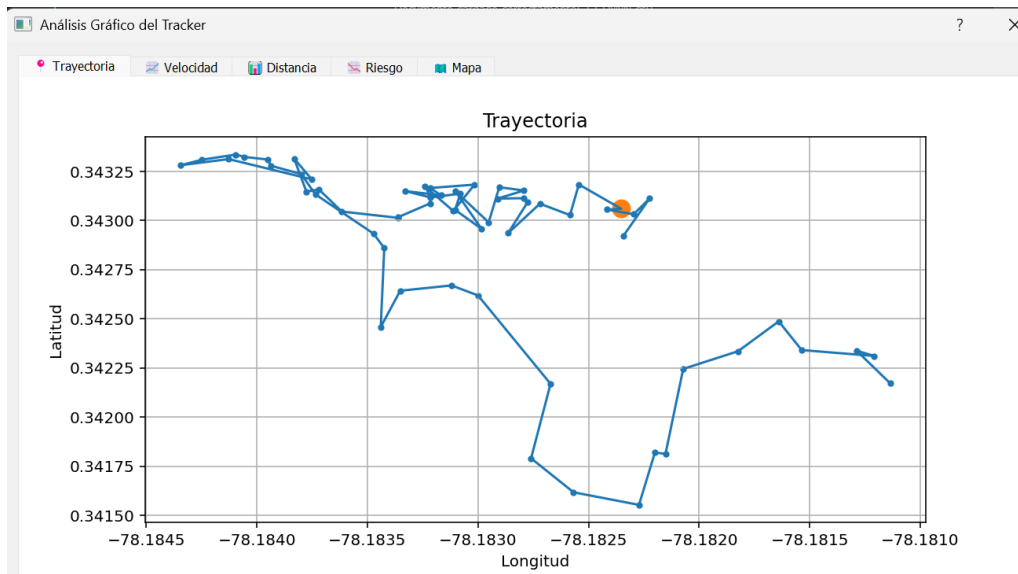


Figura 5.5: Ejemplo del cálculo de la distancia acumulada durante la simulación

### 5.2.2. Análisis del tiempo de desplazamiento

El tiempo constituye una variable clave para evaluar el desempeño del sistema, ya que permite determinar la duración total del recorrido y analizar la eficiencia del desplazamiento. Durante la simulación, el sistema registra el tiempo asociado a cada punto generado, lo que posibilita establecer una relación directa entre el desplazamiento y su evolución temporal.

Esta información es fundamental para identificar pausas, variaciones en el ritmo y comportamientos específicos asociados a los distintos modos de simulación. Como se muestra en la Fig. 5.6, el tiempo aumenta de manera progresiva conforme el rescatista avanza dentro del escenario simulado.

Documento cargado correctamente: TTT

	ID Tracker	Usuario Asignado	Fecha	Hora	Latitud	Longitud
1	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:20:51	0.0	0.0
2	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:21:56	0.0	0.0
3	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:20:36	0.34292	-78.182344
4	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:21:22	0.343113	-78.182224
5	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:21:53	0.343032	-78.182296
6	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:22:26	0.343056	-78.182416
7	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:22:58	0.34306	-78.182352
8	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:23:01	0.0	0.0
9	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:23:29	0.343184	-78.182544
10	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:24:00	0.343028	-78.182584
11	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:24:29	0.343086	-78.18272
12	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:24:56	0.343049	-78.18272
13	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:25:08	0.342936	-78.182864
14	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:25:47	0.343093	-78.182776
15	tracker-a	Carlos	16/2/2026	21:25:48	0.343074	-78.182768
16	tracker-b	Sara	16/2/2026	21:26:28	0.343114	-78.182792

Figura 5.6: Evolución del tiempo durante la simulación del desplazamiento del rescatista

### 5.2.3. Evaluación de la velocidad del desplazamiento

La velocidad del desplazamiento se determina a partir de la relación entre la distancia recorrida y el tiempo transcurrido. Esta métrica permite evaluar la rapidez con la que el rescatista se mueve dentro del escenario simulado.

El sistema calcula la velocidad en cada intervalo de tiempo, generando una serie de valores que facilitan el análisis de su comportamiento a lo largo del recorrido. Esta información es útil para identificar variaciones en la dinámica del movimiento, como aceleraciones o desaceleraciones. Como se muestra en la Fig. 5.7, la velocidad presenta fluctuaciones a lo largo del

trayecto, reflejando así el comportamiento dinámico del desplazamiento.

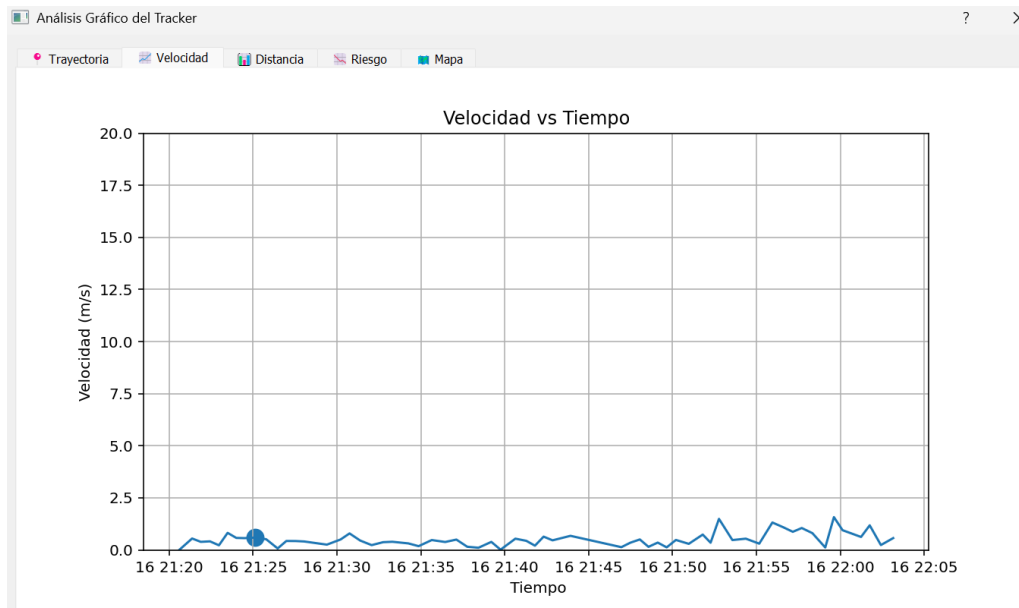


Figura 5.7: Variación de la velocidad durante el recorrido simulado del rescatista

#### 5.2.4. Comparación entre tracker de desplazamiento

Una de las principales ventajas del sistema desarrollado es la capacidad de analizar el comportamiento del desplazamiento utilizando distintos trackers, como el Tracker A y el Tracker B. Cada uno de ellos posee características específicas que influyen en variables como la distancia recorrida, el tiempo total y la velocidad del desplazamiento. Por ello, resulta fundamental realizar una comparación entre los trackers para evaluar su efecto sobre el desempeño del sistema.

