

**Sistematización De La Logística Inversa Para Residuos Textiles En
Medellín: Un Modelo Digital Y Sostenible Para La Economía Circular**

Valery Juliana Nieto Cortes

Universidad Ean

Ingeniería Industrial

Diana Carolina Beltran Peña

Melbourne, Australia

25 de mayo de 2025

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por darme la fuerza, la salud y la perseverancia necesaria para culminar este proyecto. A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante durante todo este desarrollo, ya que no hubiera sido posible sin ellos. Así mismo extendo mi gratitud a mi profesora, cuya orientación crítica, sugerencias y observaciones fueron indispensables para mejorar la calidad y el enfoque del trabajo.

Por último, a todas las instituciones educativas, ambientales y tecnológicas cuyas investigaciones y datos sirvieron de base para fundamentar el presente proyecto.

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo funcional de una plataforma digital que sistematice la logística inversa de residuos textiles en la ciudad de Medellín, haciendo uso de tecnologías como Blockchain e inteligencia artificial (IA). Esta plataforma permitirá conectar a los recicladores, fabricantes, minoristas y consumidores, lo que facilitará la reutilización, el reciclaje y la gestión eficiente de los residuos textiles que se generan en la industria. Además, contará con un sistema de trazabilidad para asegurar la transparencia y responsabilidad en el ciclo de vida de los residuos. Él presente, tiene un gran impacto en la sostenibilidad, ya que, contribuirá al desarrollo de una economía circular y a impulsar una industria textil más verde.

Palabras Clave

- **Logística Inversa:** Es un proceso de planificación, control e implementación de productos, materiales o información desde el consumidor final hasta el origen, con el objetivo principal de recuperar valor o realizar algún tipo de disposición adecuada. En este caso que son residuos textiles, implicando el retorno de prendas usadas o desechadas para su reciclaje, reutilización o disposición responsable.
- **Residuos Textiles:** Son productos textiles descartados a lo largo de la cadena de valor (producción, distribución, consumo). Esto incluye recortes de tela, excedentes de producción, prendas en desuso o dañadas. Los cuales son una fuente potencial de productos reciclables dentro de la economía circular.
- **Economía Circular:** Este es un modelo económico que busca reducir los desperdicios y maximizar el aprovechamiento de recursos por medio de la reutilización, reciclaje o regeneración de materiales y productos. En esta industria se traduce como prolongar el ciclo de vida del producto minimizando el impacto ambiental.
- **Blockchain:** Es un tipo de “tecnología de registro descentralizado que permite asegurar la trazabilidad, transparencia e integridad de la información”. Aplicar esta tecnología en la industria textil garantizará el seguimiento confiable del producto desde la recolección hasta su proceso final.
- **Inteligencia Artificial (IA):** Es un conjunto de tecnologías que permiten a las máquinas o dispositivos simular procesos de inteligencia humana, como: la toma de decisiones o el aprendizaje. En este caso se aplicará como un sistema de predicción de volúmenes de residuos y sistematizar las rutas.
- **Reciclaje:** Es un proceso de transformación de materiales descartados o usados con el fin de convertirlos en nuevos productos, este incluye técnicas químicas o mecánicas, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental.
- **Sostenibilidad:** Promueve el equilibrio entre el cuidado del medio ambiente, bienestar social y el crecimiento económico, fomentando prácticas responsables en las diferentes industrias.
- **Trazabilidad:** Es la capacidad de seguir la ubicación el historial y la trayectoria de un material producto a lo largo de toda la cadena de suministro, desde su inicio hasta su disposición final.

Tabla de Contenido

| | |
|--|-----------|
| Resumen Ejecutivo | 3 |
| Palabras Clave | 4 |
| Lista de Tablas | 6 |
| Tabla de Ilustraciones..... | 7 |
| Introducción..... | 8 |
| Definición del Problema..... | 9 |
| Objetivos | 10 |
| Objetivo General..... | 10 |
| Objetivos Específicos | 10 |
| Justificación | 11 |
| Antecedentes..... | 12 |
| Marco de Referencia | 15 |
| Análisis de Requerimientos | 19 |
| ● Intención del Producto..... | 19 |
| ● Verificación de Parámetros de Diseño | 20 |
| ● Estimación de Características del Producto | 21 |
| Análisis de Restricciones | 22 |
| ● Restricciones Ambientales..... | 22 |
| ● Restricciones Económicas | 23 |
| ● Restricciones Legales..... | 24 |
| ● Restricciones de Salud y Seguridad..... | 25 |
| ● Restricciones Socioculturales | 25 |
| ● Restricciones Tecnológicas | 25 |
| Metodología para la selección y desarrollo de la solución | 27 |
| Análisis de Solución | 32 |
| Análisis de Costos | 46 |
| Plan de Implementación | 50 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| Conclusiones | 52 |
| Referencias | 54 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Viabilidad técnica..... | 33 |
| Tabla 2 Comportamiento mensual de la plataforma | 41 |
| Tabla 3 Estructura general de sistema de Incentivos | 43 |
| Tabla 4 Mecánica de puntos | 44 |
| Tabla 5 Simulación de uso del sistema de incentivos | 44 |
| Tabla 6 Indicadores de evaluación del sistema | 45 |
| Tabla 7 Costos Fijos..... | 46 |
| Tabla 8 Gastos Generales..... | 47 |
| Tabla 9 Costos Indirectos..... | 48 |
| Tabla 10 Total | 48 |
| Tabla 11 Tabla de Implementación. | 50 |

Tabla de Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Diagrama de flujo metodológico del proyecto | 31 |
| Ilustración 2 Modulo de Marketplace | 34 |
| Ilustración 3 Lista de materiales (modulo IA)..... | 34 |
| Ilustración 4 Ejemplificación con datos simulados para su uso | 34 |
| Ilustración 5 Estudio de Material de la IA | 35 |
| Ilustración 6 Material añadido en la plataforma | 35 |
| Ilustración 7 Aplicación de Bolckchain a procesos activos | 36 |
| Ilustración 8 Historial de material con sus respectivos códigos de Blockchain. 36 | |
| Ilustración 9 Mapa interactivo | 37 |
| Ilustración 10 Detalles de una ruta terminada | 37 |
| Ilustración 11 Detalles de una ruta activa..... | 38 |
| Ilustración 12 Perfil del Reciclador y sus indicadores..... | 38 |
| Ilustración 13 Página de Inicio..... | 39 |
| Ilustración 14 Panel de Reciclador | 39 |
| Ilustración 15 Muestras de desempeño según las estadísticas..... | 39 |

Introducción

El reciclaje y la gestión adecuada de los residuos textiles es un desafío global que afecta a bastantes países, incluyendo Colombia. Medellín, es la capital de la moda colombiana por lo tanto es un centro clave en la industria textil del país, actualmente enfrenta problemas relacionados con la gestión ineficiente de residuos y la falta de una infraestructura adecuada para realizar el proceso de reciclaje de forma efectiva. Este proyecto surge como una solución tecnológica que, por medio del uso de plataformas digitales, sistematiza la logística inversa de los residuos textiles, creando un ecosistema circular beneficiando a la industria y a los consumidores. Esta propuesta tiene un doble impacto: ambiental al reducir residuos y emisiones y económico donde se generará valor a través del reciclaje y la reutilización.

Definición del Problema

La industria textil es la segunda más contaminante a nivel mundial genera 92 millones de toneladas de residuos textiles anualmente (TEXLIMCA, 2024), desafortunadamente menos del 15% de estos residuos se reutilizan o se reciclan, y la otra parte termina en incineración o basureros, empeorando problemas ambientales como el desperdicio de recursos, contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero. El crecimiento de la industria en Medellín ha crecido significativamente en la generación de residuos textiles, lo que, combinado con la falta de infraestructura de reciclaje, contribuye al deterioro ambiental. Al no tener una plataforma que sea eficiente y que conecte a los diferentes actores que están presentes en la cadena de reciclaje, limitará las oportunidades de reciclaje y reutilización efectiva de estos residuos. Una solución a la problemática comienza en el prototipado funcional de una plataforma digital que sistematice los procesos de logística inversa, en el que se garantice el seguimiento de los residuos y fomenta la participación de las partes que están involucradas.

Pregunta de Investigación

- ¿Cuál es el impacto potencial de un sistema digital de logística inversa en la reducción de residuos textiles?

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo funcional de una plataforma digital para la sistematización de la logística inversa de residuos textiles en Medellín, aplicando tecnologías innovadoras con el fin de promover la sostenibilidad y mejorar la eficiencia del reciclaje.

Objetivos Específicos

- Proponer un prototipo de una plataforma digital que conecte a fabricantes, recicladores y consumidores para facilitar el reciclaje e intercambio de residuos textiles.
- Integrar un sistema básico de tecnología Blockchain en el prototipo, que permita registrar y verificar el flujo de residuos textiles.
- Explorar mecanismos de incentivos digitales que fomenten la participación de los consumidores en el reciclaje, como: puntos canjeables o medallas virtuales, alineados con la economía circular.

Justificación

La implementación de esta plataforma es crucial para mejorar la gestión de residuos textiles en Medellín, un área que hoy en día enfrenta desafíos de falta de infraestructura e ineficiencia para el reciclaje. Este proyecto se justifica desde el punto vista ambiental, ya que, reduce la cantidad de residuos textiles que terminan en basureros, como económico, al generar nuevas oportunidades de negocio en el ámbito de la economía circular. La aplicación proporcionará una solución que puede escalarse o replicarse en otras ciudades o países, contribuyendo a una industria más responsable y sostenible. Además, promueve y ayuda a los consumidores a alinearse con las tendencias globales de sostenibilidad.

Antecedentes

El procesamiento de residuos textiles se ha convertido en un factor de gran importancia en las agendas ambientales y de innovación tecnológica por el impacto en la generación de desechos. La Ellen MacArthur Foundation en un artículo del año 2017 evidencio que solo el 1% de los textiles desechados se convierten en productos nuevos y el 73% terminaron incinerados o en basureros (rellenos sanitarios), resaltando la urgencia de modelos de economía circular (Elle MacArthur Foundation, 2017). Pero, años atrás se definió la logística inversa, proceso que planifica, implementa y controla el flujo de materiales desde el consumidor hasta su origen, con el fin de recapturar valor o disponer de forma adecuada los residuos (Rogers y Tibben-Lembke, 1999).

