



Análisis espacial de las rutas de reciclaje mediante tecnologías de georreferenciación: un estudio en la ciudad de Barranquilla

Autor(es):

**Mario Alberto Beltran Mejia
Robert Keneth Machacon Huertas**

**Trabajo de grado como prerrequisito para la obtención de grado de
Ingeniero Informático**

Director(a):

**Hernando Dominguez
Ing. Sistemas**

**Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Informática
Colombia - Barranquilla**

2025

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Dios, por brindarnos la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar con éxito esta etapa tan importante de nuestra formación.

Agradecemos a nuestro docente Hernando Domínguez quien con su dedicación, conocimiento y orientación, nos guiaron en cada fase del desarrollo de este proyecto. Su acompañamiento fue fundamental para fortalecer nuestras competencias técnicas y nuestro compromiso ético como futuros ingenieros.

Extendemos nuestro reconocimiento a la Universidad por brindarnos los espacios, recursos y herramientas necesarias para el aprendizaje y la investigación, impulsando el desarrollo académico con responsabilidad y excelencia.

De igual forma, agradecemos a nuestras familias, por su apoyo, comprensión y constante motivación, que fueron pilares esenciales durante todo este proceso. Finalmente, a nuestros compañeros, quienes compartieron con nosotros experiencias, ideas y esfuerzos que enriquecieron esta investigación y fortalecieron nuestro crecimiento personal y profesional.

Abstract

This project proposes the design, implementation, and validation of a technological platform composed of a mobile application and a web-based spatial analysis system, aimed at tracking and visualizing the routes of recyclers in the city of Barranquilla. From a computer engineering perspective, it integrates georeferencing technologies, geospatial databases, cloud services, and interactive dashboards.

The system enables the field capture of coordinates from the routes taken by recyclers, storing them in a structured manner, and generating visual products such as heat maps and linear route representations. These inputs facilitate the diagnosis of areas with high and low recycling coverage and constitute an objective basis for the planning and monitoring of the activity.

The project is developed under a User-Centered Design (UCD) approach, considering the technological and operational characteristics. A field pilot was conducted to validate the tool's usability, the precision of the georeferenced data, and the system's utility in supporting environmental management and increasing the visibility of recycling work.

The research evidences that the integration of georeferencing and spatial analysis technologies into an accessible and scalable platform constitutes a strategic tool to advance toward more efficient, transparent waste management aligned with the principles of the circular economy in the District of Barranquilla.

Keywords: georeferencing, spatial analysis, recycling, recycler routes, geographic information systems, dashboards.

Resumen

El presente proyecto propone el diseño, implementación y validación de una plataforma tecnológica compuesta por una aplicación móvil y un sistema web de análisis espacial, orientados al seguimiento y visualización de las rutas de recicladores en la ciudad de Barranquilla. Desde la ingeniería informática, se integran tecnologías de georreferenciación, bases de datos geoespaciales, servicios en la nube y dashboards interactivos.

El sistema permite capturar en campo las coordenadas de los recorridos realizados por los recicladores, almacenarlas de forma estructurada y generar productos visuales como mapas de calor y representaciones lineales de rutas. Estos insumos facilitan el diagnóstico de zonas con alta y baja cobertura de reciclaje y constituyen una base objetiva para la planificación y monitoreo de la actividad.

El proyecto se desarrolla bajo un enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU), considerando las características tecnológicas, operativas. Se realizó un piloto de campo que permitió validar la usabilidad de la herramienta, la precisión de los datos georreferenciados y la utilidad del sistema como apoyo a la gestión ambiental y a la visibilización de la labor de reciclaje.

La investigación evidencia que la integración de tecnologías de georreferenciación y análisis espacial en una plataforma accesible y escalable constituye una herramienta estratégica para avanzar hacia una gestión de residuos más eficiente, transparente y alineada con los principios de la economía circular en el Distrito de Barranquilla.

Palabras clave: georreferenciación, análisis espacial, reciclaje, rutas de recicladores, sistemas de información geográfica, dashboards.

Índice

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8

1.1 Contextualización	8
1.2 Formulación del problema	9
1.3 Pregunta de investigación	9
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo general (Título de segundo nivel)	10
1.4.2 Objetivos específicos (Título de segundo nivel)	10
1.5 Justificación	11
1.6 Antecedentes	12
1.6.1 Antecedentes Generales	12
1.6.2 Antecedentes Específicos	13
1.6.3 Antecedentes Investigativos	14
1.6.4 Síntesis de los antecedentes	15
CAPITULO 2. MARCO TEORICO Y LEGAL	16

2.1 Gestión de residuos y contexto local	16
2.2 Georreferenciación y monitoreo de rutas	16
2.3 Macro y micro ruteo en sistemas inteligentes	17
2.4 Prestación de servicios públicos y asociaciones locales	18
2.5 Arquitectura informática: dashboard, frontend y backend	18
2.6 Servicios Cloud	19
2.7 Note.js	20
2.8 Next.js	20
2.9 Marco Legal	21
2.9.1 Tratamiento de datos personales, aceptación y políticas	21
2.9.2 Marco normativo colombiano aplicable	21
2.9.3 Implicaciones del uso de ubicación en tiempo real	22
2.9.4 Tratamiento de datos por terceros	22
2.9.5 Transferencia internacional de datos	23
2.9.6 Seguridad de la información	23
2.9.7 Síntesis del apartado	24

CAPITULO 3. ENFOQUE Y DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION

3.1 Tipo de investigación y enfoque	27
3.2 población y contexto de estudio	27
3.3 Fases metodológicas	27
3.3.1 Fase de desarrollo (Diseño Centrado en el Usuario)	28
3.3.2 Fase de implementación y transferencia tecnológica	28
3.3.3 Fase de evaluación	29

CAPITULO 4. RESULTADOS

30

4.1 Fase de desarrollo del sistema	30
4.1.1 Especificación de requisitos	31
4.1.2 Diseño de la aplicación móvil	33
4.1.3 Backend y almacenamiento de datos	35
4.1.4 Dashboard administrativo	37
4.1.5 Conclusión fase de desarrollo	38
4.2 Fase de implementación y transferencia tecnológica	40
4.2.1 Implementación de la aplicación móvil	40
4.2.1.1 Arquitectura funcional de la aplicación	41
4.2.1.2 Resultado	46
4.2.2 Backend y almacenamiento de datos	47
4.2.2.1 Arquitectura general del backend	47
4.2.2.2 Resultado	53
4.2.3 Desarrollo del Dashboard y Plataforma Web	53
4.2.3.1 Arquitectura del frontend	53
CAPITULO 5: CONCLUSIONES	65
5.1 Conclusiones	65
5.2 Limitaciones del estudio	66
5.3 Recomendaciones y trabajo futuro	67
Bibliografía	68

Ilustración 1 Login de la aplicación Mobile	Ilustración 2 Enviando	
ubicación desde la aplicación Mobile		35
Ilustración 3 Diagrama UML de entidad relación		36
Ilustración 4 Dashboard Pestaña De Informes		37
Ilustración 5 Diagrama de Uso Api		40
Ilustración 6 Módulo de autenticación		41
Ilustración 7 Módulo de tracking de ubicación		42
Ilustración 8 Funcion de Ubicacion		43
Ilustración 9 Variable de Ubicacion		44
Ilustración 10 Envio de Ubicacion		44
Ilustración 11 Deteniendo ubicación desde la app Mobile		46
Ilustración 12 Tabla de Users		48
Ilustración 13 Tabla de Credenciales		48
Ilustración 14 Tabla de Tracking		49
Ilustración 15 Autenticador		50
Ilustración 16 Appi rest auth		50
Ilustración 17 Appi rest Users		51
Ilustración 18 Appi rest Tracking		52
Ilustración 19 Dashboard con mapa lineal de los recorridos		62
Ilustración 20 Dashboard con visibilidad del mapa de calor de los recorridos		63

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Contextualización

El manejo de residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales desafíos ambientales en ciudades como Barranquilla, donde el crecimiento poblacional y económico genera volúmenes crecientes de desechos. En este contexto, los recicladores de oficio desempeñan un papel fundamental en la recuperación de materiales aprovechables, contribuyendo a la reducción de residuos dispuestos en rellenos sanitarios, al fortalecimiento de la economía circular y a la sostenibilidad ambiental del territorio.

En Barranquilla, la prestación del servicio público de aseo está a cargo de la empresa Triple A S.A. E.S.P., mientras que el componente de aprovechamiento recae en gran medida en organizaciones de base, entre ellas la Asociación de Recicladores de Barranquilla (ARB). A pesar de su relevancia, la actividad de los recicladores suele estar subvalorada y carecer de mecanismos de registro y monitoreo sistemático que permitan dimensionar de manera objetiva su aporte ambiental y social.

En los últimos años, la problemática asociada a los residuos en Barranquilla se ha hecho aún más visible. De acuerdo con un reportaje periodístico reciente, la ciudad enfrenta una crisis de basuras a cielo abierto, con aproximadamente 2.500 toneladas de desperdicios acumuladas mensualmente en puntos críticos del territorio urbano (Infobae, 2024). Esta situación no solo genera impactos ambientales y sanitarios, sino que también evidencia fallas en la planificación y el control del manejo de residuos. En este contexto, contar con información georreferenciada sobre las rutas de reciclaje y los sectores efectivamente atendidos por los recicladores de oficio se vuelve clave para diseñar estrategias más eficientes de aprovechamiento y mitigación de la acumulación de residuos en el espacio público.

1.2 Formulación del problema

Una de las principales limitaciones actuales es la ausencia de herramientas tecnológicas que permitan registrar y analizar de forma sistemática las rutas de reciclaje en términos de cobertura espacial, frecuencia de recorridos y sectores atendidos. Los desplazamientos de los recicladores se realizan sin un sistema de trazabilidad digital que documente los trayectos, los tiempos y las zonas recorridas.

Esta falta de información dificulta cuantificar el aporte real de los recicladores al aprovechamiento de residuos, limita la capacidad de planificación territorial, obstaculiza la formulación de estrategias diferenciadas por zonas y reduce la visibilidad institucional y ciudadana de su labor. En consecuencia, se desaprovecha el potencial de los datos georreferenciados como insumo para mejorar la gestión ambiental urbana y fortalecer los procesos de formalización y reconocimiento de los recicladores de oficio.

Las tecnologías de georreferenciación basadas en dispositivos móviles y sensores GPS ofrecen la posibilidad de registrar en tiempo casi real la posición de los recicladores y reconstruir sus rutas en el espacio urbano. Sin embargo, para que esta información tenga un valor práctico, es necesario contar con un sistema de software que capture, organice y analice los datos, generando indicadores, mapas y reportes que sirvan de apoyo a la toma de decisiones.

1.3 Pregunta de investigación

¿De qué manera una plataforma compuesta por una aplicación móvil y un dashboard web, basada en tecnologías de georreferenciación, puede contribuir al registro, visualización y análisis espacial de las rutas de los recicladores en Barranquilla, y apoyar así la visibilización de su labor y la gestión ambiental en torno al reciclaje?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general (Título de segundo nivel)

Desarrollar e implementar una plataforma que integre tecnologías de georreferenciación para registrar, analizar y visualizar espacialmente las rutas de reciclaje en el Distrito de Barranquilla, contribuyendo a la visibilización de la labor de los recicladores y al apoyo de la gestión ambiental.

1.4.2 Objetivos específicos (Título de segundo nivel)

- Identificar la arquitectura del sistema que integre la captura de rutas mediante GPS y su almacenamiento en bases de datos.
- Implementar una aplicación móvil y un dashboard que permitan registrar y visualizar los recorridos de los recicladores.
- Realizar un piloto en campo que valide la usabilidad, precisión de datos y utilidad de la plataforma en la gestión del reciclaje.

1.5 Justificación

La gestión de residuos sólidos en las ciudades es un reto crucial para la sostenibilidad ambiental. Dentro de este proceso, los recicladores cumplen un rol esencial en la recuperación de materiales reutilizables y en la reducción del volumen de desechos destinados a disposición final. No obstante, su trabajo permanece subvalorado y carece de información sistematizada que permita dimensionar su impacto real en términos ambientales, económicos y sociales.

Este proyecto se justifica en la necesidad de aplicar conocimientos de ingeniería de software para desarrollar una solución tecnológica de bajo costo, basada en sistemas de georreferenciación y aplicaciones móviles, que permita:

- Capturar datos georreferenciados sobre las rutas de reciclaje realizadas por los recicladores de oficio.
- Procesar, organizar y almacenar la información en bases de datos geoespaciales, generando informes operativos y estadísticos.
- Producir visualizaciones (mapas de calor, rutas lineales, gráficos) que fortalezcan la toma de decisiones ambientales y visibilicen el aporte de los recicladores ante entidades públicas, privadas y la ciudadanía.
- Servir como herramienta pedagógica para promover la separación en la fuente, sensibilizar a la comunidad sobre la importancia del reciclaje y apoyar procesos de educación ambiental.

