

**DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DIGITAL PARA LA LOCALIZACIÓN Y  
GESTIÓN DE PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS EN  
BOGOTÁ**



**Profesor:**

**JULIAN DANIEL TORRES VANEGAS**

**Alumnos:**

**LIZETH KATHERINE TROCHEZ PÁEZ  
MARÍA ELENA CAPERA BELTRÁN  
JUAN JOSÉ GARCÍA MERCADO**

**Proyecto de Integración**

**Bogotá D.C. junio 2025**

## Resumen ejecutivo

El presente proyecto tiene como finalidad desarrollar una plataforma web que centralice y publique información sobre la recolección de residuos tecnológicos en la ciudad de Bogotá. La creciente generación de desechos electrónicos y la falta de un sistema eficiente para su gestión han generado impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública. En respuesta a esta problemática, el proyecto busca consolidar bases de datos existentes y proporcionar una herramienta digital que facilite el acceso a información relevante para optimizar la logística de las empresas recolectoras y promover la conciencia ambiental entre los ciudadanos.

A través de una investigación exhaustiva, se identificarán fuentes de información confiables sobre los puntos de recolección y disposición final de residuos tecnológicos en Bogotá. Posteriormente, se diseñará y desarrollará una plataforma web intuitiva que permitirá la visualización geolocalizada de estos puntos, así como la consulta interactiva de datos relevantes. Esto servirá para generar estrategias de sensibilización con el objetivo de incentivar la participación ciudadana en el reciclaje y la correcta disposición de residuos electrónicos.

El impacto esperado de este proyecto radica en la mejora de los procesos de recolección de residuos tecnológicos, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible. Asimismo, se espera que la plataforma contribuya a la formulación de políticas ambientales informadas y al fortalecimiento de una cultura de reciclaje en la ciudad. Con esta iniciativa, se busca aportar una solución tecnológica que beneficie tanto a las empresas recolectoras como a la comunidad en general, reduciendo el impacto ambiental de los desechos electrónicos en Bogotá.

**Palabras clave:** Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), Gestión ambiental, Plataforma digital, Economía circular, Responsabilidad extendida del productor (REP),

Tecnologías emergentes, Blockchain, Big Data, Geolocalización, Normativa ambiental en Colombia, Trazabilidad de residuos, Aplicaciones móviles, Conciencia ambiental, Sostenibilidad tecnológica.



## Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo .....	2
Introducción .....	8
Antecedentes .....	9
Definición del problema .....	11
Objetivos .....	13
Objetivos Específicos: .....	13
Justificación .....	14
1. Análisis de Requerimientos Técnicos .....	15
1.1 Requerimientos de Software .....	15
1.2 Requerimientos de Hardware (Servidor) .....	16
1.3 Requerimientos Funcionales .....	17
1.4 Requerimientos No Funcionales .....	17
2. Marco de Referencia .....	19
2.1 Referente Conceptual .....	19
2.1.1 Economía circular: un nuevo paradigma de sostenibilidad .....	19
2.1.2 Responsabilidad extendida del productor (REP) .....	20
2.1.3 Gobernanza ambiental y participación ciudadana .....	20
2.1.4 Tecnologías emergentes y digitalización ambiental .....	21
2.2 Referente Tecnológico .....	22
2.3 Referente Legal .....	24
2.3.1 Normativa vigente en Colombia y Bogotá sobre gestión de RAEE .....	24
2.3.1.1 Ley 1672 de 2013 .....	24
2.3.1.2 Resolución 1512 de 2010 (modificada por la Resolución 762 de 2016) .....	25
2.3.1.3 Decreto 284 de 2018 .....	25
2.3.1.4 Documento CONPES 3874 de 2016 .....	25
2.3.1.5 Normativa Distrital en Bogotá .....	26
2.3.1.6 Relevancia del cumplimiento normativo en entornos digitales .....	26
3. Análisis De Restricciones .....	28
3.1 Restricciones ambientales .....	28
3.2 Restricciones económicas .....	29

3.3	Restricciones legales.....	29
3.4	Restricciones de salud y seguridad .....	30
3.5	Restricciones socioculturales .....	30
3.6	Restricciones internas del proyecto .....	31
4.	Análisis DOFA del Proyecto.....	33
4.1	Estrategias Derivadas del DOFA .....	34
4.1.1	FO (Fortalezas + Oportunidades): .....	34
4.1.2	DO (Debilidades + Oportunidades): .....	34
4.1.3	FA (Fortalezas + Amenazas): .....	34
4.1.4	DA (Debilidades + Amenazas): .....	34
5.	Metodología Para La Selección Y Desarrollo De La Solución.....	35
5.1	Identificación y descarte de soluciones ilógicas .....	35
5.2	Análisis comparativo con experiencias previas .....	35
6.	Diseño metodológico .....	36
6.1	Tipo y enfoque de la investigación .....	36
6.2	Método y procedimiento .....	36
6.3	Técnicas de análisis.....	37
7.	Evaluación de alternativas viables .....	38
7.1	Selección de la alternativa óptima .....	38
7.2	Validación y mejora continua .....	39
8.	Análisis de costos.....	40
8.1	Costos de desarrollo.....	40
8.2	Costo talento humano .....	41
8.3	Costos de investigación.....	42
8.4	Costos de comunicación .....	43
8.5	Interpretación Financiera .....	43
9.	Plan De Implementación Por Fases .....	45
9.1	Etapas 1 – Recolección y análisis de información .....	45
9.2	Etapas 2 – Diseño del procedimiento tecnológico.....	45
9.3	Etapas 3 – Desarrollo del sistema (Metodología Ágil).....	45
9.4	Etapas 4 – Validación Piloto .....	45
9.5	Etapas 5 – Ajustes y mejoras post-piloto.....	46
9.6	Etapas 6 – Evaluación de sostenibilidad y escalabilidad.....	46

9.7	Características Clave Del Enfoque .....	46
	Conclusiones .....	47
	Referencias Bibliográficas .....	49
	Anexo .....	54
	Detalles Gráficos del Prototipo Proyecto .....	54



## Índice de Gráficas

<i>Gráfica 1</i> .....	44
------------------------	----

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1</i> .....	16
<i>Tabla 2</i> .....	32
<i>Tabla 3</i> .....	33
<i>Tabla 4</i> .....	40
<i>Tabla 5</i> .....	41
<i>Tabla 6</i> .....	42
<i>Tabla 7</i> .....	43



## Introducción

En la actualidad, el crecimiento exponencial de la tecnología ha llevado a un incremento significativo en la generación de residuos electrónicos. Estos desechos, si no son gestionados de manera adecuada, pueden representar un grave problema ambiental debido a la presencia de materiales tóxicos y sustancias contaminantes. En ciudades como Bogotá, donde el consumo de dispositivos electrónicos es alto, la recolección y disposición final de estos residuos se convierte en una tarea esencial para garantizar un desarrollo sostenible y minimizar el impacto ambiental.

Este trabajo de grado se centra en la identificación y ubicación de bases de datos sobre la actividad de recolección de residuos tecnológicos en la ciudad de Bogotá. La información recopilada se utilizará para el diseño y desarrollo de una página web que permita la publicación de estos datos de manera regionalizada. Con esta plataforma digital, se busca facilitar el acceso a información confiable y actualizada sobre los puntos de recolección, permitiendo que las empresas dedicadas a esta actividad puedan optimizar sus rutas y procesos logísticos. Además, se pretende generar conciencia en la población sobre la importancia de disponer adecuadamente de estos desechos y fomentar la participación ciudadana en programas de reciclaje.

En síntesis, este trabajo de grado tiene como objetivo principal crear una solución tecnológica que facilite la recolección de residuos electrónicos en Bogotá, permitiendo que las empresas dedicadas a esta actividad puedan operar de manera más eficiente y que la ciudadanía tenga un acceso más sencillo a la información sobre reciclaje. A largo plazo, se espera que este proyecto contribuya a la reducción del impacto ambiental de los residuos tecnológicos y promueva una cultura de disposición responsable en la población.

## Antecedentes

Durante los últimos años, el crecimiento del consumo de dispositivos tecnológicos ha generado un aumento proporcional en la cantidad de residuos electrónicos (RAEE), particularmente en entornos urbanos como Bogotá. Aunque existen disposiciones legales que promueven la recolección y disposición adecuada de estos residuos, como la Ley 1672 de 2013 y el Decreto 284 de 2018, su implementación efectiva ha enfrentado múltiples barreras, entre ellas la dispersión de información, la falta de articulación entre los actores involucrados y la escasa participación ciudadana (Congreso de la República de Colombia, 2013; Presidencia de la República, 2018).

Diversas experiencias internacionales han abordado esta problemática a través de plataformas digitales que integran datos georreferenciados, trazabilidad de residuos y mecanismos de reporte ciudadano. En países como Brasil y China, iniciativas apoyadas por inteligencia artificial y tecnologías móviles han logrado mejorar la eficiencia en la recolección de RAEE, reducir costos logísticos y aumentar los niveles de recuperación de materiales (Souza & Almeida, 2022; Li, Chen & Zhang, 2024). Estas soluciones han sido impulsadas no solo por entidades gubernamentales, sino también por alianzas público-privadas con el sector tecnológico y académico (Wang, He & Zhao, 2023).

En Colombia, si bien se han desarrollado algunos pilotos orientados a mejorar la gestión de residuos peligrosos, no existe aún una herramienta digital integral enfocada en la centralización, localización y visualización interactiva de los puntos de recolección de residuos electrónicos. La información disponible está fragmentada entre instituciones, operadores

privados y normativas, lo que dificulta la toma de decisiones y la trazabilidad de los procesos (Silva, Ramos & Torres, 2022).

Este proyecto surge como una respuesta a esa brecha, con el propósito de estructurar una plataforma digital que articule de manera efectiva los datos existentes, facilite la consulta para ciudadanos y entidades recolectoras, y contribuya a una gestión ambiental más transparente y eficiente. El desarrollo propuesto se fundamenta en marcos legales vigentes, buenas prácticas tecnológicas y modelos de sostenibilidad digital que han demostrado su utilidad en otras ciudades del mundo, adaptados al contexto normativo, técnico y social colombiano (López & Rojas, 2021; Ghisellini, Cialani & Ulgiati, 2016).



## Definición del problema

En Bogotá, la generación de residuos electrónicos ha aumentado considerablemente debido al rápido avance tecnológico y la alta tasa de consumo de dispositivos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, la falta de información centralizada sobre los puntos de recolección y disposición final de estos residuos dificulta su manejo adecuado, lo que genera impactos negativos en el medio ambiente y en la salud pública.

Actualmente, los datos sobre los lugares destinados a la recolección y reciclaje de estos desechos están dispersos en diferentes fuentes, lo que impide que las empresas recolectoras optimicen sus rutas y dificulta que la ciudadanía participe activamente en procesos de disposición responsable. Esta situación genera acumulación de residuos en lugares inadecuados, contaminación del suelo y cuerpos de agua, además de la exposición a sustancias tóxicas provenientes de estos materiales.

Dado este contexto, se hace necesario desarrollar una solución tecnológica que organice y publique de manera eficiente la información sobre la recolección de residuos electrónicos en Bogotá. La creación de una plataforma web permitirá consolidar esta información, facilitando su acceso a empresas recolectoras, ciudadanos y entidades gubernamentales, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible de estos desechos.