En la Fig. 5.8 se presenta una comparación entre los trackers de desplazamiento, donde se evidencian diferencias significativas en el comportamiento de las métricas analizadas.

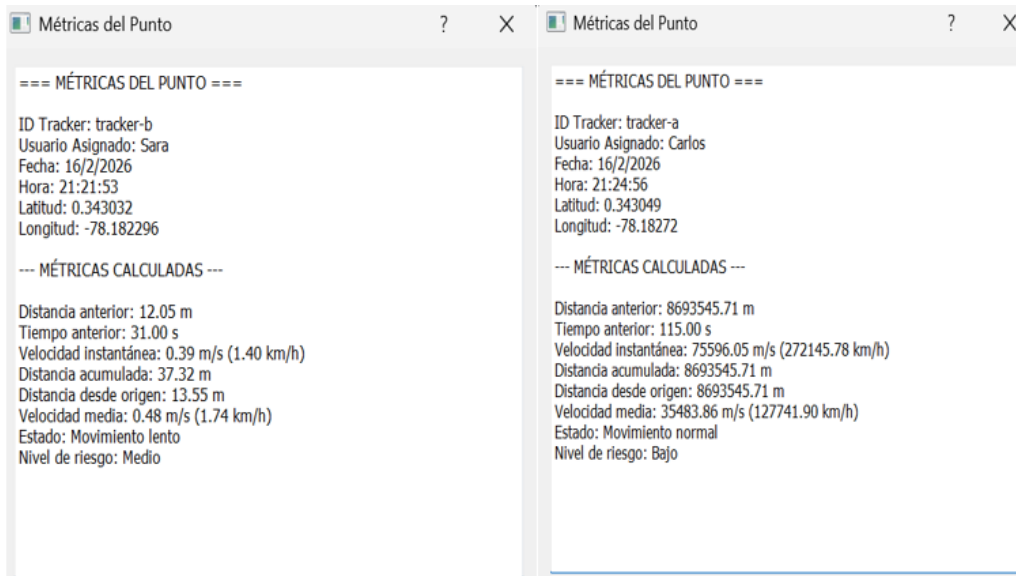


Figura 5.8: Comparación del desempeño entre diferentes trackers de desplazamiento

### 5.2.5. Interpretación de resultados

Una vez obtenidas las métricas y generadas las gráficas correspondientes, el sistema facilita una interpretación integral de los resultados. Este análisis se realiza considerando de manera conjunta todas las variables calculadas, lo que permite comprender el comportamiento del desplazamiento desde múltiples perspectivas.

La evaluación de los resultados no solo permite medir el desempeño del sistema, sino que también contribuye a identificar posibles mejoras en el algoritmo de simulación. Además, proporciona información relevante para su aplicación en escenarios reales de rescate. La integración de las diferentes métricas ofrece una visión global del comportamiento del sistema, como se observa en la Fig. 5.9.



Figura 5.9: Interpretación integral de las métricas y comportamiento global del sistema

### 5.3. Visualización gráfica de resultados

Una vez procesadas las métricas del sistema, se procede a su representación gráfica con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos. La visualización permite transformar los datos numéricos en representaciones intuitivas, haciendo posible identificar patrones, tendencias y comportamientos del desplazamiento de manera más clara.

Dentro de la plataforma desarrollada, se implementan distintos tipos de gráficos que permiten analizar variables como la distancia, el tiempo, la velocidad y la trayectoria del rescatista. Estas representaciones constituyen una herramienta fundamental para evaluar el desempeño del sistema.

### 5.3.1. Visualización de la trayectoria del desplazamiento

Una de las funcionalidades principales del sistema consiste en la visualización de la trayectoria de desplazamiento sobre un mapa, lo que permite observar de manera clara el recorrido realizado por el rescatista dentro del entorno simulado. Esta representación facilita la comprensión del movimiento a lo largo del tiempo y su relación con el espacio.

Para implementar esta funcionalidad, el sistema utiliza mapas basados en OpenStreetMap, donde se ubican las coordenadas generadas durante la simulación y se conectan mediante líneas que describen la ruta seguida. En la Fig. 5.10 se muestra esta representación, en la que es posible identificar el trayecto completo desde el punto de inicio hasta el punto final.