La innovación del proyecto radica en la integración de tecnologías de localización, análisis espacial y visualización de datos en un contexto de gestión de residuos urbanos, aportando una herramienta práctica tanto para las asociaciones de recicladores como para instituciones interesadas en la economía circular. Al incluir un componente educativo y de visibilización, la plataforma se convierte en un puente entre tecnología, gestión ambiental y participación ciudadana, con beneficios sociales y ambientales para la ciudad de Barranquilla.

1.6 Antecedentes

1.6.1 Antecedentes Generales

A nivel global, los sistemas inteligentes para la gestión de residuos han evolucionado hacia modelos basados en datos y análisis geoespacial. Proyectos como Smart Waste Management System en Europa o SmartBin en Estados Unidos utilizan sensores, Internet de las Cosas (IoT) y GPS para optimizar la recolección y reducir los costos logísticos del servicio (European Environment Agency, 2021). En América Latina, países como Chile y México han implementado plataformas municipales que combinan georreferenciación y analítica de datos para planificar la recolección diferenciada y aumentar el aprovechamiento de materiales reciclables (Flores & González, 2022).

En América Latina, países como Chile y México han desarrollado plataformas municipales que combinan georreferenciación y analítica de datos para fortalecer la recolección diferenciada y aumentar el aprovechamiento de materiales reciclables. Un ejemplo destacado en Chile es la **Plataforma Catastro de Residuos** de la SUBDERE (s.f., <https://catastronacionalrsd.subdere.gob.cl>), la cual consolida información gráfica y estadística sobre la gestión de residuos sólidos a nivel nacional, regional y comunal. Esta herramienta permite consultar indicadores por año y territorio, facilitando la planificación municipal y la visualización espacial de brechas operativas.

En México, entidades ambientales como **SEDEMA**, **SEMARNAT** y otras organizaciones de acopio han desarrollado portales y sistemas de registro que reúnen lineamientos, autorizaciones y bases de datos sobre gestores de residuos. Aunque no todas estas plataformas funcionan como sistemas de trazabilidad en tiempo real, sí consolidan catálogos estandarizados y repositorios interoperables que pueden integrarse con herramientas geoespaciales más avanzadas. Estos esfuerzos representan un marco normativo y tecnológico que facilita la transparencia, la supervisión y la evaluación del servicio público de aseo.

Estas experiencias regionales demuestran el creciente potencial de las tecnologías digitales para mejorar la eficiencia, la planificación territorial y la transparencia en la gestión de residuos urbanos, constituyéndose en referentes valiosos para proyectos que buscan incorporar análisis espacial y trazabilidad operativa.

En Colombia, el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIRS), impulsado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2023), promueve la adopción de tecnologías de información y comunicación (TIC) como parte de la estrategia para fortalecer el aprovechamiento y el monitoreo de rutas de recolección. Estos avances reflejan una tendencia global hacia la integración de herramientas digitales en los servicios públicos de aseo y reciclaje, consolidando la importancia de proyectos de ingeniería informática orientados al análisis espacial y la automatización de procesos.

1.6.2 Antecedentes Específicos

En el ámbito nacional y local, diversas iniciativas han buscado fortalecer la trazabilidad de los procesos de reciclaje. En Medellín, la Universidad Nacional de Colombia desarrolló un prototipo de aplicación para el seguimiento de rutas de recicladores mediante georreferenciación, orientado a mejorar la cobertura y eficiencia de la recolección (UNAL, 2023). En Bogotá, el programa Basura Cero introdujo un sistema de monitoreo que registra las rutas de los vehículos recolectores, integrando información sobre tiempo, distancia y volumen recolectado (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

En la ciudad de Barranquilla, la empresa Triple A S.A. E.S.P. lidera la prestación del servicio público de aseo, mientras que la Asociación de Recicladores de Barranquilla (ARB) agrupa a recicladores de oficio que trabajan en el aprovechamiento de materiales reciclables. Sin embargo, ambas entidades enfrentan el desafío de integrar sus datos operativos y geográficos. Actualmente, los recorridos de los recicladores no se registran en sistemas digitales, lo que limita la capacidad de planificación y análisis de la cobertura (Triple A, 2024).

El presente proyecto busca aportar a la solución de esta problemática mediante el diseño de una aplicación móvil con georreferenciación, capaz de registrar las rutas de los recicladores y generar visualizaciones mediante mapas de calor. Este enfoque permitirá identificar las zonas con mayor y menor actividad de reciclaje, optimizar rutas y apoyar la toma de decisiones basada en evidencia.

1.6.3 Antecedentes Investigativos

Diversos estudios recientes han abordado la relación entre tecnología, sostenibilidad y gestión de residuos. Hernández y Porras (2023) demostraron que las aplicaciones móviles basadas en GPS y dashboards mejoran la eficiencia de las operaciones logísticas urbanas al permitir la supervisión remota de rutas. Velasco y Ramírez (2022) desarrollaron un modelo de macro y micro ruteo para optimizar la recolección de residuos en entornos urbanos, aplicando algoritmos heurísticos que reducen los tiempos de desplazamiento y las emisiones de carbono.

Por otra parte, González y Cifuentes (2022) resaltaron el papel de la ingeniería informática en la digitalización del monitoreo de residuos sólidos, evidenciando que la interoperabilidad entre plataformas de entidades públicas y asociaciones comunitarias mejora la sostenibilidad del servicio. Asimismo, Moreno et al. (2021) estudiaron el uso de sistemas de información geográfica (SIG) en la logística urbana, destacando su utilidad en la planificación de rutas y el análisis espacial de cobertura.

En el ámbito técnico, Few (2020) y Fowler (2019) aportan fundamentos sobre visualización de datos y arquitectura de software, respectivamente, los cuales sustentan la importancia de construir sistemas escalables, modulares y basados en dashboards interactivos. Estos principios son esenciales para el desarrollo del sistema propuesto en este proyecto, que busca integrar monitoreo en tiempo real, análisis de datos y visualización geoespacial en una única plataforma.

1.6.4 Síntesis de los antecedentes

El análisis de los antecedentes demuestra que, aunque existen avances importantes en la implementación de tecnologías para la gestión de residuos en diferentes ciudades del país, aún persiste una brecha en la integración de soluciones informáticas que permitan el seguimiento detallado de las rutas de reciclaje en Barranquilla. La falta de sistemas de trazabilidad digital impide un control eficiente del proceso y limita la capacidad de análisis territorial.

Por lo tanto, el proyecto propuesto busca llenar este vacío mediante la aplicación de herramientas de ingeniería informática como la georreferenciación, el monitoreo en tiempo real, el macro y micro ruteo, y la visualización mediante dashboards, fortaleciendo así la gestión ambiental y la cooperación entre la ARB y la Triple A.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO Y LEGAL

2.1 Gestión de residuos y contexto local

La gestión de residuos sólidos en Colombia está regulada por la Ley 142 de 1994, que establece la prestación del servicio público de aseo y su supervisión por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios). En la ciudad de Barranquilla, esta labor es ejecutada por la empresa Triple A S.A. E.S.P., la cual se encarga de la recolección, transporte y disposición final de los residuos domésticos. No obstante, el componente de aprovechamiento recae principalmente en organizaciones de base como la Asociación de Recicladores de Barranquilla (ARB), que agrupa a recicladores de oficio dedicados a la recolección de materiales reutilizables.

Según Superservicios (2024), en Colombia se generan más de 12 millones de toneladas de residuos anualmente, de las cuales menos del 25 % son aprovechadas. Esta situación evidencia la necesidad de herramientas tecnológicas que permitan fortalecer los procesos de planeación, monitoreo y control de las actividades de reciclaje. La implementación de sistemas informáticos con georreferenciación contribuye a mejorar la trazabilidad de la recolección y el análisis de los datos asociados a la prestación del servicio (González & Cifuentes, 2022).

2.2 Georreferenciación y monitoreo de rutas

La georreferenciación consiste en asociar información con coordenadas geográficas para representar ubicaciones exactas dentro de un entorno espacial. Su uso en ingeniería informática y en sistemas de transporte ha crecido exponencialmente gracias a los dispositivos móviles con sensores GPS. Estas tecnologías permiten registrar la posición de los usuarios en tiempo real y enviar los datos a un servidor central para su análisis (Moreno et al., 2021).

En el ámbito del reciclaje, la georreferenciación posibilita registrar las rutas de los recicladores, generar mapas de cobertura, y detectar zonas con baja actividad o duplicidad de recorridos. A través de la integración con un dashboard administrativo, los datos se procesan y presentan mediante visualizaciones como mapas de calor, tablas dinámicas y gráficas, lo que facilita el monitoreo del servicio y la optimización operativa (Hernández & Porras, 2023).

El monitoreo en tiempo real también permite crear alertas ante desvíos o ineficiencias, contribuyendo al control de calidad del servicio público de aseo y al cumplimiento de metas de sostenibilidad. Estas aplicaciones de la georreferenciación se integran con bases de datos espaciales (PostgreSQL/PostGIS, Firebase) y frameworks de desarrollo móvil como Flutter o React Native, que ofrecen conectividad continua y sincronización en la nube (Dalmaso et al., 2021).

2.3 Macro y micro ruteo en sistemas inteligentes

El macro y micro ruteo representan niveles complementarios en la planificación y optimización de rutas de recolección. El macro ruteo se enfoca en la planificación global de zonas o sectores, determinando el orden general de atención y las áreas prioritarias. Por su parte, el micro ruteo optimiza la secuencia interna de cada recorrido, considerando distancias, tiempos de desplazamiento y consumo energético (Velasco & Ramírez, 2022).

En ingeniería informática, ambos procesos se apoyan en algoritmos de optimización, como Dijkstra, A* o algoritmos genéticos, que permiten calcular las rutas más eficientes a partir de datos espaciales y temporales. Integrar estas funciones dentro de la plataforma propuesta posibilita reducir recorridos redundantes, ahorrar recursos y aumentar la productividad de los recicladores.

Además, la visualización del macro y micro ruteo en el dashboard facilita la supervisión del servicio tanto por parte de la Asociación de Recicladores de Barranquilla (ARB) como por la empresa Triple A, fortaleciendo la cooperación entre el sector formal e informal en la prestación del servicio público.

2.4 Prestación de servicios públicos y asociaciones locales

La prestación del servicio público de aseo en Colombia involucra una serie de actores que van desde las empresas operadoras hasta las asociaciones de recicladores reconocidas por los entes territoriales. En Barranquilla, la Triple A cumple con la recolección convencional, mientras que la ARB se encarga del aprovechamiento de residuos reciclables. Sin embargo, estas actividades operan bajo esquemas de información aislados, lo que dificulta la trazabilidad y coordinación de las rutas.

La implementación de un sistema informático centralizado permite sincronizar datos operativos entre entidades, facilitando la interoperabilidad y la supervisión del servicio. Según Pérez et al. (2021), la integración de plataformas tecnológicas entre operadores públicos y privados mejora la eficiencia y promueve la transparencia en la gestión. La digitalización de los recorridos de reciclaje no solo apoya el cumplimiento normativo, sino que también dignifica la labor del reciclador mediante el reconocimiento formal de su trabajo.

2.5 Arquitectura informática: dashboard, frontend y backend

El diseño del sistema se estructura en tres capas principales:

- Frontend móvil y web: interfaz de usuario diseñada bajo criterios de accesibilidad y simplicidad para facilitar el uso por parte de recicladores y administradores.
- Backend: encargado de procesar la información capturada, almacenar los datos en bases geoespaciales y gestionar la seguridad del sistema.
- Dashboard administrativo: módulo de visualización que muestra en tiempo real las rutas activas, estadísticas de cobertura y mapas de calor.

Según Few (2020), los dashboards son instrumentos de visualización que convierten grandes volúmenes de datos en representaciones intuitivas y comprensibles, útiles para la toma de decisiones basada en evidencia. Fowler (2019) sostiene que las arquitecturas basadas en microservicios facilitan la escalabilidad, modularidad y mantenimiento de los sistemas, lo que resulta esencial en proyectos que integran monitoreo en tiempo real y procesamiento continuo de datos.

Por su parte, Myers et al. (2019) enfatizan que el éxito de un sistema depende de una interfaz que minimice la carga cognitiva del usuario, mientras que Dalmaso et al. (2021) demuestran que los frameworks multiplataforma permiten desarrollar aplicaciones robustas con acceso nativo al GPS y compatibilidad con diversos dispositivos móviles. Esta combinación de capas y tecnologías garantiza un funcionamiento estable, escalable y eficiente del sistema.

2.6 Servicios Cloud

La computación en la nube se ha consolidado como uno de los pilares tecnológicos para el desarrollo de aplicaciones modernas debido a su capacidad de ofrecer recursos bajo demanda, alta disponibilidad y escalabilidad. Según Mell, Grance y el NIST (National Institute of Standards and Technology), los servicios cloud se definen como un modelo que permite el acceso ubicuo y conveniente a un conjunto de recursos informáticos configurables como servidores, almacenamiento, bases de datos y redes que pueden ser aprovisionados y liberados con un mínimo esfuerzo de gestión (Mell & Grance, 2020).

En el contexto del presente proyecto, los servicios cloud permiten la gestión eficiente de datos geoespaciales, el almacenamiento seguro de la información de los recicladores y el despliegue del backend en infraestructuras robustas como AWS. Esta arquitectura facilita la escalabilidad del sistema, especialmente en procesos que requieren análisis de grandes volúmenes de datos, como mapas de calor, rutas georreferenciadas o informes operativos.

