



DISEÑO DE PLANTA TRITURADORA DE MATERIALES PLÁSTICOS EN EL  
MUNICIPIO DE DUITAMA-BOYACÁ

AUTORES

Gonzalez Beltrán Diego Alejandro

Nitola Torres Katerin Johana

Perico Manrique Maritza Andrea

DIRECTOR

Arévalo Salazar Álvaro David

Facultad de Ingeniería

Universidad EAN

16 de diciembre de 2024

Bogotá D.C

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen Ejecutivo                        | 8  |
| Introducción                             | 9  |
| Objetivos                                | 11 |
| Objetivo General                         | 11 |
| Objetivos Específicos                    | 11 |
| Definición Del Problema                  | 12 |
| Pregunta Problema                        | 12 |
| Justificación                            | 14 |
| Análisis De Requerimiento                | 16 |
| Parámetros De Diseño                     | 16 |
| Características De Diseño                | 17 |
| Análisis De Requerimiento No Funcionales | 19 |
| Eficiencia Energética                    | 19 |
| Seguridad Y Ergonomía                    | 19 |
| Escalabilidad                            | 20 |
| Sostenibilidad                           | 20 |

|   |    |
|---|----|
| Fiabilidad del Sistema _____                        | 20 |
| Uso y Experiencia del Usuario _____                 | 21 |
| Calidad y Control de Procesos _____                 | 21 |
| Aspectos Teóricos Del Diseño De La Planta _____     | 21 |
| Diseño Industrial Y Distribución De La Planta _____ | 22 |
| Selección De Maquinaria Y Tecnología _____          | 22 |
| Alcance De La Solución De Ingeniería _____          | 22 |
| Marco De Referencia _____                           | 24 |
| Marco Teórico _____                                 | 24 |
| Marco Conceptual _____                              | 27 |
| Marco Legal _____                                   | 28 |
| Análisis De Restricciones _____                     | 30 |
| Restricciones Técnicas _____                        | 30 |
| Restricciones Económicas _____                      | 30 |
| Restricciones Regulatorias _____                    | 30 |
| Restricciones Operativas _____                      | 31 |
| Restricciones Sociales Y Culturales _____           | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Metodología Para Selección Y Desarrollo De La Solución _____      | 32 |
| Fase De Análisis Y Diagnóstico _____                              | 32 |
| Selección De Tecnología _____                                     | 32 |
| Desarrollo De La Planta De Procesamiento _____                    | 33 |
| Desarrollo De La Plataforma E-Comerce _____                       | 33 |
| Análisis De Resultados _____                                      | 34 |
| Resultados Obtenidos _____  | 34 |
| <i>Aspectos Técnicos</i> _____                                    | 34 |
| <i>Plataforma De E-Commerce</i> _____                             | 34 |
| <i>Comparación Con Los Objetivos Planteados</i> _____             | 34 |
| Valoración Con Expertos _____                                     | 35 |
| <i>Proceso De Validación</i> _____                                | 35 |
| <i>Resultados De La Validación</i> _____                          | 38 |
| Impacto Técnico Y Práctico _____                                  | 39 |
| Análisis Crítico _____  | 39 |
| Diseño De La Planta De Procesamiento Y Plataforma E-Comerce _____ | 39 |
| Diseño De La Planta Procesamiento _____                           | 39 |
| Diseño De La Plataforma E-comerce _____                           | 44 |

Análisis De Costos \_\_\_\_\_ 45

Conclusiones \_\_\_\_\_ 47

Bibliografía \_\_\_\_\_ 48

## Tabla De Ilustraciones

|  |    |
|--|----|
| <i>Ilustración 1</i> Pregunta 2, Encuesta - Fuente: Propia _____                     | 35 |
| <i>Ilustración 2</i> Pregunta 3, Encuesta - Fuente: Propia _____                     | 36 |
| <i>Ilustración 3</i> Pregunta 4, Encuesta - Fuente: Propia _____                     | 36 |
| <i>Ilustración 4</i> Pregunta 5, Encuesta - Fuente: Propia _____                     | 37 |
| <i>Ilustración 5</i> Pregunta 6, Encuesta - Fuente: Propia _____                     | 37 |
| <i>Ilustración 6</i> Pregunta 7, Encuesta - Fuente: Propia _____                     | 38 |
| <i>Ilustración 7</i> Diseño General De La Planta - Fuente: Propia (AutoCAD 3D) _____ | 41 |
| <i>Ilustración 8</i> Distribución De La Planta - Fuente: Propia (AutoCAD 3D) _____   | 42 |
| <i>Ilustración 9</i> Vista Exterior De La Planta - Fuente: Propia (AutoCAD 3D) _____ | 43 |
| <i>Ilustración 10</i> Diseño De La Página Web - Fuente: Propia _____                 | 44 |
| <i>Ilustración 11</i> Vista Previa - Fuente: Propia _____                            | 44 |

## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| <i>Tabla 1 Análisis De Costos - Fuente: propia</i> | 45 |
|--|----|

## **Resumen Ejecutivo**

El plástico se ha convertido en un material fundamental en la vida cotidiana, gracias a su versatilidad y utilidad. Desde que se inventó a principios del siglo XX, su producción no ha dejado de crecer, debido a sus propiedades ya que es resistente, ligero, flexible y económico. Estas ventajas han facilitado su uso en diversas áreas, como la industria automotriz, la construcción, la medicina y, sobre todo, en el envasado y distribución de productos.

No obstante, el éxito del plástico también ha traído consigo uno de los problemas ambientales más graves de nuestra época, al no ser biodegradable, una gran cantidad de los plásticos que desechamos termina acumulándose en vertederos, mares y otros ecosistemas, donde pueden tardar siglos en descomponerse.

Uno de los tipos de plástico que más preocupa es el que se utiliza en la fabricación de botellas y envases desechables, especialmente los de bebidas, debido a su uso masivo y a su corto ciclo de vida, estas botellas se acumulan rápidamente en el ambiente, representando una parte importante de los desechos plásticos que dañan el planeta.

De acuerdo con lo anterior, nuestro proyecto tiene como objetivo el diseño en planta de una planta trituradora de plásticos en el municipio de Duitama en el departamento de Boyacá, con el uso del software Civil 3D, así como el desarrollo de una página de E-commerce, con el fin de facilitar el comercio para su reutilización o transformación en nuevos productos. El material plástico será recolectado a través de máquinas inversas de vending (RVM) y por medio de una alianza estratégica con los recicladores del municipio, así lograremos contribuir con la sostenibilidad ambiental y la economía circular.

## Introducción

Según estimaciones de la *World Wide Fund for Nature* (WWF – Fondo Mundial para la Naturaleza) y el Ministerio de Ambiente, un colombiano usa 6 bolsas semanales, 24 al mes, 288 al año y 22.176 en un promedio de vida de 77 años. En Colombia, se generan anualmente alrededor de 700.500 toneladas de envases y empaques plásticos, y solo el 30 % es reciclado en nuevos empaques. La falta de una cultura de reciclaje generalizada y de infraestructuras eficientes para la separación y procesamiento de residuos ha venido provocando consecuencias ambientales irreversibles, como la contaminación del suelo y las fuentes hídricas, la emisión de gases de efecto invernadero y la degradación de ecosistemas urbanos. Además, la no implementación de prácticas de reciclaje efectivas está generando pérdidas económicas significativas al desaprovechar materiales que podrían reintegrarse en la cadena productiva. (*De La Producción al Reciclaje: El Futuro de Las Bolsas Plásticas En Colombia, Ciclo de Vida Del Plástico*, n.d.)

En respuesta a esta problemática, a través de nuestro proyecto, proponemos realizar el diseño de una planta trituradora de plásticos, con el uso del software Civil 3D, en el municipio de Duitama en el departamento de Boyacá, la planta se propone como una solución innovadora, usando como parte de la estrategia de reciclaje las máquinas inversas de vending (RVM) y la alianza con recicladores del municipio para la recolección de residuos. Su función principal será clasificar y transformar estos materiales, convirtiéndolos en materia prima para otros productos.

De esta forma el proyecto busca un enfoque integral con el desarrollo de una plataforma de E-commerce para la comercialización de la materia prima obtenida del proceso de trituración, de esta manera contribuir a la reducción del impacto ambiental, fomentando la economía circular.

La implementación de esta planta no solo contribuirá a la mejora de la gestión de residuos en la región, sino que también generará un impacto positivo en la economía local al crear oportunidades de empleo y promover prácticas sostenibles.

La ingeniería industrial, enfocada en la optimización de sistemas complejos, es crucial para el desarrollo de los procesos de reciclaje que deseamos abordar en este proyecto, facilitando la transición hacia una economía circular y la reducción del impacto ambiental, que junto con la ingeniería de sistemas buscamos integrar tecnologías avanzadas, para mejorar la eficiencia operativa y la implementación de sistemas sostenibles, contribuyendo a maximizar la efectividad de los procesos de reciclaje.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Realizar el diseño de una planta trituradora de plásticos eficiente y sostenible, la cual estará ubicada en el municipio de Duitama en el departamento de Boyacá, así como una plataforma de E - commerce para la comercialización de la materia prima resultante de este proceso.