El desarrollo de esta investigación parte de la necesidad de centralizar la información existente y ofrecer una herramienta tecnológica que ayude a mejorar la gestión de residuos tecnológicos. Actualmente, los datos sobre recolección y disposición final de estos desechos están dispersos en diferentes plataformas y entidades, lo que dificulta su acceso y utilización de manera efectiva. A través de este proyecto, se busca estructurar una base de datos integral que

compile información relevante sobre los actores involucrados en la recolección, los puntos de almacenamiento temporal y los centros de disposición final de estos residuos en la ciudad.

En este sentido, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede una plataforma digital facilitar a los ciudadanos de Bogotá el acceso a información sobre puntos de recolección de residuos tecnológicos, incentivando prácticas responsables y apoyando a las empresas recolectoras en su labor logística?



## Objetivos

Desarrollar una plataforma web que centralice y publique información sobre la recolección de residuos tecnológicos en Bogotá, facilitando el acceso a datos relevantes para optimizar la logística de las empresas recolectoras y promover la conciencia ambiental en la población.

### Objetivos Específicos:

- ◆ Identificar y recopilar bases de datos existentes sobre puntos de recolección y disposición final de residuos tecnológicos en Bogotá.
- ◆ Diseñar una estructura de base de datos que permita la organización y consulta eficiente de la información recolectada.
- ◆ Desarrollar una página web que integre herramientas de geolocalización para la visualización de los puntos de recolección.
- ◆ Implementar funcionalidades que permitan la actualización y consulta interactiva de los datos en la plataforma web.
- ◆ Analizar el impacto de la plataforma en la optimización de la recolección de residuos tecnológicos y en la generación de conciencia ambiental.

## Justificación

El presente proyecto es relevante debido a la creciente problemática ambiental asociada con la inadecuada disposición de residuos electrónicos en Bogotá. La falta de un sistema centralizado de información sobre puntos de recolección y disposición final dificulta la gestión eficiente de estos desechos, lo que genera riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Mediante el desarrollo de una plataforma web que compila y organiza esta información, se busca ofrecer una herramienta tecnológica que facilite la localización de puntos de recolección, optimizando la logística de las empresas recolectoras y promoviendo una mayor participación ciudadana en el reciclaje. Además, esta iniciativa contribuirá a la formulación de políticas ambientales efectivas, basadas en datos confiables y accesibles.

La problemática de los residuos tecnológicos radica en que muchos de sus componentes contienen sustancias peligrosas como plomo, mercurio y cadmio, que pueden filtrarse en el suelo y cuerpos de agua si no son tratados correctamente. Además, el manejo inadecuado de estos desechos genera desperdicio de materiales valiosos como el cobre, aluminio y plástico, que podrían ser reciclados y reutilizados en la fabricación de nuevos dispositivos. En este contexto, la implementación de una solución tecnológica que facilite la recolección y disposición adecuada de estos residuos contribuirá significativamente a reducir el impacto ambiental y promover la economía circular

Finalmente, el proyecto responde a la necesidad de generar conciencia sobre la importancia de la disposición responsable de los residuos electrónicos, fomentando una cultura de reciclaje que ayude a mitigar el impacto ambiental de estos desechos y a promover un desarrollo sostenible en la ciudad de Bogotá.

## 1. Análisis de Requerimientos Técnicos

Para garantizar el éxito del proyecto orientado a la creación de una plataforma digital que permita gestionar y localizar puntos de recolección de residuos electrónicos en Bogotá, se ha llevado a cabo un riguroso análisis de requerimientos técnicos. Este análisis tiene como objetivo establecer los lineamientos y especificaciones necesarias para asegurar un correcto funcionamiento, sostenibilidad y escalabilidad de la solución tecnológica.

### 1.1 Requerimientos de Software

- ◆ El sistema debe operar en un servidor que cuente con un sistema operativo robusto, como Ubuntu Server (versión 20.04 en adelante) o Windows Server.
- ◆ Para la gestión de la información, se empleará un sistema gestor de bases de datos relacional como PostgreSQL o MySQL. Como alternativa, si se prioriza la flexibilidad en el modelo de datos, puede considerarse el uso de MongoDB.
- ◆ El desarrollo del backend se realizará utilizando un lenguaje como JavaScript (Node.js con Express.js), Python (Django o Flask), o Java (Spring Boot) si se requiere mayor robustez a nivel empresarial.
- ◆ El frontend se construirá con React.js, por su capacidad de integración con APIs RESTful y su facilidad para generar interfaces responsivas y modernas.
- ◆ La funcionalidad de geolocalización se implementará utilizando Google Maps API (si el presupuesto lo permite) o empleando Leaflet.js en conjunto con OpenStreetMap para reducir costos.
- ◆ La autenticación de usuarios y empresas se manejará mediante el uso de tokens JWT (JSON Web Token) para garantizar la seguridad y la gestión eficiente de sesiones.

- ◆ El servidor web recomendado para el despliegue es Nginx o Apache, considerando opciones de hosting en plataformas como AWS, Azure, Google Cloud o Heroku, de acuerdo con las posibilidades financieras del proyecto.
- ◆ Para cumplir con las normativas de protección de datos personales (Ley 1581 de 2012), se integrará cifrado SSL/TLS y se implementarán buenas prácticas de seguridad OWASP.
- ◆ El sistema debe ser completamente compatible con los navegadores más utilizados (Chrome, Firefox, Safari, Edge) y ser adaptable a dispositivos móviles y de escritorio.

## 1.2 Requerimientos de Hardware (Servidor)

El servidor donde se alojará la plataforma debe cumplir con las siguientes especificaciones mínimas (ver Tabla 1) para garantizar un rendimiento adecuado:

**Tabla 1**

*Especificación Requerimientos de Hardware*

Recurso	Especificación mínima recomendada
CPU	4 núcleos, mínimo 2.4 GHz
Memoria RAM	8 GB
Almacenamiento	100 GB SSD (para base de datos y recursos web)
Conexión	100 Mbps mínimo para garantizar disponibilidad
Certificado SSL	Obligatorio para seguridad en la transmisión de datos

### 1.3 Requerimientos Funcionales

- ◆ El sistema permitirá a los administradores registrar, editar y eliminar información sobre puntos de recolección de residuos electrónicos en Bogotá.
- ◆ Los ciudadanos podrán consultar la ubicación geográfica de los puntos de recolección a través de un mapa interactivo con opción de búsqueda por localidad.
- ◆ Las empresas recicladoras registradas tendrán la posibilidad de actualizar sus datos y reportar estadísticas de recolección.
- ◆ La plataforma dispondrá de un módulo para visualizar contenido educativo relacionado con la correcta disposición de residuos electrónicos.
- ◆ Los usuarios podrán registrarse, iniciar sesión y actualizar sus datos personales cumpliendo con los lineamientos de protección de datos personales (Ley 1581 de 2012).
- ◆ El sistema generará reportes periódicos sobre la actividad de recolección y participación ciudadana, accesibles solo para el administrador.
- ◆ Los usuarios tendrán la opción de filtrar los puntos de recolección por tipo de residuo (pilas, baterías, electrodomésticos, etc.).
- ◆ El sistema integrará notificaciones para informar a los ciudadanos sobre campañas o eventos especiales relacionados con el reciclaje tecnológico.

### 1.4 Requerimientos No Funcionales

- ◆ El sistema debe ser altamente disponible, con un tiempo de actividad superior al 99%.
- ◆ El diseño de la interfaz será responsivo, adaptable a diferentes dispositivos (móviles, tabletas y escritorio).

*- Facultad de Ingeniería -*

- ◆ La escalabilidad del sistema debe permitir el incremento de usuarios, empresas registradas y puntos de recolección sin afectar su rendimiento.
- ◆ El sistema debe contar con mecanismos para realizar respaldos automáticos de la base de datos de forma periódica.



## 2. Marco de Referencia

### 2.1 Referente Conceptual

La gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) es un tema cada vez más relevante en el campo de la sostenibilidad urbana y la ingeniería ambiental. La creciente generación de estos residuos ha puesto en evidencia la necesidad de comprender sus implicaciones no solo desde una perspectiva técnica, sino también social, legal y ambiental. En este marco, el concepto de economía circular, la responsabilidad extendida del productor y la participación ciudadana emergen como ejes clave para estructurar soluciones efectivas y sostenibles.

#### 2.1.1 Economía circular: un nuevo paradigma de sostenibilidad

La economía circular se ha consolidado como una alternativa frente al modelo lineal de producción y consumo, al proponer un sistema regenerativo en el que los productos, materiales y recursos se mantienen en uso el mayor tiempo posible. Ghisellini, Cialani y Ulgiati (2016) afirman que este enfoque busca desacoplar el crecimiento económico del consumo de recursos naturales, promoviendo la eficiencia energética, la reutilización de componentes y el reciclaje de materiales. En el contexto de los RAEE, la economía circular se traduce en estrategias que permiten recuperar metales preciosos, reducir los impactos ambientales de la disposición final y reintegrar recursos al ciclo productivo.

Este enfoque ha sido respaldado por organismos multilaterales como la Unión Europea, que ha desarrollado marcos normativos para promover el ecodiseño, la reparación y el reciclaje

como parte de su Green Deal (European Commission, 2020). La aplicación de este paradigma a nivel local implica no solo adaptar tecnologías, sino transformar los modelos de producción, consumo y gobernanza de residuos.

### **2.1.2 Responsabilidad extendida del productor (REP)**

Otro pilar conceptual esencial en la gestión de RAEE es la responsabilidad extendida del productor, un principio según el cual los fabricantes deben asumir la gestión de los productos al final de su vida útil. Esta perspectiva fue desarrollada por Lindhqvist (2000) como una herramienta de política ambiental destinada a internalizar los costos ambientales dentro del ciclo de vida del producto.

En Colombia, este principio está respaldado por la Ley 1672 de 2013 y el Decreto 284 de 2018, que exigen a los productores implementar programas de recolección y disposición final de RAEE. Según Silva et al. (2022), el cumplimiento de estos marcos normativos ha sido desigual en el país, debido a la falta de incentivos, controles efectivos y articulación entre los actores involucrados. Esto resalta la necesidad de soluciones tecnológicas que no solo cumplan con la ley, sino que faciliten su implementación, seguimiento y control.

### **2.1.3 Gobernanza ambiental y participación ciudadana**

La gestión efectiva de residuos tecnológicos también depende de la construcción de mecanismos de gobernanza ambiental que promuevan la corresponsabilidad entre actores públicos, privados y comunitarios. Ostrom (2009) propone que el éxito de la gestión de recursos comunes depende del diseño de reglas claras, la transparencia en la información y la posibilidad

de monitoreo y sanción. En este sentido, plataformas digitales pueden constituir medios eficaces para informar, educar y comprometer a la ciudadanía en la disposición responsable de RAEE.

De acuerdo con Chancerel et al. (2019), la participación ciudadana mejora significativamente cuando existen mecanismos accesibles, información clara y canales digitales que facilitan la interacción. La creación de aplicaciones móviles, mapas interactivos y módulos informativos en línea son estrategias que incrementan la conciencia y el involucramiento ciudadano en la cadena de recolección y disposición de estos residuos.

#### **2.1.4 Tecnologías emergentes y digitalización ambiental**

La conceptualización de una solución tecnológica para la gestión de RAEE también requiere considerar el papel de las tecnologías emergentes en el ámbito ambiental. Según López y Rojas (2021), la digitalización ambiental —entendida como la integración de tecnologías digitales para resolver problemáticas ecológicas— ofrece ventajas como la trazabilidad, la automatización de procesos, el monitoreo en tiempo real y la capacidad de análisis predictivo mediante inteligencia artificial y big data.