2.7 Node.js

Node.js es un entorno de ejecución de JavaScript orientado a eventos, construido sobre el motor V8 de Google Chrome. Su diseño, basado en un modelo asíncrono y no bloqueante, permite manejar múltiples solicitudes de manera eficiente, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en tiempo real y sistemas que requieren transmisión continua de datos (Tilkov & Vinoski, 2021).

Node.js permite procesar datos GPS en tiempo real, recibir coordenadas enviadas desde la aplicación móvil y administrar peticiones simultáneas desde diferentes dispositivos. Además, su ecosistema npm facilita la integración con librerías GIS, servicios cloud y bases de datos geoespaciales como PostgreSQL + PostGIS.

2.8 Next.js

Next.js es un framework de React ampliamente utilizado para construir aplicaciones web modernas, ofreciendo funcionalidades de renderizado híbrido (SSR, SSG y CSR), optimización automática del rendimiento y una arquitectura basada en componentes reutilizables. Según Kaplan y el equipo de Vercel (2022), Next.js mejora el desarrollo full-stack al permitir manejar tanto el frontend como ciertas funciones del backend dentro de un mismo entorno unificado.

En este proyecto, Next.js resulta útil para la creación del dashboard, ya que permite:

- integrar mapas interactivos,
- visualizar mapas de calor,
- consultar rutas históricas,
- gestionar usuarios o dispositivos GPS,
- y generar informes mediante interfaces estables.

2.9 Marco Legal

2.9.1 Tratamiento de datos personales, aceptación y políticas

El tratamiento de datos personales se entiende como cualquier operación o conjunto de operaciones sobre información que pueda identificar o hacer identificable a una persona natural, ya sea de forma directa o indirecta. De acuerdo con la Ley 1581 de 2012, toda recolección y procesamiento de datos requiere autorización previa, expresa e informada por parte del titular (Congreso de la República, 2012).

En el contexto del presente proyecto, los recicladores deberán otorgar su consentimiento para el uso de sus datos personales y de geolocalización, a través de una política de privacidad digital visible desde la aplicación. Esta política debe especificar la finalidad del tratamiento, el tiempo de conservación de la información, los derechos de los titulares y los mecanismos para ejercerlos, conforme a lo establecido por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC).

El cumplimiento de estas disposiciones garantiza la legitimidad del procesamiento de información y evita vulneraciones a los principios de legalidad, finalidad, libertad y veracidad en el manejo de datos personales (SIC, 2023).

2.9.2 Marco normativo colombiano aplicable

El marco legal colombiano sobre protección de datos personales se sustenta principalmente en la Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013, normas que regulan la recolección, almacenamiento, uso, circulación y supresión de información personal. Estas disposiciones son complementadas por la Circular Externa 02 de 2015 y las guías de cumplimiento publicadas por la SIC.

Asimismo, la Constitución Política de Colombia (artículo 15) reconoce el derecho fundamental al hábeas data, el cual faculta a las personas para conocer, actualizar y rectificar la información que sobre ellas se haya recogido en bases de datos. Por lo tanto, todo tratamiento de información dentro de la aplicación debe estar alineado con los principios de confidencialidad, acceso restringido y consentimiento informado (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2021).

2.9.3 Implicaciones del uso de ubicación en tiempo real

El manejo de la ubicación geográfica en tiempo real constituye una categoría sensible dentro del tratamiento de datos personales, dado que permite identificar patrones de movilidad, hábitos laborales y zonas de tránsito de los recicladores. Si bien esta información es esencial para generar análisis de rutas y mapas de calor, su exposición pública puede comprometer la seguridad y privacidad de los usuarios.

Por ello, los datos geográficos deben ser anonimizados o agregados antes de su publicación en dashboards o informes. Las visualizaciones públicas no deben mostrar trayectorias individuales, sino resultados estadísticos o zonas generales de cobertura. De acuerdo con la SIC (2022), la divulgación no autorizada de información de ubicación puede constituir una infracción al derecho a la intimidad, lo cual podría generar sanciones administrativas o penales.

El sistema debe implementar mecanismos técnicos para garantizar que la información visible externamente no revele la identidad ni la localización precisa de los recicladores, cumpliendo con el principio de minimización de datos.

2.9.4 Tratamiento de datos por terceros

El proyecto contempla el uso de servicios de terceros para el alojamiento, procesamiento y análisis de la información, tales como Amazon Web Services (AWS) y Supabase. Estos proveedores actúan como encargados del tratamiento, lo que implica que deben cumplir las mismas obligaciones legales que el responsable del sistema.

Según las políticas internas de SoftGinvent (2024), los datos personales no se venden, arrendan ni divulgan a terceros sin autorización expresa del titular. Sin embargo, pueden ser compartidos con proveedores contratados que presten servicios tecnológicos, como servidores en la nube o plataformas de analítica, siempre bajo acuerdos contractuales que garanticen confidencialidad, seguridad y cumplimiento de las normas colombianas de protección de datos (AWS Trust Center, 2024).

2.9.5 Transferencia internacional de datos

En caso de que la aplicación utilice servidores o servicios en la nube ubicados fuera de Colombia, se configura una transferencia internacional de datos personales. Según la Ley 1581 de 2012, esta práctica solo puede realizarse hacia países que ofrezcan un nivel adecuado de protección, conforme al listado aprobado por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC, 2023).

AWS y Supabase, por ejemplo, cuentan con certificaciones internacionales como ISO 27001, SOC 2, y cumplen con estándares del Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea, lo que garantiza niveles apropiados de seguridad. No obstante, es obligación del desarrollador y de SoftGinvent informar a los usuarios sobre la ubicación de los servidores y los mecanismos implementados para salvaguardar sus datos.

Además, toda transferencia internacional debe ser reportada ante la SIC y respaldada por cláusulas contractuales que aseguren la confidencialidad y el cumplimiento normativo.

2.9.6 Seguridad de la información

La seguridad de la información es una obligación tanto técnica como legal. La Ley 1581 de 2012 establece que los responsables y encargados del tratamiento deben adoptar medidas administrativas, técnicas y organizativas razonables para evitar el acceso no autorizado, la pérdida o la alteración de los datos.

En la aplicación propuesta, se recomienda la implementación de medidas como autenticación multifactor, encriptación de extremo a extremo, auditorías de seguridad, registro de eventos (logs) y políticas de respaldo periódico. Además, los datos sensibles (como la geolocalización) deben almacenarse de forma cifrada y solo ser accesibles para usuarios autorizados del sistema.

El cumplimiento de estos estándares fortalece la confianza de los usuarios y garantiza que la plataforma opere dentro del marco jurídico colombiano y de las buenas prácticas internacionales de seguridad informática (ISO/IEC 27001:2022).

2.9.7 Síntesis del apartado

El cumplimiento del marco legal colombiano en materia de protección de datos personales es indispensable para la implementación del sistema propuesto. La aplicación de los principios establecidos en la Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013, junto con las políticas de seguridad y confidencialidad de terceros como AWS y Supabase, asegura la transparencia y legitimidad del tratamiento de la información.

Asimismo, el manejo responsable de los datos de ubicación protege la privacidad de los recicladores y evita riesgos asociados a la exposición pública de información sensible. En conjunto, estas medidas permiten que el proyecto opere dentro de un marco ético, legal y técnico robusto, alineado con los estándares nacionales e internacionales de protección de datos.

La Ley 142 de 1994 establece el marco general para la prestación del servicio público de aseo, incluyendo las actividades de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de residuos. Esta ley reconoce el aprovechamiento como una actividad complementaria del servicio de aseo y permite la participación de organizaciones de recicladores en los esquemas operativos (Ley 142, 1994).

Su importancia para este proyecto radica en que exige a los prestadores contar con mecanismos de control operativo, monitoreo y reporte de actividades, lo cual justifica el desarrollo de herramientas tecnológicas que aporten trazabilidad a los recorridos realizados por los recicladores de oficio.

El Decreto 1077 de 2015 consolida la normatividad relacionada con la gestión integral de residuos sólidos en Colombia y establece la obligatoriedad de que cada municipio implemente y actualice su Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).

Este decreto indica que la planeación de rutas, el monitoreo de actividades de recolección y la identificación espacial de zonas atendidas son funciones esenciales dentro del PGIRS, lo cual se articula directamente con sistemas de georreferenciación y análisis espacial como los que plantea esta investigación (Decreto 1077, 2015).

La Resolución 754 de 2014 define los lineamientos para estructurar y actualizar los PGIRS. En su metodología, exige que los municipios desarrollen diagnósticos territoriales detallados, incluyan el

análisis de rutas de recicladores y cuenten con mecanismos para identificar zonas con baja o alta cobertura de aprovechamiento (Resolución 754, 2014).

El Decreto 596 de 2016 es una de las normas más relevantes para la actividad del reciclaje porque reglamenta el proceso de formalización de recicladores, su inclusión en el servicio público de aseo y las actividades de aprovechamiento.

El decreto establece que las organizaciones de recicladores deben registrar información operacional, reportar recorridos y documentar el material recuperado (Decreto 596, 2016). Por tanto, una aplicación móvil que permita capturar rutas, registrar desplazamientos y generar informes constituye una herramienta que favorece el cumplimiento normativo y la formalización.

Aunque centrada en residuos electrónicos, esta normatividad establece principios aplicables a todos los sistemas de gestión basados en información tecnológica. La Ley 1672 de 2013 y su reglamentación mediante el Decreto 284 de 2018 resaltan la importancia de los sistemas de trazabilidad, los reportes digitales obligatorios y la integración de plataformas de monitoreo (Ley 1672, 2013).

Estos elementos respaldan el uso de dispositivos móviles, GPS y bases de datos en la gestión de residuos aprovechables.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) expide normas esenciales para el aprovechamiento, entre las que destacan.

Resolución CRA 720 de 2015, que establece lineamientos para el cálculo tarifario del servicio de aseo e incorpora el componente de aprovechamiento. Exige reportes operativos y registros verificables de la actividad.

Resolución CRA 853 de 2018, que actualiza el esquema tarifario y establece responsabilidades claras para las organizaciones de recicladores respecto a la caracterización y registro de sus actividades.

Ambas resoluciones justifican la necesidad de sistemas tecnológicos que permitan recopilar y reportar información operativa con precisión (CRA, 2015; CRA, 2018).

La Ley 1259 de 2008 crea el comparendo ambiental como instrumento para prevenir y corregir comportamientos que afectan el manejo adecuado de residuos. Esta norma resalta la importancia de la educación ambiental y la disponibilidad de información para reducir la disposición inadecuada en el espacio público.

El componente de visualización mediante mapas de calor del presente proyecto aporta a los municipios herramientas para reforzar campañas de control y educación (Ley 1259, 2008).

CAPITULO 3. ENFOQUE Y DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION

3.1 Tipo de investigación y enfoque

La presente investigación se enmarca en una investigación aplicada, de enfoque principalmente cuantitativo con elementos cualitativos, y de alcance descriptivo. Es aplicada porque busca desarrollar y validar una solución tecnológica concreta para un problema real; es cuantitativa al basarse en la recolección y análisis de datos georreferenciados de rutas; e incorpora elementos cualitativos mediante la interacción con recicladores para comprender sus necesidades y evaluar la usabilidad del sistema.

3.2 población y contexto de estudio

El contexto de estudio lo constituye el Distrito de Barranquilla, con especial énfasis en las zonas donde opera la Asociación de Recicladores de Barranquilla (ARB). La población objetivo está conformada por los recicladores de oficio adscritos a la ARB. Para el desarrollo del piloto se trabajó con un grupo reducido de recicladores, seleccionados por disponibilidad y participación voluntaria, quienes utilizaron la aplicación móvil durante jornadas de trabajo habituales.

3.3 Fases metodológicas

La metodología se estructuró en tres fases articuladas: desarrollo del sistema, implementación y transferencia tecnológica, y evaluación.

3.3.1 Fase de desarrollo (Diseño Centrado en el Usuario)

En esta fase se diseñó y construyó la plataforma tecnológica siguiendo los principios del Diseño Centrado en el Usuario (DCU). El proceso incluyó:

- **Especificación de requisitos de los usuarios:** se identificaron necesidades, limitaciones y expectativas de los recicladores y de los administradores del sistema, mediante observación de su trabajo cotidiano y reuniones de levantamiento de información
- **Elaboración de soluciones de diseño:** se generaron prototipos de baja y alta fidelidad de la aplicación móvil y del dashboard web, priorizando simplicidad, claridad visual y facilidad de uso.
- **Evaluación iterativa de los diseños:** se realizaron pruebas con un grupo de recicladores para ajustar la interfaz, el flujo de navegación, el tamaño y la disposición de botones, así como mensajes de retroalimentación de la aplicación.