### **Objetivos Específicos**

1. Diseñar la infraestructura de la planta de transformación de materiales reciclables, la distribución de los procesos de recepción, clasificación, limpieza y triturado del material plástico.
2. Desarrollar una plataforma de E-commerce, por medio de la cual se darán a conocer y vender el material resultante del proceso de trituración.
3. Diseñar un esquema de integración y reconocimiento a la labor de los recicladores, que permita su participación en la recolección y clasificación de plásticos por medio de la formalización de su actividad.

## Definición Del Problema

### Pregunta Problema

¿Cómo el diseño de una planta de trituración de materiales plásticos, eficiente y sostenible, puede ayudar a minimizar el impacto ambiental y promover la economía circular a través del reciclaje y reutilización de residuos plásticos en el municipio de Duitama?

En Colombia, la problemática relacionada con los residuos plásticos es particularmente aguda. Según el *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia*, el país produce alrededor de 1,2 millones de toneladas de residuos plásticos cada año, pero solo se recicla aproximadamente el 30% (MinAmbiente, 2022). A pesar de los esfuerzos de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, la infraestructura de reciclaje en Colombia sigue siendo insuficiente para hacer frente a la magnitud del problema. Además, el país enfrenta serios desafíos en cuanto a la concienciación pública sobre la importancia del reciclaje, la implementación de políticas efectivas de gestión de residuos y la integración de los recicladores informales, quienes desempeñan un papel crucial en la cadena de reciclaje, pero que a menudo operan en condiciones laborales vulnerables.

El municipio de Duitama en el departamento de Boyacá no es ajeno a esta crisis. A pesar de ser una ciudad intermedia con una población cercana a los 132,849 habitantes (Telefónicas, 2024), su sistema de gestión de residuos sólidos enfrenta limitaciones significativas, incluyendo una insuficiente capacidad de recolección, clasificación y procesamiento de residuos reciclables. Esto ha llevado a que una gran cantidad de desechos plásticos termine en el vertedero de la región o en cuerpos de agua cercanos, agravando los problemas de contaminación y afectando la salud pública y la biodiversidad local (Gobernación de Boyacá. 2021).

En razón a esta problemática, nuestro proyecto propone el realizar el diseño de una planta de trituración de materiales plásticos en el municipio Duitama. Para la ayuda en la recolección de estos materiales, como estrategias para la recolección de este material está en la ubicación de máquinas inversas de vending (RVM) en sitios de alto flujo de personas, como por ejemplo centros comerciales o colegios, adicional a lo anterior buscamos integrar la labor de los recicladores del municipio como proveedores principales. Además, el proyecto contempla el desarrollo de una plataforma de E-commerce para comercializar la materia prima obtenida del triturado de los plásticos.

El diseño de una planta de triturado de materiales plásticos lo vemos como una estrategia sostenible y amigable con el medio ambiente para impulsar el aprovechamiento de este tipo de materiales, así como de la inclusión de la labor de los recicladores informales. La implementación de una planta de trituración de plásticos en el municipio de Duitama es una posible solución que ayudara con la disminución del impacto ambiental.

## **Justificación**

La baja tasa de reciclaje de materiales plásticos es una problemática ampliamente documentada en la literatura académica, y su justificación se puede fundamentar a través de diversas tesis que abordan los factores que contribuyen a esta situación.

En primer lugar, estudios como los de Lakhan (2015) destacan que la falta de incentivos económicos y sociales es uno de los principales obstáculos para una mayor participación en el reciclaje. Las personas a menudo no ven un beneficio tangible al reciclar, lo que disminuye su motivación para participar activamente en los programas de reciclaje. Este hallazgo sugiere que la implementación de sistemas de recompensas o incentivos económicos podría ser una estrategia efectiva para aumentar las tasas de reciclaje.

Además, investigaciones como las de Knox (2018) señalan que existe una brecha significativa en la educación y concienciación sobre el reciclaje. Muchas personas no comprenden completamente la importancia del reciclaje de plásticos ni el impacto que tiene en el medio ambiente. Este desconocimiento contribuye a la apatía o a la falta de acción en cuanto a la separación de residuos plásticos en el hogar y en los lugares de trabajo.

Otro factor relevante, identificado por Kahhat (2019), es la insuficiente infraestructura para el reciclaje de plásticos en muchas regiones. A menudo, los sistemas de recolección y procesamiento de plásticos no están adecuadamente desarrollados, lo que dificulta el reciclaje eficiente de estos materiales. Esto hace que muchos plásticos terminan en vertederos o en el medio ambiente en vez de reciclarlos.

Por último, se ha demostrado que las políticas públicas y las regulaciones insuficientes o inconsistentes también juegan un papel crucial en las bajas tasas de reciclaje. La falta de políticas fuertes que obliguen o incentiven el reciclaje de plásticos limita el alcance y la efectividad de los

programas de reciclaje a nivel global.

En resumen, la baja tasa de reciclaje de materiales plásticos está justificada por una combinación de factores económicos, educativos, de infraestructura, y de políticas públicas. Abordar estos desafíos de manera integral es crucial para aumentar la participación en el reciclaje y, en última instancia, reducir el impacto ambiental de los desechos plásticos.

## **Análisis De Requerimiento**

A través de nuestro proyecto queremos determinar los aspectos técnicos y operativos necesarios para el diseño de la planta de trituración de materiales plásticos en el municipio de Duitama. Esta planta se enfocará en la recepción, clasificación, lavado y trituración de plásticos, como proveedores principales se contará con los recicladores locales, en las actividades de recolección y entrega, así como de la instalación de máquinas de vending inverso (Reverse Vending Machines - RVM), para la comercialización del material resultante de la trituración del plástico se diseñará una plataforma de E-commerce que permita su comercialización y venta.

Esta planta será capaz de transformar estos residuos en materia prima para la fabricación de otros productos. Se busca con esto no solo reducir la cantidad de material dispuesto en los rellenos, sino de darle una segunda vida al material reciclado y así contribuir al desarrollo de una economía circular que sea inclusiva con las labores de los recicladores como proveedores claves.

### **Parámetros De Diseño**

- Capacidad de procesamiento de la planta: Se define una capacidad mínima de procesamiento diario en función del volumen de residuos generados en Duitama y áreas cercanas. Esta capacidad será suficiente para manejar al menos 2 toneladas diarias Mosquera, G. V. (2019) de residuos plásticos.
- Eficiencia en la separación y clasificación de materiales: Se incorporará tecnología avanzada para la separación y clasificación de los diferentes tipos de plásticos. Se espera una tasa de eficiencia mínima del 95% en la clasificación de los materiales, lo que nos permitirá maximizar el volumen de residuos reciclables y minimizar el rechazo.
- Integración de las máquinas de vending inverso (RVM): Las máquinas son una pieza clave en el sistema de recolección de residuos, debemos verificar sus capacidades

técnicas para recibir, compactar y almacenar diferentes tipos de materiales reciclables, así como su capacidad para emitir recompensas que incentiven a los ciudadanos a utilizarlas.

- Diseño que se adecue a las condiciones requeridas en seguridad y salud en el trabajo:  
Para la prevención de riesgos laborales, por medio del análisis y la clasificación de los riesgos. Protección de las máquinas con dispositivos de seguridad, desconexión de emergencia y plan de mantenimientos regulares. Como parte del cumplimiento de esta normativa, se diseñará un SG-SST en donde se tengan en cuenta todas las partes interesadas, así como la seguridad en la manipulación y operación de los equipos y maquinarias, al igual que la seguridad del trabajador a través del uso de los EPP y su adecuado entrenamiento.

### **Características De Diseño**

- Potencia y consumo energético: Para el funcionamiento de los equipos de la planta se plantea que su uso sea durante una jornada de 8 horas diarias, por lo cual se debe evaluar la posibilidad de incorporar fuentes de energía renovable, como paneles solares, para reducir el impacto ambiental de la planta.
- Capacidad de procesamiento diario: El diseño de la planta tiene una capacidad suficiente para procesar el volumen estimado de residuos recolectados diariamente. Inicialmente, se estima una capacidad de 2 toneladas diarias, pero se debe diseñar con la capacidad suficiente para atender la demanda del municipio.

## Especificaciones Funcionales

- **Planta de procesamiento:** La planta cuenta con maquinaria especializada para la trituración de residuos plásticos. Estos equipos son capaces de procesar grandes volúmenes de residuos de manera continua, garantizando una alta eficiencia en la separación y clasificación de los materiales. Es necesario contar con un sistema de almacenamiento temporal tanto para los residuos que aún no han sido procesados como para los productos terminados, de manera que se garantice un flujo continuo de materiales a lo largo de la línea de producción (Rondón, Szanto, Pacheco, Contreras, Gálvez, 2016).
- **Plataforma E-commerce:** Se diseñará para que sea fácil de usar tanto para los administradores como para los compradores, permitiendo la venta a diferentes tipos de clientes desde consumidores individuales hasta empresas que buscan materia prima derivada de los materiales reciclados.