Estas tecnologías permiten diseñar plataformas integradas donde convergen datos geoespaciales, registros normativos, historial de recolección, comportamiento ciudadano y rutas logísticas optimizadas. En este sentido, la solución propuesta para Bogotá no solo responde a una necesidad técnica, sino que se fundamenta en un marco conceptual robusto que articula principios de sostenibilidad, responsabilidad, colaboración y tecnología.

## 2.2 Referente Tecnológico

En la actualidad, las plataformas digitales desempeñan un papel fundamental en la optimización de procesos asociados a la gestión de residuos electrónicos (RAEE), dado que permiten integrar tecnologías emergentes para mejorar la trazabilidad, la recolección y el análisis de datos en tiempo real. El proyecto propuesto toma como referente diversos desarrollos tecnológicos implementados en otros países, los cuales han demostrado eficiencia y escalabilidad en contextos urbanos similares al de Bogotá.

Un caso destacado es el estudio realizado por Li et al. (2024), publicado en *Science of The Total Environment*, que propone una plataforma basada en inteligencia artificial para optimizar la logística de recolección de RAEE en zonas densamente pobladas. Este sistema utiliza algoritmos de aprendizaje automático para predecir los volúmenes de residuos por sector y ajustar las rutas de recolección en tiempo real, logrando una reducción del 18 % en costos operativos y una mejora del 22 % en tiempos de respuesta.

De igual forma, la integración de tecnologías de trazabilidad, como blockchain, ha demostrado ser clave para garantizar transparencia y responsabilidad en la cadena de manejo de residuos. En un estudio de Wang et al. (2023), publicado por SpringerLink, se describe una solución tecnológica que permite rastrear el recorrido de los dispositivos electrónicos desde su recolección hasta su disposición final, promoviendo así el cumplimiento regulatorio y la generación de reportes automatizados para entidades de control.

En el ámbito de la participación ciudadana, un artículo presentado por Souza y Almeida (2022) en *IEEE Xplore* analiza cómo el uso de aplicaciones móviles ha aumentado significativamente la entrega voluntaria de residuos en ciudades como São Paulo y Porto Alegre.

Según los autores, el diseño responsivo y la implementación de notificaciones personalizadas han sido factores determinantes para incrementar el compromiso de los usuarios y facilitar su acceso a puntos de recolección cercanos.

Estas experiencias internacionales han sido adaptadas a la realidad colombiana, considerando los marcos normativos y la infraestructura tecnológica disponible. En el caso del presente proyecto, se opta por el uso de tecnologías de código abierto para garantizar la sostenibilidad y escalabilidad del sistema. Asimismo, se integrarán servicios de geolocalización a través de APIs como Google Maps, junto con motores de bases de datos relacionales como PostgreSQL, que permitirán el almacenamiento eficiente de información relativa a puntos de recolección, actores involucrados y estadísticas de operación.

De forma complementaria, se contempla el uso de herramientas de visualización de datos y paneles administrativos diseñados con frameworks modernos como ReactJS y NodeJS, los cuales han demostrado ser altamente eficientes para la construcción de interfaces interactivas y accesibles (Kumar & Shah, 2023).

En conclusión, el referente tecnológico de esta plataforma se basa en experiencias internacionales probadas, adaptadas al contexto urbano, legal y socioeconómico de Bogotá, con un enfoque en la transparencia de la gestión, la eficiencia operativa y la participación ciudadana activa mediante herramientas digitales innovadoras.

## 2.3 Referente Legal

### 2.3.1 Normativa vigente en Colombia y Bogotá sobre gestión de RAEE

La creciente preocupación por el impacto ambiental y en la salud pública generado por los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) ha impulsado en Colombia la formulación de un marco normativo sólido que regula su gestión integral. Este conjunto de disposiciones legales tiene como objetivo fomentar la responsabilidad de los actores involucrados, desde los productores hasta los consumidores finales, promoviendo principios como la economía circular y la responsabilidad extendida del productor (REP).

#### 2.3.1.1 Ley 1672 de 2013

Esta ley representa el fundamento legal sobre el cual se estructura la política nacional para la gestión integral de RAEE. Establece como objetivo central la definición de lineamientos para el desarrollo de una política pública que permita gestionar de manera adecuada estos residuos a lo largo de su ciclo de vida.

La normativa impone a fabricantes, importadores, comercializadores y distribuidores la obligación de implementar mecanismos para la recolección y el manejo responsable de los productos una vez concluyen su vida útil. Además, busca consolidar un sistema nacional de información que articule a las autoridades ambientales, los entes territoriales y el sector privado, en coherencia con los principios del desarrollo sostenible.

### **2.3.1.2 Resolución 1512 de 2010 (modificada por la Resolución 762 de 2016)**

Esta resolución, emitida por el Ministerio de Ambiente, reglamenta la gestión ambiental de residuos provenientes de computadores y periféricos. Establece que los productores están obligados a diseñar e implementar planes de gestión posconsumo bajo el principio de REP.

Entre sus disposiciones se incluyen metas anuales de recolección, la creación de puntos de recolección accesibles, campañas de sensibilización dirigidas a la ciudadanía y la entrega periódica de reportes al Ministerio para garantizar el monitoreo y control del cumplimiento.

### **2.3.1.3 Decreto 284 de 2018**

Este decreto complementa el marco legal anterior al reglamentar operativamente la Ley 1672. En él se definen las obligaciones específicas de los productores, comercializadores y distribuidores, exigiendo la formulación de planes de gestión posconsumo debidamente estructurados.

La norma también introduce criterios técnicos relacionados con la trazabilidad de los RAEE, la organización de sistemas de recolección y las condiciones técnicas que deben cumplir los centros de tratamiento. Asimismo, contempla la imposición de sanciones a quienes incumplan sus responsabilidades ambientales.

### **2.3.1.4 Documento CONPES 3874 de 2016**

La Política Nacional para la Gestión Integral de RAEE, contenida en el documento CONPES 3874, establece una hoja de ruta para estructurar acciones a corto, mediano y largo plazo orientadas a garantizar una gestión sostenible de estos residuos en el país.

El documento plantea la necesidad de fortalecer las capacidades institucionales, promover la economía circular, articular esfuerzos entre el sector público y privado, y consolidar sistemas de información confiables. Además, define indicadores para hacer seguimiento a la efectividad de las estrategias implementadas.

### **2.3.1.5 Normativa Distrital en Bogotá**

A nivel distrital, Bogotá ha adoptado instrumentos normativos alineados con la política nacional, incorporando lineamientos específicos en su planificación territorial y ambiental.

El Acuerdo 634 de 2015, expedido por el Concejo de Bogotá, establece directrices para la recolección, clasificación y disposición adecuada de RAEE en la ciudad. Promueve la instalación de puntos de recolección accesibles y la realización de campañas pedagógicas con el apoyo del sector privado.

Por su parte, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), liderado por la Secretaría Distrital de Ambiente, incorpora estrategias específicas para el manejo diferenciado de estos residuos, reconociendo su peligrosidad y el potencial de aprovechamiento de sus componentes.

### **2.3.1.6 Relevancia del cumplimiento normativo en entornos digitales**

La integración de este conjunto normativo dentro de una plataforma digital tiene implicaciones clave para la trazabilidad, la fiscalización y la eficiencia operativa en la gestión de RAEE. La centralización de datos, la automatización de procesos de recolección y el acceso abierto a la información para entidades de control permiten no solo garantizar el cumplimiento

legal, sino también promover una cultura de responsabilidad ambiental compartida entre todos los actores sociales.

En lo que respecta a la protección de los datos personales en plataformas digitales, es fundamental tener en cuenta la Ley 1581 de 2012, que regula el manejo de la información personal en Colombia. Esta ley establece las disposiciones generales para la protección de datos personales y garantiza los derechos de los individuos sobre su información. En el contexto de una plataforma digital destinada a la gestión de RAEE, la Ley 1581 asegura que los datos personales de los usuarios, como su nombre, ubicación y otras informaciones sensibles, se manejen de manera confidencial y segura, cumpliendo con los principios de legalidad, finalidad, veracidad, acceso y circulación restringida de los datos (Congreso de la República de Colombia, 2012).

Además de la normativa nacional sobre residuos y protección de datos, se deben considerar las directrices locales, como el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Bogotá, que promueve la disposición adecuada de los residuos electrónicos y establece acciones concretas para la recolección, reciclaje y sensibilización sobre los impactos ambientales de los RAEE en la ciudad (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021).

En conclusión, la implementación de una plataforma digital para la gestión de residuos tecnológicos en Bogotá debe alinearse con todas estas normativas, garantizando que tanto los puntos de recolección como la trazabilidad de los residuos cumplan con los estándares ambientales y legales establecidos. Además, el cumplimiento con la Ley 1581 de 2012 es esencial para proteger los datos de los usuarios que interactúan con la plataforma, asegurando que su información sea tratada de manera ética y segura.

### 3. Análisis De Restricciones

El diseño e implementación de una plataforma digital orientada a la recolección y gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Bogotá requiere una cuidadosa evaluación de múltiples restricciones (ver Tabla 2), tanto externas como internas, que inciden directamente en su viabilidad técnica, legal, operativa y social. Estas limitaciones no solo determinan el alcance funcional del sistema, sino que también condicionan su sostenibilidad en el tiempo y su alineación con el marco normativo y ambiental vigente en Colombia.

#### 3.1 Restricciones ambientales

Una de las principales limitaciones para el desarrollo de esta solución digital proviene de los riesgos ecológicos asociados a la gestión inadecuada de los RAEE, los cuales contienen sustancias tóxicas como plomo, cadmio, mercurio o retardantes de llama bromados, que representan una amenaza directa para la salud pública y los ecosistemas si no se manejan adecuadamente (Pinto, 2008). Aunque la plataforma no participa físicamente en el tratamiento de estos residuos, sí desempeña un rol crítico al canalizar la información hacia usuarios y entidades gestoras, por lo cual debe ajustarse a lo dispuesto en instrumentos como el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) y las normas nacionales sobre manejo de residuos peligrosos (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021).

### 3.2 Restricciones económicas

La disponibilidad de recursos financieros es otro factor determinante en el desarrollo del proyecto. Al tratarse de una iniciativa con fines sociales y ambientales, el modelo de financiación puede depender en gran medida del presupuesto público, donaciones o alianzas con entidades no gubernamentales. Estas fuentes, si bien pueden ser sostenibles a largo plazo, pueden imponer límites al desarrollo inicial en términos de funcionalidades, cobertura y mantenimiento (Alcántara et al., 2020).

Además, factores macroeconómicos como la inflación, la variación del tipo de cambio o los costos de servicios en la nube, pueden afectar el acceso a tecnologías como servidores, APIs de geolocalización o certificados de seguridad. La plataforma deberá priorizar soluciones tecnológicas de código abierto y escalables que reduzcan la dependencia de licencias comerciales costosas.

### 3.3 Restricciones legales

El entorno legal colombiano establece un marco normativo claro para la gestión de RAEE. Normas como la Ley 1672 de 2013, el Decreto 284 de 2018 y la Resolución 1512 de 2010 definen los lineamientos para la recolección, tratamiento y disposición final de estos residuos, estableciendo obligaciones específicas para productores, importadores y gestores autorizados (Congreso de la República de Colombia, 2013; Presidencia de la República de Colombia, 2018; Ministerio de Ambiente, 2010).

Adicionalmente, la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales exige que toda plataforma que recoja almacene o procese información de usuarios implemente mecanismos

de autorización, seguridad y confidencialidad, lo cual implica un componente importante en términos de arquitectura del sistema y diseño de bases de datos (Superintendencia de Industria y Comercio, 2012). También deben considerarse normativas relacionadas con el comercio electrónico si el sistema permite interacción directa entre operadores y ciudadanos.