3.3.2 Fase de implementación y transferencia tecnológica

En esta fase se desplegó el sistema en un entorno operativo y se realizó la transferencia tecnológica a los usuarios finales. Las actividades principales fueron:

- Periodo de pruebas inicial, uso básico de la aplicación móvil (inicio/detención de registro, autenticación, verificación de conexión).
- Configuración del backend en un entorno de servicios en la nube, garantizando disponibilidad, seguridad y respaldo de la información.
- Puesta en marcha del dashboard para que administradores y responsables de seguimiento pudieran visualizar en tiempo casi real los datos recolectados

3.3.3 Fase de evaluación

La evaluación del sistema se realizó en dos niveles:

- Evaluación técnica: se analizó la precisión de los datos de georreferenciación, la estabilidad del software, la correcta transmisión de datos desde la aplicación móvil al servidor y la generación de mapas de calor y rutas.

Los datos georreferenciados capturados se procesaron en la base de datos geoespacial y se utilizaron para generar visualizaciones y métricas básicas que permitieran un primer análisis espacial de las rutas.

CAPITULO 4. RESULTADOS

4.1 Fase de desarrollo del sistema

La fase de desarrollo constituye el núcleo operativo del proyecto, pues en ella se materializan los componentes conceptuales, tecnológicos y funcionales que dan forma al sistema de georreferenciación aplicado a los recicladores del Distrito de Barranquilla. Esta etapa integra desde la planeación de los requerimientos hasta la construcción del prototipo funcional, y representa el fundamento técnico sobre el cual se basa la implementación posterior en condiciones reales de campo.

El desarrollo del sistema se orientó mediante los principios del Diseño Centrado en el Usuario (DCU), una metodología que prioriza la comprensión profunda de las necesidades, limitaciones y contextos de los usuarios finales. En este caso, los recicladores de la Asociación de Recicladores de Barranquilla (ARB) fueron considerados como actores clave, ya que su experiencia cotidiana, sus patrones de movilidad y su nivel de alfabetización digital constituyen factores determinantes para la eficacia de cualquier herramienta tecnológica destinada a apoyar su labor.

Adoptar el enfoque DCU permitió orientar las decisiones técnicas hacia soluciones simples, accesibles y realmente útiles para los recicladores, evitando sobrecargar el sistema con funcionalidades innecesarias o interfaces complejas. Asimismo, favoreció un proceso iterativo en el que se evaluaron, ajustaron y refinaron los componentes del sistema conforme a las necesidades reales de la solución.

Cada uno de estos procesos permitió avanzar progresivamente desde la comprensión del problema hasta la construcción de un sistema operativo y verificable en un entorno controlado. Esta estructura metodológica no solo facilitó la organización técnica del proyecto, sino que también aseguró que las decisiones de diseño y desarrollo estuvieran permanentemente alineadas con operatividad del día a día de los recicladores de la ARB. De esta manera, la fase de desarrollo se consolidó como un puente entre la conceptualización inicial y la futura implementación en campo, garantizando que el prototipo resultante no fuese un producto aislado, sino una herramienta coherente, fundamentada en evidencia y capaz de responder a los desafíos reales del trabajo de reciclaje en la ciudad. Además, al integrar retroalimentación constante de los usuarios y validar cada avance de forma incremental, se logró un

producto más robusto, escalable y preparado para evolucionar conforme a las necesidades emergentes de la organización y del territorio.

Para organizar esta etapa de manera clara y sistemática, la fase de desarrollo se estructuró en tres procesos fundamentales:

4.1.1 Especificación de requisitos

El proceso de especificación de requisitos constituyó el punto de partida para la construcción del sistema de georreferenciación. Su propósito fue establecer las funcionalidades esenciales que garantizaran la utilidad, accesibilidad y pertinencia tecnológica de la solución dentro del contexto operativo de los recicladores asociados a la ARB. Para ello, se adoptó un enfoque exploratorio que combinó la revisión de las dinámicas de recolección desarrolladas en el día a día de los recolectores. Este acercamiento permitió comprender no solo los procesos técnicos, sino también las limitaciones, necesidades y prácticas cotidianas de los recicladores.

A partir de este análisis inicial se identificaron limitaciones recurrentes, como el uso restringido de dispositivos móviles de gama baja, conectividad intermitente en algunos barrios periféricos, largos desplazamientos diarios y escasa familiaridad con aplicaciones tecnológicas complejas. Estos elementos fueron determinantes para formular requisitos funcionales y no funcionales ajustados a la realidad del entorno.

Entre los requisitos más relevantes establecidos durante esta etapa se encuentran:

- **Captura automática de rutas** mediante GPS desde la aplicación móvil. Este componente se definió como esencial dado que los recicladores recorren grandes distancias diariamente y requieren un sistema que opere sin intervención constante. La captura automatizada reduce la carga operativa del usuario y asegura un registro continuo de datos.
- **Autenticación simple** que permita controlar el acceso sin generar barreras de uso. La gestión de usuarios debía ser eficiente, pero sin complejidad excesiva. Se optó por un mecanismo de autenticación basado en credenciales básicas y tokens, evitando pasos adicionales que pudieran desincentivar el uso del sistema.

- **Registro continuo y seguro de puntos georreferenciados**, incluso con conectividad limitada, Considerando que algunos sectores de Barranquilla presentan conectividad inestable, se estableció como requisito que la aplicación fuera capaz de almacenar temporalmente los puntos capturados y transmitirlos cuando la conexión estuviera disponible, evitando pérdida de información.
- **Dashboard administrativo** que permita visualizar recorridos, generar mapas de calor y consultar estadísticas de cobertura. Los administradores requerían herramientas que les permitieran interpretar fácilmente la información recolectada. Por ello, el sistema debía incluir un panel capaz de representar rutas, generar mapas de calor, mostrar estadísticas y permitir filtros por fechas o usuarios.
- **Almacenamiento estructurado de datos**, con posibilidad de exportación para análisis. Se definió la necesidad de una base de datos relacional que garantizara integridad y trazabilidad de la información, así como la posibilidad de exportar registros para análisis en plataformas externas o para la elaboración de informes ambientales y de sostenibilidad.
- **Interfaz intuitiva**. Dado que el nivel de familiaridad tecnológica entre los recicladores es diverso, se estableció como requisito prioritario una interfaz simplificada: botones de tamaño adecuado, navegación mínima, elementos visuales claros y un flujo de interacción lineal que facilitara su uso sin asistencia técnica constante.

En conjunto, estos requisitos constituyeron la base para la definición de la **arquitectura del sistema**, la selección de tecnologías y el diseño de un prototipo funcional que respondiera a criterios de eficiencia, simplicidad y pertinencia social. Posteriormente, estos lineamientos guiaron la construcción de los módulos del backend, la aplicación móvil y el dashboard, asegurando coherencia entre los objetivos del proyecto y las necesidades reales de los usuarios finales.

4.1.2 Diseño de la aplicación móvil

Con base en los requisitos definidos en la fase anterior, se procedió a la elaboración del diseño de la solución tecnológica, concebida como un sistema modular, escalable y orientado a la captura, procesamiento y análisis geoespacial de las rutas ejecutadas por los recicladores. El diseño buscó integrar eficiencia operativa, simplicidad de uso y robustez técnica, asegurando que cada componente cumpliera una función clara dentro del flujo general de información. Para ello se optó por una arquitectura de tres módulos principales interconectados, que abarcan la recolección, el procesamiento y la visualización de la información. Esta separación de responsabilidades permite no solo organizar el sistema de manera lógica, sino también facilitar futuros ajustes, ampliaciones y mantenimiento.

a. Aplicación móvil para recicladores

El primer módulo corresponde a la aplicación móvil instalada en los dispositivos utilizados por los recicladores. Se diseñó como una herramienta ligera, operativa en equipos Android de gama media y baja, considerando los recursos limitados y la variabilidad en las condiciones tecnológicas del público objetivo. El diseño funcional de la aplicación contempla las siguientes características:

- **Registro automático de ubicación** mediante sensores GPS integrados en el dispositivo, configurados para capturar coordenadas en intervalos temporales regulares que equilibran precisión y consumo de batería.
- **Control sencillo de las funciones principales**, permitiendo iniciar, pausar y finalizar la captura de rutas mediante botones altamente visibles y de gran tamaño.

- **Autenticación mediante credenciales individuales**, asegurando que cada recorrido quede asociado correctamente al reciclador correspondiente.
- **Sincronización automática de datos**, incluso en escenarios de conectividad limitada, mediante el almacenamiento temporal y el envío diferido de la información.

En cuanto al diseño de interfaz, se elaboró un esquema de pantallas minimalista con íconos fácilmente reconocibles, contrastes adecuados y un flujo de navegación lineal. Esto permitió reducir la carga cognitiva y garantizar una interacción intuitiva en contextos reales de trabajo, donde los usuarios operan la aplicación mientras se desplazan, manipulan elementos o enfrentan factores ambientales como calor, ruido o iluminación variable. Además, se contemplaron prácticas de accesibilidad digital y patrones de diseño recomendados por la literatura en interacción humano-computador (Norman, 2013).

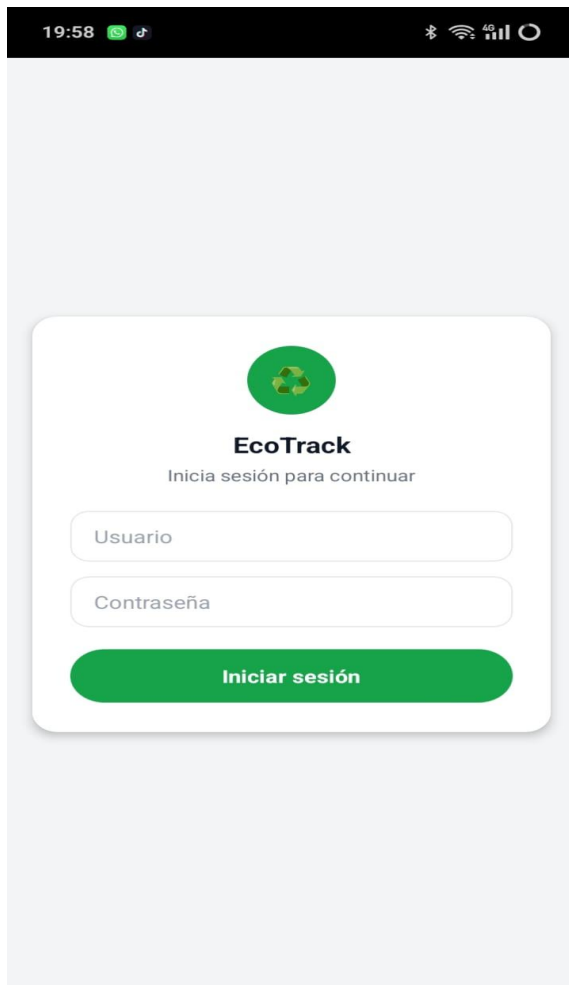


Ilustración 1 Login de la aplicación Mobile

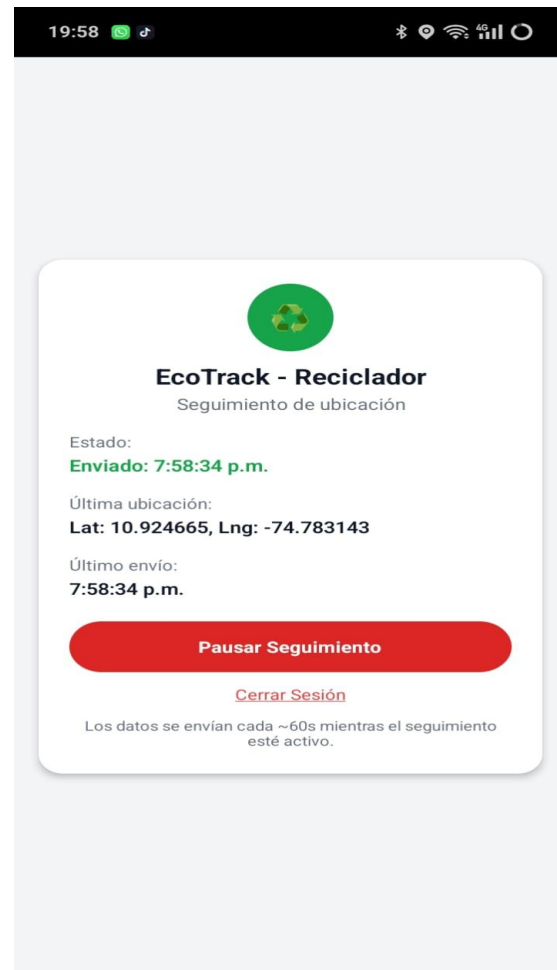


Ilustración 2 Enviando ubicación desde la aplicación Mobile

4.1.3 Backend y almacenamiento de datos

El segundo módulo del sistema corresponde a la capa de backend, diseñada bajo una arquitectura modular basada en servicios independientes que permiten procesar, gestionar y garantizar la integridad de la información georreferenciada. Este módulo incluye los siguientes procesos clave:

- **Procesamiento de solicitudes provenientes de la aplicación móvil**, validando la estructura de los datos y su coherencia temporal y espacial.

- **Almacenamiento estructurado en una base de datos relacional**, optimizada para consultas geográficas y capaz de gestionar grandes volúmenes de puntos georreferenciados. Dependiendo del despliegue, este módulo puede usar motores como PostgreSQL con PostGIS o soluciones en la nube con soporte geoespacial.