## **Análisis De Requerimiento No Funcionales**

Estos requerimientos no funcionales buscan no solo asegurar la viabilidad y sostenibilidad estableciendo una planta que sea capaz de evolucionar y adaptarse a las necesidades del entorno.

### **Eficiencia Energética**

La planta incorpora tecnologías que optimizan el consumo energético para minimizar el impacto ambiental y los costos operativos. Se propone el uso de fuentes de energía renovable, como paneles solares fotovoltaicos, que reduzcan la dependencia de la red eléctrica tradicional y disminuyan la huella de carbono. Además, se estudiará la viabilidad de incorporar sistemas de recuperación de calor en los procesos de tratamiento térmico o compresión de materiales, reutilizando la energía generada para otros procesos internos.

### **Seguridad Y Ergonomía**

El diseño de la planta cumple estrictamente con las normativas de seguridad y salud en el trabajo locales e internacionales (por ejemplo, ISO 45001). Esto incluye la identificación y control de riesgos laborales en todas las etapas del proceso, desde la recepción de materiales hasta el almacenamiento final.

Se instalan señalizaciones claras y elementos de seguridad en las áreas críticas, como líneas de producción, zonas de maquinaria pesada y áreas de almacenamiento. Además, el uso de equipos de protección personal (EPP) será obligatorio para todos los trabajadores.

El diseño ergonómico del espacio debe priorizar la comodidad y seguridad de los trabajadores, minimizando la fatiga física y la posibilidad de accidentes. Esto implica una

adecuada disposición de las herramientas, mesas de trabajo ajustables, y la correcta iluminación y ventilación en las zonas de trabajo.

### **Escalabilidad**

La infraestructura de la planta está diseñada para permitir una expansión futura sin afectar significativamente las operaciones actuales esto incluye prever espacios adicionales para nuevas líneas de procesamiento y almacenamiento en caso de aumento en la demanda o tipos de materiales a reciclar. Se implementan procesos flexibles que permitan ajustar la capacidad de producción en función de la cantidad de residuos recolectados, asegurando la continuidad del servicio incluso en períodos de alta demanda.

### **Sostenibilidad**

La planta deberá cumplir con las normativas ambientales, en especial el control de emisiones atmosféricas y uso eficiente del agua. Para reducir el impacto ambiental, se implementan sistemas de tratamiento de aguas residuales provenientes de los procesos de limpieza de materiales plásticos.

Se integran sistemas de monitoreo ambiental que permiten evaluar en tiempo real la eficiencia del uso de recursos, la calidad del aire y del agua, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> de la planta generando informes periódicos para asegurar la transparencia en el cumplimiento de los objetivos ambientales.

### **Fiabilidad del Sistema**

Dentro del diseño de la planta, se pretende que cuente con un sistema robusto de gestión de operaciones que garantice la continuidad de los procesos minimizando el riesgo de paradas

inesperadas. Para esto, se implementará un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para todas las máquinas y equipos.

### **Uso y Experiencia del Usuario**

La plataforma de E-commerce es intuitiva y accesible tanto para los operadores de la planta como para nuestros clientes con herramientas que faciliten la navegación, búsqueda y compra. Se lleva a cabo un análisis de experiencia de usuario para optimizar la interacción en la plataforma, garantizando que sea atractiva y funcional.

La seguridad de la información es crucial por lo que se implementan protocolos de ciberseguridad robustos que protejan los datos sensibles de los clientes y garanticen transacciones seguras, cumpliendo con las normativas de protección de datos personales.

### **Calidad y Control de Procesos**

La planta asegura que todos los materiales reciclados cumplan con estándares de calidad predefinidos antes de ser comercializados. Para esto, se implementan sistemas de control de calidad en todas las etapas del proceso productivo, desde la clasificación hasta la transformación final. Se desarrollan indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar la eficiencia de los procesos internos, incluyendo la tasa de recuperación de materiales, la reducción de desperdicios y la eficiencia energética. Estos indicadores serán monitoreados continuamente para garantizar la mejora continua.

### **Aspectos Teóricos Del Diseño De La Planta**

Con estas consideraciones el diseño de la planta no solo es eficiente y sostenible, sino

también promueve la inclusión social de los recicladores y contribuya de manera significativa a la economía circular en el municipio de Duitama.

### **Diseño Industrial Y Distribución De La Planta**

La planta cuenta con áreas definidas para la recepción, clasificación, limpieza, procesamiento y almacenamiento de materiales reciclables. Esto incluye zonas específicas para residuos no procesados y productos terminados. Usando un sistema automático para la separación de materiales y la supervisión del rendimiento, integrando tecnologías de control para mejorar la eficiencia y reducir errores humanos.

### **Selección De Maquinaria Y Tecnología**

El uso de equipos especializados permite la separación automática de los diferentes tipos de materiales junto con la implementación de máquinas compactadoras y trituradoras para reducir el volumen facilitando su manejo y almacenamiento.

### **Alcance De La Solución De Ingeniería**

El alcance de nuestro proyecto incluye la instalación de máquinas recicladoras y el diseño de una planta lo cual ayudara aumentando la tasa de reciclaje en Duitama. A través de esta solución, se optimizarán los flujos operativos relacionados con la recolección y procesamiento de residuos reutilizables, garantizando la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

Con respecto al diseño de la planta se realizó en AutoCAD definiendo las dimensiones y la disposición de las áreas de procesamiento, almacenamiento y oficinas. Además, seleccionaremos las maquinarias más adecuadas para cada etapa del proceso productivo,

garantizando su integración con los sistemas de control y automatización.

El proyecto incluye el diseño e implementación de un sistema de indicadores clave de desempeño (KPI) que permita evaluar la eficiencia de la planta y del sistema logístico con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

## **Marco De Referencia**

En el contexto actual de sostenibilidad ambiental y cambio climático, los sistemas de gestión de residuos y la transición hacia una economía circular son fundamentales para reducir los impactos negativos derivados del consumo y la producción desmedida. La acumulación de residuos sólidos, particularmente plásticos y envases de aluminio se ha convertido en una problemática ambiental crítica en Colombia. En respuesta a esta situación, este proyecto de grado propone el diseño e implementación de una planta de procesamiento de materiales reutilizables en el municipio de Duitama, Boyacá.

La investigación se plantea como un esfuerzo integral que combina la implementación de tecnologías avanzadas, como las máquinas (RVM), así como la colaboración activa de los recicladores, quienes han desempeñado históricamente un papel fundamental en la recolección de residuos. Además, se busca desarrollar un sistema eficiente y sostenible para la recolección y transporte de estos materiales.

El presente marco de referencia incluye una revisión del marco teórico, conceptual, metodológico y legal que sustenta el proyecto, y explora diversas perspectivas y significados asociados a la economía circular y la gestión de residuos.

### **Marco Teórico**

**1. Economía Circular:** La economía circular es un concepto económico que desafía el modelo lineal tradicional de “tomar, hacer y desechar”, y promueve en su lugar un sistema cíclico donde los productos, materiales y recursos se mantienen en uso el mayor tiempo posible. La economía circular tiene su origen en diversas escuelas de pensamiento, incluyendo la cibernética, la teoría de sistemas cerrados y el ecodiseño, todas las cuales abogan por una

relación más equilibrada entre las actividades humanas y los ecosistemas. (Estrategia Nacional de Economía Circular -, 2022b).

**2. Dimensión ambiental en el reciclaje del reciclaje:** Desde una perspectiva ambiental, el reciclaje se presenta como una de las estrategias más efectivas para mitigar los efectos del cambio climático. Según estudios realizados por la European Environment Agency (EEA), el reciclaje contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (EEA, 2020). Al evitar la producción de materiales a partir de materias primas vírgenes, se reduce tanto el consumo energético como las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En Colombia, los sistemas de reciclaje aún se encuentran en etapas de desarrollo y consolidación, lo que representa una oportunidad para implementar tecnologías más avanzadas que permitan mejorar las tasas de reciclaje y disminuir la huella de carbono de la industria manufacturera (IDEAM, 2021). La planta propuesta en Duitama busca capitalizar este potencial, reduciendo las emisiones mediante la reutilización de materiales reciclables.

**3. Recicladores de oficio:** Los recicladores de oficio han sido, a lo largo de la historia, actores fundamentales en la recolección y clasificación de residuos. Sin embargo, su labor ha sido mayormente informal lo que ha generado barreras en los sistemas formales de gestión de residuos. En Colombia, los recicladores juegan un papel crucial en la economía circular, ya que recuperan materiales que, de otro modo, terminarían en vertederos o contaminarían ecosistemas frágiles (Ministerio de Ambiente, 2020).

La formalización de estos trabajadores es un aspecto clave dentro del marco teórico de este proyecto. Según el Decreto 596 de 2016, se reconoce el derecho de los recicladores de oficio a participar en los sistemas formales de recolección de residuos, garantizándoles condiciones de trabajo dignas y acceso a herramientas tecnológicas que mejoren la eficiencia

de sus actividades. La planta de reciclaje en Duitama integrará a estos actores como parte fundamental de la cadena de valor del reciclaje, proporcionándoles capacitación y acceso a infraestructura moderna para mejorar su productividad y calidad de vida.