En Colombia, la Ley 1672 del año 2013 estableció las bases para la gestión integral de residuos sólidos, en estos los textiles, pero, esta implementación ha sido limitada por falta de coordinación entre entidades y deficiencias en infraestructura (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013). Sin embargo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018) presentó que los avances en este proceso se han visto limitados por la falta de articulación entre actores y la deficiencia en la infraestructura técnica para la transformación y recuperación de residuos. En el área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) informó que en el año 2021 cerca del 92% de los residuos textiles que se recolectaron terminan en basureros, evidenciando la falta de rutas efectivas de recolección selectiva y un sistema trazable que permita su recuperación. Estudios realizados por la Universidad de Antioquia (Gómez y Restrepo, 2020) reforzaron esta visión, recalcaron la inexistencia de plataformas digitales que

conecten e integren de forma efectiva a los fabricantes, recicladores y consumidores, limitando la implementación adecuada de estrategias de economía circular.

Se han presentado diferentes iniciativas como la Ruta N de Medellín que ha promovido el emprendimiento y el desarrollo tecnológico de la sostenibilidad urbana, pero, desafortunadamente aún no se ha consolidado con una solución digital que ofrezca transparencia, trazabilidad y análisis predictivo a los residuos textiles. La Universidad EAFIT ha presentado la aplicación de algoritmos con Inteligencia Artificial (IA) para aumentar la eficiencia en la clasificación de estos materiales hasta en un 20% (López et Al., 2020), aunque estas aplicaciones no cuentan o carecen de integración de mecanismos de verificación como el Blockchain.

A nivel mundial, se argumenta que el Blockchain tiene un gran potencial que fortalecería la confianza, la transparencia y la eficiencia en las cadenas de suministro sostenible, ya que, permite registros inalterables de transacciones entre múltiples actores (Saberri, 2019). La implementación de las nuevas tecnologías es atractiva para muchos según Li, Zhang y Wang (2021), demostraron cómo la inteligencia artificial predice patrones de generación de residuos y optimiza rutas de recolección.

El surgimiento de herramientas No-Code como, Bubble.io han permitido acelerar el proceso de desarrollo en prototipos funcionales con reducciones de hasta un 60% en costo y tiempo de validación (Martinez, 2022).

A pesar de la existencia de leyes o normas nacionales y programas locales pilotos, la gestión de residuos textiles en la ciudad de Medellín carece de una solución digital integral. Muchas cifras muestran la baja tasa de reciclaje y su límite trazable, en el que muchos estudios académicos resaltan el cómo la aplicación de las nuevas tecnologías como la IA y el Blockchain. Este proyecto responde a esa brecha normativa y práctica mediante el diseño de un prototipo funcional de plataforma digital combinando la inteligencia artificial y Blockchain, con el fin de conectar a todos los involucrados en este ecosistema de la economía circular textil. Impulsando la transparencia, fomentando la participación ciudadana y sistematizando las rutas de recolección, estableciendo las bases para escalar la solución y generar un buen impacto sostenible a largo plazo.

Marco de Referencia

El impacto ambiental en la industria textil es una preocupación a nivel mundial. Según la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU, solo una pequeña parte de los textiles generados anualmente son reciclados, y la otra parte terminan en incineradores o en basureros. En América Latina, la infraestructura para la gestión de residuos es limitada y en Colombia, la falta de sistemas adecuados de logística inversa dificulta el aprovechamiento de estos materiales.

Medellín, la ciudad más reconocida en el país por su industria textil, no cuenta con plataformas digitales integradas que permitan la sistematización de recolección, clasificación y reciclaje de estos de forma eficiente. Previa investigación han podido demostrar que el uso de este tipo de plataformas puede mejorar eficientemente procesos de reciclaje, reducir costos, generar beneficios económicos y ambientales. Estudios como el de Ellen MacArthur Foundation (2017) destacan la importancia de la economía circular en la industria textil y cómo la tecnología digital facilita la reutilización y la trazabilidad de los materiales. Además, se han encontrado diferentes investigaciones acerca de la aplicación de Blockchain en la cadena de suministro en el que se demuestra que esta tecnología puede garantizar la confianza y transparencia en los procesos de reciclaje. Esta tecnología permitirá registrar transacciones de manera segura e inmutable, lo que es de gran beneficio para la gestión de residuos, según Lansiti y Lakhani (2017), esta puede mejorar la confianza en las cadenas de suministro proporcionando un registro verificable en cada transacción. Se aplicará en la plataforma, como se presenta a continuación:

- Registrar el ciclo de vida de los residuos, en el que garantice su origen y destino final.
- Asegurar la confianza en la cadena de valor del reciclaje.
- Crear incentivos en formato digital con el fin de motivar a los usuarios y organizaciones en la economía circular.

La logística inversa se refiere al proceso de reciclaje y recuperación de productos al final de su vida útil para reintegrarse en la cadena productiva. En la industria este proceso incluye la recolección, clasificación, reciclaje y reutilización de materiales. Según Rogers y Tibben-Lembke (1999), una logística inversa no solo reducirá la contaminación ambiental, sino que también generará valor económico para las organizaciones.

El modelo de economía circular se propone para minimizar y maximizar la reutilización de materiales. Según la Estrategia de Economía Circular de la Unión Europea (2015), esta industria es una de las áreas clave donde la circularidad puede generar un gran impacto, un gran ejemplo es “Fashion for Good” que ha demostrado que la implementación de tecnologías nuevas e innovadoras pueden acelerar la transformación hacia una industria textil más sostenible.

En este proyecto, la plataforma facilitará la economía circular al conectar a todas las partes incentivando la reutilización y la recuperación de materiales textiles. La inteligencia artificial (IA) ha mostrado ser una herramienta clave en la sistematización de procesos en la gestión de residuos y sistemas logísticos. Recientes estudios demuestran que los algoritmos de IA pueden mejorar la clasificación de residuos, sistematizar rutas de recolección para reducir costos

operativos y prever tendencias de generación de desechos. Con lo anterior la IA se aplicará de la siguiente forma:

- Clasificar materiales reciclables por medio de técnicas de visión artificial.
- Predecir la generación de residuos y planificar rutas ecológicas eficientes.
- Sistematizar el uso de los recursos en el proceso de reciclaje.

Para desarrollar la plataforma, se deberá considerar las leyes ambientales y de gestión de residuos que se encuentren vigentes en Colombia, como, por ejemplo: la ley 1672 del año 2013 el objetivo de esta es regular la gestión y generación integral de residuos sólidos en el país promoviendo la economía circular, Resolución 1407 del año 2018 establece diversos lineamientos para la gestión de residuos posconsumo. Así mismo, es de suma importancia estudiar normas internacionales, como: ISO 14001 norma internacional para sistemas de gestión ambiental mejorando el rendimiento de las organizaciones y a cumplir con las expectativas de los usuarios mientras reducen su impacto ambiental.

Actualmente, existen diferentes iniciativas tecnológicas enfocadas totalmente en la gestión de recursos a nivel mundial. Reverse Resources es una empresa que ha desarrollado plataformas para reutilizar y rastrear materiales textiles en la industria. También, se encuentra TextileGenesis que ha implementado Blockchain para garantizar la trazabilidad en la cadena de suministro.

En el país, aún no existe alguna solución integral que combine las tecnologías mencionadas anteriormente con la economía circular con el fin de sistematizar la logística inversa en la industria. Por lo tanto, este proyecto presenta una

propuesta innovadora que puede marcar un antes y un después en la gestión sostenible de residuos textiles en Medellín.

Análisis de Requerimientos

El desarrollo exitoso del prototipo funcional de la plataforma para la sistematización de la logística inversa de residuos textiles en Medellín dependerá del cumplimiento de los objetivos establecidos previamente, la correcta definición del alcance y el estudio de todos los requerimientos funcionales y no funcionales. Para poder lograr esto, es necesario establecer desde el comienzo las especificaciones del diseño, minimizar cambios en etapas que se encuentren avanzadas en el proyecto y garantizar la viabilidad técnica.

Para realizar este análisis de requerimientos será necesario tener en cuenta:

- **Intención del Producto**

El prototipo busca sistematizar la logística inversa de residuos textiles mediante el uso de tecnologías innovadoras, como: Blockchain e inteligencia artificial (IA). Donde su función principal es conectar a las diferentes partes del ecosistema textil, facilitando el reciclaje y la reutilización y la gestión eficiente de residuos.

Para que la plataforma pueda llevarse a cabo se diseñará con funcionalidades específicas, como: la predicción de generación de residuos, esto mediante un algoritmo de IA, establecer rutas adecuadas de recolección y un sistema de incentivos en formato digital para que los usuarios participen de forma activa. Además, se proporcionará un sistema confiable aplicando Blockchain en el que permitirá a los recicladores, fabricantes o consumidores registrar y monitorear el ciclo de vida de los residuos, donde se garantizará transparencia y responsabilidad en su manejo.

También un módulo de análisis de datos que permitirá identificar algún patrón de generación de residuos y se podrá evaluar el impacto ambiental de las prácticas del reciclaje. Al tener este enfoque que se encuentra basado en datos facilitara la toma de decisiones estratégicas por parte de organizaciones, empresas o entidades del gobierno para mejorar las políticas de sostenibilidad en la industria.

Por otro lado, se desarrollará una aplicación para diferentes dispositivos electrónicos y su versión de página web, que facilitará y permitirá a los consumidores acceder con facilidad a puntos de recolección, recibir incentivos por sus acciones sostenibles y conocer el destino final de los residuos textiles que estos han aportado al sistema.

- **Verificación de Parámetros de Diseño**

Para que se garantice que la plataforma pueda lograr sus objetivos, se deberá verificar los parámetros que se presentan a continuación:

- ✓ La plataforma debe integrarse con diferentes sistemas existentes utilizados por los fabricantes y recicladores, es decir se implementarán APIs (Interfaz de programación de aplicaciones) que permitirán la comunicación entre la plataforma, sistemas de seguimiento logístico, herramientas de gestión empresarial y bases de datos.
- ✓ La interfaz que se aplique debe ser intuitiva lo que permitirá facilitar su aceptación por parte de los usuarios. Claro está se desarrollarán prototipos y pruebas de usabilidad para poder garantizar una experiencia satisfactoria al usuario.

- ✓ La plataforma debe permitir la incorporación de nuevos usuarios y espacio geográfico sin que se afecte el rendimiento. Para poder lograr esto se aplicará una arquitectura basada en microservicios en el que se permita realizar una expansión modular. (proyecto que se puede aplicar más adelante).
- ✓ Se deben garantizar mecanismos de protección de datos en especial para aplicar Blockchain. Se implementarán técnicas de autenticación de usuarios evitando así accesos no autorizados y técnicas de cifrado.
- ✓ Sistematizar el procesamiento de datos y la predicción de rutas por medio de IA. Se evaluarán algoritmos de aprendizaje automático y sistematización con el fin de mejorar la distribución de recursos y minimizar costos.

- **Estimación de Características del Producto**

La plataforma contará con una arquitectura que deberá soportar el procesamiento de datos en tiempo real para poder predecir los patrones de generación de residuos. Se analizarán opciones en la nube con el fin de garantizar y potenciar el procesamiento y almacenamiento eficientes.