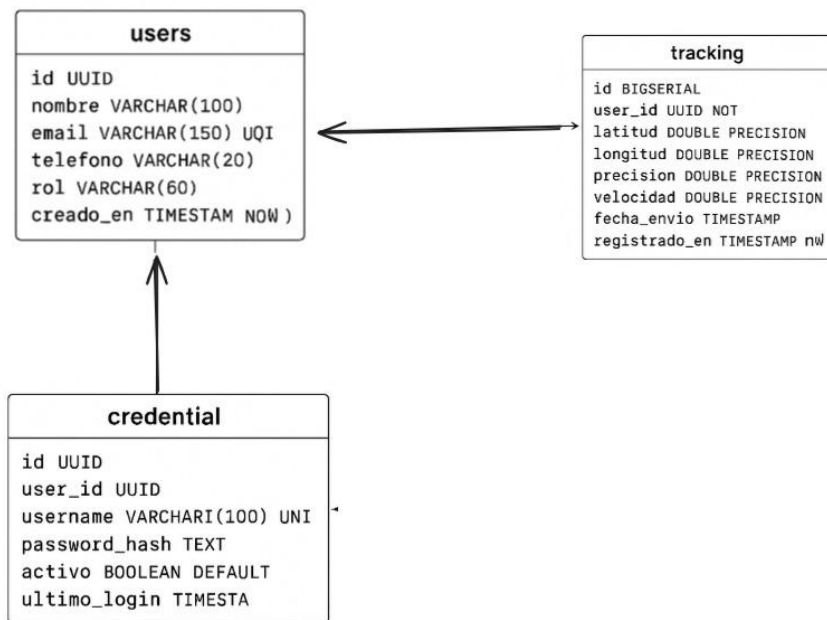


Ilustración 3 Diagrama UML de entidad relación

- **Autenticación mediante tokens seguros**, basados en protocolos modernos como JWT, que proporcionan control de acceso y protección ante manipulación o accesos no autorizados.
- **Provisión de datos procesados al dashboard en tiempo real**, mediante endpoints que entregan rutas, estadísticas y agregados espaciales de forma eficiente.

El backend fue diseñado para soportar un número creciente de usuarios y solicitudes simultáneas, garantizando escalabilidad horizontal y vertical. Asimismo, incorpora mecanismos de respaldo, manejo de errores y logs que permiten rastrear eventos críticos y asegurar la disponibilidad de los datos. En

conjunto, esta arquitectura posibilita un ecosistema confiable y preparado para ampliarse en futuras fases del proyecto, por ejemplo integrando análisis predictivos o módulos de optimización de rutas.

4.1.4 Dashboard administrativo

El tercer módulo corresponde al dashboard administrativo, una plataforma web orientada a los gestores y coordinadores de la ARB. Su diseño se centró en la conversión de datos geospaciales en información comprensible y útil para la toma de decisiones estratégicas. Entre sus principales funcionalidades se encuentran:

- **Visualización geométrica de rutas** mediante un mapa interactivo que permite observar recorridos individuales o comparados a lo largo del tiempo.
- **Generación de mapas de calor**, útiles para identificar áreas con mayor actividad de reciclaje y detectar sectores con baja o nula cobertura.
- **Filtros avanzados** por usuario, fecha, barrio o sector, permitiendo análisis detallados y segmentados según las necesidades de la organización.
- **Cálculo de métricas clave**, como número total de puntos registrados, distancia aproximada recorrida, tiempo activo y sectores atendidos.
- **Exportación de datos** en formatos estándar para la elaboración de informes ambientales, educativos o de planificación operativa.

La interfaz del dashboard se diseñó considerando las recomendaciones de visualización de datos de

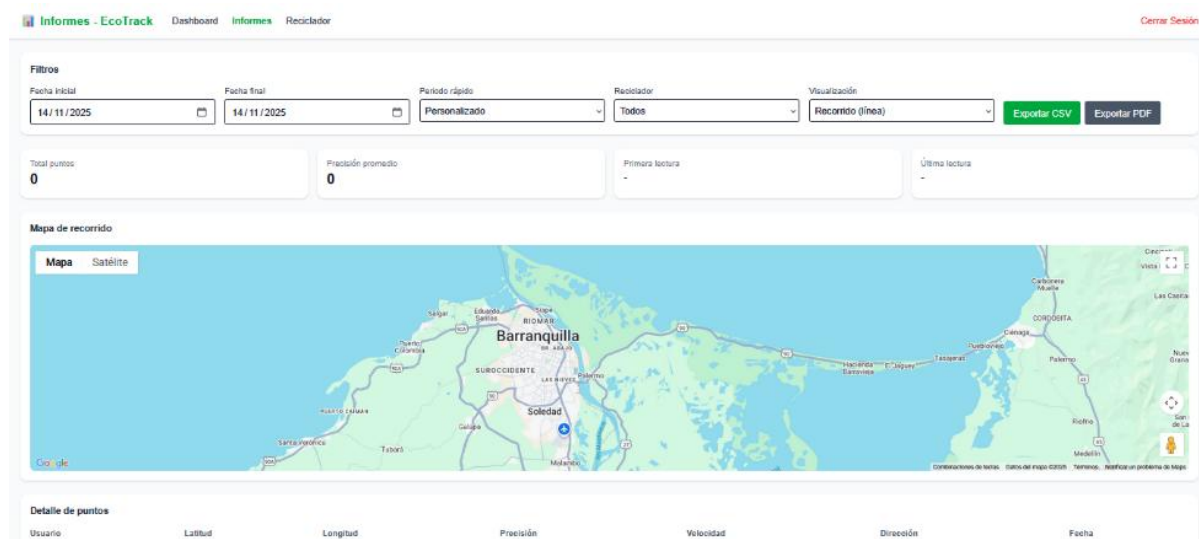


Ilustración 4 Dashboard Pestaña De Informes

Few (2020), priorizando la claridad visual, el uso de elementos gráficos mínimos y la presentación de información sin distorsiones ni saturación cognitiva. El diseño recurre a colores neutros, tipografías legibles y una distribución ordenada de paneles para facilitar una interpretación rápida y una navegación fluida. Estas características permiten que el dashboard funcione como una herramienta de monitoreo en tiempo real y como una plataforma de análisis histórico.

4.1.5 Conclusión fase de desarrollo

El diseño de la solución tecnológica se estructuró en torno a tres módulos fundamentales que interactúan entre sí para permitir la captura, procesamiento y visualización de la información georreferenciada generada por los recicladores. Estos módulos la aplicación móvil, el backend o sistema de procesamiento y el dashboard administrativo conforman una arquitectura integrada que garantiza el flujo continuo de datos desde el campo hasta las herramientas de análisis utilizadas por los administradores de la ARB. Cada uno de ellos cumple un rol específico dentro del sistema y se relaciona mediante interfaces bien definidas, lo que permitió elaborar diferentes diagramas que representan su comportamiento, responsabilidades y puntos de interacción.

En primer lugar, **la aplicación móvil** actúa como el punto de captura primaria de información, registrando la ubicación de los recicladores y gestionando la autenticación del usuario. Sus funciones y flujos internos se representan mediante diagramas de casos de uso y de interacción, los cuales muestran cómo el reciclador inicia, pausa o finaliza un recorrido, cómo se generan los registros GPS y de qué manera estos se envían al servidor.

En segundo lugar, **el backend** constituye el núcleo de procesamiento y almacenamiento. Allí se reciben las solicitudes provenientes de la aplicación móvil, se validan los datos, se gestionan las sesiones mediante tokens seguros y se almacenan las coordenadas en una base de datos relacional con capacidades geoespaciales. Los diagramas de componentes, de arquitectura lógica y de integración evidencian la forma en que los servicios internos del backend se comunican, así como los mecanismos utilizados para garantizar la consistencia, seguridad y disponibilidad de la información.

Finalmente, **el dashboard de visualización** representa la capa de análisis y consulta. A través de una plataforma web, los administradores pueden visualizar rutas en mapas interactivos, generar mapas de calor, aplicar filtros y consultar estadísticas. Los diagramas correspondientes a este módulo permiten ilustrar cómo la interfaz se conecta con los servicios del backend, cómo se cargan los mapas mediante APIs externas (como Google Maps JS API) y cómo se estructuran las vistas para facilitar la interpretación de los datos.

En conjunto, estos diagramas permiten comprender de manera integral la lógica de comunicación entre los módulos, la estructura del sistema y el flujo completo de información. Su inclusión facilita visualizar el comportamiento del prototipo, validar su coherencia arquitectónica y documentar su funcionamiento para futuras fases de mantenimiento o escalabilidad.

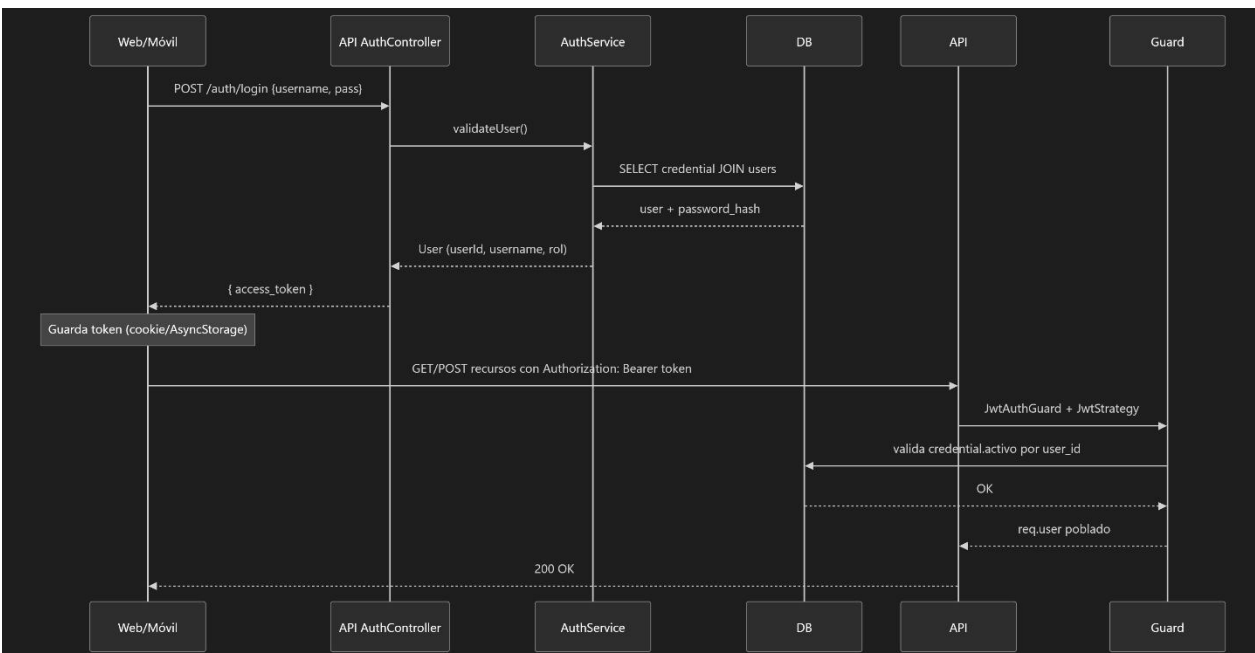


Ilustración 5 Diagrama de Uso Api

4.2 Fase de implementación y transferencia tecnológica

Una vez definidos los requisitos y completado el diseño de la solución tecnológica, se procedió a la fase de construcción del prototipo funcional. Esta etapa constituyó la materialización operativa del sistema, integrando de manera progresiva los componentes desarrollados para la aplicación móvil, el backend y el dashboard administrativo. El proceso se abordó mediante un enfoque incremental, donde cada módulo fue implementado, probado y posteriormente ensamblado en un entorno integrador que permitió validar la comunicación entre los diferentes elementos.

4.2.1 Implementación de la aplicación móvil

La aplicación móvil constituye el eje operativo del sistema, ya que permite capturar las rutas recorridas por los recicladores en tiempo real. Para su desarrollo se empleó **React Native**, aprovechando su capacidad multiplataforma y su buen rendimiento en dispositivos Android de gama media y baja, que representan la mayoría de los equipos utilizados por los recicladores asociados. El diseño de la app se organizó en **dos módulos funcionales principales**: (1) autenticación y (2) tracking geográfico.

4.2.1.1 Arquitectura funcional de la aplicación

1. Módulo de autenticación (Login)

Este módulo gestiona el acceso de los recicladores al sistema. Fue implementado conforme a las siguientes características:

- Autenticación basada en **JWT (JSON Web Tokens)**.
- Uso de **@react-native-async-storage/async-storage** para almacenar de forma segura el token de sesión y el ID del usuario.
- Validación de credenciales contra el backend mediante un endpoint específico.
- Gestión de estados de sesión (usuario autenticado, expiración, cierre de sesión).