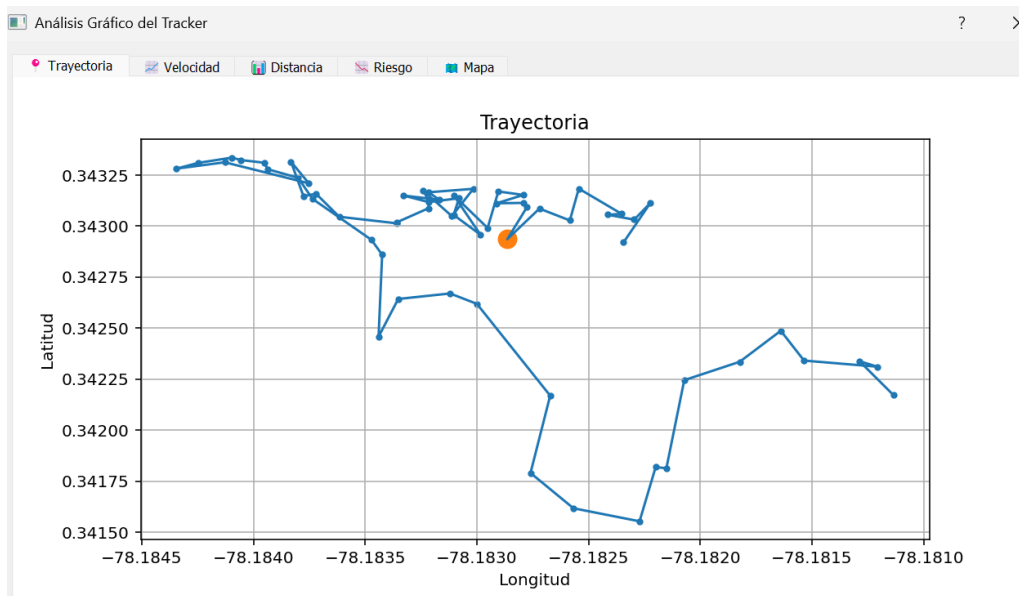


Figura 5.10: Visualización de la trayectoria de desplazamiento del rescatista sobre el mapa

### 5.3.2. Gráficas de variables en función del tiempo

Otra de las formas de visualización implementadas en el sistema consiste en representar distintas variables en función del tiempo, lo que permite analizar cómo evolucionan las métricas a lo largo del recorrido y facilita la interpretación del comportamiento dinámico del desplazamiento.

Entre las variables consideradas se incluyen la distancia acumulada, la velocidad y otros indicadores derivados del análisis. Estas representaciones gráficas permiten identificar tendencias, cambios y posibles variaciones en el movimiento. Como se muestra en la Fig. 5.11, la

gráfica de distancia en función del tiempo evidencia un incremento progresivo de esta variable durante el desarrollo de la simulación.

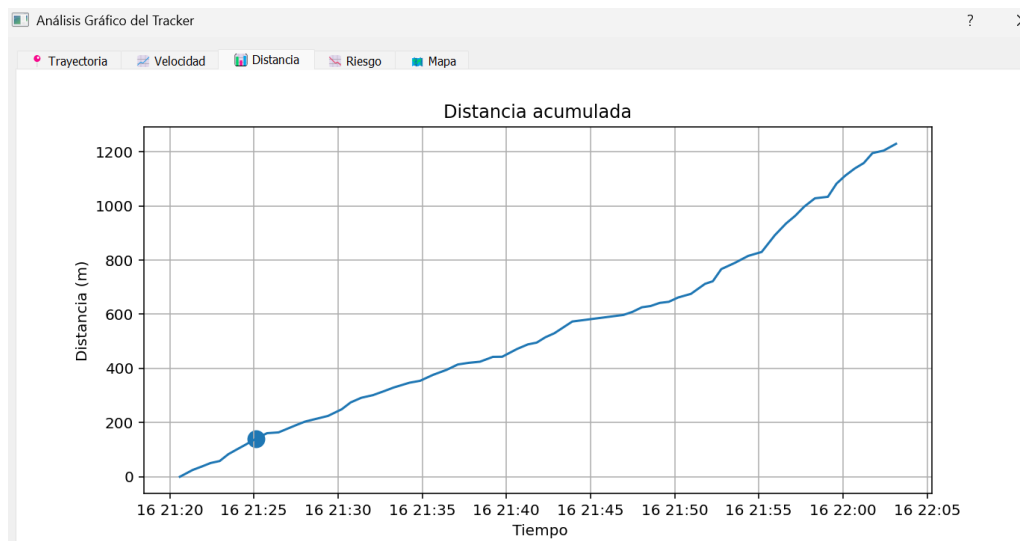


Figura 5.11: Evolución de la distancia acumulada a lo largo del tiempo durante la simulación

### 5.3.3. Visualización de la velocidad del desplazamiento

La velocidad de desplazamiento es una variable que experimenta cambios a lo largo del recorrido, por lo que su representación gráfica resulta esencial para analizar su comportamiento. La visualización de esta variable permite comprender cómo varía la dinámica del movimiento en función del tiempo dentro del entorno simulado.

El sistema presenta la velocidad en función del tiempo, lo que facilita la identificación de cambios en el patrón de desplazamiento. Estas variaciones están asociadas a los diferentes modos de movimiento implementados. Como se observa en la Fig. 5.12, la velocidad muestra fluctuaciones que reflejan el comportamiento dinámico del rescatista durante la simulación.

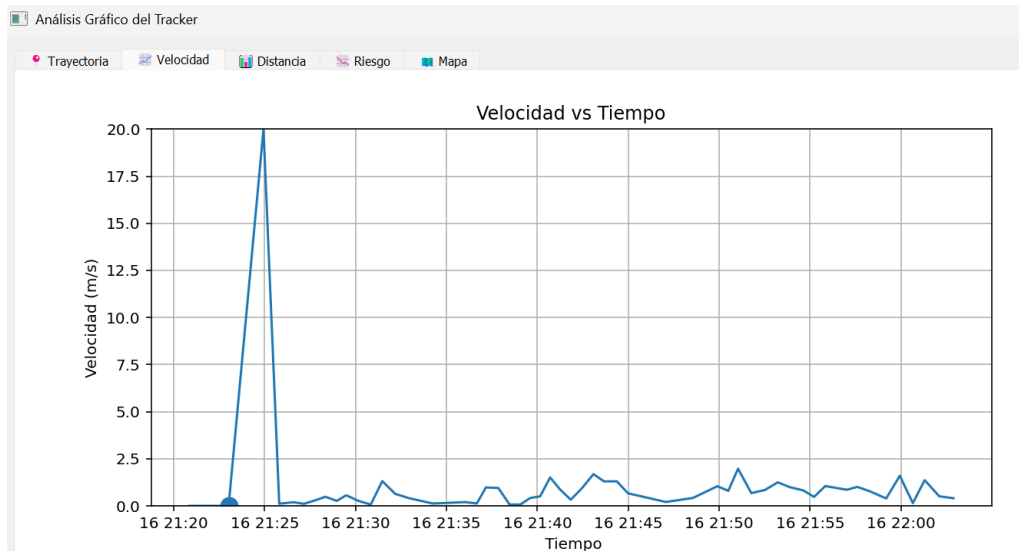


Figura 5.12: Evolución de la velocidad del rescatista a lo largo del tiempo durante la simulación

### 5.3.4. Comparación gráfica de métricas

El sistema incluye una funcionalidad orientada al análisis comparativo, que permite contrastar distintas métricas o evaluar el comportamiento entre varios modos de desplazamiento. Este enfoque facilita la interpretación de los resultados al considerar diferentes condiciones de operación dentro de la simulación.