**4. Tecnologías emergentes:** Las máquinas de vending inverso (RVM) son una tecnología innovadora que ha demostrado ser efectiva para promover el reciclaje en varios países europeos, particularmente en el reciclaje de botellas de plástico, latas de aluminio y otros envases. Estas máquinas permiten a los ciudadanos depositar sus residuos reciclables a cambio de incentivos económicos o sociales, como descuentos en productos o donaciones a causas benéficas (RTS - Sistemas de carriles de reciclaje, 2023).

En países como Alemania, donde el uso de RVM está ampliamente extendido, las tasas de reciclaje han superado el 90%, lo que demuestra el impacto positivo de estas tecnologías en la reducción de residuos y en la promoción de una cultura de reciclaje (RTS - Sistemas de carriles de reciclaje, 2023).

La implementación de estas máquinas en Duitama tiene el potencial de cambiar la cultura del reciclaje en la región, incentivando la participación de los ciudadanos en los programas de gestión de residuos. Además, estas máquinas pueden integrarse con plataformas tecnológicas para facilitar el seguimiento y control de los residuos recolectados, mejorando así la trazabilidad de los materiales reciclados.

**5. Tereftalato de polietileno: (PET)** es uno de los materiales plásticos más utilizados, especialmente para la fabricación de envases. Por su composición química, el tereftalato de polietileno o PET es un tipo de poliéster. Se obtiene mediante la policondensación entre

el ácido tereftalato y el etilenglicol. (*Tereftalato de Polietileno: ¿Qué Es?, Usos y Propiedades*, s. f.-b)

## **Marco Conceptual**

**Clasificación de residuos:** Los residuos pueden clasificarse en diferentes categorías, como residuos orgánicos, inorgánicos, reciclables y peligrosos. La clasificación adecuada es fundamental para maximizar la recuperación de materiales y minimizar la cantidad de residuos que terminan en vertederos.

**Economía circular:** Modelo de producción y consumo que busca prolongar la vida útil de los productos y materiales mediante su reutilización, reparación, reciclaje o transformación.

**Encuestas:** Se realizarán encuestas a los habitantes de Duitama para medir sus actitudes hacia el reciclaje y su disposición a utilizar las máquinas de vending inverso.

**Máquinas de vending inverso (RVM):** Tecnología que permite la recolección de residuos reciclables mediante incentivos para los usuarios, como pagos en efectivo o descuentos en productos.

**Recicladores:** Trabajadores que se dedican a la recolección, clasificación y venta de materiales reciclables, en su mayoría de manera informal.

**Residuos sólidos:** Materiales que han sido desechados por la sociedad y que pueden ser reciclados o reutilizados si se gestionan adecuadamente.

**Sostenibilidad:** Capacidad de las sociedades para satisfacer sus necesidades presentes sin comprometer los recursos y condiciones ambientales, económicas y sociales para futuras

generaciones.

**Transformación de residuos:** Proceso mediante el cual los residuos recolectados son sometidos a técnicas industriales para convertirlos en nuevos productos o materias primas.

**Tipos de reciclaje:** Existen diferentes tipos de reciclaje, incluyendo el reciclaje mecánico (que implica la trituración y reprocesamiento de materiales), el reciclaje químico (que utiliza procesos químicos para descomponer los materiales) y el reciclaje orgánico

## **Marco Legal**

Constitución Política de Colombia (1991): La Constitución Política de Colombia es la base del marco jurídico nacional, y en varios de sus artículos establece principios fundamentales relacionados con la protección del medio ambiente, la gestión de residuos y el desarrollo sostenible:

- Artículo 79: Garantiza a todos los ciudadanos el derecho a un ambiente sano y establece que el Estado debe garantizar la participación de la comunidad en las decisiones que afecten el medio ambiente.
- Artículo 80: Ordena al Estado planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución.

Ley 99 de 1993: Establece los principios para la política ambiental en Colombia. La ley define la gestión ambiental y promueve el uso eficiente de los recursos naturales, abordando directamente la protección del medio ambiente y los recursos naturales frente a actividades industriales y de

desarrollo económico.

Ley 142 de 1994 (Servicios Públicos Domiciliarios): Regula la prestación de servicios públicos, incluida la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos. Establece las responsabilidades de las entidades que prestan estos servicios y promueve la inclusión de sistemas de reciclaje en los programas de gestión de residuos.

Ley 1672 de 2013 (Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - RAEE): Regula la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Colombia. Establece lineamientos para la correcta disposición y reciclaje de este tipo de residuos, que pueden contener componentes peligrosos.

Ley 1972 de 2019 (Estrategia Nacional de Economía Circular): Impulsa la creación y desarrollo de la Estrategia Nacional de Economía Circular en Colombia. Establece lineamientos para promover el uso eficiente de los recursos, maximizar el reciclaje y la reutilización de materiales, y reducir los residuos generados en los procesos productivos.

Decreto 596 de 2016: Es una de la normativa clave para la inclusión de los recicladores de oficio en los esquemas de prestación del servicio público de aseo. Esta norma permite la formalización de los recicladores y establece los lineamientos para garantizar su acceso a la remuneración por sus trabajos de recolección y clasificación de residuos reciclables.

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) Duitama: El Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Duitama establece los lineamientos para la recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de residuos en el municipio. Este plan es clave para la operación de la planta de procesamiento de materiales reciclables, ya que establece las metas de

reciclaje y las estrategias de inclusión de recicladores locales.

## **Análisis De Restricciones**

### **Restricciones Técnicas**

- Capacidad de procesamiento: la planta debe estar diseñada para procesar una cantidad específica de materiales por día, lo cual dependerá del volumen recolectado tanto de las máquinas RVM como de los recicladores locales.
- Tecnología disponible: la selección de equipos de clasificación, limpieza y transformación de plásticos debe estar limitada a la tecnología accesible en el mercado local o nacional.
- Compatibilidad de materiales: la planta debe ser capaz de manejar eficientemente los diferentes tipos de materiales reciclables (plástico), cada uno con sus propios requisitos de procesamiento.

### **Restricciones Económicas**

- Costo de instalación: el presupuesto disponible limitará la selección de equipos, tecnología y la escala de la planta.
- Financiación: la viabilidad del proyecto depende de obtener los recursos financieros necesarios para su construcción y puesta en marcha, lo que puede requerir la colaboración de inversores o fondos públicos.
- Rentabilidad del E-commerce: la comercialización de productos reciclados debe ser competitiva para asegurar ingresos sostenibles a largo plazo.

### **Restricciones Regulatorias**

- Cumplimiento ambiental: la planta debe cumplir con las normativas ambientales locales e internacionales, incluyendo la gestión de residuos, emisiones y uso de agua.
- Licencias y permisos: la instalación de la planta y la operación del sistema de transporte y comercialización de productos reciclados deben cumplir con las leyes locales en materia de manejo de residuos y comercio.

### **Restricciones Operativas**

- Disponibilidad de mano de obra calificada: el éxito de la planta dependerá de la contratación de personal con conocimientos en operación de maquinaria de reciclaje y logística.
- Mantenimiento de equipos: los equipos de procesamiento requerirán un plan de mantenimiento regular para evitar tiempos muertos que interrumpan el flujo de materiales.

### **Restricciones Sociales Y Culturales**

- Conciencia ambiental: la participación de la comunidad y los recicladores locales depende del nivel de conciencia sobre la importancia del reciclaje, lo que puede limitar la cantidad de materiales recolectados inicialmente.
- Aceptación del E-commerce: los consumidores y empresas deben estar dispuestos a adoptar los productos reciclados como una alternativa viable y de calidad en el mercado.

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

### **Fase De Análisis Y Diagnóstico**

- Evaluación del contexto local (Duitama): Se realizará un análisis del volumen y tipo de residuos plásticos, latas y envases Tetrapak generados en la región. Esto incluye la identificación de puntos críticos de generación de residuos, así como las características del sistema actual de gestión de residuos.
- Identificación de recursos tecnológicos: Se estudiarán las tecnologías disponibles para la planta de procesamiento y las máquinas inversas de vending (RVM), evaluando factores como costos, capacidad de procesamiento, eficiencia energética y adecuación a los tipos de materiales que se van a reciclar.
- Colaboración con recicladores locales: Se llevarán a cabo reuniones con recicladores locales para entender sus necesidades, capacidades y cómo integrarlos eficientemente al sistema de recolección.

### **Selección De Tecnología**

- Criterios de selección de la planta de procesamiento: Basado en el análisis de diagnóstico, se definirán criterios clave como la capacidad de procesamiento, flexibilidad para manejar los materiales plásticos, costos de implementación y mantenimiento, y cumplimiento con normativas ambientales.
- Selección de las RVM: Se seleccionarán las máquinas RVM considerando su capacidad de recolección, facilidad de uso para los usuarios y la capacidad de integrarse a un sistema de incentivos que promueva la participación ciudadana.