El módulo permite una experiencia sencilla: el usuario ingresa su número de identificación y contraseña, la aplicación envía la solicitud al servidor y, si el backend valida las credenciales, se almacena el token y se habilitan las funcionalidades de seguimiento.

```

1  const BASE_URL = 'https://ecotrack-web.onrender.com';
2
3  export type LoginParams = {
4    username: string;
5    pass: string;
6  };
7
8  export type LoginResponse = {
9    access_token: string;
10 };
11
12 export async function loginRequest(params: LoginParams): Promise<LoginResponse> {
13   const res = await fetch(`${BASE_URL}/auth/login`, {
14     method: 'POST',
15     headers: {
16       'Content-Type': 'application/json',
17     },
18     body: JSON.stringify(params),
19   });
20
21   if (!res.ok) {
22     const text = await res.text().catch(() => '');
23     throw new Error(text || 'Credenciales inválidas');
24   }
25
26   return (await res.json()) as LoginResponse;
27 }
28
29 export { BASE_URL };

```

Ilustración 6 Módulo de autenticación

2. Módulo de tracking de ubicación

Este es el componente clave de la aplicación. Su desarrollo implicó integrar librerías especializadas para realizar un seguimiento geográfico seguro, eficiente y adaptable a escenarios donde la conectividad puede ser limitada. Se utilizaron principalmente:

- **react-native-geolocation-service** → Para obtener ubicaciones precisas con GPS.
- **react-native-background-actions** → Para soportar ejecuciones prolongadas (aunque el prototipo usa vigilancia foreground).
- **react-native-permissions** → Para administrar permisos de ubicación en Android.
- **@react-native-async-storage/async-storage** → Para persistir datos temporales de sesión.
- **jwt-decode** → Para decodificar información relevante del token JWT.

```

57 emit({ type: 'status', message: 'Iniciando...' });
58
59 try {
60   // Muestra puntual inicial para poblar UI y primer envío
61   await new Promise<void>((resolve) => {
62     Geolocation.getCurrentPosition(
63       async (pos: GeolocationPosition) => {
64         try {
65           lastLocation = { lat: pos.coords.latitude, lng: pos.coords.longitude };
66           emit({ type: 'location', location: lastLocation });
67           try {
68             await sendTrackingData(token, userId, lastLocation);
69             emit({ type: 'sent', at: new Date().toLocaleTimeString(), location: lastLocation });
70           } catch (e: any) {
71             emit({ type: 'error', error: e?.message ?? 'Error al enviar tracking' });
72           }
73         } finally {
74           resolve();
75         }
76       },
77       (err: GeolocationError) => {
78         emit({ type: 'error', error: err?.message ?? 'No se pudo obtener ubicación' });
79         resolve();
80       },
81       { enableHighAccuracy: true, timeout: 20000, maximumAge: 0 }
82     );
83   });
84
85   // Vigilancia periódica en foreground

```

Ilustración 7 Módulo de tracking de ubicación

El objetivo fue asegurar que el reciclador pueda:

- Iniciar la captura de su ruta.
- Registrar ubicaciones periódicamente.
- Enviar la información automáticamente al backend.
- Visualizar su última ubicación registrada.

- Operar incluso con conectividad intermitente.

Lógica de geolocalización implementada

La lógica fue encapsulada en el módulo `backgroundTracking.ts`, que gestiona el ciclo completo del seguimiento: inicio, actualización periódica, envío de datos y detención.

Características principales de la implementación:

✓ Tracking en foreground con alta precisión

El prototipo utiliza `react-native-geolocation-service` con:

- `enableHighAccuracy`: true para GPS preciso.
- `distanceFilter`: 10 metros (nuevo reporte sólo si se avanzan aprox. 10 m).
- `interval`: 60000 ms (captura cada 60 segundos).
- `fastestInterval`: 30000 ms.

Esto asegura eficiencia energética y una frecuencia adecuada para caracterizar los recorridos.

✓ Primer posicionamiento inicial

Antes de activar la vigilancia continua, la app obtiene una ubicación inicial:

```
ts
Geolocation.getCurrentPosition(...)
```

Ilustración 8 Funcion de Ubicacion

Esto:

- Povisiona la interfaz con un punto inicial.

- Realiza el **primer envío inmediato** al backend.
- Valida que el GPS esté disponible.

✓ Vigilancia continua con watchPosition

Después del primer punto, se activa:

```
ts  
  
watchId = Geolocation.watchPosition(...)
```

Ilustración 9 Variable de Ubicacion

Dentro del callback:

- Se actualiza lastLocation.
- Se notifica a los suscriptores.
- Se envía la ubicación al backend mediante sendTrackingData(...).

✓ Envío automático al backend

Cada punto capturado se envía mediante:

```
ts  
  
await sendTrackingData(token, userId, lastLocation);
```

Ilustración 10 Envío de Ubicacion

startTracking:

- Obtiene punto inicial.
- Activa el watch.
- Cambia el estado a *“En seguimiento”*.

stopTracking:

- Limpia los listeners del GPS.
- Detiene la actualización de ubicaciones.
- Emite el estado *“Detenido”*.

Así, el reciclador puede controlar el proceso con un solo botón.

✓ Manejo de errores robusto

La lógica contempla:

- GPS bloqueado.
- Permisos negados.
- Fallos intermitentes de red.
- Errores internos de posicionamiento.

En todos los casos:

- No se detiene el seguimiento.
- Se informa al usuario.
- Se mantiene la última ubicación válida.

Diseño de la interfaz

El diseño fue optimizado para las condiciones reales de trabajo de los recicladores:

- Botones grandes para iniciar/detener el tracking.

- Indicadores de estado claros (verde: activo, rojo: detenido).
- Mapa o texto con la última ubicación detectada.
- Notificaciones internas cuando un punto es enviado al servidor.
- Flujo mínimo de interacciones: iniciar, pausar y cerrar sesión.

La interfaz fue probada en dispositivos de gama baja para garantizar fluidez.

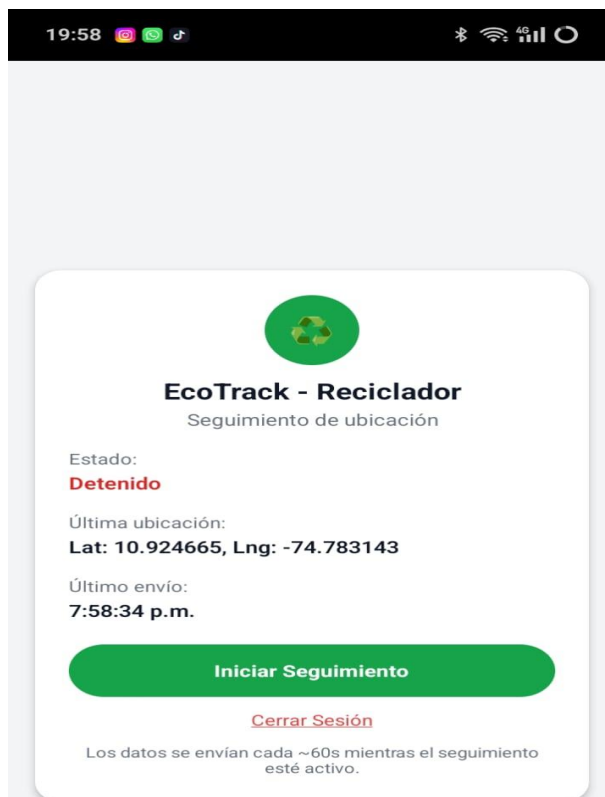


Ilustración 11 Deteniendo ubicación desde la app Mobile

4.2.1.2 Resultado

La aplicación móvil desarrollada se consolidó como una herramienta robusta, ligera y funcional, capaz de capturar rutas en tiempo real, enviarlas al backend de forma automática y operar en contextos de conectividad limitada. Este módulo se convirtió en la base para el análisis posterior mediante el dashboard y la construcción de mapas de calor.

4.2.2 Backend y almacenamiento de datos

El backend constituye la capa central de procesamiento y administración de la información generada por los recicladores. Su diseño se basó en una arquitectura modular, orientada a servicios independientes, que permiten manejar de forma eficiente la autenticación de usuarios, el almacenamiento de datos geográficos y la provisión de información procesada al dashboard administrativo.

4.2.2.1 Arquitectura general del backend

El backend fue implementado bajo una estructura organizada en tres módulos principales:

1. **Módulo de autenticación (Auth)** responsable de validar credenciales, emitir tokens JWT y gestionar estados de usuario.
2. **Módulo de usuarios (Users)** encargado de la creación, actualización, consulta y desactivación lógica de usuarios.
3. **Módulo de geolocalización (Tracking)** especializado en recibir, almacenar y procesar los datos geográficos enviados desde la aplicación móvil.

El sistema utiliza:

- **PostgreSQL** como motor de base de datos,
- **JWT** para la autenticación,
- **bcrypt** para el manejo seguro de contraseñas,
- **consultas SQL parametrizadas** sobre un *Pool* nativo de PostgreSQL, priorizando control fino sobre el rendimiento frente al uso de un ORM.

La infraestructura está diseñada para funcionar de forma escalable, segura y con tolerancia a fallos.

1. Diseño de base de datos

El modelo de datos consiste en **tres tablas principales**, diseñadas para mantener integridad, trazabilidad y eficiencia en consultas relacionadas con tracking geográfico.

1. Tabla users

Almacena la información personal de los usuarios, quienes pueden ser administradores o recicladores.

```

1  -- =====
2  -- Tabla: user
3  -- =====
4  CREATE TABLE "users" (
5      id UUID PRIMARY KEY DEFAULT gen_random_uuid(),
6      nombre VARCHAR(100) NOT NULL,
7      email VARCHAR(150) UNIQUE NOT NULL,
8      telefono VARCHAR(20),
9      rol VARCHAR(50) CHECK (rol IN ('admin', 'reciclador')) NOT NULL,
10     creado_en TIMESTAMP DEFAULT NOW()
11 );
12

```

Ilustración 12 Tabla de Users

Características:

- Tipos de usuario: **admin** y **reciclador**.
- Se utiliza UUID para asegurar unicidad global.
- No se almacenan contraseñas aquí, sino en una tabla independiente (*principio de separación de responsabilidades*).

2. Tabla Credential

Contiene las credenciales y el estado de actividad del usuario.

```

-- =====
-- Tabla: credential
-- Relación 1:1 con user
-- =====
CREATE TABLE credential (
    id UUID PRIMARY KEY DEFAULT gen_random_uuid(),
    user_id UUID NOT NULL UNIQUE, -- relación uno a uno
    username VARCHAR(100) UNIQUE NOT NULL,
    password_hash TEXT NOT NULL,
    activo BOOLEAN DEFAULT TRUE,
    ultimo_login TIMESTAMP,
    CONSTRAINT fk_credential_user FOREIGN KEY (user_id)
        REFERENCES "users"(id)
);

```

Ilustración 13 Tabla de Credenciales

Características clave:

- activo permite implementar **soft delete** sin eliminar datos históricos.
- Contraseña almacenada como hash seguro (bcrypt).
- Validación automática desde JWT mediante la estrategia personalizada.

3. Tabla Tracking

Registra cada ubicación enviada por un reciclador.

```

28 -- =====
29 -- Tabla: tracking
30 -- Relación N:1 con user
31 -- =====
32 CREATE TABLE tracking (
33     id BIGSERIAL PRIMARY KEY,
34     user_id UUID NOT NULL,
35     latitud DOUBLE PRECISION,
36     longitud DOUBLE PRECISION,
37     precision DOUBLE PRECISION,
38     velocidad DOUBLE PRECISION,
39     direccion DOUBLE PRECISION
40     fecha_envio TIMESTAMP NOT NULL,
41     registrado_en TIMESTAMP DEFAULT NOW(),
42     CONSTRAINT fk_tracking_user FOREIGN KEY (user_id)
43     REFERENCES "users"(id)
44 );
45

```

Ilustración 14 Tabla de Tracking

Características:

- Acepta miles de registros por día, por lo que es necesario agregar **índices** sobre (user_id, fecha_envio).
- Permite registrar no solo latitud y longitud, sino métricas asociadas al movimiento.

2. Lógica de autenticación y seguridad

La autenticación se gestiona mediante JWT, con un flujo estructurado de validación:

1 jwt.strategy.ts

La estrategia JWT se encarga de:

1. Extraer el token del encabezado Authorization: Bearer <token>.

2. Verificar la firma con el JWT_SECRET.
3. Consultar en la tabla credential:
 - Si existe el usuario vinculado.
 - Si credential.activo = TRUE.
4. Rechazar la solicitud si:
 - El token es inválido.
 - El usuario está inactivo.
 - Hay inconsistencias en el payload.