Para ello, se utilizan representaciones visuales como gráficos con múltiples curvas o diagramas de barras, los cuales permiten identificar de manera clara las diferencias entre los escenarios analizados. En la Fig. 5.13 se presenta un ejemplo de esta comparación, donde se observan variaciones en parámetros como la distancia recorrida y el tiempo empleado según el modo de desplazamiento.

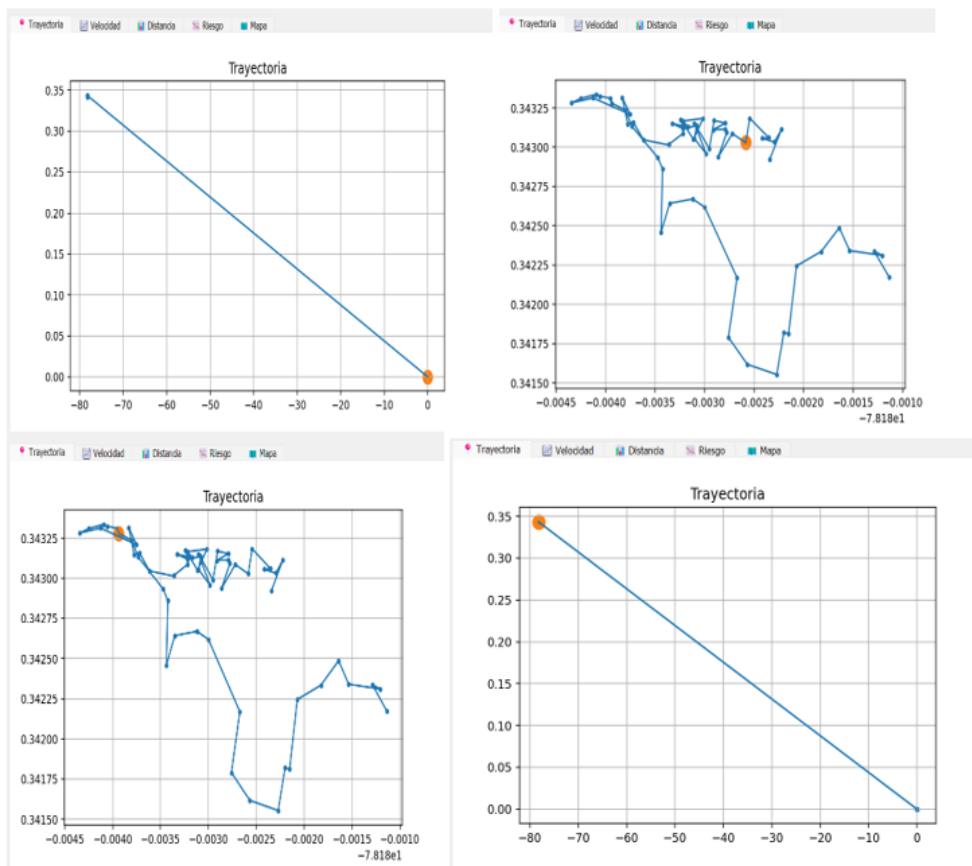


Figura 5.13: Comparación de métricas entre distintos modos de desplazamiento

Este tipo de visualización permite identificar el modo más eficiente en función de las condiciones del escenario.

### 5.3.5. Integración de visualizaciones para análisis global

Dentro de sus capacidades, el sistema integra distintos tipos de visualización en un mismo entorno, lo que permite analizar el desplazamiento desde una perspectiva más completa. En un único espacio se combinan mapas, gráficas de variables y representaciones comparativas, facilitando la interpretación conjunta de la información generada durante la simulación.

Esta integración resulta especialmente valiosa cuando se requiere evaluar varias métricas de manera simultánea, ya que permite relacionar los datos espaciales con su evolución temporal y con diferentes condiciones de operación. Como se observa en la Fig. 5.14, la incorporación de múltiples gráficos en una misma interfaz ofrece una visión general del desempeño del sistema.

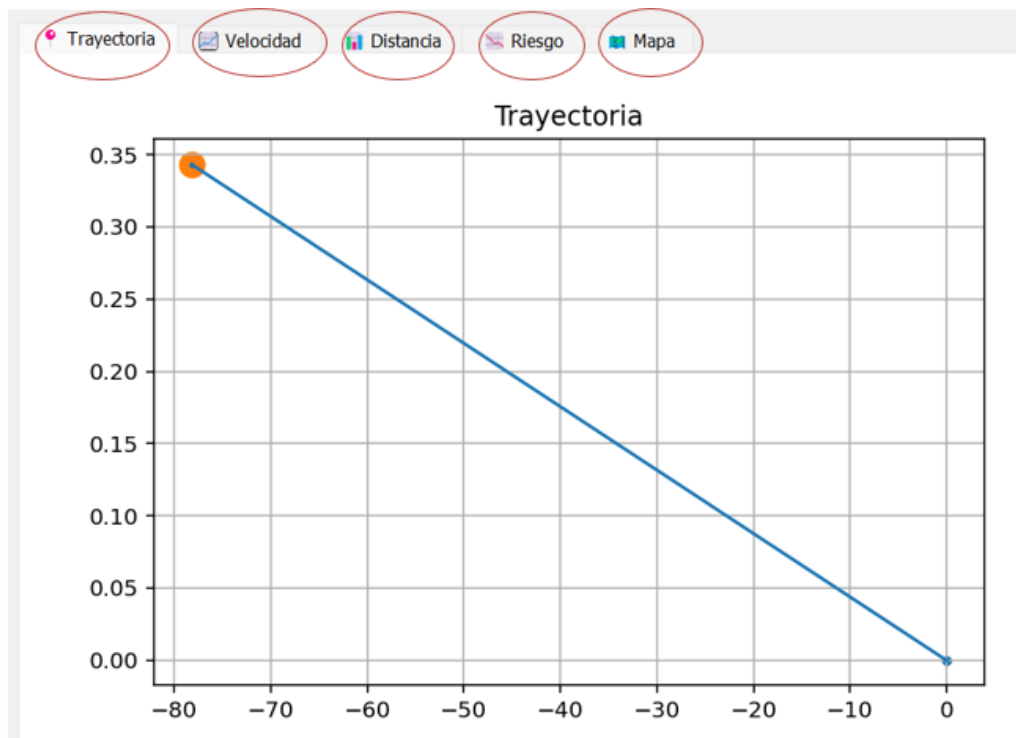


Figura 5.14: Integración de distintos tipos de visualización dentro de una misma interfaz del sistema