### **Desarrollo De La Planta De Procesamiento**

- Planificación de la planta: Basado en las tecnologías seleccionadas, se procederá con el diseño de la planta, definiendo áreas específicas para la clasificación, procesamiento y almacenamiento de materiales reciclables.
- Estudio de viabilidad técnica y económica: Se realizarán estudios de factibilidad para asegurar que la planta sea económicamente viable y eficiente en términos operativos.
- Cumplimiento de normativas: Se asegurarán los permisos y licencias necesarias para la construcción y operación de la planta, garantizando el cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad.

### **Desarrollo De La Plataforma E-Commerce**

Desarrollo de una plataforma de E-commerce para comercializar los productos obtenidos del procesamiento de materiales reciclados. Esta plataforma permitirá conectar la planta con compradores de materiales reciclados, fomentando la economía circular.

## **Análisis De Resultados**

### **Resultados Obtenidos**

#### ***Aspectos Técnicos***

La planta tiene una capacidad inicial de 2 toneladas diarias con opciones de escalabilidad para adaptarse al crecimiento de la demanda local, este rendimiento asegura el cumplimiento de los objetivos de reducción de residuos plásticos.

El modelo simulado permitió optimizar la disposición de áreas clave: recepción, clasificación, limpieza, procesamiento y almacenamiento de materiales reciclables, junto con el flujo de trabajo fueron diseñados para minimizar tiempos y maximizar la productividad.

Con una eficiencia del 95% en la separación de residuos mediante la implementación de tecnologías de clasificación avanzada, lo que garantiza una alta recuperación de materiales reciclables.

#### ***Plataforma De E-Commerce***

El prototipo funcional permite la comercialización directa de productos reciclados, la plataforma incluye una interfaz amigable y herramientas analíticas para monitorear ventas y preferencias del mercado.

#### ***Comparación Con Los Objetivos Planteados***

- a. Objetivos alcanzados
  - Diseño de una planta sostenible que promueve la economía circular en Duitama.
  - Creación de una herramienta digital para la comercialización de productos reciclados.
- b. Resultados esperados y resultados obtenidos
  - Los resultados superaron las expectativas iniciales en términos de eficiencia y diseño de

la planta.

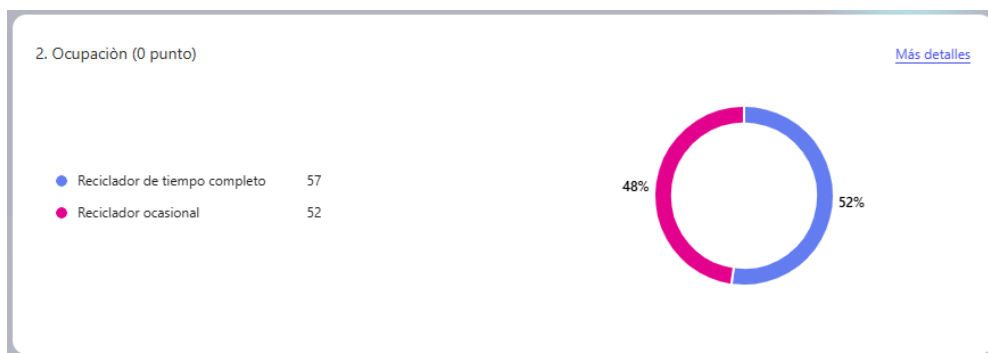
## Valoración Con Expertos

### Proceso De Validación

Se llevaron a cabo 109 entrevistas con recicladores locales en el municipio Duitama, el objetivo de estas entrevistas fue conocer sus prácticas y oportunidades relacionadas con el reciclaje a través de una encuesta compuesta por 8 preguntas clave. A continuación, se presentan los resultados obtenidos ilustrados mediante diagramas circulares para cada una de las preguntas.

- Pregunta 1 (Nombre)
- Pregunta 2 (Ocupación)

#### Ilustración 1 Pregunta 2, Encuesta - Fuente: Propia

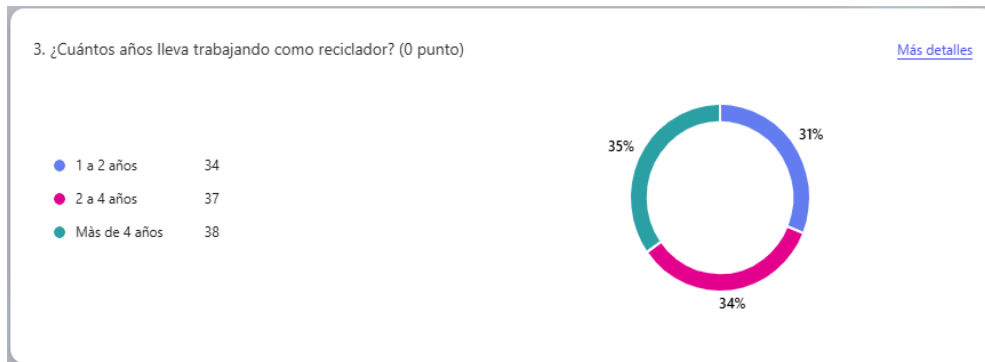


Con esta pregunta, se busca identificar si los recicladores locales se dedicaban al reciclaje de manera exclusiva. Los resultados obtenidos revelan que la mayoría es de 57, indicaron que se dedican al reciclaje a tiempo completo representado el 52%.

Este dato es significativo, ya que sugiere que una gran parte de la comunidad recicladora en Duitama depende totalmente de esta labor, lo cual resalta la importancia de mejorar las condiciones de trabajo y brindar apoyo a estos actores clave en la gestión de residuos.

- Pregunta 3: ¿Cuántos años lleva trabajando como reciclador?

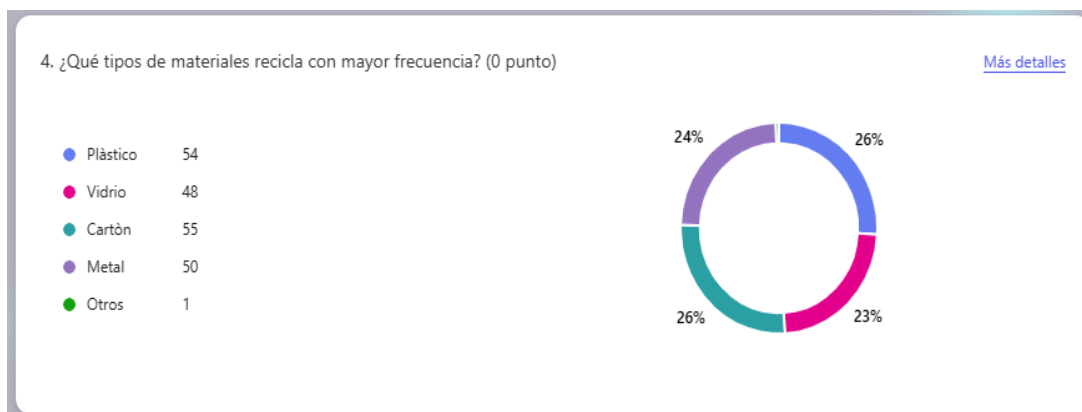
*Ilustración 2 Pregunta 3, Encuesta - Fuente: Propia*



Se observa que un 35% de los encuestados lleva más de cuatro años trabajando como recicladores esto indica que una parte significativa de los participantes tiene una trayectoria considerable en esta actividad, lo que sugiere un nivel de conocimiento y experiencia relevante en la gestión de materiales reciclables en el municipio de Duitama.

- Pregunta 4 (¿Qué tipos de materiales recicla con mayor frecuencia?)

*Ilustración 3 Pregunta 4, Encuesta - Fuente: Propia*

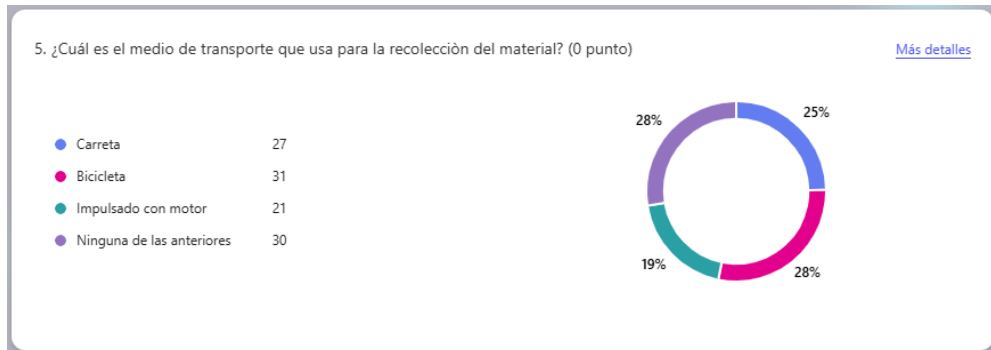


Se observa que los materiales que se reciclan con mayor frecuencia son el cartón y el plástico. Ambos materiales obtuvieron un 26% de las respuestas generando un empate y destacándose como los residuos más comúnmente recolectados.

- Pregunta 5 (¿Cuál es el medio de transporte que usa para la recolección del

material?)