Se espera que el sistema garantice tiempos de respuesta óptimos en transacciones en Blockchain y la gestión de datos, así mismo, se establecerán métricas de rendimiento, como el tiempo de procesamiento de consultas y transacciones. Al permitir la sincronización con aplicaciones móviles y sistemas de terceros, la conectividad debe facilitar el acceso desde dispositivos móviles.

Como se mencionaba anteriormente se implementará un método de incentivos en la plataforma con el fin de motivar la participación de los usuarios, con la posibilidad de integrar otro sistema de recompensas a futuro por colaborar con la economía circular.

Análisis de Restricciones

El desarrollo del prototipo de la plataforma enfrenta diversas restricciones que deben ser consideradas para garantizar su viabilidad técnica, comercial y operativa. Estas restricciones se clasifican en ambientales, económicas, legales, socioculturales, tecnológicas, de salud y seguridad. A continuación, se presentarán los límites o restricciones del proyecto.

- **Restricciones Ambientales**

Debido a la interacción del proyecto con el entorno y su impacto en el ciclo de vida de los residuos textiles, es necesario tener en cuenta las leyes y la normatividad. En Colombia existen regulaciones sobre el manejo de residuos sólidos y su disposición final con el propósito de velar y proteger el medio ambiente. En primer lugar, se encuentra la resolución 1407 del año 2018 la cual regula la gestión de empaques y envases posconsumo, factor que impacta directamente la logística inversa, por otro lado, está la ley 1672 de 2013 en el que se establecen estrategias para reducir la contaminación y mitigar el cambio climático. El prototipo de la plataforma debe alinearse con todos estos requerimientos para garantizar su validez legal.

Verificar los planes de ordenamiento territorial (POT) es vital, debido a los puntos de recolección y centros de acopio, ya que, deberán cumplir con

las restricciones que presenta y determinar las áreas permitidas para la operación de reciclaje. A pesar de que es un prototipo digital, el funcionamiento requiere almacenamiento en la nube y procesamiento de datos, implicando el consumo de energía y emisiones de CO₂.

Los efectos indirectos de la logística inversa, como: la recolección y transporte de residuos, genera emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos no quemados y plomo.

Actualmente es necesario contar con certificaciones ambientales para garantizar la gestión del prototipo funcional y evaluar su impacto ecológico y su relación con la economía circular, una de las certificaciones es ISO 14001 de estándar internacional, el sello GOTS, el sello ambiental colombiano, etc. Donde no solo las entidades gubernamentales requieren de éstas sino también las empresas u organizaciones con las que se desea trabajar. El no contar con este tipo de certificaciones atrasa el desarrollo del proyecto.

- **Restricciones Económicas**

El financiamiento y la viabilidad económica del proyecto son fundamentales para su implementación. El desarrollo del prototipo funcional del proyecto con inteligencia artificial y Blockchain requiere de una inversión en infraestructura tecnológica, lo que representará un reto financiero si no se cuenta el apoyo de inversionistas o programas del gobierno. Si el software es escalable, los costos llegarán a ser elevados si se integran empresas recicladoras y la capacitación de las partes involucradas.

- **Restricciones Legales**

En la actualidad existen leyes y normativas en Colombia relacionadas con residuos textiles y tecnología digital. Muchas de ellas relacionadas con la protección, prevención de emisiones y vertimientos que puedan afectar al medio ambiente y su proceso reciclaje, la primera, la ley 1672 de 2013 que habla sobre la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, los que influyen en los componentes tecnológicos del proyecto, segundo, se encuentra la ley 1581 de 2012 de protección de datos, esta se llega a considerar por el uso y aplicación de Blockchain e Inteligencia Artificial. En Colombia no se ha regulado completamente el Blockchain lo que puede generar incertidumbre sobre su validez jurídica en transacciones que se encuentren vinculadas al reciclaje en la industria textil.

Al ser un proyecto digital la plataforma tendrá que manejar información de los usuarios, debido a esto, sobre protección de datos, asegurando el almacenamiento y la recolección de información cumpla con normas de confidencialidad y seguridad.

Como se mencionó anteriormente, se realizará un sistema de incentivos o recompensas digitales con el fin fidelizar a los fabricantes, consumidores y recicladores. Por lo tanto, es necesario cumplir con la ley 527 de 1999 que regula el comercio electrónico y la firma digital en Colombia.

- **Restricciones de Salud y Seguridad**

Al realizar un manejo de residuos textiles puede implicar riesgos sanitarios y de seguridad para los trabajadores y la comunidad. Algunos residuos pueden contener sustancias químicas residuales o contaminantes (evaluar los posibles riesgos en el manejo) por lo que es necesario aplicar protocolos de seguridad para el manejo adecuado.

Aunque el proyecto sea digital se deberá cumplir con las normas de la resolución 0312 de 2019 de salud y seguridad en el trabajo.

- **Restricciones Socioculturales**

El proyecto debe considerar los cambios en hábitos de consumo relacionados con la moda sostenible y la aceptación social. Al incorporar una plataforma digital con IA y Blockchain en el sector tradicional de reciclaje y pequeños empresarios puede generar resistencia por la implementación de nuevas tecnologías. Así mismo, algunas organizaciones pueden ver la logística inversa como un costo adicional en lugar de una oportunidad para mejorar su índice de sostenibilidad.

- **Restricciones Tecnológicas**

La ejecución del prototipo funcional de la plataforma depende de la infraestructura tecnológica disponible y la integración con sistemas existentes. Claro está, no todas las personas tienen acceso a dispositivos electrónicos o internet, lo que puede afectar la adopción del sistema. Así mismo, la plataforma deberá ser compatible con sistemas de gestión logística y empresarial lo que requerirá el desarrollo de APIs (interfaz de programación de aplicaciones).

El Blockchain al ser una interfaz de alta complejidad al momento de su aplicación es necesario contar con una plataforma que nos facilite su integración como Bubble o Moralis.

Al implementar esta con el manejo de datos personales se requiere altos estándares de seguridad para prevenir ataques cibernéticos, convirtiéndose en un proceso que requiere de alto procesamiento, como, la aplicación de la inteligencia artificial para programación de rutas y la predicción de residuos necesita una buena infraestructura, lo que podría generar costos adicionales.

Metodología para la selección y desarrollo de la solución

El proceso de selección de la solución del proyecto se llevará a cabo de forma sistemática, con el objetivo de desarrollar un prototipo funcional de plataforma digital que maximice la eficiencia de la logística inversa de residuos textiles, garantizando la sostenibilidad ambiental, económica y social, promoviendo la economía circular.

La primera fase en el desarrollo de la solución es asegurarse que todas las opciones consideradas sean factibles dentro los marcos técnicos y legales existentes. Es fundamental porque, la innovación tecnológica puede ofrecer diversas soluciones de vanguardia, algunas ideas pueden no ser prácticas o inviables. El prototipo funcional de la plataforma digital propuesta debe integrarse con las tecnologías del reciclaje y la infraestructura existente en la ciudad de Medellín. Si bien la IA puede ser una herramienta adecuada para clasificar los residuos textiles, deberá ser compatible debido a la conectividad y al procesamiento de datos. Por ejemplo, si se desea aplicar la IA para identificar tipos de textiles, pero en Medellín aún no hay zonas que cuenten con conectividad a internet, la solución no será viable.

Es fundamental la comparación con hechos conocidos puesto que permitirá identificar soluciones que previamente han sido probadas en otros contextos, pero con adaptaciones que respeten la infraestructura y el entorno de Medellín y

la industria textil local. Por lo tanto, al analizar experiencias de otras ciudades que han implementado plataformas de reciclaje de residuos textiles aplicando IA y Blockchain. Un caso específico ocurre en la ciudad de Ámsterdam en el que han utilizado IA con el fin de optimizar la clasificación de textiles reciclables, en el que su módulo ofrece diversas lecciones sobre la integración de tecnologías en el reciclaje. En la industria local se encuentra BioRecupera es una plataforma de reciclaje que conecta a generadores de residuos reciclables con gestores ambientales, optimizando el procesamiento y la recolección de materiales reutilizables, pero no se enfoca específicamente en residuos textiles, por lo que su modelo debe adaptarse para lograr abordar los restos que se presentan en esta industria, como la clasificación de tipos de tela y el reciclaje de fibras naturales y sintéticas. Estudiar sus aciertos y errores permitirá entender cómo ejecutar un sistema que mejor se ajuste a la cultura y economía de Medellín.

Al realizar el proceso de soluciones será integral, evaluando la viabilidad técnica, los costos, el impacto ambiental y los beneficios a la comunidad de cada una de las opciones. Esto implica realizar pruebas piloto con Blockchain y la IA en un entorno controlado, es decir algunas zonas de prueba en Medellín, con el fin de medir su capacidad real para clasificar residuos textiles de forma eficiente y precisa. Se evaluará si el prototipo de la plataforma puede integrarse con los sistemas de gestión de residuos textiles existentes en la ciudad, es decir, se probará la eficiencia de la IA en la clasificación de tipos textiles, la precisión con la que separa e identifica residuos reciclables de los que no, y cómo estos datos pueden ser almacenados y procesados a través de Blockchain. Además, un aspecto crucial en este proyecto es el ambiental dado su enfoque sostenible. Se