### **3.4 Restricciones de salud y seguridad**

Aunque el sistema digital no implica exposición directa a residuos peligrosos, sí debe garantizar que la información publicada conduzca a los usuarios hacia centros certificados, reduciendo así los riesgos derivados de la manipulación inadecuada de RAEE. En este sentido, el Ministerio de Salud ha señalado la necesidad de controlar estrictamente el contacto ciudadano con materiales peligrosos, especialmente en entornos urbanos densos como Bogotá (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

Paralelamente, la ciberseguridad se convierte en una restricción crítica. El sistema debe garantizar integridad y disponibilidad de los datos, protección frente a accesos no autorizados y mecanismos para prevenir fraudes o vulnerabilidades en la interfaz de usuario. La confianza ciudadana en el sistema dependerá en buena medida de estas garantías.

### **3.5 Restricciones socioculturales**

La apropiación social del sistema representa un factor de éxito tan relevante como el desarrollo tecnológico. En Bogotá persisten desafíos importantes como la baja cultura de separación de residuos, el desconocimiento sobre la toxicidad de los RAEE o la escasa

familiaridad con plataformas digitales en algunos sectores de la población (González et al., 2020).

Para superar estas barreras, la plataforma debe diseñarse bajo principios de accesibilidad universal, lenguaje claro, adaptabilidad a dispositivos móviles y funcionalidades que faciliten su uso por personas de diferentes edades, niveles educativos y condiciones socioeconómicas.

También será clave articular campañas educativas y alianzas con actores comunitarios para fortalecer la conciencia ambiental y promover la participación ciudadana.

### **3.6 Restricciones internas del proyecto**

Finalmente, el equipo de desarrollo enfrenta limitaciones operativas propias del entorno institucional y del alcance del proyecto. Entre ellas se encuentran la disponibilidad de personal técnico especializado, el acceso a infraestructura digital segura, la elección de tecnologías sostenibles, y el cumplimiento de un cronograma ajustado a los recursos reales (Sommerville, 2016).

Estas restricciones requieren una planificación rigurosa y el uso de metodologías ágiles que permitan priorizar funcionalidades críticas, garantizar la escalabilidad del sistema y mantener altos estándares de calidad técnica y ética. La implementación debe realizarse en fases, permitiendo una evaluación iterativa de riesgos y avances.

**Tabla 2**

*Evaluación de restricciones del proyecto*

<b>Restricciones</b>	<b>Descripción</b>	<b>Impacto del Proyecto</b>
<b>Ambientales</b>	La plataforma debe cumplir con normas como el PGIRS y legislación sobre residuos.	La plataforma debe canalizar información segura y confiable hacia centros certificados.
<b>Económicas</b>	La dependencia del financiamiento público o de alianzas hace que sean recursos limitados para el desarrollo y el mantenimiento.	Priorización de tecnologías de código abierto, funcionalidad escalonada, y búsqueda de apoyo financiero externo.
<b>Legales</b>	Ley 1672 de 2013, Decreto 284 de 2018, Resolución 1512 de 2010 y Ley 1581 de 2012 (protección de datos).	Diseño alineado con normativas ambientales y de protección de datos. Implementación de mecanismos de seguridad.
<b>Salud y seguridad</b>	Riesgos derivados de información errónea sobre puntos de recolección no certificados y riesgos de ciberseguridad.	Garantizar trazabilidad, certificación de puntos publicados y medidas de ciberseguridad.
<b>Socioculturales</b>	Las barreras tecnológicas en la población ayudan con la baja cultura del reciclaje y el desconocimiento de las RAEE.	Plataforma accesible, con lenguaje sencillo, interfaz intuitiva y campañas educativas complementarias.
<b>Internas</b>	Limitación en personal técnico, infraestructura y cronograma ajustado	Uso de metodologías ágiles, priorización de entregables y desarrollo por fases.

Nota: Tabla de creación propia.

#### 4. Análisis DOFA del Proyecto

Este análisis DOFA se realiza con el fin de evaluar los factores internos y externos que afectan el desarrollo del proyecto de una plataforma digital para centralizar y publicar información sobre la recolección de residuos electrónicos (RAEE) en Bogotá (ver Tabla 3). Esta herramienta permitirá identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas relevantes para una mejor toma de decisiones.

**Tabla 3**

*Comparativo Análisis DOFA del proyecto*

	<b>Factores Internos</b>	<b>Factores Externos</b>
<b>Positivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Plataforma con enfoque ambiental y social alineada con los ODS.</li> <li>✓ Uso de tecnologías emergentes (IA, geolocalización, blockchain).</li> <li>✓ Contribuye al cumplimiento de la legislación nacional sobre RAEE.</li> <li>✓ Potencial para integrar actores públicos, privados y ONG.</li> <li>✓ Posibilidad de alianzas con empresas tecnológicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>🌱 Aumento de políticas públicas a favor de la economía circular.</li> <li>🌐 Tendencia global hacia las ciudades inteligentes.</li> <li>📱 Alta penetración de dispositivos móviles e internet en Bogotá.</li> <li>📁 Disponibilidad de convocatorias de innovación y fondos verdes.</li> <li>👥 Interés comunitario y académico en el reciclaje tecnológico.</li> </ul>
<b>Negativos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Acceso limitado a financiación inicial.</li> <li>✗ Bajo nivel de conciencia ciudadana sobre RAEE.</li> <li>✗ Dependencia de servicios externos (APIs, nube).</li> <li>✗ Dificultad en mantener información actualizada.</li> <li>✗ Necesidad de equipo multidisciplinario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⚠ Cambios normativos o falta de actualización legal.</li> <li>⚠ Posible desinterés de actores clave.</li> <li>⚠ Riesgos de ciberseguridad y pérdida de datos.</li> <li>⚠ Brechas digitales en sectores vulnerables.</li> <li>⚠ Saturación del mercado con iniciativas sin coordinación institucional.</li> </ul>

## 4.1 Estrategias Derivadas del DOFA

### 4.1.1 FO (Fortalezas + Oportunidades):

Crear alianzas estratégicas con entidades gubernamentales y universidades para fortalecer el impacto ambiental del proyecto y acceder a fondos de innovación.

### 4.1.2 DO (Debilidades + Oportunidades):

Impulsar campañas de sensibilización ambiental y alfabetización digital, aprovechando programas educativos y comunitarios existentes en la ciudad.

### 4.1.3 FA (Fortalezas + Amenazas):

Desarrollar protocolos de ciberseguridad robustos e implementar mecanismos de respaldo de datos. Consolidar un equipo multidisciplinario que permita adaptarse rápidamente a cambios normativos.

### 4.1.4 DA (Debilidades + Amenazas):

Priorizar una fase piloto en zonas con mayor conectividad y acceso digital, minimizando el riesgo inicial mientras se consolida el modelo operativo.

## **5. Metodología Para La Selección Y Desarrollo De La Solución**

La selección y desarrollo de la solución tecnológica orientada a mejorar la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Bogotá se fundamenta en un proceso metodológico que combina principios de ingeniería aplicada con criterios de viabilidad técnica, normativa, económica y ambiental. Este enfoque permite filtrar, evaluar y perfeccionar las alternativas disponibles hasta identificar la opción más adecuada para el contexto urbano y normativo de la ciudad.

### **5.1 Identificación y descarte de soluciones ilógicas**

La primera etapa consiste en una depuración conceptual, en la que se descartan ideas preliminares que no sean factibles desde una perspectiva técnica, legal o económica. Soluciones que contemplen el uso de sustancias prohibidas por la legislación nacional, como el mercurio o el plomo sin gestión controlada, se excluyen de inmediato por contravenir normativas ambientales vigentes y principios de sostenibilidad. Asimismo, propuestas que planteen esquemas logísticos desproporcionados, como la cobertura total de Bogotá mediante recolección en tiempo real sin respaldo financiero ni operativo, se consideran inviables por su falta de realismo operativo.

### **5.2 Análisis comparativo con experiencias previas**

A continuación, se realiza un ejercicio de contraste con experiencias internacionales que han enfrentado problemáticas similares. En ciudades como Shanghái, São Paulo y Ámsterdam, el uso de tecnologías emergentes como inteligencia artificial, blockchain y aplicaciones móviles ha permitido optimizar la trazabilidad, la participación ciudadana y la eficiencia en la gestión de

RAEE (Li et al., 2024; Souza & Almeida, 2022; Wang et al., 2023). Estas experiencias, documentadas en fuentes académicas y técnicas de alta confiabilidad, sirven como base para extraer lecciones aprendidas y adaptar soluciones exitosas al contexto colombiano.

## 6. Diseño metodológico

El presente proyecto retoma un enfoque metodológico mixto, donde se combina las estrategias cualitativas y cuantitativas con el propósito de comprender, diseñar y validar la solución tecnológica orientada a la localización y gestión de los puntos de recolección de RAEE en la ciudad de Bogotá. Esta elección responde a la necesidad de abordar el problema desde la concepción técnica, con datos relevantes y estructurados, como desde el punto de vista subjetivo de los usuarios y otros interesados.

### 6.1 Tipo y enfoque de la investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como propósito buscar la solución a la problemática identificada a través del diseño e implementación de una plataforma digital funcional, pero a su vez esta investigación se clasifica como exploratoria y descriptiva, dado que se propone caracterizar el estado actual de la gestión de la RAEE en Bogotá y describir las variables técnicas, sociales y normativas que rodean al sistema propuesto.

### 6.2 Método y procedimiento

El método que se ha seleccionado para este proyecto de carácter proyectivo, basándose en el modelo de desarrollo de software iterativo, basándose por principios de metodologías ágiles. Este proceso se estructura de la siguiente manera:

- ◆ Recolección y análisis de información secundaria proveniente de fuentes oficiales, normativas nacionales (Ley 1672 de 2013, Decreto 284 de 2018) y bases de datos existentes sobre RAEE.
- ◆ Diseño de la arquitectura de la base de datos y estructura lógica de la plataforma.
- ◆ Desarrollo del sistema utilizando herramientas de código abierto como ReactJS, NodeJS, PostgreSQL y Leaflet.js para geolocalización.
- ◆ Validación con usuarios reales, a través de un piloto que permita evaluar la usabilidad, funcionalidad y efectividad de la plataforma.
- ◆ Ajustes y mejoras, con base en la retroalimentación obtenida, para garantizar la sostenibilidad, accesibilidad y pertinencia de la solución.

### 6.3 Técnicas de análisis

Para poder analizar la información vamos a tener dos formas, la información cuantitativa la cual será procesada de con técnicas de estadística descriptiva, mediante el software como Excel o herramientas analíticas, y por otro lado, está la información cualitativa que se basa en la obtención de datos mediante recolección de entrevistas o formatos calificativos los cuales serán analizados mediante una categorización temática y análisis de contenido, en los que permite identificar distintos tipos de patrones de comportamiento, barreras culturales y oportunidades de mejora.

## 7. Evaluación de alternativas viables

Las alternativas que superan el filtro inicial se someten a una evaluación más rigurosa, considerando una serie de criterios estructurados. Entre los aspectos evaluados se incluyen:

- ◆ Viabilidad económica: análisis de costos de desarrollo, mantenimiento y escalabilidad.
- ◆ Impacto ambiental y social: potencial para reducir el volumen de RAEE en rellenos sanitarios y promover prácticas responsables entre los ciudadanos.
- ◆ Usabilidad: facilidad de adopción, accesibilidad y calidad de la interfaz desde el punto de vista del usuario final.
- ◆ Compatibilidad normativa: alineación con la Ley 1672 de 2013, el Decreto 284 de 2018 y la Resolución 1512 de 2010, entre otras disposiciones legales.
- ◆ Sostenibilidad operativa: capacidad de la solución para mantenerse en el tiempo, adaptarse a nuevas realidades y extenderse a otras zonas geográficas o actores del ecosistema RAEE.