## 5.4. Generación de informe técnico

Una vez finalizadas las etapas de procesamiento y visualización, el sistema genera un informe técnico que reúne los resultados obtenidos durante la simulación junto con su respectivo análisis, organizando la información de forma estructurada para facilitar su comprensión y posible aplicación en escenarios reales. Este documento integra tanto los datos procesados como las representaciones gráficas generadas, lo que permite obtener una visión clara del comportamiento del desplazamiento simulado y lo convierte en un recurso útil para apoyar la toma de decisiones en operaciones de rescate.

### 5.4.1. Estructuración del informe generado

El informe técnico se estructura con el objetivo de presentar la información de manera clara, ordenada y fácil de interpretar. Para ello, se organiza en secciones que abarcan la descripción del escenario, los datos recopilados, las métricas obtenidas y sus correspondientes representaciones gráficas. Cada apartado cumple un propósito específico, permitiendo al usuario acceder

a la información de manera progresiva y analizarla con mayor facilidad, lo que mejora la comprensión general del documento y resalta los elementos más relevantes del sistema.

Como se muestra en la Fig. 5.15, esta estructura permite integrar distintos tipos de información dentro de un mismo informe de forma coherente.

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FICA  
Sistema de Monitoreo GPS basado en LoRaWAN  
Fecha de generación: 2026-03-19 22:59:37.166750  
Tracker Analizado: tracker-b  
Usuario Asignado: Sara

### Resumen Operativo

El tracker ID tracker-b presentó un recorrido total de 1.23 km durante 42.55 minutos, con velocidad promedio de 1.73 km/h y velocidad máxima de 5.67 km/h. Se detectaron periodos de posible detención prolongada.

Métrica	Valor
Distancia Total (m)	1229.14
Desplazamiento Neto (m)	157.99
Tiempo Total (s)	2553.00
Velocidad Promedio (m/s)	0.48
Velocidad Máxima (m/s)	1.58
Aceleración Máxima (m/s <sup>2</sup> )	0.05
Intervalo Promedio (s)	41.18
Radio Máximo (m)	1229.14

### Mapa interactivo OpenStreetMap:

Figura 5.15: Estructura del informe técnico que integra información y métricas del sistema

#### 5.4.2. Inclusión de métricas y resultados relevantes

El informe generado incluye las principales métricas obtenidas durante el análisis, tales como la distancia total recorrida, el tiempo de desplazamiento y la velocidad promedio. Estos indicadores permiten evaluar el desempeño del sistema y describir el comportamiento del desplazamiento dentro del entorno simulado.

Además de los valores numéricos, el informe proporciona explicaciones que facilitan la interpretación de los resultados, aportando el contexto necesario para comprender su significado. Como se observa en la Fig. 5.16, las métricas se presentan de manera clara, lo que permite su identificación y análisis dentro del documento.

Métrica	Valor
Distancia Total (m)	1229.14
Desplazamiento Neto (m)	157.99
Tiempo Total (s)	2553.00
Velocidad Promedio (m/s)	0.48
Velocidad Máxima (m/s)	1.58
Aceleración Máxima (m/s <sup>2</sup> )	0.05
Intervalo Promedio (s)	41.18
Radio Máximo (m)	1229.14

Figura 5.16: Presentación de las principales métricas del análisis dentro del informe técnico

### 5.4.3. Integración de representaciones gráficas

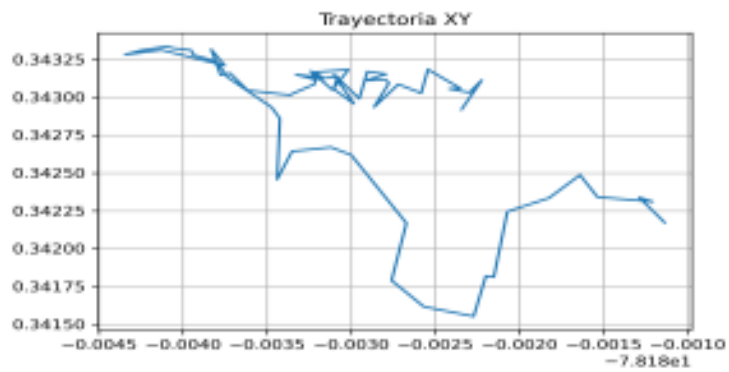
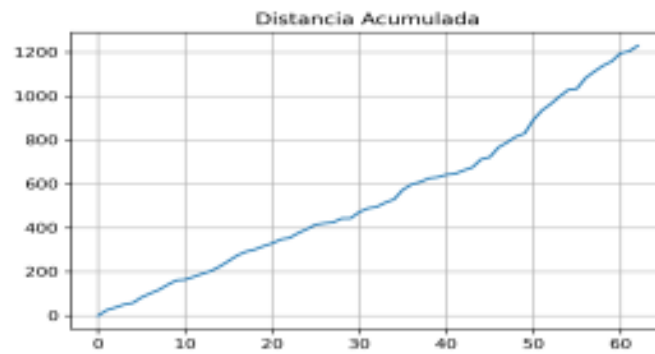
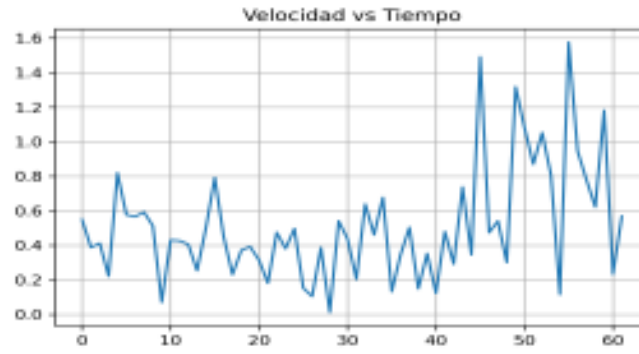
El informe técnico incluye las gráficas generadas durante la fase de visualización, con el objetivo de complementar la información numérica mediante representaciones visuales. Este recurso facilita la interpretación de los resultados y permite identificar de manera más clara patrones en el comportamiento del sistema.