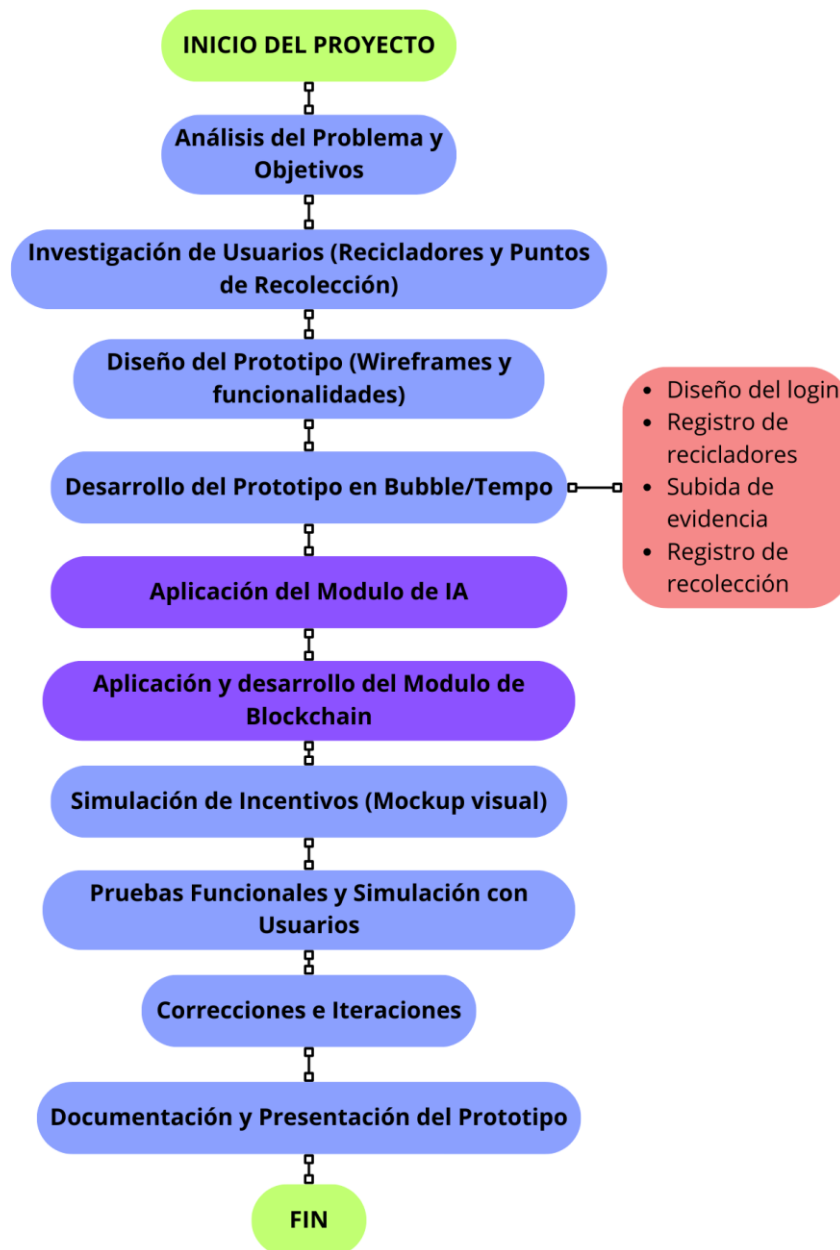
medirán los posibles impactos ambientales de cada solución, como el aumento de la tasa de reciclaje, la reducción de residuos textiles en vertederos y la disminución de la huella de carbono del proceso logístico; se utilizarán herramientas como el análisis del ciclo de la vida LCA para calcular el impacto de cada alternativa. Se analizará cómo cada una de las opciones afecta a los consumidores, a los actores de la industria y a los recicladores informales. En especial, se valorará el grado de inclusión social que presenten cada una de las opciones y cómo estas contribuyen a la generación de empleo verde en Medellín; algunas de las preguntas que nos permitirán evaluar este factor social en específico, pueden ser: ¿El sistema permite la integración de actores sociales en las diferentes etapas del proceso de reciclaje? O ¿La solución tiene mecanismos de incentivos que beneficien tanto a los recicladores informales como a las empresas?

Al evaluar los factores económicos, sus costos asociados con la implementación del prototipo de la plataforma será clave; incluyendo los costos de desarrollo del prototipo de la plataforma digital, los costos asociados a la integración con sistemas de reciclaje existentes y los costos operativos de mantener la infraestructura de Blockchain. Para poder realizar el análisis de costos se plantean las siguientes preguntas: ¿Qué incentivos financieros o digitales se ofrecerán para incentivar la participación de los usuarios? o ¿Cuánto costará a los consumidores y empresas participar en el sistema de reciclaje propuesto?, también, se calcularán los posibles ahorros derivados de una mayor eficiencia en el reciclaje y la recolección de los residuos.

Al ser evaluadas cada una de las alternativas, se procede a la selección de la solución más adecuada aplicando un enfoque basado en la matriz de evaluación multi-criterio. Este permitirá dar ponderación a las soluciones de acuerdo con los criterios, sociales, ambientales y técnicos definidos anteriormente. Es decir, las alternativas se evaluarán mediante una escala de puntajes basada en los criterios previamente definidos, por ejemplo: la sostenibilidad ambiental puede llegar a tener un porcentaje de 40%, mientras que los aspectos económicos un 30% y la inclusión social un 30%. Se seleccionará la solución con la puntuación más alta, considerando que esta puede requerir algunos ajustes para mejorarla según el contexto específico.

Para la función objetivo del proyecto será brindar una solución que logre un equilibrio entre sostenibilidad, rentabilidad y equidad social. La solución debe generar una fuente de ingresos sostenible para los recicladores y empresas que participen, sin que los costos sean inasequibles para los consumidores involucrados en la cadena de valor. El proyecto debe contribuir significativamente a la disminución de la huella de carbono, la reducción de residuos textiles, en él que se posicione como un modelo de economía circular viable. Además, la solución debe asegurarse que los consumidores y los recicladores informales puedan beneficiarse activamente del prototipo funcional de la plataforma digital mediante incentivos y la inclusión en el proceso de reciclaje.

Ilustración 1 Diagrama de flujo metodológico del proyecto



Nota: El siguiente diagrama representa la secuencia metodológica empleada para el desarrollo del prototipo de la plataforma.

Análisis de Solución

El prototipo de la plataforma funcional se plantea como una solución tecnológica integral con el fin de sistematizar la logística inversa de residuos textiles, en el

que conecta a todos los actores clave recicladores, fabricantes y consumidores, a través de un sistema digital colaborativo.

Cuenta con un módulo de trazabilidad (Blockchain) el que permite registrar, rastrear y verificar el recorrido de los residuos desde su origen hasta su transformación, en el que se garantiza trazabilidad, confianza y transparencia. Así mismo, se encuentra el módulo de mercado circular en el que se facilita el intercambio de materiales textiles, con precios por kilogramo y cantidades específicas.

Al contar con un panel de control mostrará los indicadores clave como los que se presentarán, a continuación (Estos datos simulados para realizar la prueba):

- 24,5 toneladas recicladas.
- 1,248 usuarios activos (+15% desde el mes anterior).
- 78 puntos de recolección (+3 nuevos).
- 18.2 toneladas de CO2 evitadas.

Tabla 1 Viabilidad técnica

| Viabilidad Técnica | |
|------------------------------|---|
| Elemento | Evaluación |
| Tecnologías Empleadas | Bubble y Tempo para el desarrollo web sin código, Blockchain para trazabilidad e IA para análisis predictivo. |
| Prototipo funcional | Se logró un prototipo navegable y operativo, lo que permitió visualizar resultados reales por medio de los datos simulados. |

Integración Blockchain

Se implementó un módulo funcional de seguimiento de transacciones verificadas entre todos los actores.

Innovación Digital

- Integración de tecnologías como Blockchain e IA (Inteligencia Artificial).

Ilustración 2 Modulo de Marketplace

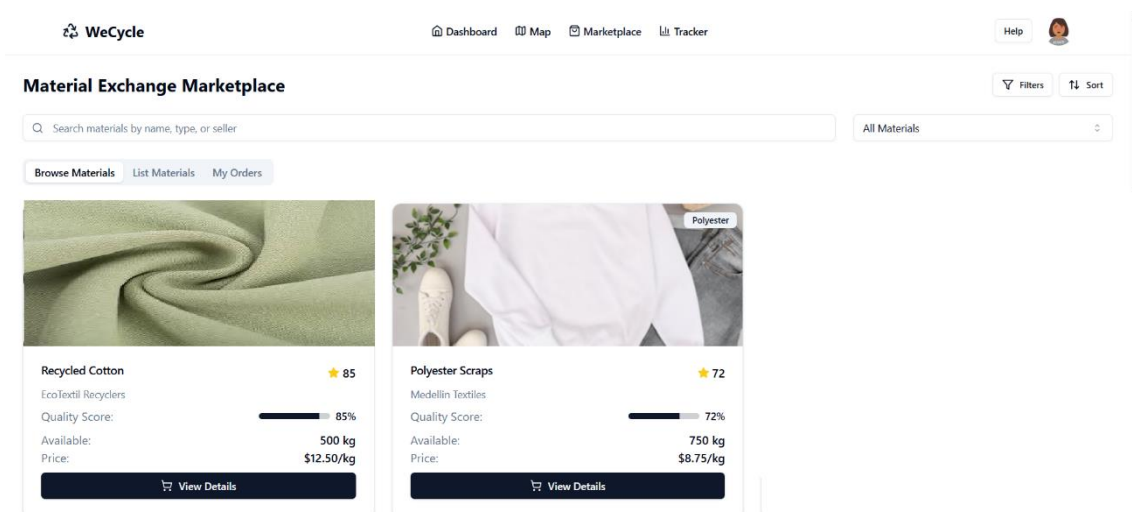


Ilustración 3 Lista de materiales (modulo IA)

The screenshot shows the 'Mercado de intercambio de materiales' (Material Exchange Market) form. The header includes the WeCycle logo, navigation links for Panel, Mapa, Mercado, and Rastreador, and a user profile icon with an 'Ayuda' button. Below the header, there are tabs for 'Explorar materiales', 'Lista de materiales', and 'Mis pedidos'. A search bar is present with the placeholder text 'Buscar materiales por nombre, tipo o vendedor'. The form includes the following fields:

- Nombre del material:** Input field with placeholder 'p. ej. Algodón reciclado'.
- Tipo de material:** Dropdown menu with placeholder 'Seleccione el tipo'.
- Cantidad (kg):** Input field with placeholder 'p. ej. 500'.
- Precio por kg (\$):** Input field with placeholder 'p. ej. 10,50'.
- Descripción:** Text area with placeholder 'Describe tu material, su fuente y posibles aplicaciones.'
- Subir imágenes:** Image upload area with placeholder 'Arrastre y suelte las imágenes aquí o haga clic para explorar' and a button 'Explorar archivos'.

At the bottom of the form, there is a button labeled 'Presentar para evaluación de calidad de IA'.