Las propuestas que no cumplan con estándares mínimos en estos aspectos son descartadas tempranamente, lo cual evita destinar recursos y tiempo a iniciativas de baja rentabilidad técnica o social.

### 7.1 Selección de la alternativa óptima

Una vez evaluadas las opciones viables, se prioriza aquella que presente la mejor relación costo-beneficio y mayor adaptabilidad al entorno urbano de Bogotá. La solución seleccionada contempla el desarrollo de una plataforma digital georreferenciada, construida sobre tecnologías

de código abierto, con capacidad para centralizar información clave sobre puntos de recolección, operadores autorizados, rutas logísticas y datos estadísticos.

Entre los principales componentes funcionales de la plataforma se incluyen:

- ◆ Módulo de registro y visualización de puntos de recolección.
- ◆ Integración con servicios de mapas para la localización precisa de sitios habilitados.
- ◆ Base de datos interoperable, diseñada para facilitar el intercambio de información con entidades públicas y privadas.
- ◆ Paneles de control estadístico para el seguimiento de residuos recolectados.
- ◆ Secciones informativas y educativas para fomentar la participación ciudadana.

## 7.2 Validación y mejora continua

Finalmente, se propone una implementación por fases, iniciando con una etapa piloto que permita validar la solución en condiciones reales. A partir del monitoreo de su funcionamiento y la retroalimentación de los usuarios, se realizarán ajustes que fortalezcan su efectividad, sostenibilidad y escalabilidad. Este enfoque iterativo permite perfeccionar tanto la solución técnica como las estrategias de comunicación y vinculación con la ciudadanía, garantizando así una mayor aceptación social y eficiencia operativa en el mediano y largo plazo.

## 8. Análisis de costos

Para este análisis de costos se tendrá en cuenta los recurso técnicos, humanos y logísticos necesarios para el desarrollo, validación e implementación de la plataforma, para este uso se priorizará la tecnología de código abierto y metodologías ágiles para poder minimizar gastos sin comprometer la funcionalidad ni la calidad del producto (ver Gráfica 1).

### 8.1 Costos de desarrollo

Se deben tener en cuenta diferentes aspectos a nivel de herramientas requeridas para la implementación del servicio como su alojamiento, y las versiones de sistemas (ver Tabla 4).

**Tabla 4**

*Detalle Costos de desarrollo*

Recurso	Costo estimando mensual COP	Tiempo (meses)	Costo total
Servidor en la nube	\$150.000	6	\$900.000
Certificado SSL	\$200.000	1 (anual)	\$200.000
Licencias y APIs	\$300.000	3	\$900.000
Dominio Web y hosting adicional	\$100.000	1	\$100.000
Herramientas de diseño UI/UX	\$80.000	3	\$240.00
<b>Subtotal</b>			<b>\$2'340.000</b>

Nota: Creación propia.

## 8.2 Costo talento humano

De igual manera se deberán contemplar los costos asociados a las personas involucradas en el desarrollo del proyecto y sus honorarios teniendo en cuenta la legislación laboral vigente (ver Tabla 5).

**Tabla 5**

*Detalle Costos talento humano*

<b>Perfil profesional</b>	<b>Honorario mensual (cop)</b>	<b>Tiempo (meses)</b>	<b>Costo total</b>
<b>Desarrollador Web</b>	\$3'500.000	4	\$14'000.000
<b>Diseñador UI/UX</b>	\$2'500.000	2	\$5'000.000
<b>Ingeniero de datos</b>	\$3'250.000	2	\$6'500.000
<b>Coordinador del proyecto</b>	\$3'250.000	4	\$13'000.000
<b>Tester / QA (calidad y pruebas)</b>	\$2'000.000	2	\$4'000.000
<b>Subtotal</b>			\$42'500.000

### 8.3 Costos de investigación

Existen factores y eventos a analizar dentro de la planeación y ejecución del despliegue de la plataforma, por lo que se deberán contemplar dentro de los costos asociados (ver Tabla 6).

**Tabla 6**

*Detalle Costos de investigación*

<b>Actividad</b>	<b>Costo Unitario (cop)</b>	<b>cantidad</b>	<b>Costo total</b>
<b>Encuestas digitales</b>	\$500.000	1	\$500.000
<b>Incentivos a participantes (validación piloto)</b>	\$80.000	30	\$2'400.000
<b>Grupos focales y entrevistas</b>	\$600.000 por sesión	3	\$1'800.000
<b>Análisis de datos e informes</b>	\$1'250.000	1	\$1'250.000
<b>Subtotal</b>			\$5'950.000

## 8.4 Costos de comunicación

Dentro del plan de estrategia para la visualización de la plataforma y su correcto funcionamiento dentro de la comunidad es la creación de estrategia alrededor de elementos de comunicación que nos permitan difundir sus objetivos y cómo funciona, es por esto que se ha incluido este tipo de actividades dentro de los costos (ver Tabla 7).

**Tabla 7**

*Detalle Costos de comunicación*

Actividad	Costo estimado
Diseño e impresión de material educativo	\$2'500.000
Gestión de redes sociales y contenido digital	\$1'300.000
Eventos de lanzamiento o capacitación	\$3'000.000
<b>Subtotal</b>	<b>\$6'800.000</b>

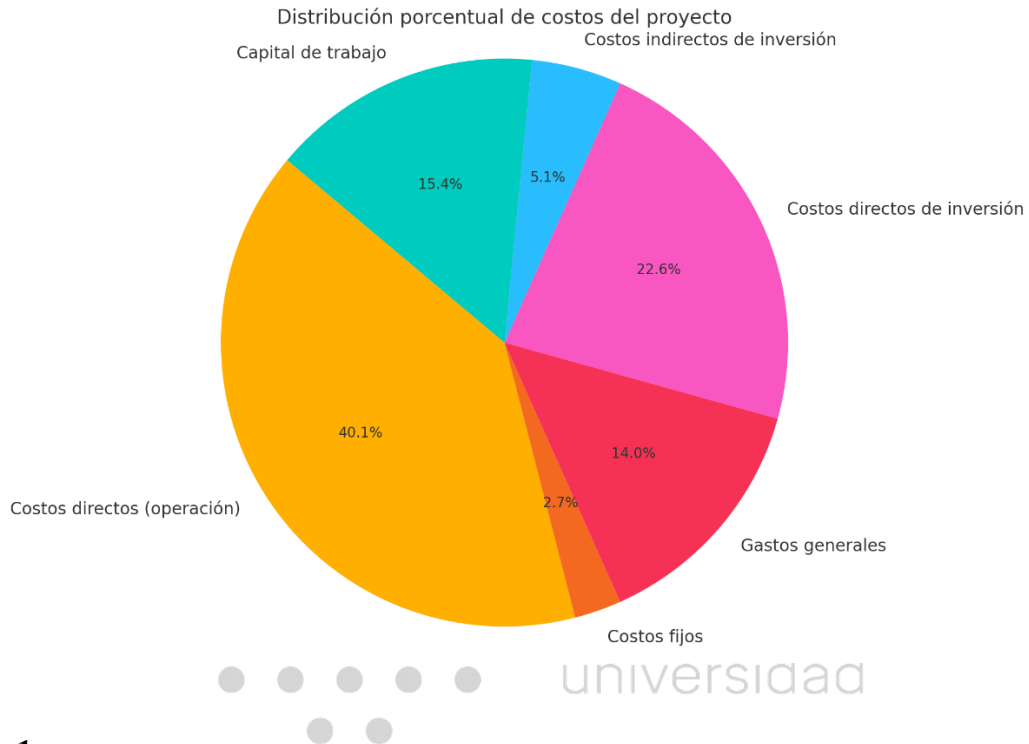
Nota: Creación propia.

## 8.5 Interpretación Financiera

Ya estableciendo los valores estimados para cada punto de partida que se necesita para que la plataforma funcione, se necesita una inversión de \$57'590.000 COP, costos que se podrían reducir si es realizado por estudiantes con apoyo de alianzas con las universidades para poder ir implementando este proyecto o en el debido caso buscar convocatorias de innovación, fondos o alianzas con el sector privado para financiar.

Para alcanzar una rentabilidad competitiva, el modelo de sostenibilidad puede incluir: suscripciones de empresas recolectoras, monetización por campañas informativas, y alianzas

estratégicas con entes públicos y privados. Este enfoque diversificado aumenta la viabilidad económica y reduce los riesgos financieros de largo plazo.



**Gráfica 1**

*Se detalla la distribución porcentual de los diferentes costos asociados a la implementación del proyecto. Creación propia.*

## 9. Plan De Implementación Por Fases

### 9.1 Etapa 1 – Recolección y análisis de información

- ◆ Identificación de fuentes de datos existentes: normativas, bases de datos oficiales, planes de gestión (Ley 1672 de 2013, Decreto 284 de 2018, PGIRS).
- ◆ Evaluación del marco legal, ambiental, tecnológico y sociocultural.
- ◆ Análisis DOFA y restricciones técnicas, económicas y legales.

### 9.2 Etapa 2 – Diseño del procedimiento tecnológico

- ◆ Diseño de la arquitectura de la base de datos (PostgreSQL) y estructura lógica del sistema.
- ◆ Definición de módulos funcionales (registro de puntos, visualización, usuarios, reportes).
- ◆ Planeación de interfaces con ReactJS, Leaflet.js y NodeJS.

### 9.3 Etapa 3 – Desarrollo del sistema (Metodología Ágil)

- ◆ Ciclos de desarrollo iterativo utilizando herramientas de código abierto.
- ◆ Implementación progresiva de funcionalidades clave.
- ◆ Pruebas técnicas internas por parte del equipo (QA/Tester)

### 9.4 Etapa 4 – Validación Piloto

- ◆ Implementación de una versión funcional en condiciones reales.

- ◆ Evaluación de la usabilidad, efectividad y aceptación por parte de usuarios reales (empresas recolectoras, ciudadanos, entidades).

### 9.5 Etapa 5 – Ajustes y mejoras post-piloto

- ◆ Incorporación de cambios según la retroalimentación recibida.
- ◆ Optimización de desempeño, accesibilidad, cobertura geográfica y experiencia de usuario.

### 9.6 Etapa 6 – Evaluación de sostenibilidad y escalabilidad

- ◆ Análisis de costos y viabilidad de expansión a nuevas localidades.
- ◆ Exploración de alianzas con universidades, sector privado y fondos públicos.
- ◆ Diseño de estrategia para actualización continua de datos e integración con nuevos actores.

### 9.7 Características Clave Del Enfoque

- ◆ **Iterativo y ágil:** se ajusta persistentemente con base en la retroalimentación.
- ◆ **Fase piloto:** esencial para validar hipótesis sistemáticas y sociales antes de remontar.
- ◆ **Enfoque participativo:** incluye ciudadanos, empresas y entidades públicas.
- ◆ **Sostenibilidad:** prioriza tecnologías de código abierto, bajo costo y alto impacto.