Entre estas representaciones se encuentran gráficas de distancia, velocidad, tiempo y trayectoria, las cuales proporcionan una visión más intuitiva del desplazamiento del rescatista a lo largo de la simulación. Cada una de ellas contribuye a comprender diferentes aspectos del movimiento y su evolución.

Como se observa en la Fig. 5.17, la incorporación de estas gráficas dentro del informe fortalece el análisis, ya que permite una mejor comprensión de los resultados obtenidos y su relación con el comportamiento general del sistema.

## Mapa interactivo OpenStreetMap:

[Abrir mapa interactivo en navegador](#)



## Evaluación Automática

Possible situación de inmovilidad crítica detectada

#### **5.4.4. Utilidad del informe en la toma de decisiones**

El informe técnico generado por el sistema no se limita a describir los resultados, sino que también actúa como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en escenarios de rescate. A partir de la información presentada, es posible analizar el comportamiento del desplazamiento y evaluar la eficiencia de las estrategias implementadas durante la simulación.

El análisis conjunto de las métricas y las gráficas permite identificar oportunidades de mejora en el sistema y ajustar los procedimientos de desplazamiento para su aplicación en contextos reales, donde factores como el tiempo y la precisión son determinantes. Como se observa en la Fig. 5.18, el informe integra la información necesaria para evaluar el desempeño del sistema y facilitar la toma de decisiones.

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FICA  
Sistema de Monitoreo GPS basado en LoRaWAN  
Fecha de generación: 2026-03-19 22:59:37.166750  
Tracker Analizado: tracker-b  
Usuario Asignado: Siera

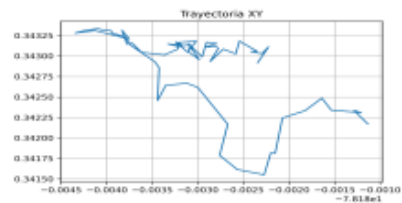
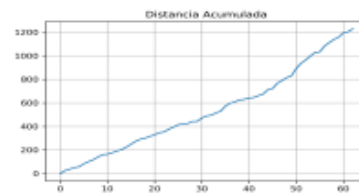
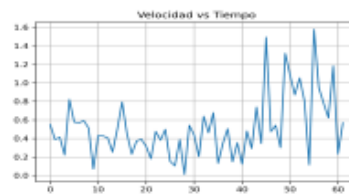
### Resumen Operativo

El tracker ID tracker-b presentó un recorrido total de 1.23 km durante 42.55 minutos, con velocidad promedio de 1.73 km/h y velocidad máxima de 5.67 km/h. Se detectaron periodos de posible detención prolongada.

Métrica	Valor
Distancia Total (m)	1229.14
Desplazamiento Neto (m)	157.99
Tiempo Total (s)	2553.00
Velocidad Promedio (m/s)	0.48
Velocidad Máxima (m/s)	1.58
Aceleración Máxima (m/s <sup>2</sup> )	0.05
Intervalo Promedio (s)	41.18
Radio Máximo (m)	1229.14

### Mapa interactivo OpenStreetMap:

[Abrir mapa interactivo en navegador](#)



### Evaluación Automática

Posible situación de inmovilidad crítica detectada.

Figura 5.18: Utilidad del informe técnico para la evaluación del desempeño y la toma de decisiones en escenarios de rescate

# Capítulo VI

## CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y TRABAJO A FUTURO

### 6.1. CONCLUSIONES

El proyecto permitió desarrollar un sistema de simulación capaz de generar trayectorias geográficas mediante parámetros configurables de velocidad y duración, produciendo automáticamente archivos de datos en formato Excel para su análisis posterior.

El algoritmo implementado demostró coherencia entre tiempo, distancia y velocidad, verificando que la distancia acumulada crece de manera consistente con los parámetros de simulación. Esto confirma la correcta implementación de la relación fundamental entre desplazamiento y tiempo, constituyendo una base sólida para análisis posteriores con datos reales.

El módulo de análisis permitió procesar los datos generados y obtener métricas relevantes como distancia acumulada, velocidad estimada y separación entre puntos consecutivos. Las gráficas obtenidas evidenciaron estabilidad del sistema y ausencia de inconsistencias numéricas.

La visualización cartográfica basada en OpenStreetMap facilitó la interpretación espacial de las trayectorias simuladas, demostrando cómo el sistema puede integrarse en un entorno de monitoreo geográfico.

En conjunto, el desarrollo de esta herramienta contribuye al cumplimiento del objetivo general, al establecer un sistema funcional que permite simular, analizar y visualizar trayectorias geográficas, sentando las bases para su futura implementación con datos GPS reales y transmisión LoRaWAN en operaciones de rescate.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Implementar adquisición de datos en tiempo real desde dispositivos GPS físicos, con transmisión mediante tecnología LoRaWAN, para validar el sistema en condiciones operativas reales.

Migrar la interfaz a una aplicación web que permita acceso remoto y visualización en línea de trayectorias.

Optimizar almacenamiento de datos mediante bases de datos estructuradas para manejar simulaciones de mayor duración o frecuencia de actualización.

Integrar métricas adicionales de análisis, como consumo energético estimado, variación angular de trayectoria y análisis estadístico avanzado del comportamiento espacial.