Ilustración 4 Ejemplificación con datos simulados para su uso

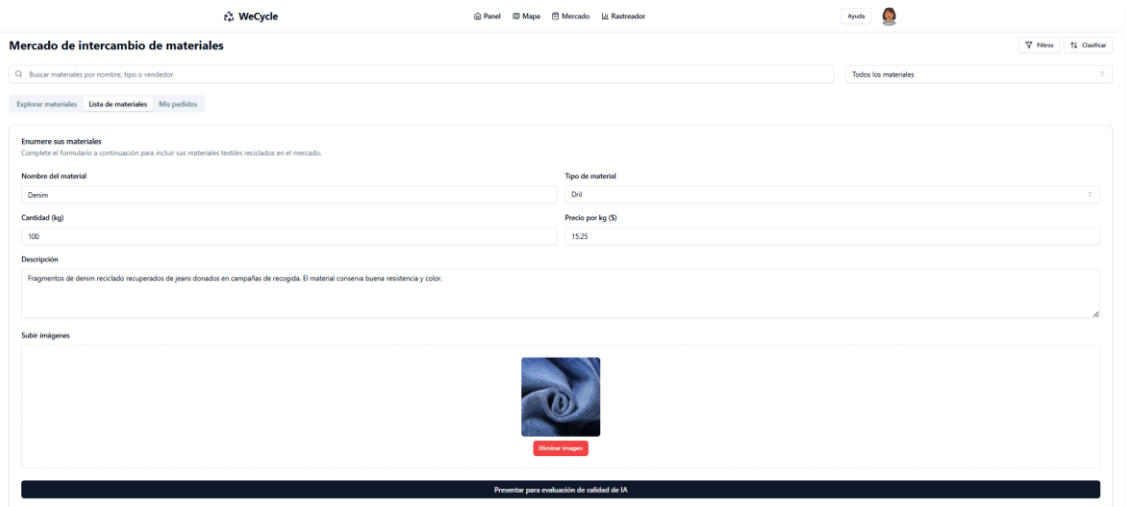
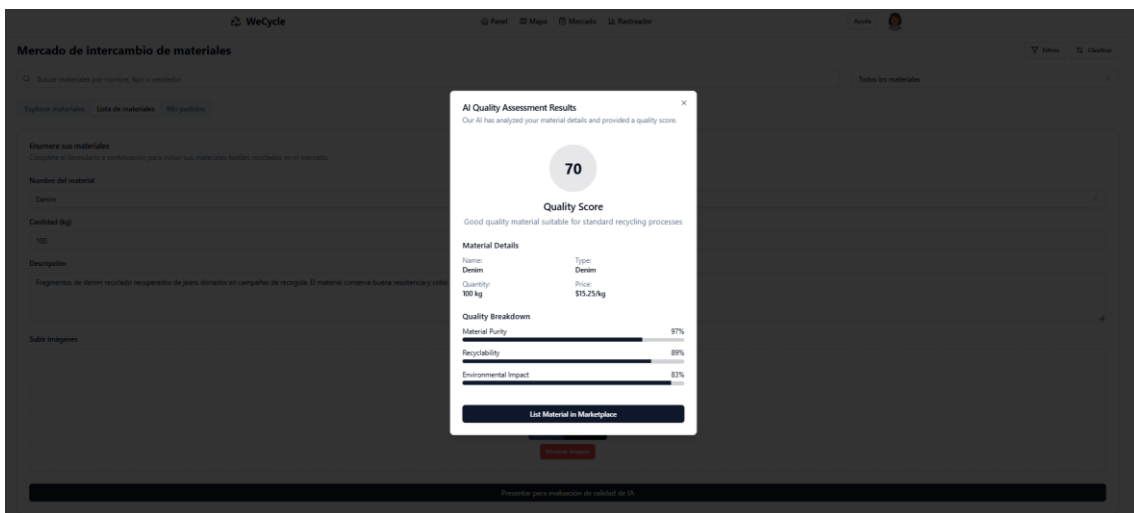
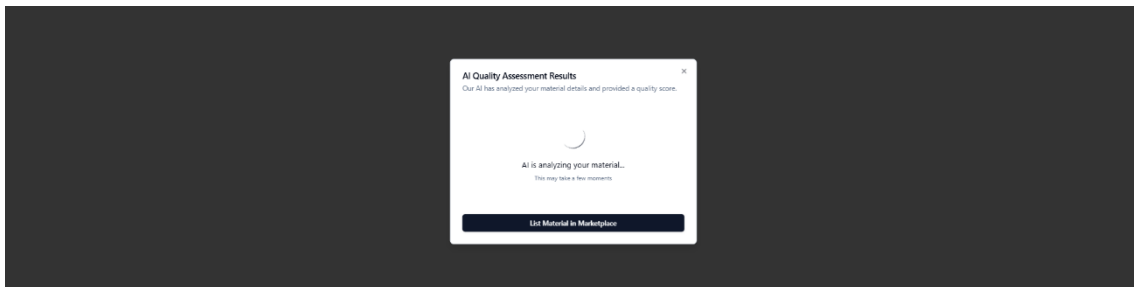
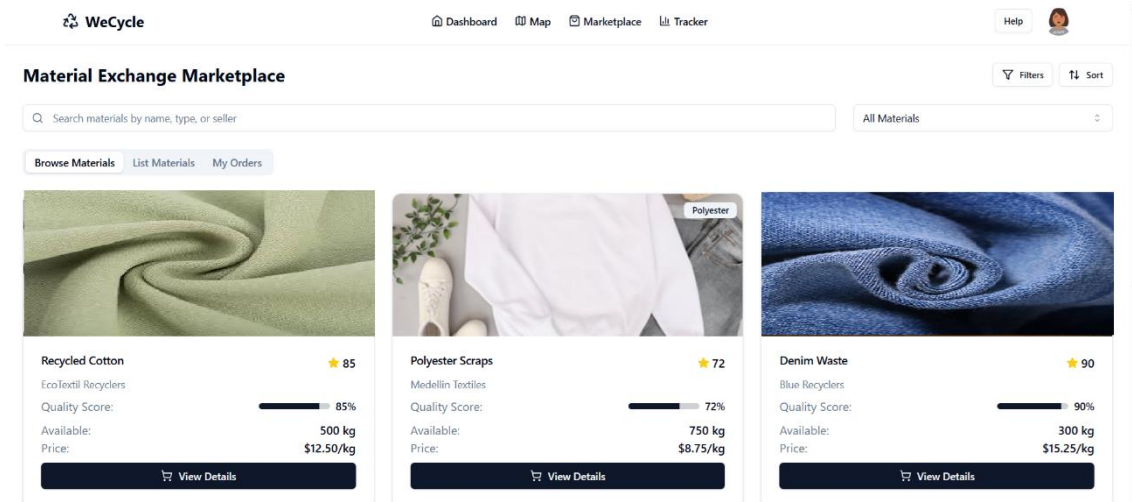


Ilustración 5 Estudio de Material de la IA



Nota: Los datos presentados en las ilustraciones son simulados y en ingles por el desarrollo de la IA.

Ilustración 6 Material añadido en la plataforma



Sostenibilidad Ambiental

- Trazabilidad de los materiales reciclados y reducción de residuos y emisiones.

Ilustración 7 Aplicación de Blockchain a procesos activos

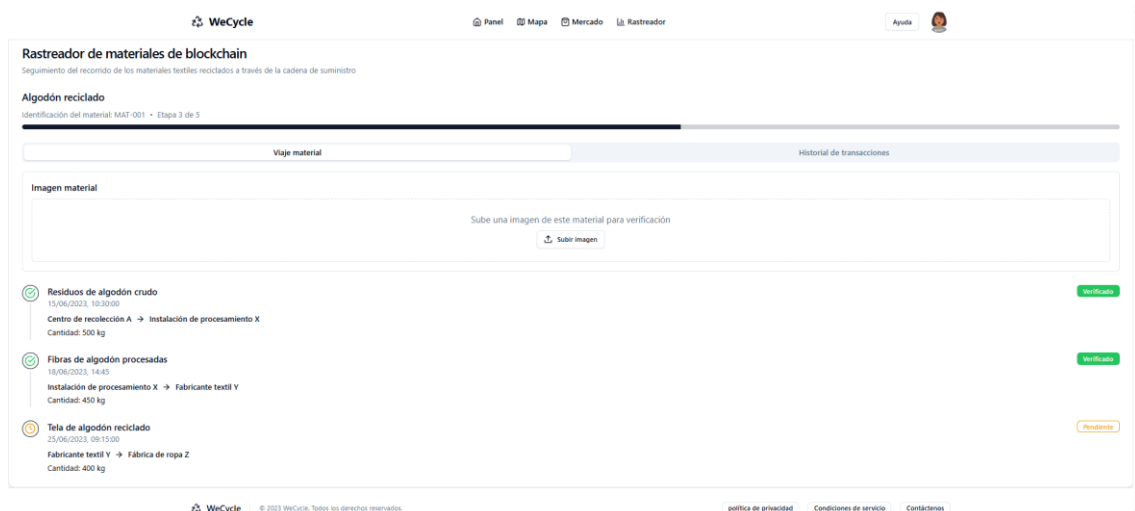


Ilustración 8 Historial de material con sus respectivos códigos de Blockchain

Rastreador de materiales de blockchain
Seguimiento del recorrido de los materiales textiles reciclados a través de la cadena de suministro

Algodón reciclado
Identificación del material: MAT-001 • Etapa 3 de 5

Viaje material | Historial de transacciones

| ID de transacción | De | A | Material | Cantidad | Hash de blockchain | Estado |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------|---|------------|
| TX-001 | Centro de recolección A | Instalación de procesamiento X | Residuos de algodón crudo | 300 kilos | 0d8f7d8c9e7f6d5c4b3a21e09d8b7a6d5e4f3c2b1a0 | Verificado |
| TX-002 | Instalación de procesamiento X | Fabricante textil Y | Fibras de algodón procesadas | 450 kilos | 0x1a2b3c4d5e6f7g8h9i0j1k2l3m4n5o6p7q8r9s0t | Verificado |
| TX-003 | Fabricante textil Y | Fábrica de ropa Z | Tela de algodón reciclado | 400 kilos | | Pendiente |

- Mapa interactivo que cumple con la función de la logística inversas, con: puntos de recolección, flujos de entregas, perfil del reciclador he indicadores ambientales locales.