## **Conclusiones**

A lo largo del desarrollo del presente proyecto se logró consolidar una propuesta tecnológica funcional que responde a una necesidad ambiental y operativa real: la falta de información centralizada sobre los puntos de recolección de residuos electrónicos (RAEE) en Bogotá. A partir de un enfoque multidisciplinario que combinó la ingeniería de software, la sostenibilidad y la normativa ambiental vigente, se articuló una solución digital que permite visualizar, consultar y actualizar en tiempo real la ubicación y características de estos puntos, generando valor tanto para la ciudadanía como para las empresas recolectoras y entidades de control.

Uno de los aportes más relevantes del proyecto fue la integración de tecnologías de código abierto con herramientas de geolocalización, trazabilidad y gestión de datos en una misma plataforma. Esto no solo permitió reducir costos de implementación, sino que demostró la viabilidad de construir soluciones escalables y sostenibles sin depender de infraestructura propietaria. El sistema fue diseñado bajo principios de accesibilidad, interoperabilidad y protección de datos, elementos clave en un entorno urbano con diversidad tecnológica y social.

Respecto al cumplimiento de los objetivos, se logró avanzar satisfactoriamente en cada una de las metas propuestas. Se identificaron fuentes de información relevantes, se estructuró una base de datos robusta, se desarrolló una interfaz interactiva con funcionalidades clave y se integraron mecanismos de autenticación para usuarios registrados. La validación técnica del prototipo y las pruebas funcionales realizadas permiten afirmar que la solución cumple con los requerimientos definidos en la etapa de análisis (ver Anexo).

En cuanto a la metodología empleada, se optó por un enfoque mixto que combinó análisis cualitativo y cuantitativo. Esto permitió abordar tanto los aspectos técnicos como los comportamientos y necesidades de los usuarios. La adopción de metodologías ágiles facilitó la evolución progresiva del sistema, permitiendo ajustar funcionalidades a partir de la retroalimentación obtenida en las pruebas piloto. Este proceso de mejora continua resultó clave para garantizar la pertinencia de la solución en un entorno dinámico y cambiante.

No obstante, el proyecto enfrentó algunas limitaciones. La principal estuvo relacionada con la disponibilidad y actualización de datos confiables sobre los puntos de recolección. En muchos casos, la información proporcionada por las entidades públicas o privadas estaba desactualizada o dispersa. Asimismo, los recursos para ampliar el alcance geográfico y escalar la plataforma fueron limitados, lo que restringió la posibilidad de extender el sistema a otras ciudades del país durante esta primera fase.

De cara al futuro, las posibilidades de evolución del sistema son amplias. Se prevé la incorporación de módulos analíticos basados en inteligencia artificial para prever patrones de recolección y optimizar rutas logísticas. A nivel institucional, se proyecta que esta solución pueda servir como insumo para políticas públicas en materia de economía circular y gestión sostenible de residuos electrónicos.

En definitiva, este proyecto constituye un primer paso sólido hacia la transformación digital de la gestión ambiental en entornos urbanos. Su diseño modular y su enfoque participativo lo convierten en una herramienta con alto potencial de impacto, adaptable a contextos similares y con capacidad para escalarse técnica y territorialmente.

## Referencias Bibliográficas

- Álvarez, D., & Martínez, J. (2020). Blockchain y su impacto en la gestión de residuos electrónicos: Una revisión de tendencias globales. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Alcántara, C., León, L., & Benítez, R. (2020). Financiación y sostenibilidad de plataformas digitales para fines públicos. *Revista Latinoamericana de Tecnología*, 18(2), 45-59.
- Chancerel, P., Rotter, V. S., & Ueberschaar, M. (2019). Challenges in consumer participation for e-waste collection systems: A case study in Germany. *Waste Management*, 85, 36–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.004>
- Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1581 de 2012 por medio de la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. *Diario Oficial No. 48.106*.
- Congreso de la República de Colombia. (2013). Ley 1672 de 2013 por medio de la cual se establecen los lineamientos para la formulación de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). *Diario Oficial No. 48.862*.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2016). Documento CONPES 3874: Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- European Commission. (2020). Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>

- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). The Global E-Waste Monitor 2020. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.057>
- González, F., Restrepo, D., & Vélez, M. (2020). Barreras socioculturales en la adopción de tecnologías ambientales en contextos urbanos. *Revista de Estudios Ambientales*, 12(3), 88–102.
- Li, Y., Chen, X., & Zhang, H. (2024). Intelligent route optimization for e-waste collection using machine learning. *Science of The Total Environment*, 904, 165432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.165432>
- Lindhqvist, T. (2000). Extended Producer Responsibility in Cleaner Production: Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems. Lund University.
- López, D., & Ramírez, S. (2021). Big data models for e-waste generation forecasting in Latin America. *SciELO*. <https://doi.org/10.1016/j.scieo.2021.12.001>
- López, J. (2022). Aplicaciones móviles y geolocalización para la gestión eficiente de residuos urbanos. *Revista de Tecnologías Emergentes*, 8(3), 121-134. <https://doi.org/10.23857/jtge.2022.03.121>

López, M., & Rojas, J. (2021). Digitalización ambiental y sostenibilidad urbana: aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. *Revista Ingeniería y Región*, 19(2), 35–52.

<https://doi.org/10.14482/ingre.19.2.828.2021>

Martínez, A., & Ruiz, M. (2021). *Plataformas digitales en la gestión de residuos tecnológicos: Aplicaciones y desafíos*. Editorial EcoInnovación.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 1512 de 2010 por la cual se reglamenta la gestión ambiental de residuos de computadores y periféricos.

*Diario Oficial No. 47.794.*

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2016). Resolución 762 de 2016 por la cual se modifican aspectos relacionados con la gestión de residuos electrónicos y se establecen disposiciones adicionales.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). *Lineamientos técnicos para el manejo seguro de residuos peligrosos en el hogar*. Bogotá: Ministerio de Salud.

Ostrom, E. (2009). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.

Pereira, C., Silva, A., & Souza, A. (2021). Big data for e-waste management: A predictive model for waste generation in Brazilian urban areas. *Scielo*. [https://doi.org/10.1590/S0103-](https://doi.org/10.1590/S0103-34452021001166656)

[34452021001166656](https://doi.org/10.1590/S0103-34452021001166656)

Pinto, V. (2008). E-waste hazard: The impending challenge. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 12(2), 65–70. <https://doi.org/10.4103/0019-5278.43263>

- Presidencia de la República de Colombia. (2018). Decreto 284 de 2018 por el cual se reglamenta la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en el marco de la responsabilidad extendida del productor. *Diario Oficial No. 50.515*.
- Rojas, F. (2019). La gestión de residuos electrónicos: Un enfoque hacia la sostenibilidad. *Revista Internacional de Medioambiente y Sostenibilidad*, 15(1), 40-55.
- Sánchez, L. (2021). *Impacto de la conciencia ambiental en la gestión de residuos electrónicos en Bogotá*. Editorial Ecológica.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2021). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS Bogotá*. <https://www.ambientebogota.gov.co/pgirs>
- Silva, D., Ramos, N., & Torres, A. (2022). Evaluación del cumplimiento de la responsabilidad extendida del productor en el manejo de residuos electrónicos en Colombia. *Revista Colombiana de Políticas Ambientales*, 6(1), 45–60.  
<https://doi.org/10.31243/rcpa.v6n1.2022.4560>
- Sommerville, I. (2016). *Software Engineering* (10th ed.). Pearson Education.
- Souza, M., & Almeida, R. (2022). Mobile applications for enhancing citizen participation in e-waste management: Case studies from Brazil. *IEEE Xplore*, 2022 International Conference on Smart Cities, 145–152.  
<https://doi.org/10.1109/SMARTCITIES54231.2022.9745210>
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2012). Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales. *Diario Oficial No. 48.587*.

Wang, L., He, J., & Zhao, T. (2023). Blockchain-based traceability systems for electronic waste management. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 13452–13466.

<https://doi.org/10.1007/s11356-023-25781-4>

Wang, L., Li, L., & Zhang, M. (2024). AI-based platform design for optimizing e-waste collection routes in urban areas. *ScienceDirect*.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.01.036>

Zhang, R., Xie, X., & Wang, J. (2023). Blockchain-based model for e-waste traceability: A case study in India. *SpringerLink*. <https://doi.org/10.1007/s12103-023-07850-0>



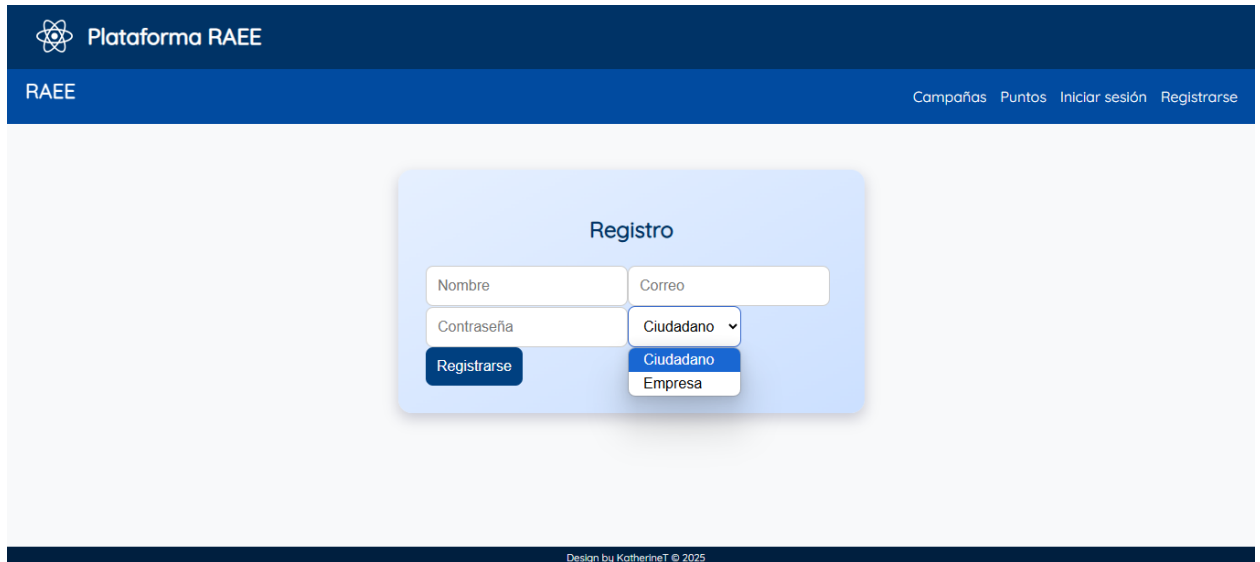
## Detalles Gráficos del Prototipo Proyecto

### Pantalla Inicial



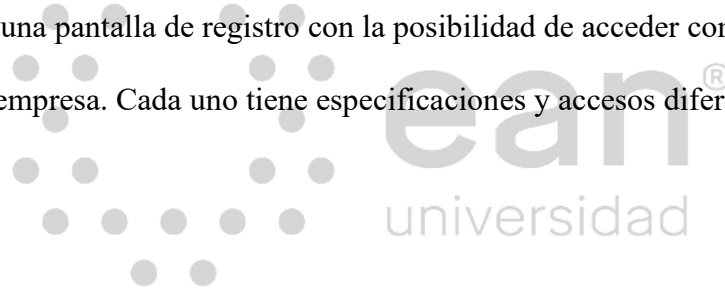
Se observa una pantalla de bienvenida completamente ajustable en su estética y con espacio para compartir diferente tipo de contenido. Encontramos, además, los botones de enlace a los sitios de inicio de sesión y de registro.