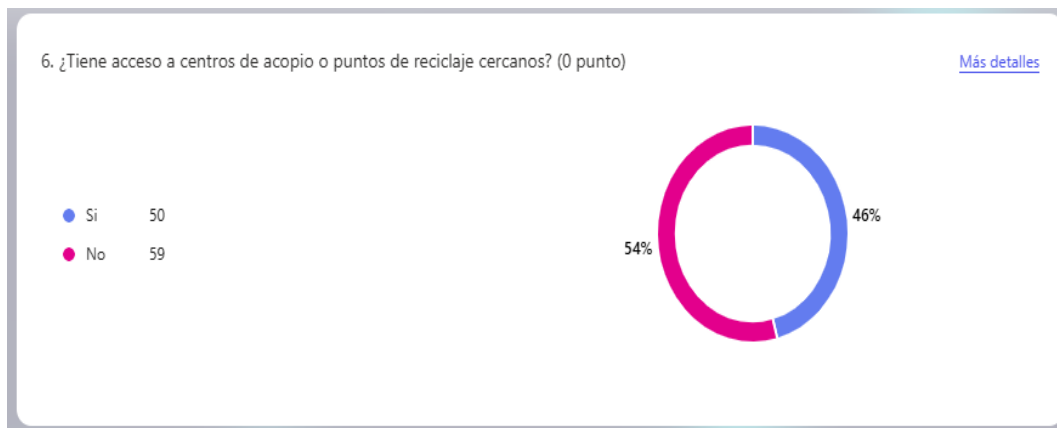
*Ilustración 4 Pregunta 5, Encuesta - Fuente: Propia*



Un 28% de los recicladores utilizan bicicletas para sus actividades de recolección, mientras que otro 28% no emplea ningún medio de transporte específico, optando probablemente por métodos manuales o a pie.

- Pregunta 6 (¿Tiene acceso a centros de acopio o puntos de reciclaje cercanos?)

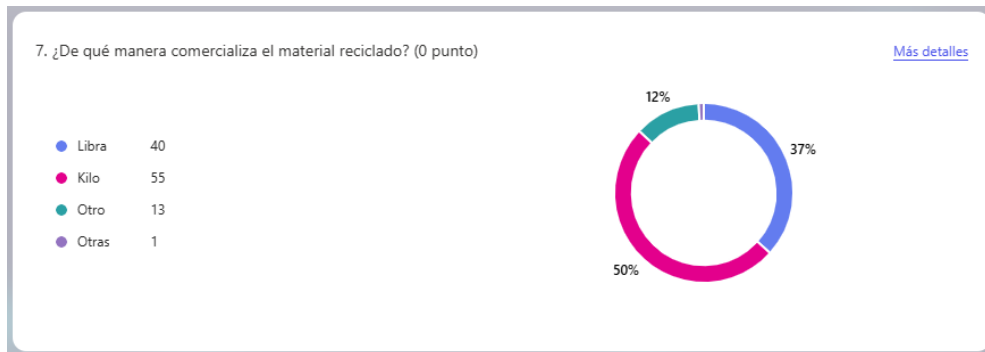
*Ilustración 5 Pregunta 6, Encuesta - Fuente: Propia*



Se observa que un 54% de los recicladores locales indicaron que no cuentan con centros de acopio cercanos, esta falta de acceso a instalaciones adecuadas para el almacenamiento y clasificación de materiales reciclables representa un desafío significativo para su labor diaria.

- Pregunta 7 (¿De qué manera comercializa el material reciclado?)

*Ilustración 6 Pregunta 7, Encuesta - Fuente: Propia*



Observamos que la comercialización del material reciclado es por kilo opción que obtuvo el 50% de las respuestas. Este resultado indica que la mitad de los recicladores locales prefieren vender su material según el peso, lo cual sugiere una tendencia clara hacia la comercialización basada en la cantidad física del material reciclado.

- Pregunta 8 (¿Cuánto les pagan por libra, kilo u otra unidad de medida?)

En esta pregunta se les solicitó a los recicladores que indicaran abiertamente la cantidad que reciben por el material recolectado, ya que el objetivo era obtener información detallada sobre los precios de compra que manejan los compradores de reciclaje en Duitama.

### ***Resultados De La Validación***

Se destacó el sistema logístico propuesto y la integración de tecnologías avanzadas como las RVM que son adecuadas para las necesidades locales. Se tienen presentes las recomendaciones para mejorar la ergonomía y la seguridad industrial, como la capacitación periódica en el uso de equipos.

En general se ajustaron algunas áreas operativas para garantizar mayor seguridad en el trabajo con estaciones ergonómicas y señalización mejorada. También se incorporación de indicadores clave de desempeño (KPI) para monitorear la eficiencia del proceso logístico y la

calidad de los materiales reciclados.

### **Impacto Técnico Y Práctico**

La contribución en el desarrollo de la infraestructura para el reciclaje en Duitama reduciendo un 25% en los residuos de plásticos aumentando su vida útil.

Este modelo de proyecto se puede replicar en otros municipios con problemáticas similares fomentando una cultura de reciclaje.

### **Análisis Crítico**

Resaltando las limitaciones se destaca la dependencia de financiamiento externo para la adquisición de equipos de construcción de la planta debido a la disponibilidad de equipos avanzados de clasificación y procesamiento.

En las áreas de mejora contamos con el desarrollo de alianzas estratégicas para asegurar la financiación del proyecto evaluando tecnologías emergentes que puedan reducir los costos operativos.

## **Diseño De La Planta De Procesamiento Y Plataforma E-Comerce**

### **Diseño De La Planta Procesamiento**

El prototipo de la planta de procesamiento representa una simulación a escala del diseño final permitiendo evaluar y optimizar la distribución de los espacios, el flujo de materiales y la operatividad general antes de la construcción definitiva. En este prototipo se integran las áreas claves como la recepción, clasificación, limpieza y trituración de materiales reciclables, utilizando tecnología avanzada que asegura la eficiencia del proceso.

La simulación incorpora maquinaria especializada, como trituradoras, clasificadoras y bandas transportadoras permitiendo analizar la disposición óptima para maximizar la productividad.