Ilustración 9 Mapa interactivo

Mapa interactivo

Todas las ubicaciones | Puntos de recogida | Instalaciones de procesamiento | Fabricantes

Medellín | Bogotá | Cali | Barranquilla | Cartagena

Mana de Colombia

Rutas calculadas
Fiabilidad de ruta evaluada por IA

| Ruta | Duración | Puntuación de confiabilidad | Estado |
|--|----------|-----------------------------|-------------|
| Punto Verde Cali → Centro de Reciclaje Ciudad Amurallada | 15 min | 76 / 100 | Terminado |
| Planta de Procesamiento Fontibón → Textiles Sostenibles Bogotá | 40 min | 85 / 100 | Planificado |
| Centro de Procesamiento Caribe → Planta Procesadora Central | | | Demorado |

Ilustración 10 Detalles de una ruta terminada

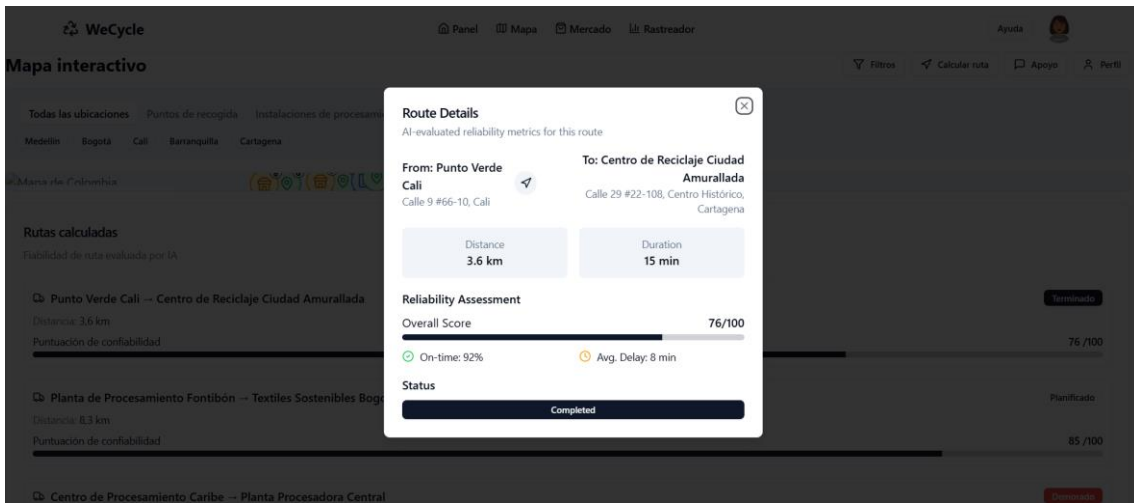


Ilustración 11 Detalles de una ruta activa

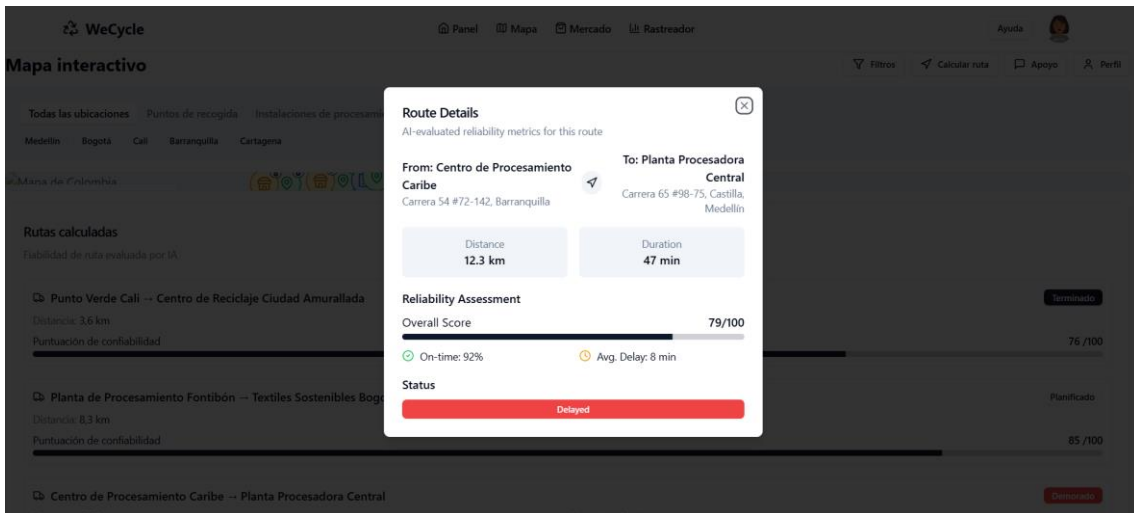
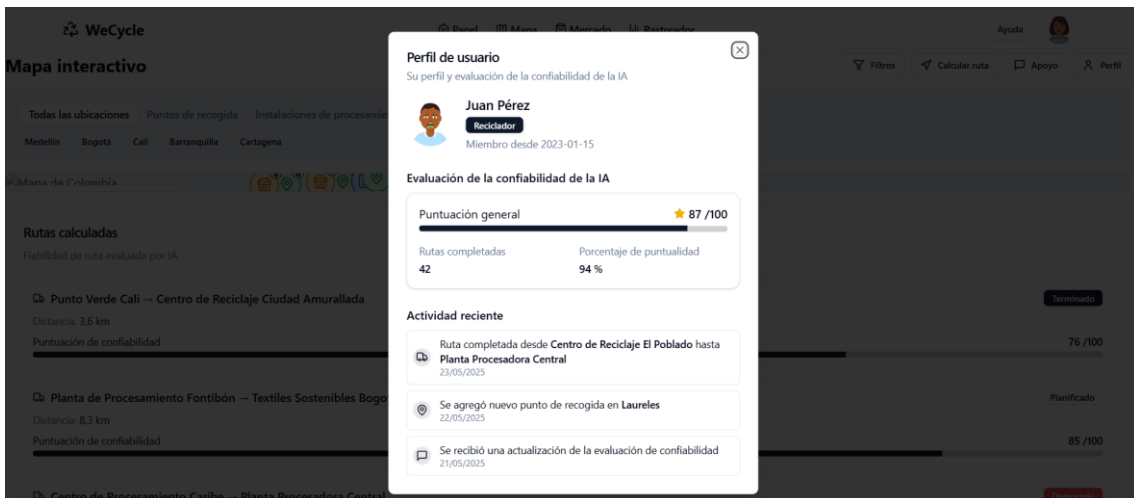


Ilustración 12 Perfil del Reciclador y sus indicadores



Inclusión de Recicladores

- Muestra de un rol activo en la economía circular, oportunidades comerciales y visibilidad.

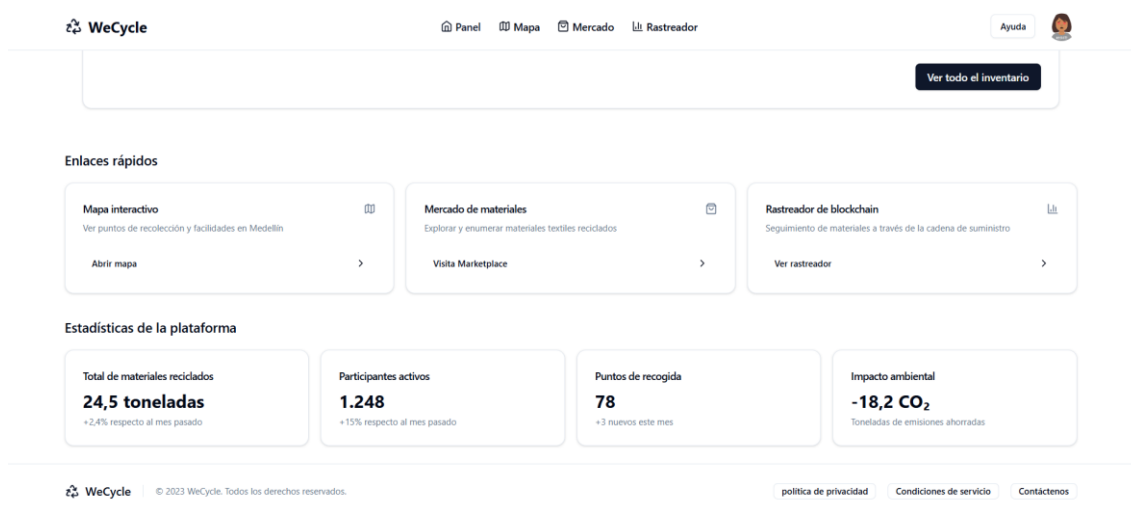
Ilustración 13 Página de Inicio

Ilustración 14 Panel de Reciclador

| Material | Cantidad | Calidad | Comportamiento |
| --- | --- | --- | --- |
| Algodón | 450 kilos | Alto | Lista |
| Poliéster | 320 kilogramos | Medio | Lista |
| Dril | 280 kilos | Alto | Lista |
| Lana | 200 kilos | Medio | Lista |

A 'Ver todo el inventario' button is located at the bottom right of the table."/>

Ilustración 15 Muestras de desempeño según las estadísticas



Con el fin de evaluar el desempeño funcional y el impacto del prototipo, se diseñó un análisis de sato simulados, que permita mostrar de forma dinámica la evolución del uso de la plataforma y como sería su impacto potencial en la logista inversa de los residuos textiles.

Durante el desarrollo y despliegue del prototipo funcional, se creó una simulación estratégica basada en un escenario de “adaptación temprana”. Este enfoque permitió observar y analizar el rendimiento y la interacción entre los módulos bajo diferentes situaciones contraladas pero una representación de una implementación real.

Desde el inicio del prototipo se integraron cifras altas para evaluar el comportamiento del sistema frente a un alto volumen de datos y dimensionar el potencial. Al hacer esto permite dimensionar el potencial impacto ambiental de la plataforma si fuera implementada a nivel regional, además, de validar las funcionalidades de la IA y el Blockchain. Respondiendo a un enfoque predictivo-proyectivo necesario para evaluar la viabilidad de soluciones tecnológicas antes de su implementación.

A continuación, se presentará el comportamiento mensual de la plataforma:

Tabla 2 Comportamiento mensual de la plataforma

| Indicador | Marzo | Abril | Mayo |
|---|--------------|--------------|-------------|
| Usuarios activos registrados | 420 | 960 | 1428 |
| Puntos de recolección registrados | 30 | 55 | 88 |
| Cantidad de residuos recolectados (Kg) | 960 | 2500 | 4000 |
| Transacciones trazadas con Blockchain | 280 | 700 | 1200 |
| Reportes de IA generados (clasificación/residuos) | 45 | 150 | 300 |
| Emisiones evitadas estimadas (Kg Co2eq) | 520 | 1400 | 2240 |
| Notificaciones enviadas | 1300 | 3100 | 5600 |

Nota: Datos simulados del prototipo funcional en Tempo, ajustados al valor real de los usuarios.

Durante el análisis de los datos se puede evidenciar la curva de crecimiento de usuarios refleja una progresión constante, en el que se alcanzan 1428 usuarios alcanzados en mayo, esto gracias a la investigación de diferentes plataformas y su crecimiento. Esta cifra sirvió para validar la capacidad de la plataforma para la gestión de múltiples perfiles y actividades sin llegar a comprometer el rendimiento.

El sistema de tempo fue registrando el crecimiento sostenido en el número de puntos activos, lo que permitió verificar la geolocalización eficiente, así como el flujo de los residuos desde diferentes sectores. Este módulo fue indispensable para validar la conectividad entre los consumidores y los recicladores. Se simularon más de 19 toneladas de residuos en los tres meses, todos trazados mediante un código de entrada en un sistema Blockchain básico, lo que permitió demostrar la viabilidad de aplicar esta para asegurar la integridad de la información. Las transacciones simuladas aumentaron proporcionalmente, lo que muestra que es un modelo que puede escalar en un futuro. El sistema integro simulaciones de IA para la clasificación de los residuos de forma automática. Se generaron más de 500 reportes automáticos, que para la toma de decisiones estratégicas es fundamental para los recicladores.

Se aplicó un algoritmo de estimación simple, en el que se calcularon 10000 Kg de CO₂eq evitados como resultado de la redirección de residuos y la recuperación de estos. Este análisis en específico fortaleció la validación del impacto ambiental positivo, una de las hipótesis clave de este proyecto.