## Pantalla Registro

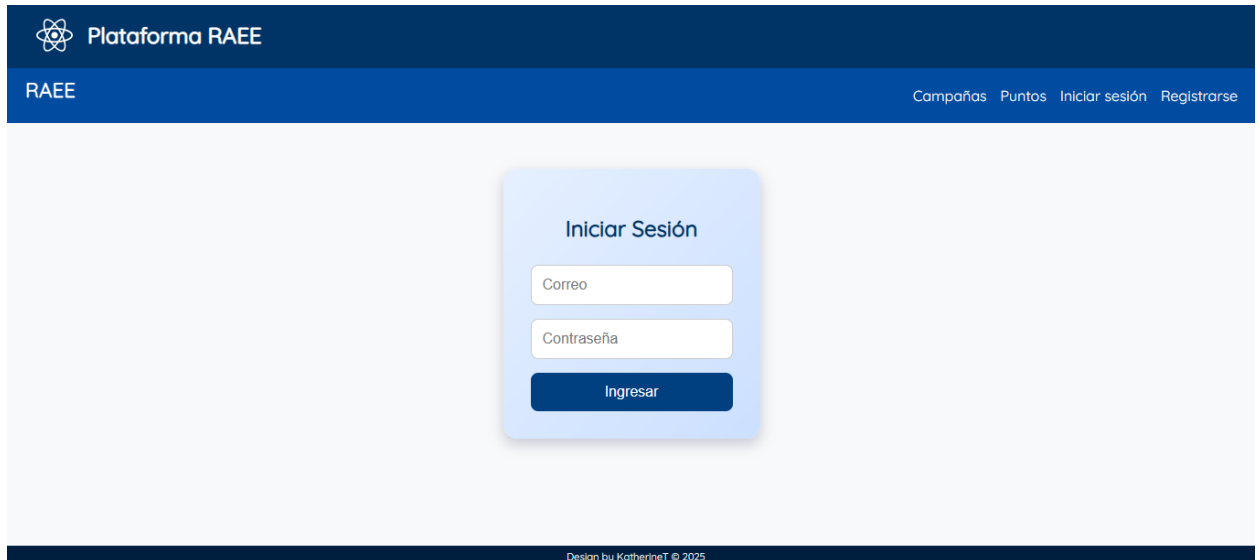


The screenshot shows the registration interface of the RAEE platform. At the top, there is a dark blue header with the RAEE logo and the text 'Plataforma RAEE'. Below this, a lighter blue navigation bar contains the text 'RAEE' on the left and links for 'Campañas', 'Puntos', 'Iniciar sesión', and 'Registrarse' on the right. The main content area features a light blue rounded rectangle titled 'Registro'. Inside this rectangle, there are four input fields: 'Nombre', 'Correo', 'Contraseña', and 'Ciudadano'. The 'Ciudadano' field is a dropdown menu with 'Ciudadano' selected and 'Empresa' as an alternative option. A blue 'Registrarse' button is positioned below the 'Nombre' and 'Contraseña' fields. At the bottom of the page, there is a small footer that reads 'Design by KatherineT © 2025'.

Encontramos una pantalla de registro con la posibilidad de acceder como usuario ciudadano o usuario empresa. Cada uno tiene especificaciones y accesos diferenciados.

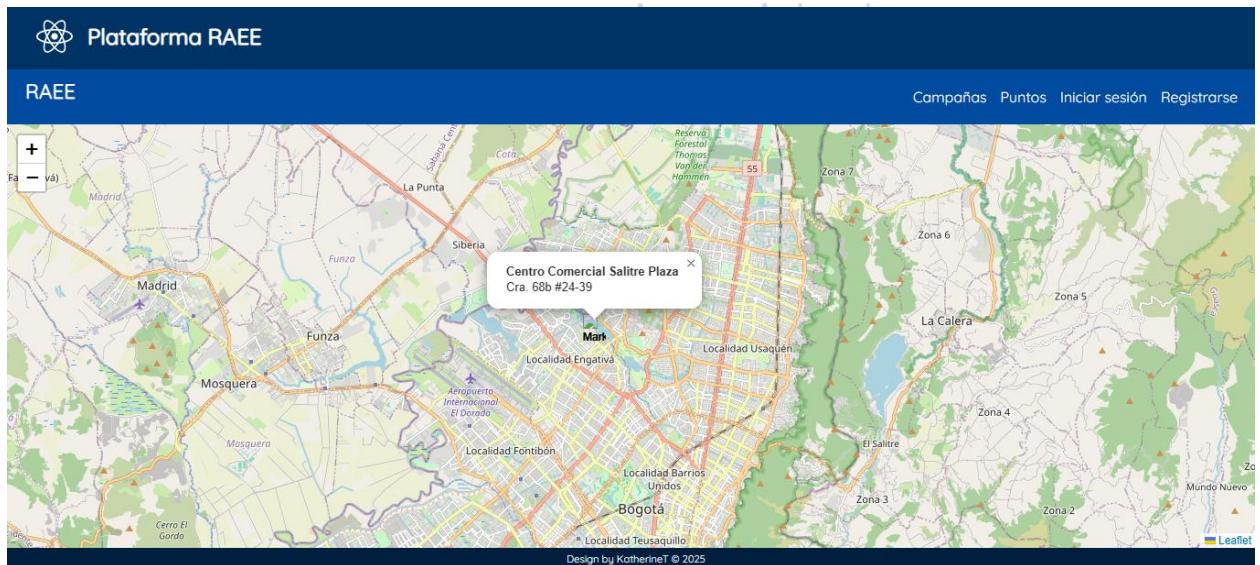


## Pantalla Iniciar Sesión



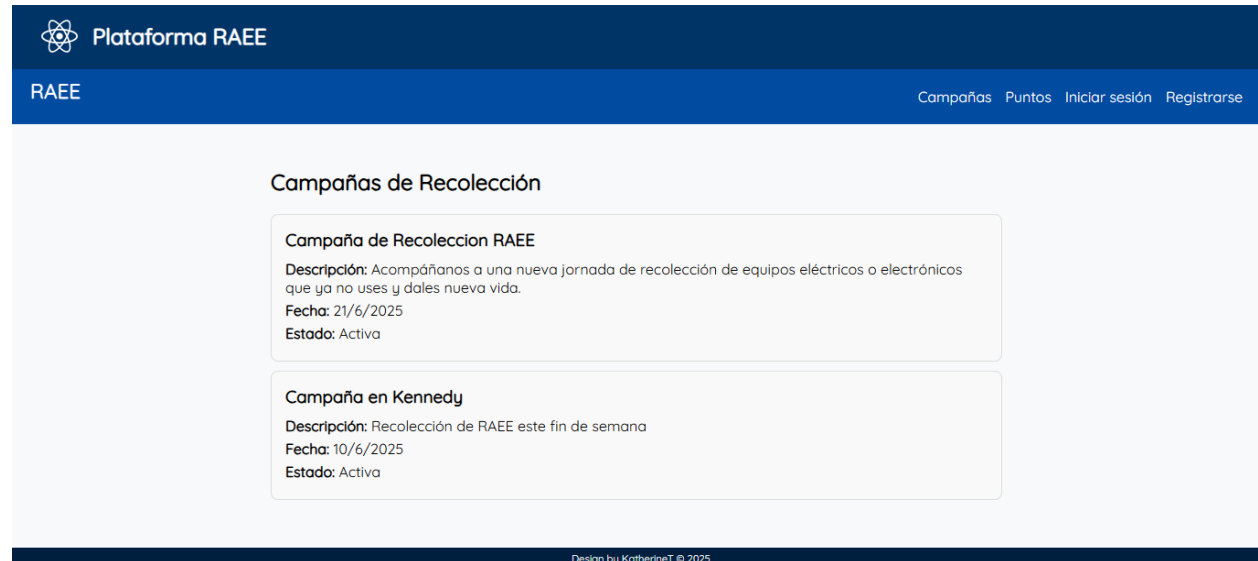
En esta pantalla se permite el acceso a la empresa o ciudadano previamente registrado.

## Pantalla Puntos



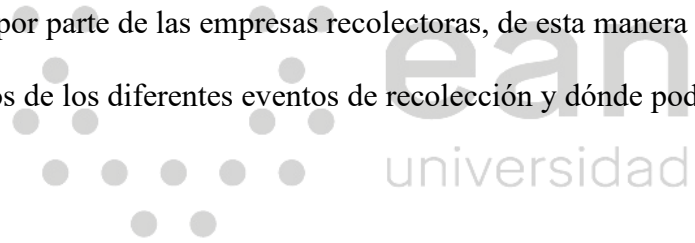
Permite ver de manera georreferenciada los diferentes puntos que los usuarios empresas pueden crear dentro de la plataforma para que los usuarios ciudadanos lo puedan visualizar.

## Pantalla Campañas

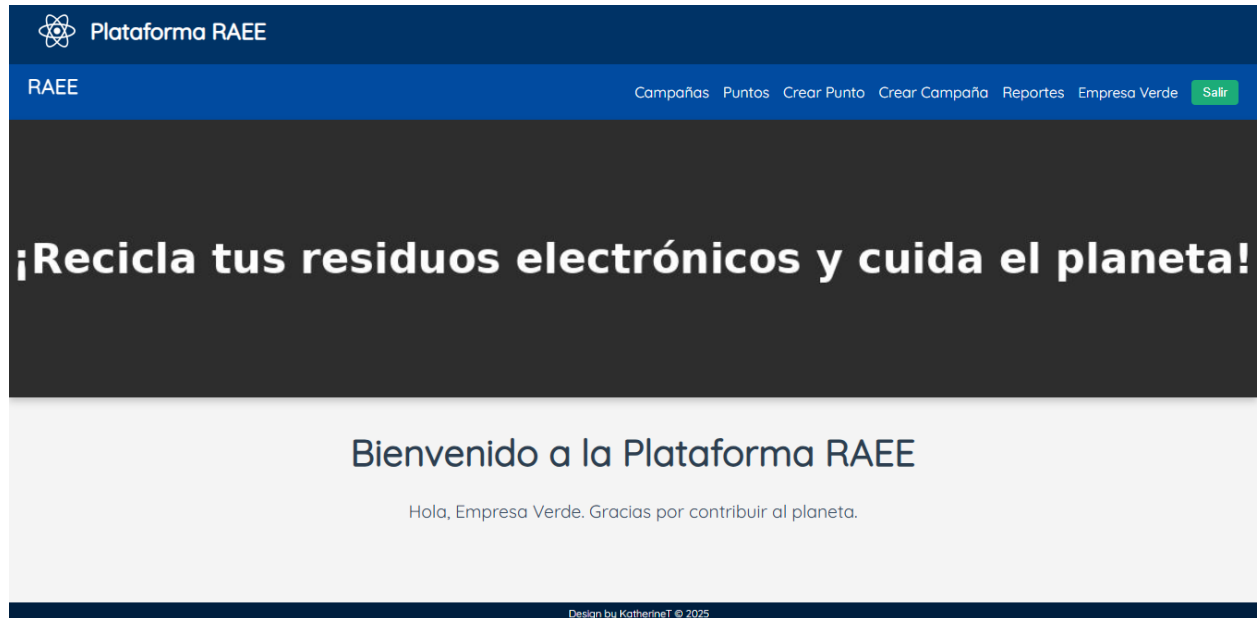


The screenshot shows the 'Plataforma RAEE' interface. At the top, there is a dark blue header with the RAEE logo and the text 'Plataforma RAEE'. Below this, a lighter blue navigation bar contains the text 'RAEE' on the left and 'Campañas Puntos Iniciar sesión Registrarse' on the right. The main content area is titled 'Campañas de Recolección' and displays two campaign cards. The first card is for 'Campaña de Recoleccion RAEE' with a description, date (21/6/2025), and status (Activa). The second card is for 'Campaña en Kennedy' with a description, date (10/6/2025), and status (Activa). At the bottom of the page, there is a small footer that reads 'Design by KatherineT © 2025'.