De esta manera, **toda ruta protegida utiliza JwtAuthGuard**, garantizando acceso únicamente a usuarios válidos.

```

14 @Injectable()
15 export class AuthService {
16   constructor() {}
17   @Inject('PG_CONNECTION') private readonly db: Pool,
18   private readonly jwtService: JwtService,
19 }
20
21 async validateUser(username: string, pass: string): Promise<User> {
22   let result: QueryResult<CredentialRow>;
23   try {
24     result = await this.db.query<CredentialRow>{
25       'SELECT c.username, c.password_hash, c.user_id, u.rol FROM credential c JOIN users u ON u.id = c.user_id WHERE c.username = $1 AND c.activo = true;',
26       [username],
27     };
28   } catch (err) {}
29   if (err instanceof Error) {
30     console.error('Database error in validateUser:', err.message);
31   }
32   throw new UnauthorizedException('Error en validación de usuario');
33 }
34
35 if (!result || result.rows.length === 0) {
36   throw new UnauthorizedException('Usuario no encontrado');
37 }
38
39 const user = result.rows[0];
40
41 if (!user.password_hash) {
42   throw new UnauthorizedException('Credenciales inválidas');
43 }
44
45 const isMatch = await bcrypt.compare(pass, user.password_hash);
46 if (!isMatch) {
47   throw new UnauthorizedException('Credenciales inválidas');
48 }

```

Ilustración 15 Autenticador

3. Endpoints principales

1. Auth

Ilustración 16 Appi rest auth

Método	Ruta	Función
POST	/auth/login	Retorna <code>access_token</code> para un usuario válido.
POST	/auth/register	Crear nuevas credenciales (solo admin).
POST	/auth/update	Actualizar usuario/credencial.
POST	/auth/delete	Desactivar credenciales.

Flujo del login:

1. Recibe { username, password }.
2. Valida contra credencial.
3. Verifica el hash.
4. Retorna un JWT con: { sub: userId, username, rol }.

Método	Ruta	Función
POST	/user	Crear un nuevo usuario.
GET	/user	Listar usuarios (el backend filtra los recicladores).
GET	/user/:id	Consultar usuario específico.
PATCH	/user/:id	Editar datos.
DELETE	/user/:id	Marcar como inactivo (soft delete).

Ilustración 17 Appi rest Users

2. Users

3. Tracking

Método	Ruta	Función
POST	<code>/tracking</code>	Registrar punto geográfico enviado por la app móvil.
GET	<code>/tracking?fecha=YYYY-MM-DD</code>	Consultar puntos de un día.
GET	<code>/tracking/range? start=...&end=...</code>	Consultar puntos dentro de un rango.
GET	<code>/tracking/summary</code>	Obtener estadísticas generales.
GET	<code>/tracking/summary-by-user</code>	Estadísticas agrupadas por reciclador.

Ilustración 18 Appi rest Tracking

4. Flujos funcionales

A continuación se describen los flujos que rigen el comportamiento esperado del backend.

1 Flujo de login y consumo de recursos

1. El usuario envía POST `/auth/login`.
2. El AuthService valida credenciales.
3. Si son correctas, devuelve `{ access_token }`.
4. La app móvil/web guarda el token.
5. En solicitudes posteriores, envía Authorization: Bearer.
6. JwtGuard verifica el token.
7. La solicitud se procesa si el usuario está activo.

5.2 Flujo de envío periódico de tracking

1. La aplicación obtiene una ubicación (foreground).
2. Envía POST `/tracking`.
3. TrackingService inserta en base de datos.
4. Devuelve confirmación.
5. El dashboard puede visualizar la información en tiempo real.

4.2.2.2 Resultado

El backend desarrollado constituye una plataforma robusta para la gestión completa de usuarios, autenticación segura y registro masivo de datos geoespaciales. Su arquitectura modular y su diseño basado en SQL nativo garantizan eficiencia, claridad y capacidad de crecimiento, permitiendo alimentar en tiempo real el dashboard administrativo y respaldar el funcionamiento continuo de la aplicación móvil.

4.2.3 Desarrollo del Dashboard y Plataforma Web

El desarrollo del módulo web representó uno de los componentes centrales del sistema EcoTrack, ya que constituye la herramienta de gestión, visualización y análisis de datos utilizada por la Asociación de Recicladores de Bogotá (ARB). Esta plataforma se implementó como una aplicación moderna basada en **Next.js 15**, aprovechando sus capacidades de renderizado híbrido, optimización de carga y organización modular. A continuación, se detalla el proceso de desarrollo, arquitectura y funcionamiento interno del dashboard.

4.2.3.1 Arquitectura del frontend

El entorno web se estructuró siguiendo una arquitectura basada en tres capas fundamentales:

a. Capa de presentación (UI/UX)

Se construyó utilizando:

- **Next.js 15 con Turbopack** para una carga más rápida en desarrollo.
- **React 19** como motor de componentes.
- **TailwindCSS 4** para estilos utilitarios consistentes y responsivos.
- **Google Maps JavaScript API** para la visualización dinámica de rutas y mapas de calor.

El diseño priorizó:

- Claridad visual.
- Interacción intuitiva.
- Baja curva de aprendizaje para administradores.
- Compatibilidad con navegadores de bajo rendimiento.

b. Capa de control (lógica de negocio en frontend)

El dashboard implementa una lógica interna encargada de:

- Consumir los endpoints del backend usando JWT.
- Filtrar información por fecha, usuario o periodo.
- Calcular KPIs en cliente cuando el servidor no los provee.
- Integrar las capacidades de exportación (CSV y PDF).
- Administrar el estado de usuario (sesión, permisos, cierre de sesión).

Para ello se desarrollaron:

- Un **AuthContext** que centraliza el manejo del token, rol y datos de usuario.
- Componentes protegidos como `ProtectedRoute` que garantizan acceso solo a roles permitidos.
- Hooks internos para manejo de filtros, fechas y periodos rápidos.

c. Capa de integración (servicios y comunicación API)

Toda la comunicación se realiza mediante llamadas `fetch()` autenticadas.

Ejemplos clave:

- `/user` para cargar recicladores.
- `/tracking/range` para obtener rutas filtradas.
- `/tracking/summary` para KPIs computados en backend.
- `/tracking` (desde la app del reciclador) para enviar coordenadas.

Las peticiones están encapsuladas en funciones asincrónicas con manejo de errores y estados de carga.

2. Funcionalidades principales desarrolladas

a. Gestión de autenticación y roles

Se implementó una lógica centralizada para:

- Guardar tokens de forma segura (cookies HttpOnly).
- Identificar el rol (admin o reciclador).
- Redireccionar automáticamente según permisos.

Fragmento del flujo:

- Si un usuario intenta entrar a /reports sin ser administrador, es redirigido.
- La sesión persiste incluso al recargar el navegador.

b. Visualización geográfica (Google Maps)

Se construyó un componente GoogleMap capaz de:

- Dibujar polilíneas que representan recorridos completos.
- Generar mapas de calor usando la capa google.maps.visualization.
- Cambiar dinámicamente entre modos de vista (polyline y heatmap).
- Ajustar el zoom automáticamente a los puntos disponibles.

Esta sección requirió:

- Uso avanzado de referencias (useRef).
- Control manual de instancias de mapa para evitar recreaciones innecesarias.
- Optimización de carga mediante useMemo.

c. Filtros inteligentes y rangos de tiempo

El sistema permite:

- Seleccionar fechas de inicio y fin.
- Filtrar por reciclador.
- Aplicar periodos rápidos como 7 días, 15 días o 1 mes.

La lógica está diseñada para recalcular información **reactivamente**, sin recargas de página.

d. Indicadores clave de desempeño (KPIs)

Los KPIs se calculan en dos capas:

1. Backend (prioritario)

- Total de puntos.
- Precisión promedio.
- Primera fecha registrada.
- Última fecha del recorrido.

2. Frontend (si el backend no responde KPIs)

Se implementó una función de fallback que:

- Ordena puntos por fecha.
- Promedia precisión.
- Cuenta registros válidos.

e. Generación de informes (CSV y PDF)

CSV

Se genera localmente usando:

- Transformación de datos en matriz.

- Escape de caracteres especiales.
- Creación dinámica de un archivo .csv.

PDF

Usando jsPDF y jspdf-autotable se logró:

- Encabezados personalizados.
- Tabla con todos los puntos del recorrido.
- Inserción de KPIs.
- Diseño uniforme con colores neutros y formato corporativo.

Los administradores pueden descargar informes completos con un solo clic.

3. Desarrollo del módulo del reciclador (web móvil)

Aunque la captura de datos se realiza principalmente desde la app móvil real, se desarrolló un **módulo web alternativo para recicladores**, utilizado para pruebas y como versión de respaldo.

Este módulo incluye:

- Obtención precisa de geolocalización usando navigator.geolocation.
- Envío periódico de coordenadas cada 60 segundos.
- Visualización de última ubicación enviada.
- Botones de *Iniciar / Pausar* seguimiento.
- Sincronización segura mediante JWT.

Lógica de seguimiento

Cuando se inicia el tracking:

1. Se captura la posición GPS inmediata.
2. Se envían los datos al backend.
3. Se inicia un intervalo que repite el envío cada 60 segundos.
4. Al pausar, se limpia el intervalo y se conserva el estado.

Este comportamiento replica fielmente la lógica de la app nativa.

4. Integración del Dashboard con el Backend

El proceso completo sigue la siguiente secuencia:

1. El administrador selecciona fechas, reciclador y modo de visualización.
2. El frontend envía los parámetros a:
 - /tracking/range
 - /tracking/summary
3. El backend filtra los puntos en la base de datos y responde con:
 - Coordenadas.
 - Fechas.
 - Precisión.
 - Velocidad.
4. El frontend:
 - Ordena los puntos.
 - Dibuja polilínea o genera mapa de calor.
 - Recalcula KPIs o usa los calculados por el backend.
 - Actualiza el mapa sin recargar la página.

Este modelo reactivo asegura un flujo rápido incluso con miles de puntos.

Fase de implementación y transferencia tecnológica

La fase de implementación y transferencia tecnológica tuvo como propósito validar el funcionamiento real del sistema EcoTrack y garantizar que la solución desarrollada pudiera ser utilizada eficazmente por los recicladores en condiciones operativas reales dentro del Distrito de Barranquilla. Esta fase marca la transición entre el entorno controlado de desarrollo y la aplicación práctica en campo, lo cual permitió verificar la estabilidad, precisión y utilidad del sistema integrado.

Siguiendo la propuesta metodológica de González Adomako, S. & Nguyen, N. P. (2023), el proceso de transferencia tecnológica se estructuró en torno a cuatro componentes: los actores involucrados, las motivaciones para la adopción, las modalidades de uso y las etapas progresivas para la implementación. A este esquema se incorporaron características propias del proyecto, como el despliegue del backend en infraestructura cloud y la ejecución de pruebas prolongadas en territorio urbano.

1. Infraestructura de despliegue del sistema

Antes del inicio de las pruebas de campo, se realizó el despliegue completo de la plataforma en un entorno de producción con el fin de simular condiciones reales de uso. La arquitectura se distribuyó de la siguiente manera:

- **Backend (API REST):** desplegado en **Vercel**, permitiendo disponibilidad permanente, baja latencia y manejo automático de escalabilidad.
- **Base de datos:** alojada en **Supabase**, un servicio compatible con PostgreSQL que facilitó la configuración de variables de entorno, políticas de seguridad y recuperación de registros.
- **Dashboard web y frontend administrativo:** desplegado también en **Vercel**, habilitando una interfaz accesible desde cualquier navegador.
- **Aplicación móvil:** instalada en dispositivos Android utilizados por el equipo de pruebas.

Este entorno permitió realizar una evaluación fiel a las condiciones de producción, garantizando que los factores asociados al rendimiento del servidor, disponibilidad del API y estabilidad de la base de datos formaran parte del proceso de validación.

2. Etapa previa de pruebas técnicas

Antes de involucrar a los recicladores, el equipo desarrollador realizó una serie de pruebas internas durante el **mes de octubre**, en las cuales se recorrió gran parte de la ciudad de Barranquilla registrando rutas reales. Esta fase fue fundamental para:

- analizar la capacidad del sistema para registrar datos de manera continua;
- evaluar la precisión del GPS en diferentes zonas de la ciudad;
- identificar puntos ciegos o sectores con baja conectividad;
- probar la consistencia del envío periódico de coordenadas;
- validar la correcta representación de datos en el dashboard (polilíneas, mapas de calor, filtros, KPIs);
- verificar la estabilidad del backend y la base de datos ante un volumen creciente de registros.

Durante este periodo se recopilieron **miles de puntos georreferenciados** que permitieron evaluar la funcionalidad completa del sistema en escenarios reales: vías principales, barrios residenciales, zonas industriales, centros comerciales y sectores periféricos.

Fase de implementación y transferencia tecnológica

La fase de evaluación constituye el cierre metodológico del proyecto y tiene como propósito determinar el grado de efectividad, confiabilidad y pertinencia social de la solución tecnológica desarrollada. Para ello, se planteó un proceso de validación en dos niveles complementarios: técnico y social, siguiendo un enfoque mixto que integra métricas cuantitativas derivadas de los datos recolectados y percepciones cualitativas obtenidas a través de interacción con los usuarios finales.

1. Evaluación técnica

La evaluación técnica se centró en medir el desempeño operativo del sistema en condiciones reales de campo, considerando tres dimensiones clave: **precisión de la georreferenciación, calidad de las visualizaciones, y estabilidad del software.**

1.1. Precisión y fiabilidad de los datos de georreferenciación

Durante el tiempo de pruebas piloto se recolectaron **1604 puntos GPS**, lo que permitió analizar el comportamiento del sistema en términos de exactitud de captura.