*Ilustración 7 Diseño General De La Planta - Fuente: Propia (AutoCAD 3D)*

## PLANTA TRITURADORA

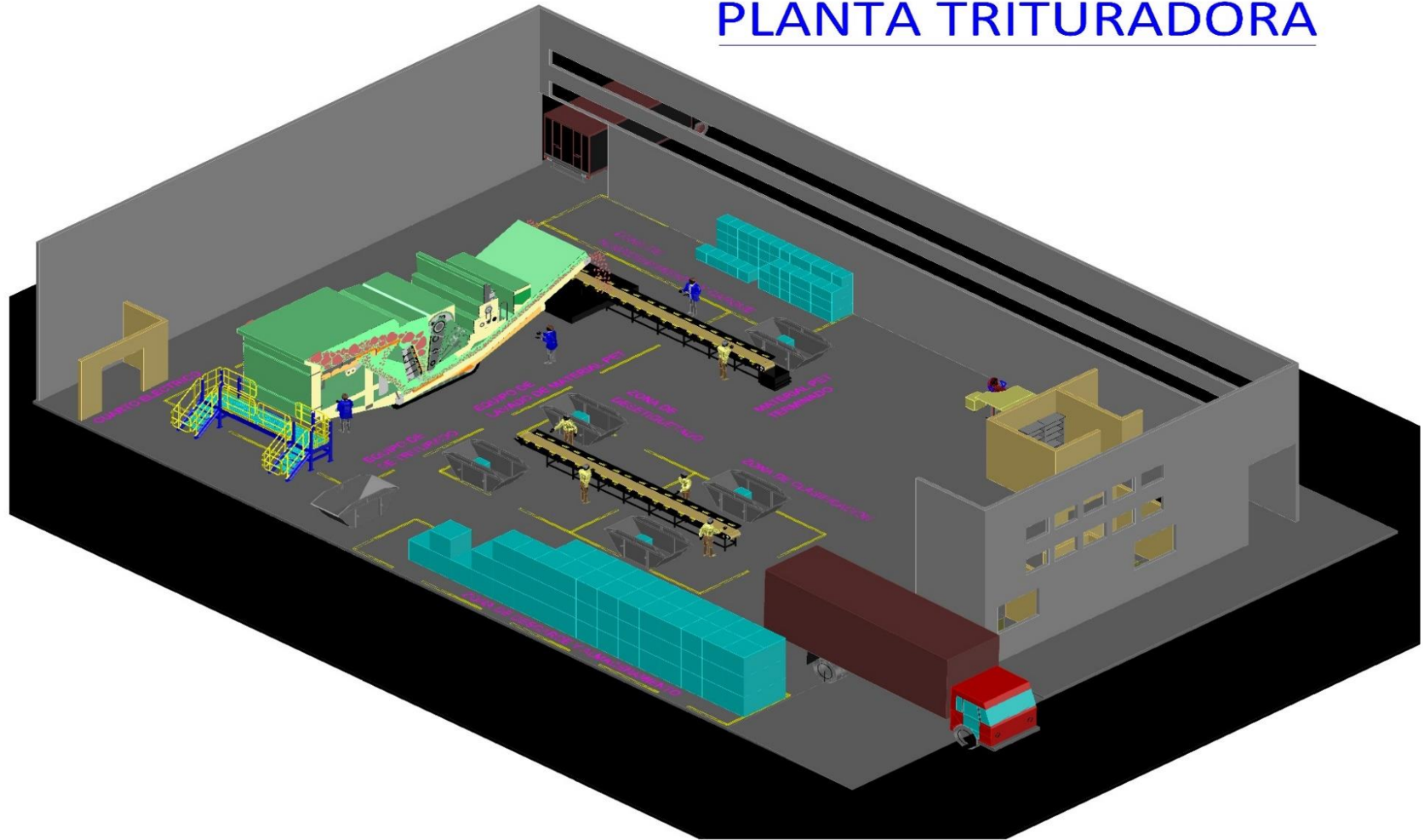
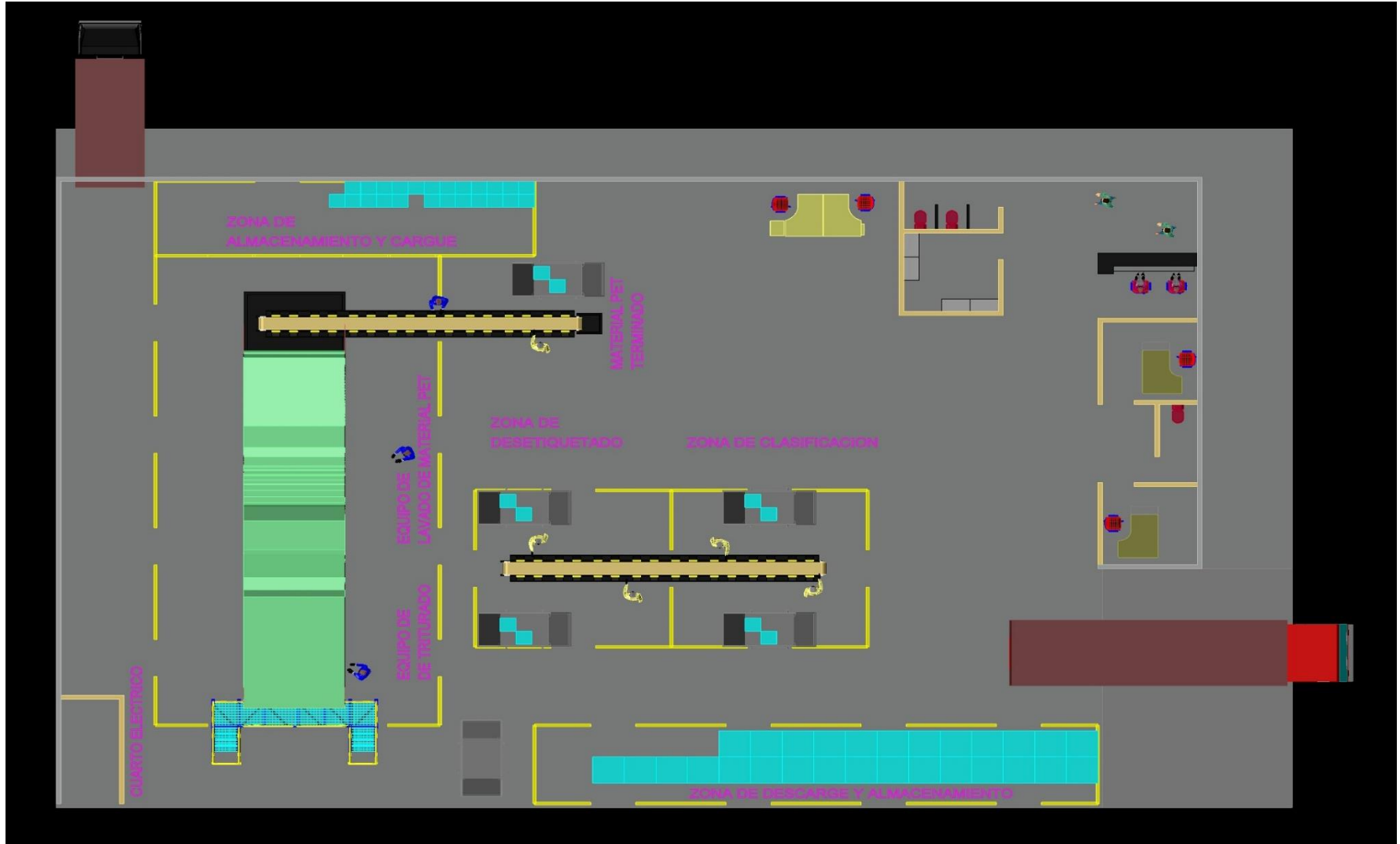
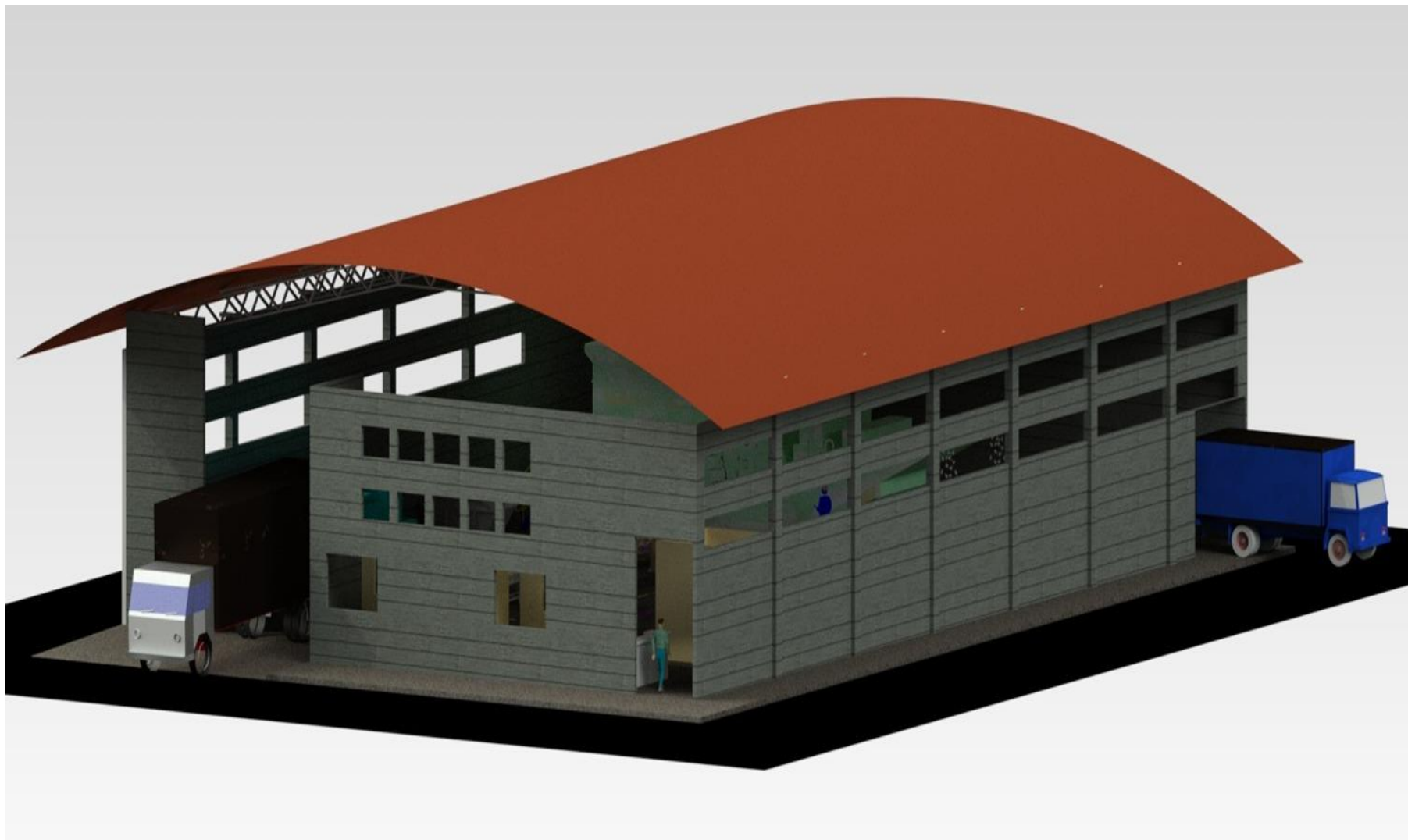


Ilustración 8 Distribución De La Planta - Fuente: Propia (AutoCAD 3D)



*Ilustración 9 Vista Exterior De La Planta - Fuente: Propia (AutoCAD 3D)*



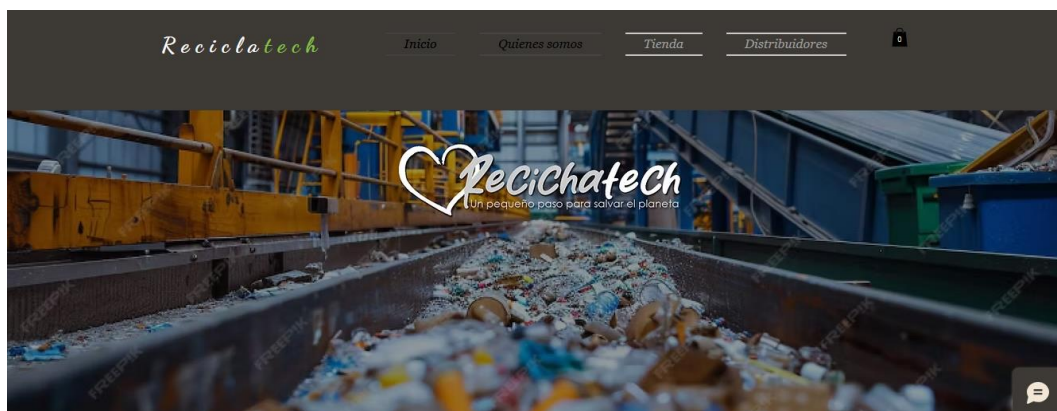
## Diseño De La Plataforma E-commerce

El prototipo de la plataforma es una versión inicial funcional que permite evaluar la estructura y características principales del sitio web incluyendo una interfaz de usuario intuitiva, diseñada para facilitar la compra de productos reciclados con un enfoque en la simplicidad y la accesibilidad tanto para clientes individuales como para empresas.