## **6.3. TRABAJO A FUTURO**

Se considera importante llevar la herramienta desarrollada a un entorno más cercano a la realidad, mediante su integración con dispositivos físicos basados en tecnología LoRaWAN y módulos GPS. Esto permitiría no solo comprobar su funcionamiento en condiciones reales, sino también identificar posibles limitaciones relacionadas con la cobertura, la estabilidad de la comunicación y la precisión de los datos en escenarios propios de operaciones de rescate.

De igual manera, se plantea fortalecer la capacidad de análisis del sistema incorporando métodos más avanzados que permitan interpretar mejor la información recolectada. Por ejemplo, se podrían incluir técnicas para estimar trayectorias, reconocer patrones de movimiento o detectar comportamientos inusuales que puedan indicar situaciones de riesgo. Este tipo de mejoras aportaría un mayor valor a la herramienta, especialmente en contextos donde la toma de decisiones debe ser rápida y confiable.

Finalmente, también se abre la posibilidad de ampliar las funcionalidades del sistema para hacerlo más práctico y accesible. Entre estas mejoras se encuentran la optimización de la visualización en tiempo real, el desarrollo de una aplicación móvil que facilite su uso en campo y la implementación de mecanismos básicos de seguridad para proteger la información. En conjunto, estas proyecciones permitirían que la herramienta evolucione hacia una solución más completa y adaptable a diferentes necesidades.

# Bibliografía

- [1] A. A. Andrianto, “Implementation of internet of things (iot) in tracking the position of search and rescue teams in sukoharjo district using lora,” *SMATIKA: STIKI Informatika Jurnal*, vol. 14, no. 1, pp. 86–95, 2024.
- [2] J. P. B. Ormaza and J. I. T. Ayo, “Sistema de comunicación de emergencia basado en lora mesh chat de bajo costo.” Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sede Sangolquí, 2025.
- [3] J. C. B. Vera, “Desarrollo de una red iot con tecnología lora para la ubicación de automóviles y medición de parámetros en carreteras.” Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, 2019.
- [4] J. C. Rocha-Hoyos, E. A. Llanes-Cedeño, S. F. Celi-Ortega, and D. C. Peralta-Zurita, “Efecto de la adición de biodiésel en el rendimiento y la opacidad de un motor diésel,” *Información Tecnológica*, vol. 30, no. 3, pp. 137–144, 2019.
- [5] T. H. Caballero, “Estudio en detalle de lorawan. comparación con otras tecnologías lpwan considerando diferentes patrones de tráfico.” Tesis, Universitat Oberta de Catalunya, 2019.
- [6] J. M. Muñoz and J. R. M. Lopez, “Aplicaciones del análisis de aceite usado en motores a diésel de uso marino.” Tesis, ESPOL, Mar 2019.
- [7] J. D. P. Castellanos and J. C. C. Parra, “Sistema de monitoreo y control a distancia por medio de una red lorawan en el marco de iot.” Monografía, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2024.
- [8] D. A. M. Moya and A. D. S. Haro, “Diseño e implementación de una red lpwan para monitoreo de consumo eléctrico.” Tesis de Grado, Universidad Nacional de Chimborazo, 2024.

- [9] F. H. C. dos Santos Filho et al., “Performance of lorawan for handling telemetry and alarm messages,” *Sensors*, vol. 20, no. 11, p. 3061, 2020.
- [10] G. D. Corzo and E. L. Alvarez-Aros, “Estrategias de conectividad en la industria 4.0 en latinoamérica,” *Revista Información y Comunicación*, vol. 31, no. 6, pp. 183–192, 2020.
- [11] D. A. S. Haro and A. D. M. Moya, “Diseño e implementación de una red lora para el monitoreo y control del consumo energético en zonas rurales,” *Revista Campus*, vol. 29, pp. 1–10, 2024.
- [12] F. D. Pérez and R. Risc, “Implementación de lora y lorawan como escenario futuro de la industria 4.0 en el sector agroindustrial peruano,” *Revista Campus*, vol. 25, 2020.
- [13] M. C. Herruzo, “Red sensores multiservicio lpwan, lora, lorawan, ttn y mqtt,” *Revista Iberoamericana de Ingeniería*, vol. 17, pp. 115–130, 2023.
- [14] P. R. Domingo, “Optimización de la comunicación en redes lorawan para el seguimiento de vehículos sin gps,” *Wireless Communication Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 45–58, 2021.
- [15] A. López, “Desarrollo de una red lorawan para la localización en exteriores sin gps,” tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2024.
- [16] J. Villegas, “Tecnología de posicionamiento indoor con uwb.” Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de València, 2023.
- [17] J. Pérez, “Implementación de un dispositivo iot, basado en tecnología lora para la geolocalización y monitoreo fisiológico de personas en lugares turísticos.” Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Salesiana, 2024.
- [18] J. Pérez, “Desarrollo de un entorno hardware-software para el control de drones.” Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Salesiana, 2024.
- [19] P. Fernández, “Sistema de localización portátil para exteriores basado en lora y gps.” Tesis de Maestría, Universidad Técnica Particular de Loja, 2024.

- [20] M. González, “Análisis comparativo entre lorawan y lte en un escenario de red para la internet de las cosas usando el software de simulación ns3,” tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2024.
- [21] A. Sánchez, “Desarrollo de un modelo de aprendizaje profundo para estimación de coordenadas gps basado en metadatos de comunicación lorawan.” Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
- [22] P. Ramírez, “Diseño de una red para geoposicionamiento basada en lorawan,” tesis de maestría, Universidad Politécnica Nacional, Ecuador, 2024.
- [23] A. Alsharif, R. Nordin, and M. Ismail, “A survey of lorawan for iot: Applications and challenges,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 190092–190113, 2020.
- [24] J. Sánchez, M. Pérez, and L. Gómez, “Design and implementation of a lora-based mobile robotic system for monitoring in emergency scenarios,” *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5678, 2022.
- [25] J. Bravo-Arrabal, P. Zambrana, J. J. Fernández-Lozano, J. A. Gómez-Ruiz, J. S. Barba, and A. García-Cerezo, “Realistic deployment of hybrid wireless sensor networks based on zigbee and lora for search and rescue applications,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 64618–64637, 2022.
- [26] J. Gauld *et al.*, “Characterisation of a new lightweight lorawan gps bio-logger and deployment on griffon vultures *gyps fulvus*,” *Animal Biotelemetry*, vol. 11, no. 17, pp. 1–20, 2023.
- [27] M. Staniek and I. Celiński, “The use of lora technology as an alternative to gps in the navigation of a mountain vehicle intended for people with special needs,” *Archives of Transport*, vol. 75, no. 3, pp. 159–188, 2025.
- [28] E. Svertoka, A. Rusu-Casandra, R. Burget, I. Marghescu, J. Hosek, and A. Ometov, “Lo-rawan: Lost for localization?,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 23, pp. 23307–23318, 2022.