El comportamiento del prototipo durante estos tres meses confirma que al contar con un modelo planteado existe un gran potencial para implementar este tipo de herramientas con enfoque circular, que integren diferentes actores en la cadena de suministro. Al implementar desde un inicio las cifras elevadas resultó clave para detectar la necesidad de una mejor categorización de usuarios, escalar y mejorar la trazabilidad de Blockchain si se vuelve un proyecto a mayor escala. Las limitaciones y riesgos en cuanto a la implementación real requieren inversión

y acuerdos con marcas, recicladores y centros de acopio, aunque el prototipo es funcional requiere estructura técnica y financiera.

La simulación de estos datos altos y exigentes durante el primer trimestre permitió validar los objetivos generales del proyecto demostrando la viabilidad técnica de las soluciones propuestas y establecer proyecciones de impacto social, económico y ambiental.

Para el desarrollo de los incentivos, se realizó una propuesta de un modelo teórico detallado, que incluye lo siguiente:

Tipos de incentivos

- Puntos verdes (eco créditos): Por cada kilo entregado o reciclado.
- Reconocimientos digitales: Este se aplica por metas mensuales alcanzadas.
- Descuentos con aliados comerciales del sector textil sostenible.

Acumulación y Trazabilidad

Los usuarios acumularían puntos según la calidad y cantidad de los residuos. Así mismo, se aplicará Blockchain para validar el historial del usuario y evitar fraudes.

Tabla 3 Estructura general de sistema de Incentivos

| Categoría de Incentivo | Público Objetivo | Tipo de Recompensa | Frecuencia |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Puntos WeCycle | Todos los Usuarios | Acumulables por acción ecológica | En tiempo real |
| Insignias ecológicas | Usuarios frecuentes | Reconocimiento virtual | Semanal/ Mensual |

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------|--|------------|
| Beneficios canjeables | Consumidores y recicladores | Descuentos en comercios aliados | Mensual |
| Créditos circulares | Fabricantes | Reducción de tasas, visibilidad en la plataforma | Trimestral |
| Formación y educación | Comunidad educativa | Acceso a contenidos exclusivos | Permanente |

Los usuarios ganan puntos automáticamente por cada acción que es registrada en la plataforma, estos puntos se acumulan y pueden canjearse para avanzar en niveles de compromiso ambiental.

Tabla 4 Mecánica de puntos

| Acción Registrada | Puntos Otorgados |
|--|-------------------------|
| Entregar residuos en punto de recolección. | 50 por KG |
| Compartir contenido educativo. | 10 |
| Invitar a un nuevo usuario. | 25 |
| Participar en campaña de recolección. | 100 |
| Clasificar residuos adecuadamente. | 20 |

El sistema gamificado incluye diferentes puntos de insignias digitales con las siguientes categorías:

- Recolector ecológico: Primera 10 entregas de residuos.
- Agente circular: Participación en eventos comunitarios.
- Embajador WeCycle: +100Kg de residuos reciclados.

Cada insignia desbloquea beneficios simbólicos, sorteos de productos sostenibles o contenido adicional.

Tabla 5 Simulación de uso del sistema de incentivos

| Usuario | Kg Reciclados | Puntos Generales | Nivel Alcanzado | Beneficio "Teórico" |
|----------------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| A | 5 | 500 | Bronce | 5% en marca X |
| B | 12 | 1200 | Plata | Cupón de 10.000 |

Nota: Esta se realiza con supuesto de usuario que registran residuos, acumulan puntos y alcanzan niveles.

Aplicando los modelos de referencia de Hamari. (2014). Se espera que un incremento de participación y retención de 30% a 40% de usuarios. Una mayor tasa de fidelización y viralización por medio del sistema de referidos.

Tabla 6 Indicadores de evaluación del sistema

| Indicador | Meta Esperada | Frecuencia de Revisión |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Retención mensual de usuarios. | >65% | Mensual |
| Residuos reciclados por usuario. | > 5 Kg/mes | Mensual |
| Numero de canjes de puntos. | > 100 usuarios al mes | Mensual |
| Participación en campañas. | 25% de usuarios activos | Bimensual |
| Empresas registradas en el sistema. | 20 empresas en 6 meses | Trimestral |

Como se menciona anteriormente es importante para su desarrollo que participen diferentes aliados estratégicos para poderlos implementar, como: marcas locales de moda sostenible, tiendas de segunda mano o centros de acopio con programade fidelización.

Se estima que, con la integración del sistema de incentivos planteado, la tasa de retención mensual podría incrementarse de un 30% a un 40%, esto se conoce por los diversos estudios realizados que han demostrado que al implementar un

programa de recompensas mejora el compromiso, la retención y la frecuencia de uso de una aplicación, como, el estudio realizado por Hamar en el año 2014 presento por medio de 24 estudios de un análisis de gamificación, las plataformas con incentivos mejoraban la retención de usuarios de un 25% a un 40% . Además, diversas plataformas de reciclaje electrónico han mostrado que al aplicar este sistema la participación de sus plataformas ha aumentado hasta un 38%.

El prototipo ya tiene una base funcional y participación en simulaciones, el programa o sistema de incentivos ya está diseñado conceptualmente de forma clara y sostenible, teniendo criterios claros de impacto, medición y viabilidad, generando una mayor continuidad en la participación ciudadana.

Análisis de Costos

A continuación, se presentará el análisis de costos para el desarrollo del proyecto:

Tabla 7 Costos Fijos

Costos fijos:

| Análisis de Costos | | |
|--|--------------------|--|
| Costos de Producción y Desarrollo del Prototipo | | |
| Costos Fijos | | |
| Concepto | Costo Total | Descripción / Objetivo |
| Salarios del equipo mínimo (4 meses) | 5.500.000 | Equipo de desarrollo, diseñador UX/UI, especialista en IA y gestor de proyectos. |

| | | |
|---------------------------------|------------------|---|
| Espacio de trabajo virtual | 1.000.000 | Pago de coworking o servicios de oficina remota. |
| Mantenimiento y actualizaciones | 1.500.000 | Mejoras técnicas menores durante el desarrollo del prototipo. |
| Total, Costos Fijos | 8.000.000 | 23,36% |

| Cargo | Salario Mensual | Salario total (4 meses) | Cantidad | Dedicación al Proyecto | Meses a Contratar |
|--|------------------|-------------------------|----------|------------------------|-------------------|
| Desarrollador No-Code | 1.500.000 | 6000000 | 1 | 90% | 4 |
| Diseñador UX/UI (responsable de la interfaz y experiencia de usuario) | 1.250.000 | 5000000 | 1 | 70% | 4 |
| Especialista en IA y Blockchain (configuración e integración de IA y Blockchain con plataformas No-Code) | 1.500.000 | 6000000 | 1 | 100% | Indefinido |
| Gestor de Proyecto y Tester (supervisión del desarrollo, coordinación y pruebas del prototipo) | 1.250.000 | 5000000 | 1 | 100% | Indefinido |
| Total, Salarios | 5.500.000 | 22000000 | | | |

Tabla 8 Gastos Generales

Gastos generales

| Análisis de Costos | | |
|---|------------------|--|
| Costos de Producción y Desarrollo del Prototipo | | |
| Gastos Generales | | |
| Concepto | Costo Total | Descripción / Objetivo |
| Creación de Contenidos y Branding | 1.500.000 | Diseño de logo, identidad visual y estrategias de marketing. |
| Pruebas de Usuario (UX Testing) | 1.200.000 | Evaluación de experiencia de usuario con clientes potenciales. |
| Total, Gastos Generales (Overhead) | 2.700.000 | 7,89% |

Tabla 9 Costos Indirectos

Costos Indirectos

| Análisis de Costos | | |
|--|--------------------|--|
| Costos de Producción y Desarrollo del Prototipo | | |
| Costos Indirectos | | |
| Concepto | Costo Total | Descripción / Objetivo |
| Licencias de Software Adicionales | 1.000.000 | Licencias complementarias para desarrollo del prototipo. |
| Registro de Marca y Propiedad Intelectual | 2.000.000 | Protección legal del nombre y logotipo de la plataforma. |
| Capacitación y Soporte Técnico Inicial | 1.000.000 | Formación a los primeros usuarios y asistencia técnica. |
| Total, Costos Indirectos | 4.000.000 | 11,68% |

Total

Tabla 10 Total

| Total | | |
|--|--------------------|----------------------------|
| Costos de Producción y Desarrollo del Prototipo | | |
| Resumen de Costos por Categoría | | |
| Tipo de Costo | Costo Total | Porcentaje de Total |
| Costos Directos | 19.540.000 | 57,07% |
| Costos Fijos | 8.000.000 | 23,36% |
| Costos Indirectos | 4.000.000 | 11,68% |
| Gastos Generales | 2.700.000 | 7,89% |
| Total, Estimado | 34.240.000 | 100% |

- El 57.07% indica que la mayor parte de la inversión está destinada a herramientas y tecnologías esenciales para el desarrollo del prototipo.
- El 23.36% implica que hay gastos recurrentes que deben ser cubiertos independientemente del progreso del proyecto.

- Los costos indirectos y gastos generales son menores, pero son necesarios para validaciones y pruebas del prototipo.

Plan de Implementación

Tabla 11 Tabla de Implementación.

| Fase | Actividades | Responsable | Semana 1-2 | Semana 3-6 | Semana 7-12 | Semana 13-15 | Semana 16 | Entregable |
|---|--|--|------------|------------|-------------|--------------|-----------|--|
| Fase 1: Diagnóstico y Preparación | Revisión de normativas y datos de residuos textil en Medellín. | Gestor de Proyecto | * | | | | | Informe de diagnóstico y alcance |
| | Definición del alcance funcional del prototipo. | | * | | | | | |
| | | | * | | | | | |
| Fase 2: Diseño del Prototipo | Elaboración de wireframes y mockups en Figma/Adobe XD o Canva. | Diseñador UX/UI y Gestor de Proyectos | | * | * | | | Conjunto de wireframes y documento de requerimientos |
| | Especificación de requerimientos funcionales y no funcionales. | | | * | | | | |
| | Selección de herramientas No-Code (Bubble, Make.com, etc.). | | | * | | | | |
| | Definición de esquema de Blockchain simulado y flujos de IA. | | | * | | | | |
| Fase 3: Desarrollo y Configuración | Configuración de la app en Bubble/Glide. | Desarrollador No-Code y Especialista IA/Blockchain | | | * | | | Prototipo funcional desplegado en entorno de prueba |
| | Integración de automatizaciones en Make.com. | | | | * | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|--|---|--|---|---|
| | Simulación de trazabilidad Blockchain con Moralis/Thirdweb. | | | * | | | |
| | Integración de chatbot IA (OpenAI API) para soporte básico. | | | * | | | |
| Fase 4: Pruebas Piloto y Ajustes | Pruebas de usabilidad con (Datos simulados) | Tester y Gestor de Proyecto | | | | * | Reporte de pruebas y versión ajustada del prototipo |
| | Recolección de feedback cualitativo y cuantitativo. | | | | | * | |
| | Ajustes iterativos en interfaz y flujos de datos. | | | | | * | |
| | Validación de la simulación de trazabilidad y respuestas IA. | | | | | * | |
| Fase 5: Documentación y Entrega Final | Redacción del informe técnico y académico. | Gestor de Proyecto y Diseñador | | | | | * |
| | Inclusión de resultados, conclusiones y recomendaciones. | | | | | | * |
| | Preparación de presentación. | | | | | | * |

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto ha permitido presentar una propuesta innovadora orientada a mejorar la gestión de residuos textiles en la ciudad de Medellín, por medio del diseño de un prototipo de plataforma digital que conecta a los actores clave, con el propósito de fomentar prácticas sostenibles en la economía circular.