También permite realizar pruebas en la interacción con los usuarios, la efectividad de la navegación garantizando que la versión final cumpla con las expectativas del mercado.

URL: <https://digitalreciclatech.wixsite.com/reciclatech>

*Ilustración 10 Diseño De La Página Web - Fuente: Propia*



*Ilustración 11 Vista Previa - Fuente: Propia*



## Análisis De Costos

Se elabora un análisis detallado de los costos asociados al diseño y la implementación del proyecto incluyendo la adquisición de maquinaria especializada, la construcción de la infraestructura necesaria, la instalación de tecnología avanzada para la clasificación y el procesamiento de materiales, así como los costos operativos involucrados en la operación de la planta y la plataforma de comercio electrónico.

*Tabla 1 Análisis De Costos - Fuente: propia*

| <b>Categoría</b>                  | <b>Descripción</b>                        | <b>Unidades</b> | <b>Valor Unitario</b> | <b>Valor 2024</b>     |
|-----------------------------------|---|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Instalación y Equipamiento</b> |   |                 |                       |                       |
| Maquinaria de Trituración         | Trituradora                               | 2               | \$ 50,000,000         | \$ 100.000.000        |
| Maquina Compactadora              | compactadora                              | 2               | \$ 40,000,000         | \$ 80.000.000         |
| Maquina Clasificadora             | Clasificadora                             | 2               | \$ 40,000,000         | \$ 80.000.000         |
| Lavadora Industrial               | Elimina contaminantes                     | 1               | \$ 150,000,000        | \$ 150.000.000        |
| Banda Transportadora              | Transporta triturados entre máquinas      | 3               | \$ 15,000,000         | \$ 45.000.000         |
| Ventiladores Para Secado          | Diseñados para reducir la humedad         | 2               | \$ 20,000,000         | \$ 40.000.000         |
| RVM (1)                           | Reverse Vending Machines                  | 1               | \$ 20,000,000         | \$ 20.000.000         |
| Infraestructura                   | Construcción de planta y áreas operativas |                 | \$ 300,000,000        | \$ 300.000.000        |
| Licencias y Permisos              | Licencias ambientales y de operación      | Único           | \$ 20,000,000         | \$ 20.000.000         |
| <b>Total, de Costos</b>           |   |                 |                       | <b>\$ 835.000.000</b> |

El costo total del proyecto asciende a **\$835.000.000**, lo que incluye todos los elementos necesarios para la instalación y operación inicial de la planta de procesamiento de materiales reciclables.

Los costos resaltan que la mayor inversión está dirigida hacia la infraestructura y la adquisición de maquinaria crítica para el procesamiento garantizando una operación eficiente y de alta calidad, la planificación financiera cuidadosa y la estimación de estos costos son esenciales para asegurar la viabilidad económica del proyecto a largo plazo, así como su capacidad de generar un impacto positivo en la gestión de residuos en la región.

## **Conclusiones**

El diseño de una planta trituradora de materiales plásticos en Duitama es el punto de partida para una solución sostenible en el manejo de los residuos plásticos lo cual contribuye a la reducción del impacto y la contaminación ambiental que estos generan en el municipio, contribuyendo y fomentando la economía circular.

El desarrollo de la plataforma de comercio electrónico, para la comercialización de la materia prima procesada busca posicionar el proyecto a nivel departamental y nacional, ya que a través de esta vamos a permitir la conexión con clientes potenciales y maximizar el valor del producto final.

Mediante la integración de los recicladores informales al proceso productivo se pretende fortalecer su papel en la gestión de residuos reciclables, mejorar sus condiciones laborales y económicas, y fomentar su formalización, promoviendo así un impacto social y económico positivo.

## Bibliografía

Alcaldía de Duitama-Boyacá. (2016, 28 de diciembre). *PGIRS-Duitama*. Duitama, Boyacá, Colombia.

Andi. (2020). *Informe de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia sobre la gestión de residuos*.

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2020). *La economía circular y la jerarquía de residuos: un modelo de gestión para la sostenibilidad*. AEMA.

Calvin Lakhan. (2015). *Al norte del paralelo 46°: obstáculos y desafíos para el reciclaje en las comunidades rurales y del norte de Ontario*. ScienceDirect.

Colombia. Congreso de la República. (1993). *Ley 99 de 1993*.

Colombia. Congreso de la República. (1994). *Ley 142 de 1994*.

Colombia. Congreso de la República. (2008). *Ley 1252 de 2008*.

Colombia. Congreso de la República. (2013). *Ley 1672 de 2013*.

Colombia. Congreso de la República. (2016). *Ley 1774 de 2016*.

Colombia. Congreso de la República. (2019). *Ley 1972 de 2019*.

Estrategia Nacional de Economía Circular. (2022, marzo 25).

Foro Económico Mundial. (2016). *La nueva economía del plástico: repensar el futuro de los plásticos*.

Fundación Ellen MacArthur. (2015). *Hacia una economía circular: fundamentos económicos y empresariales para una transición acelerada*. Fundación Ellen MacArthur.

Gobernación de Boyacá. (2021, 17 de mayo). *Administración Departamental hace un llamado a los boyacenses sobre la importancia de reciclar*. Gobernación de Boyacá.

Ley 1252 de 2008. *Por la cual se establece el manejo integral de los residuos sólidos*.

Ley 1774 de 2016. *Por la cual se dictan disposiciones en materia de protección al medio ambiente*.

López, F. (2020). *Implementación de tecnologías avanzadas para la gestión de residuos plásticos*.

María Margallo, K., Ziegler-Rodríguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., & Kahhat, R. (2019, 1 de noviembre). *Mejorar las estrategias de gestión de residuos en América Latina desde una perspectiva de evaluación ambiental holística: una revisión para el apoyo de políticas*. ScienceDirect.

Martins, J. (2024, 16 de agosto). *Qué es un KPI, para qué sirve y cómo utilizarlo en tu proyecto [2024]*. Asana.

MinAmbiente. (2022). *Informe anual de gestión de residuos sólidos en Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Ley 142 de 1994*.

Mosquera, G. V. (2019). *Ref. Remisión De Formulación del Programa de Prestación De Servicio Público De Aseo de la empresa SERVIGENERALES CIUDAD DE DUITAMA S.A E.S.P.*

*SERVIASEO DUITAMA S.A E.S.P., en cumplimiento a lo dispuesto en la resolución 0288 de 27 de abril de 2015 (U. Co, Ed.).*

Organización Internacional del Trabajo. (2020). *Seguridad y salud en el trabajo: una visión para la prevención sostenible*. OIT.

RTS - Sistemas de Carriles de Reciclaje. (2023, 22 de diciembre). *Máquinas expendedoras inversas - ¿Qué son y cómo funcionan?* RTS. Sistemas de Carriles de Reciclaje.

Telefónicas, T. (2024, 25 de agosto). *Cuántos habitantes tiene Duitama, Boyacá en 2024*. Telencuestas.

Recytrans. (2017, 19 mayo). *Funcionamiento de una planta de clasificación de residuos*. Gestión de Residuos - Soluciones Globales Para el Reciclaje.

United Nations Environment Programme. (s. f.). *Cómo reducir el impacto de los plásticos de un solo uso*. UNEP.

Uribe, I. (2024, 27 marzo). *Eficiencia energética en la Industria: Optimiza tus recursos*. Secmotic.

Merinas, A. (2023, 5 octubre). *Ergonomía laboral según la norma ISO 45001 - Nueva ISO 45001*. Nueva ISO 45001.

Gil, S. A. (2023, 7 noviembre). *¿Qué es la arquitectura sostenible y cómo impacta en el diseño de un futuro mejor?* Alcaldía de Medellín.

Systems, N. (2023, 16 febrero). *Como diseñar y distribuir el espacio del almacén de una planta*. Noega Systems.

Team, T. (2024, 1 agosto). *Industrial Plastic Shredders for Recycling: A Key to Efficient Plastic Waste Management*. Torontech.

Tereftalato de polietileno: *¿Qué es?, Usos y Propiedades*. (s. f.-b).