- [29] Y. Zhang, X. Liu, and Z. Wang, “Iot-based structural health monitoring system for civil infrastructure using wireless sensor networks,” *Sensors*, vol. 22, no. 19, p. 7421, 2022.
- [30] A. F. Yamunaque and M. A. J. Breña, “Propuesta de un sistema de detección de accidentes y localización para bomberos usando tecnología lora.” Trabajo de Titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2024.
- [31] A. García and M. A. Sánchez, “Desarrollo de un sistema de monitoreo de salud estructural usando iot y lorawan,” tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, 2024.
- [32] M. D. L. Angamarca and R. B. M. Vásquez, “Desarrollo de un sistema de monitoreo y rastreo de productos agrícolas utilizando iot, caso de estudio cacao.” Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, 2023.
- [33] S. Márquez-Sánchez, I. Campero-Jurado, and J. M. Corchado, “Plataforma para la monitorización inteligente de infraestructuras con vehículos aéreos no tripulados y técnicas de aprendizaje profundo,” *Sensors*, vol. 21, no. 15, p. 5245, 2021.
- [34] H. M. Jawad, R. Nordin, S. K. Gharghan, A. M. Jawad, and M. Ismail, “Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review,” *Sensors*, vol. 22, no. 2, p. 500, 2022.
- [35] J. Marín, P. Vera, and L. Parra, “Lorawan-based wireless sensor network for environmental monitoring in rural areas,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 107234–107245, 2022.
- [36] C. A. P. Sánchez, J. A. Calderón, and J. L. Izquierdo, “Protocolo lora para análisis de medición con gps y arduino en la industria ganadera del ecuador: Una revisión sistemática.” Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, 2021.
- [37] W. A. O. Iguasnia, J. J. T. Muñoz, and S. A. O. Villarroel, “Monitoreo en tiempo real del ganado: integración de lora, sensores y visualización de datos,” *Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, vol. 9, no. 2, pp. 177–183, 2025.
- [38] R. M. Balmaceda, R. V. Martín, J. B. Arrabal, J. J. F. Lozano, and A. G. Cerezo, “Sistema de comunicación de respaldo mediante tecnología lora con hardware y software

- abierto para aplicaciones de robótica de emergencias.” XV Jornadas Internacionales sobre Seguridad, Emergencias y Catástrofes, Universidad de Málaga, 2021. Disponible en: <https://github.com/jjflozano/BackUpCommLoRa>.
- [39] A. A. E. Cubillos and R. J. Moreno, “Revisión sistemática de aplicaciones de robótica para atención de víctimas,” *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, no. 44, pp. 12–25, 2024.
- [40] U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, “Low power wide area networks: An overview,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 855–873, 2017.
- [41] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi, “Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the iot and smart city scenarios,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 5, pp. 60–67, 2016.
- [42] P. A. Orellana, F. I. C. Rengel, C. I. Q. Farez, S. A. R. Pozo, and P. E. Ayala, “Análisis de las medidas de seguridad en rescate con cuerdas para mejorar la capacidad de respuesta en emergencias dirigido al personal del cuerpo de bomberos,” *Revista INNDEV - Innovation & Development Ciencias del Sur*, vol. 2, no. 1, pp. 9–17, 2023.
- [43] X. Li, Y. Liu, and Z. Chen, “Design of a lora-based wireless communication system for mobile robot monitoring,” *Sensors*, vol. 22, no. 10, p. 3785, 2022.
- [44] M. P. Cunduri and B. D. C. Espinoza, “Tecnologías iot para la supervisión remota de infraestructuras y monitoreo agrícola usando redes lpwan.” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2024.
- [45] A. Alsarhan, A. Al-Dubai, E. Ekonomou, and M. M. Al-Jarrah, “Performance evaluation of lorawan for iot-based applications in remote and emergency scenarios,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 109870–109882, 2021.
- [46] M. A. Almuhaya, M. A. Alshahrani, and A. Alharbi, “Iot-based smart monitoring system using lorawan for environmental applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 143945–143958, 2021.

- [47] K. Mikhaylov, J. Petäjäjärvi, and T. Hänninen, “Analysis of capacity and scalability of the lora low power wide area network technology,” *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 1023, 2022.
- [48] J. Haxhibeqiri, F. V. den Abeele, I. Moerman, and J. Hoebeke, “Lora scalability: A simulation model based on interference measurements,” *Sensors*, vol. 21, no. 6, p. 2077, 2021.
- [49] G. W. Larrotta, “Evamed - sistema de información para el apoyo en tareas de evacuación y rescate en el municipio de santa bárbara, santander.” Trabajo de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI), Ingeniería de Sistemas, 2023.
- [50] C. C. Ulloa, “Sistemas robóticos e interfaces inmersivas para aplicaciones robustas de búsqueda y exploración,” *Revista Energía Mecánica, Innovación y Futuro*, vol. 11, no. 1, pp. 14–18, 2022.
- [51] D. E. Perachimba, “Sistema de visualización y análisis de datos gps para operaciones de rescate.” <https://github.com/darwinperachimba-coder/Sistema-rescate-GPS>, 2026. Repositorio en GitHub.

# Anexos

## 0.1. Repositorio del sistema desarrollado

Como parte del presente trabajo, se desarrolló una herramienta para la visualización y análisis de datos de posicionamiento GPS en operaciones de rescate. El código fuente y los recursos asociados se encuentran disponibles en el repositorio del sistema desarrollado [51].

- Sistema de visualización y análisis de datos GPS: <https://github.com/darwinperachimba-coder/Sistema-rescate-GPS>