En esta pantalla se pueden visualizar las diferentes campañas que se encuentren registradas y activas por parte de las empresas recolectoras, de esta manera los ciudadanos podrán estar enterados de los diferentes eventos de recolección y dónde podrán encontrarlos.



## Vista Acceso Usuario Empresa



The screenshot shows the RAEE (Residuos Electrónicos) platform interface. At the top, there is a dark blue header with the RAEE logo and the text 'Plataforma RAEE'. Below this is a navigation bar with the text 'RAEE' on the left and a menu of options: 'Campañas', 'Puntos', 'Crear Punto', 'Crear Campaña', 'Reportes', 'Empresa Verde', and a 'Salir' button. The main content area features a large black banner with the white text '¡Recicla tus residuos electrónicos y cuida el planeta!'. Below the banner, the text 'Bienvenido a la Plataforma RAEE' is displayed, followed by a personalized greeting: 'Hola, Empresa Verde. Gracias por contribuir al planeta.' At the bottom of the interface, there is a small footer that reads 'Design by KatherineT © 2025'.

Cuando un usuario empresa inicia sesión con su correo y contraseña se habilitan otra serie de permisos que en este caso les permite crear puntos de recolección, crear campañas y descargar reportes.

## Pantalla Crear Punto



Plataforma RAEE

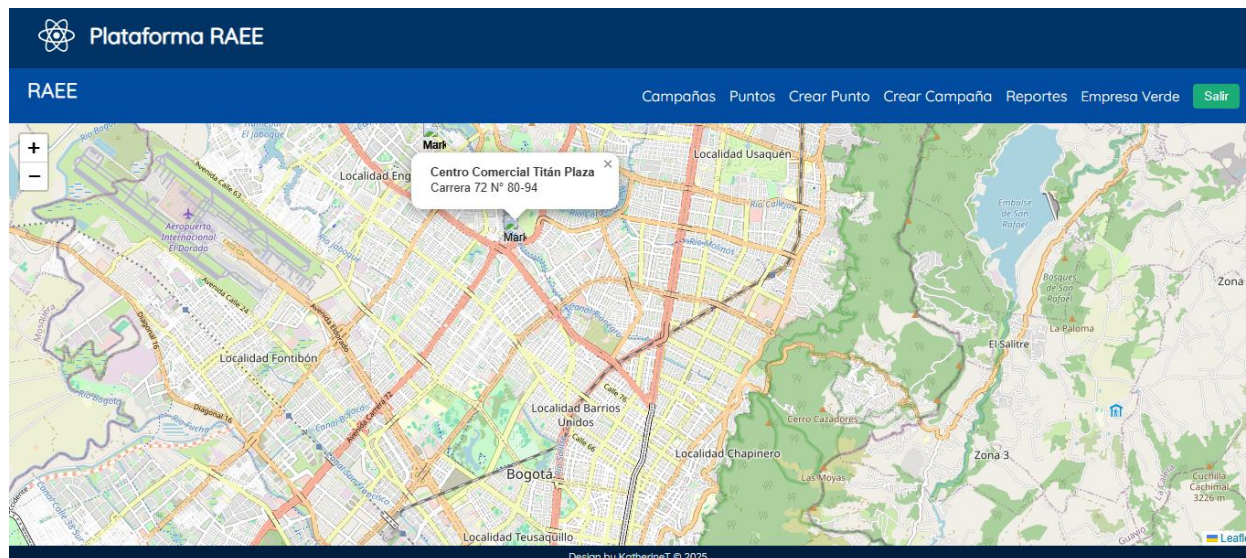
RAEE [Campañas](#) [Puntos](#) [Crear Punto](#) [Crear Campaña](#) [Reportes](#) [Empresa Verde](#) [Salir](#)

**Crear Punto de Recolección**

Centro Comercial Titán Plaza	Carrera 72 N° 80-94
Minuto de Dios	Engativá
Baterías	4 6947699
-74.0864110039613	<a href="#">Registrar punto</a>

Design by KatherineT © 2025

En esta opción las empresas pueden gestionar la creación de sus puntos de recolección y de esa manera los usuarios ciudadanos lo van a poder observar en el mapa interactivo. Así lograrán ubicar su punto más cercano.



## Pantalla Crear Campaña



The screenshot shows the 'Plataforma RAEE' interface. The top navigation bar includes 'RAEE' and several menu items: 'Campañas', 'Puntos', 'Crear Punto', 'Crear Campaña', 'Reportes', 'Empresa Verde', and a 'Salir' button. The main content area displays a 'Crear Nueva Campaña' form. The form title is 'Campaña de Gestión de Re'. The description text reads: 'Acompáñanos este 8 de junio desde las 9:00 am a darle nueva vida a los elementos electrónicos que ya no uses o que consideres deteriorados. Nosotros estaremos para recibirlos. Te esperamos'. Below the text is a date field set to '08/06/2025' and a 'Crear Campaña' button. At the bottom of the page, it says 'Design by KatherineT © 2025'.

Los usuarios empresa podrán gestionar a través de esta opción las diferentes campañas que deseen generar para compartir con los ciudadanos, de esta manera centralizan sus eventos.



The screenshot shows a list of campaigns under the heading 'Campañas de Recolección'. Each campaign card includes a title, description, date, and status, along with 'Editar' and 'Eliminar' buttons.

Campaña de Recolección RAEE
<b>Descripción:</b> Acompáñanos a una nueva jornada de recolección de equipos eléctricos o electrónicos que ya no uses y dales nueva vida.
<b>Fecha:</b> 21/6/2025
<b>Estado:</b> Activa
<a href="#">Editar</a> <a href="#">Eliminar</a>

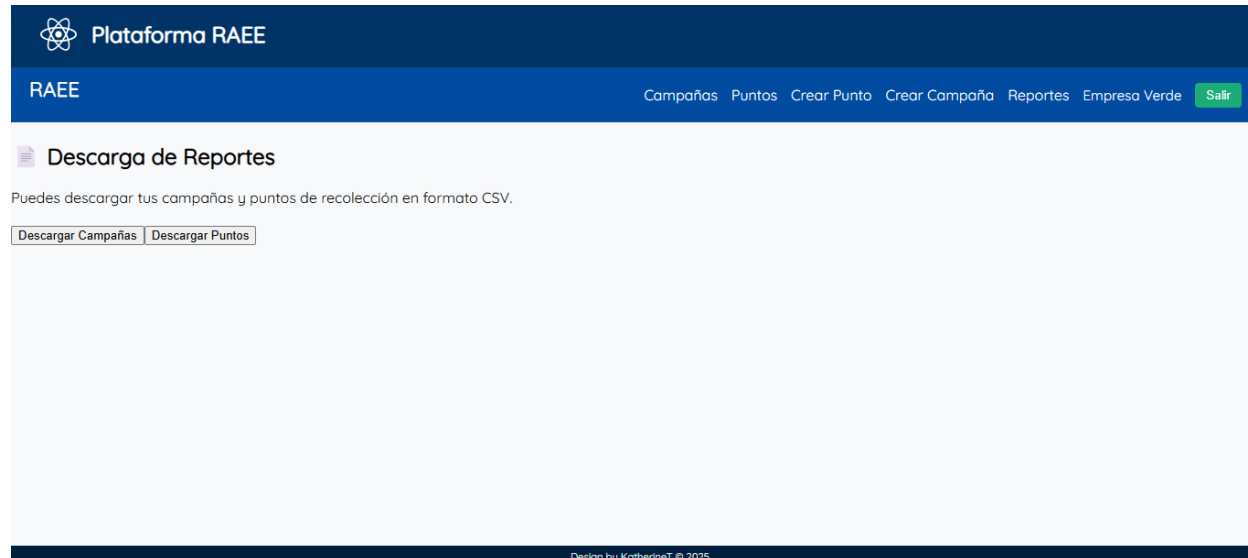
  

Campaña en Kennedy
<b>Descripción:</b> Recolección de RAEE este fin de semana
<b>Fecha:</b> 10/6/2025
<b>Estado:</b> Activa
<a href="#">Editar</a> <a href="#">Eliminar</a>

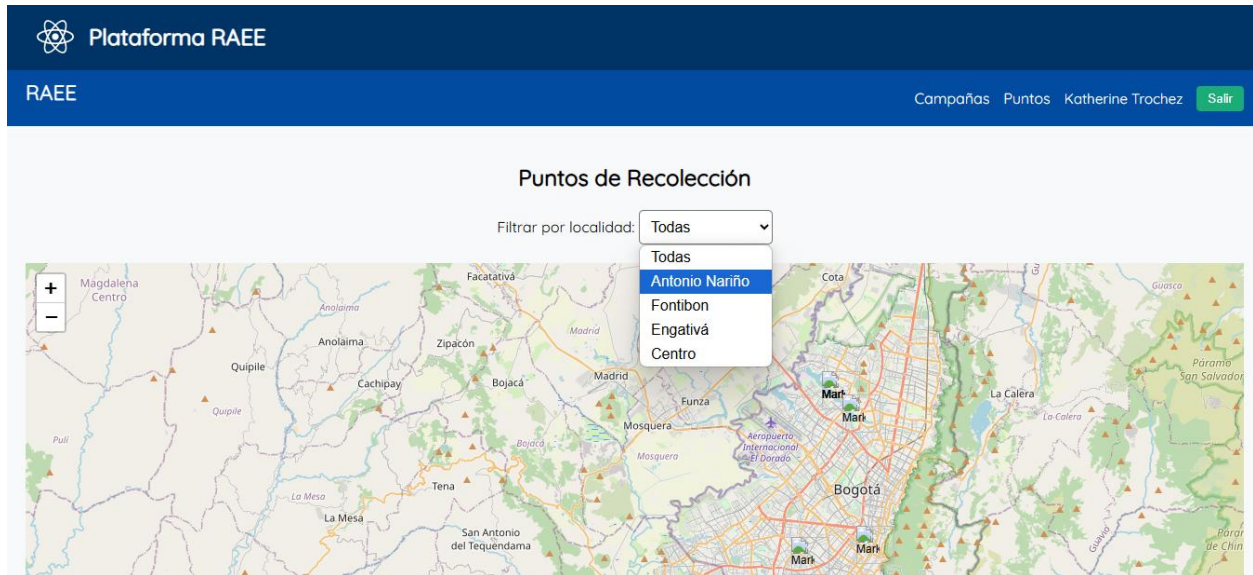
Campaña de Gestión de Residuos Electrónicos en Titán Plaza
<b>Descripción:</b> Acompáñanos este 8 de junio desde las 9:00 am a darle nueva vida a los elementos electrónicos que ya no uses o que consideres deteriorados. Nosotros estaremos para recibirlos. Te esperamos
<b>Fecha:</b> 8/6/2025
<b>Estado:</b> Activa
<a href="#">Editar</a> <a href="#">Eliminar</a>

## Pantalla Reportes



Adicionalmente se genera una vista de reportes para los usuarios empresa quienes tendrán acceso a información estadística requerida. La plataforma al ser un servicio de desarrollo web tiene la flexibilidad de ir evolucionando y en este aspecto se tienen diferentes elementos en su base de datos que permitirían la configuración de esta información.

## Pantalla Puntos (Vista Ciudadano)



Una de las posibilidades más importantes, es que el usuario ciudadano pueda filtrar por localidad los sitios más cercanos de recolección.