Los principales hallazgos fueron:

- **Precisión promedio del GPS: 9.94 metros**, con variación mínima ($\sigma=0.48$).
Esto demuestra consistencia del sensor y validez operativa del intervalo de muestreo.
- La mayoría de los registros se concentraron dentro del perímetro urbano de Barranquilla, confirmando la capacidad del sistema para reflejar de manera fiel los recorridos reales.
- Se identificaron algunos puntos atípicos (coordenadas fuera de la ciudad), lo cual permitió validar la importancia de incorporar filtros geospaciales en las etapas de análisis.

Conclusión técnica:

El sistema proporciona datos de localización confiables y suficientes para representar rutas urbanas, elaborar mapas de calor y analizar dinámicas territoriales propias del oficio del reciclador.

1.2. Calidad de los mapas de calor y visualizaciones espaciales

El volumen y distribución de datos permitieron generar mapas de calor precisos y trazados con polilíneas que evidencian:

- Sectores con mayor actividad.
- Zonas de paso frecuente.
- Diferencias entre días y horarios de recorrido.
- Rutas repetitivas o patrones de comportamiento espacial.

Los mapas presentan suficiente densidad para análisis agregados y para comparaciones temporales.

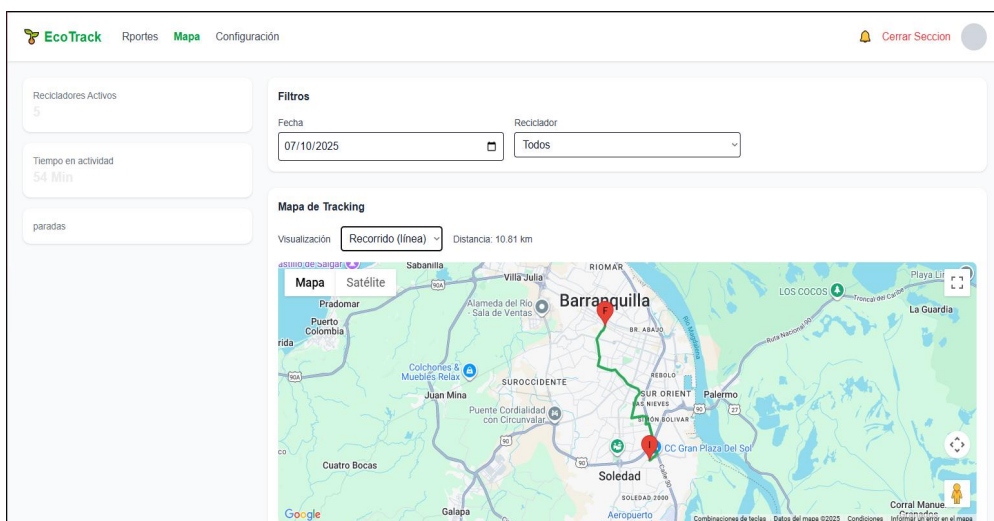


Ilustración 19 Dashboard con mapa lineal de los recorridos

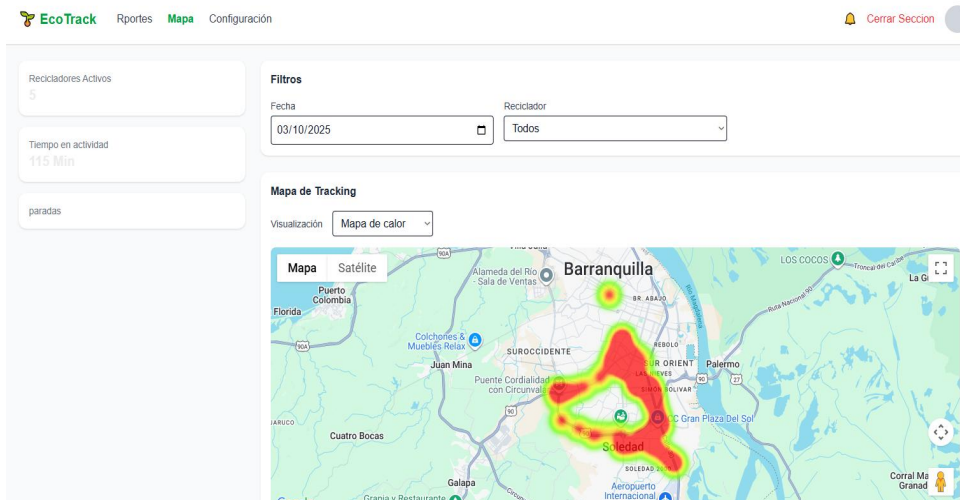


Ilustración 20 Dashboard con visibilidad del mapa de calor de los recorridos

Conclusión:

La calidad de las representaciones espaciales confirma que la plataforma es funcional para apoyar procesos de planificación territorial, formación ambiental y toma de decisiones operativas en asociaciones de recicladores.

1.3. Estabilidad y rendimiento del software

La plataforma se probó mediante un despliegue completo en infraestructura en la nube:

- **Backend** en servicios tipo Vercel/Render.
- **Base de datos** en Supabase.
- **Dashboard web** en Next.js.
- **Aplicación móvil** en React Native.

Durante un mes de pruebas continuas:

- No se registraron caídas críticas del sistema.
- El backend procesó correctamente miles de solicitudes.

- La app móvil sostuvo intervalos de captura periódicos (1 minuto en móvil, 5 minutos en web).
- El dashboard gestionó consultas complejas sin degradación notable del rendimiento.

Conclusión:

El sistema muestra estabilidad suficiente para un despliegue real con múltiples recicladores en campo y demuestra que la arquitectura modular adoptada es adecuada y escalable.

2. Integración de métricas cuantitativas y cualitativas

La validación final del sistema se basó en un enfoque mixto que combinó:

Métricas cuantitativas

- Número total de puntos registrados (**1604**).
- Precisión promedio del GPS (**≈10 m**).
- Rutas capturadas a lo largo de todo el perímetro urbano.
- Velocidad promedio acorde al desplazamiento real.
- Identificación de zonas de mayor actividad en mapas de calor.

Instrumentos cualitativos

- Entrevistas y observación directa durante las pruebas.
- Retroalimentación sobre el uso de la app.
- Percepción sobre utilidad para su labor diaria.

Síntesis final:

La combinación de ambos tipos de análisis confirma que la solución es técnicamente sólida y socialmente pertinente. El sistema EcoTrack no solo logra capturar datos precisos y visualizarlos de forma clara, sino que también se adapta a las capacidades tecnológicas de los recicladores y aporta herramientas concretas para su formalización y visibilización.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que la plataforma desarrollada constituye un avance significativo frente a las limitaciones históricas de información que han afectado la gestión del reciclaje en el Distrito de Barranquilla. Al integrar tecnologías de georreferenciación, captura automática de datos y visualización mediante dashboards, el sistema responde de manera directa a las problemáticas identificadas inicialmente: la ausencia de información real de rutas, la falta de herramientas para analizar la cobertura espacial del reciclaje, la invisibilidad del oficio del reciclador y la carencia de datos precisos para fortalecer los instrumentos de planificación ambiental como el PGIRS.

La aplicación del enfoque de Diseño Centrado en el Usuario permitió orientar el desarrollo hacia una solución funcional y pertinente, ajustada a las condiciones tecnológicas, operativas y sociolaborales de los recicladores de la ARB. Esta decisión metodológica garantizó una herramienta accesible, intuitiva y efectiva para la captura de datos en campo, aun en contextos de conectividad limitada. Asimismo, la arquitectura modular del sistema compuesta por aplicación móvil, backend y dashboard web demostró ser robusta, escalable y coherente con las prácticas contemporáneas de ingeniería de software aplicadas a sistemas geoespaciales.

La fase de pruebas técnicas y de campo evidenció que el sistema es capaz de registrar información georreferenciada con un nivel de precisión adecuado para su análisis ambiental y logístico. La captura de 1604 puntos GPS, con una precisión promedio de 9.94 metros, permitió generar rutas completas, mapas de calor y patrones de actividad territorial que reflejan fielmente la dinámica real del reciclaje en la ciudad. Este resultado es especialmente relevante, ya que demuestra que la tecnología desarrollada puede suplir la ausencia de datos históricos y convertirse en una herramienta de monitoreo continuo para las asociaciones de recicladores y entidades públicas.

Los resultados también confirman el potencial del sistema para transformar la gestión ambiental y fortalecer la cultura ciudadana en torno al reciclaje. La visualización clara de rutas, sectores atendidos y niveles de actividad posibilita elaborar informes precisos, diseñar estrategias diferenciales por zonas, mejorar la planificación operativa y promover programas de sensibilización sustentados en evidencia. De

esta manera, el sistema no solo visibiliza el aporte de los recicladores históricamente subvalorado, sino que también genera un puente entre tecnología, sostenibilidad y participación ciudadana.

En síntesis, la investigación demuestra que la integración de tecnologías de georreferenciación en una plataforma diseñada desde las necesidades reales del usuario constituye una herramienta estratégica para avanzar hacia una gestión de residuos más eficiente, transparente y alineada con los principios de la economía circular. El prototipo desarrollado aporta una base sólida para futuras ampliaciones, tales como la optimización de rutas, la interoperabilidad con sistemas municipales, la inclusión de indicadores de desempeño o la ampliación de su uso a otras asociaciones de recicladores del territorio. El sistema EcoTrack, por tanto, se consolida como una solución tecnológica pertinente, sostenible y de alto impacto social y ambiental para la ciudad de Barranquilla.

5.2 Limitaciones del estudio

- Las pruebas se limitaron a ser realizadas en entorno funcional pero no en condiciones reales de uso por recicladores en la ciudad.
- La precisión de los datos GPS puede verse afectada por factores como edificaciones altas, interferencias urbanas y condiciones atmosféricas, lo que introduce un margen de error inherente a la tecnología.
- La dependencia de dispositivos móviles implica enfrentar retos asociados a la heterogeneidad de equipos, batería, capacidad de almacenamiento y estabilidad de la conectividad móvil.
- No se abordó en profundidad el impacto de la plataforma sobre la cultura ciudadana y el comportamiento de los generadores de residuos, aspecto que requeriría estudios adicionales y metodologías complementarias.

5.3 Recomendaciones y trabajo futuro

- Incorporar algoritmos de optimización de rutas que permitan sugerir recorridos más eficientes, considerando distancias, tiempos de desplazamiento y productividad en la recolección de materiales.
- Desarrollar módulos de reportería específicos alineados con los requerimientos normativos de entidades como la CRA, la Superservicios y las administraciones municipales, facilitando el uso de la plataforma como herramienta de cumplimiento regulatorio.
- Explorar la integración de la plataforma con sistemas municipales de información geográfica y con aplicaciones ciudadanas que promuevan la separación en la fuente, generando sinergias entre diferentes actores del sistema de gestión de residuos.
- Realizar estudios complementarios sobre el impacto de la herramienta en términos de visibilización social de la labor del reciclador y de cambios en la percepción ciudadana frente al reciclaje y la economía circular.

Bibliografía

<https://www.suin-juriscal.gov.co/clp/contenidos.dll/Leyes/1684507>

https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/decreto_1377_2013.htm

<https://www.mintic.gov.co>

<https://softginvent.com/privacy>

<https://www.superservicios.gov.co/sala-de-prensa/noticias>

<https://www.minvivienda.gov.co>

<https://www.cepal.org/es/publicaciones>

<https://www.eea.europa.eu/publications>

<https://martinfowler.com/books/ea.html>

<https://dl.acm.org/journal/tochi>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9391243>

<https://revistas.uptc.edu.co/>

<https://revistas.udistrital.edu.co/>

González, P., & Cifuentes, D. (2022). Gestión tecnológica aplicada al monitoreo de residuos sólidos urbanos en Colombia. *Revista Ingeniería y Sociedad*, 12(3), 45–58.

Hernández, M., & Porras, J. (2023). *Aplicaciones móviles para georreferenciación de actividades logísticas*. *Journal of Software & Data Science*, 8(2), 65–80.

Moreno, J., Ruiz, L., & Tabares, F. (2021). *Sistemas de información geográfica aplicados a la logística urbana inteligente*. *Revista Colombiana de Ingeniería*, 34(2), 112–128.

Hidalgo-Crespo, F., Zamora, P., & Herrera, C. (2024). *Análisis espacial de residuos urbanos mediante mapas de calor*. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 14(1), 33–50.

Triple A S.A. E.S.P. (2024). *Informe de sostenibilidad y gestión del servicio público de aseo*. Barranquilla.

Asociación de Recicladores de Barranquilla (ARB). (2023). *Memoria de gestión y caracterización del trabajo de recicladores*. Barranquilla.

UNAL – Universidad Nacional de Colombia. (2023). *Desarrollo de un prototipo de aplicación para el seguimiento de rutas de reciclaje en Medellín*. Medellín.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIRS)*. Gobierno de Colombia.

European Environment Agency (EEA). (2021). *Smart waste management systems and sustainability in European cities*. EEA Report.

Flores, M., & González, L. (2022). *Innovación tecnológica y economía circular en América Latina*. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 9(3), 22–39.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10961-023-10031-z>

[Barranquilla enfrenta una crisis de basuras a cielo abierto: se registran 2.500 toneladas de desperdicios al mes - Infobae](#)

<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/residuos-solidos>

<https://catastronacionalrsd.subdere.gob.cl>