Los objetivos planteados fueron cumplidos dentro del alcance definido. Se logró conceptualizar y diseñar un prototipo funcional, aplicando herramientas No-Code como Bubble, Tempo y tecnologías como Blockchain e Inteligencia Artificial, planteando una solución digital especializada en el aprovechamiento de residuos textiles, un problema poco abordado en el país, integrando trazabilidad, economía colaborativa y sostenibilidad.

A través, del desarrollo del prototipo de la plataforma, se comprobó que es factible diseñar una solución digital que sea capaz de interconectar diferentes actores clave, permitiendo la trazabilidad, una categorización inteligente de residuos y su planificación logística mediante tecnologías accesibles. No solo permito visualizar rutas de mejora para esta gestión. Sino también evidenciar que es viable avanzar hacia modelos de economía circular que se encuentren apoyados en soluciones funcionales, incluso desde fases tempranas de validación. Esto quiere decir que satisfactoriamente se pudo responder la pregunta problema planteada para este proyecto.

Así mismo, dentro de las principales limitaciones se identificó que implementar una solución completamente operativa no era totalmente posible, debido a las restricciones en el presupuesto y tiempo. Para poder implementar las

tecnologías nombradas anteriormente se aplicaron datos simulados para la prueba de estos. Este prototipo constituye una base sólida para un desarrollo a mayor escala. En una siguiente fase, podría integrarse una serie de bases públicas y escalar el sistema de Blockchain a un entorno público, así mismo, existe la posibilidad de integrar mecanismo de la economía circular más robustos como marketplace de insumos reciclados, aumentando su impacto ambiental y económico.

Referencias

- E. Charro. (2024). La Industria Textil es la Segunda más Contaminante del Planeta. Sostenible Sustentables. <https://sostenibleosustentable.com/es/moda-sostenible/contaminacion-industria-textil/>
- Naciones Unidas. (2019). El costo ambiental de estar a la moda. ONU. <https://news.un.org/es/story/2019/04/1454161>
- Carlos Sanchez. (2019). La industria textil, la segunda más contaminante del planeta. XLSemanal. <https://www.xlsemanal.com/actualidad/20160913/cataclismo-la-fast-fashion.html>
- DELFIN. (2023). Industria textil, una de las más contaminantes del planeta. Culturales. <https://www.rtve.es/television/20230509/industria-textil-mas-contaminantes-planeta/2444924.shtml>
- R. Paz, F. Soriano, A. Resendiz. (2023). La industria de la moda: la segunda más contaminante del mundo. Global Revista. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/la-industria-de-la-moda-la-segunda-mas-contaminante-del-mundo/
- Texlimca. (2024). Industria textil y contaminación. Analizando su impacto en el medio ambiente. Texlimca. <https://texlimca.com/blog/industria-textil-y-contaminacion-impacto-medio-ambiente>
- Naciones Unidas. (2017). Datos y cifras. ONU. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures#:~:text=La%20industria%20de%20la%20moda,producto%20final%20a%20la%20tienda>
- Parlamento Europeo. (2020). El impacto de la producción textil y de los residuos en el medio ambiente. Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20201208STO93327/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente>

- A. Hayes. (2024). Blockchain Facts. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>
- IBM. (s.f.). Blockchain. IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/blockchain>
- Caracol. (2024). Empresas en Colombia promueven la producción sostenible: le contamos cómo lo hacen. Caracol. <https://www.noticiascaracol.com/el-proyecto-es-colombia-camino-a-la-cop16/empresas-en-colombia-promueven-la-produccion-sostenible-le-contamos-como-lo-hacen-rg10>
- P. Sierra. (2022). Empresa colombiana recoge residuos textiles y los transforma en fibras. Swissinfo. <https://www.noticiascaracol.com/el-proyecto-es-colombia-camino-a-la-cop16/empresas-en-colombia-promueven-la-produccion-sostenible-le-contamos-como-lo-hacen-rg10>
- L. Rojas. (2022). ¿A dónde va a parar la ropa en Colombia? El Espectador. <https://www.elespectador.com/economia/a-donde-va-a-parar-la-ropa-en-colombia/>
- SAP España. (2023). Logística inversa y economía circular: redefiniendo la sostenibilidad en la cadena de suministro. SAP. <https://news.sap.com/spain/2023/10/logistica-inversa-y-economia-circular-redefiniendo-la-sostenibilidad-en-la-cadena-de-suministro/>
- Cabrera. (2021). Economía circular: conceptos y referencia legislativa sobre residuos domésticos en la Unión Europea y China. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32579/1/Economia_circular_referencia_legislativa_UE_y_China_FINAL.pdf
- Acevedo, Raufflet. (2022). Análisis de la Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia a partir de dos modelos. Scielo. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-51672022000200027&script=sci_arttext

- Fashion for Good. (2024). Projects. Fashion for Good. <https://www.fashionforgood.com/innovation-platform-2/projects/>
- Parlamento Europeo. (2023). Economía circular: definición, importancia y beneficios. Unión Europea. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Rogers, D.S. and Tibben-Lembke, R.S. (1999) Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reverse Logistics Executive Council, Reno. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1471944>
- Altioem. (2024). Sustainable development report interactive map. Altioem. <https://altioem.org/research/sustainable-development-report-interactive-map/>
- El congreso de la república. (2013). LEY 1672 DE 2013. Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53825>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2018). Resolución 1407 de 2018. Ambiente. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/>
- ISO. (2015). ISO 14001. ISO. <https://www.iso.org/es/norma/14001#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20ISO%2014001?,interesadas%20en%20los%20compromisos%20ambientales>.
- Aquality Consulting. (2023). Importancia de las certificaciones ISO en la industria textil. Aquality Consulting. [https://aqualityconsulting.com/importancia-de-las-certificaciones-iso-en-la-industria-textil#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20tipos%20de%20ISO%20hay,\(sistemas%20de%20gesti%C3%B3n%20ambiental\)](https://aqualityconsulting.com/importancia-de-las-certificaciones-iso-en-la-industria-textil#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20tipos%20de%20ISO%20hay,(sistemas%20de%20gesti%C3%B3n%20ambiental)).

- Nancy, O. (2024). Sostenibilidad. Proditexco. <https://www.proditexco.com/sostenibilidad/#:~:text=CERTIFICADOS,imp actos%20que%20generan%20nuestras%20actividades>.
- Función Pública. (2012). Ley 1581 de 2012. El Congreso de la Republica. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>
- Plan de Ordenamiento Territorial. (2014). Reglamentación del acuerdo 048. Alcaldía de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/es/transparencia/plan-de-ordenamiento-territorial-de-medellin/>
- Ambiente. (2018). Resolución 1407 de 2018. GOV. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/>
- .(2011). Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Ministerio de Ambiente. <https://www.anla.gov.co/nosotros>
- Universidad Politécnica de Cataluña. (2022). Un proyecto de la UPC aplica la tecnología blockchain para impulsar la economía circular en el textil. RETEMA. <https://www.retema.es/actualidad/un-proyecto-upc-aplica-tecnologia-blockchain-impulsar-economia-circular-textil.com>
- Ester, X. (2024). Logística Inversa y Moda Circular. Cómo la Sostenibilidad Revoluciona la Cadena de Valor. Ester Xicota. <https://www.esterxicota.com/logistica-inversa-moda-circular-informe-gfa.com>
- Murphy, C. (2022). La blockchain puede facilitar la transición a una economía circular, pero su uso a gran escala es una tarea pendiente. Ellen Macarthur Foundation. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/%20facilitadores-tecnologicos/parte-2.com>

- Picvisa. Tecnología blockchain para la gestión sostenible de residuos. Picvisa. <https://picvisa.com/es/tecnologia-blockchain-gestion-sostenible-residuos.com>
- Aguirre, A. (2024). La logística inversa como práctica sostenible en la cadena de suministro del sector textil, de confección y moda: Un análisis de drivers en el contexto colombiano. Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/38462/1/AguirreAngela_2024_LogisticalInversaDrivers.pdf.com
- Valencia,R. (2024). La Diputación de València crea una moneda digital para "revitalizar el comercio rural" en la Serranía y Rincón de Ademuz. SEIZ. <https://cadenaser.com/comunitat-valenciana/2024/12/28/la-diputacio-crea-una-moneda-digital-para-revitalizar-el-comercio-rural-en-la-serrania-y-rincon-de-ademuz-radio-valencia/.com>
- HuffPost. (2025). España se convierte en el espejo del mundo textil por lo que han hecho Zara, Mango o Primark. HuffPost. <https://www.huffingtonpost.es/life/moda/espana-convierte-espejo-mundo-textil-han-hecho-zara-mango-primark.html.com>
- Blog Melonn (2025). ¿Qué es la logística Inversa y cuál es su impacto en Ecommerce?. Melonn. <https://blog.melonn.com/que-es-logistica-inversa>
- Heurá. (2024). BLOCKCHAIN en la industria del reciclaje. HEURA. <https://heura.net/blockchain-en-la-industria-del-reciclaje/>
- Pablo. (2021). IoT, robots y 'blockchain': tecnología al servicio de la economía circular. BY Orange. <https://blog.orange.es/innovacion/tecnologia-y-economia-circular/>
- El Congreso de Colombia. (1999) Ley 527 de 1999. Min TIC. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/feaa83a5-0f08-45b7-bbfb-7ad1eb937d6f/Ley-527-de-1999-Por-medio-de-la-cual-se-define-y-r.aspx#:~:text=Art%C3%ADculo%2046.,de%20Transporte%2C%20Mauricio%20C%C3%A1rdenas%20Santamar%C3%ADa.>

- Hamari, Kovisto, Sarsa. (2014). Does Gamification Work? -- A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6758978>