



**Integración Del Ciclo De Vida En La Gestión De Residuos Plásticos Usados Como  
Modelo De Una Economía Circular En Una Empresa Ubicada En El Municipio Galapa,  
Atlántico.**

**ALEX JUNIOR BOLAÑO BRUGES  
JUDITH EDEYLIS CONRADO TIRIA**

**Corporación Universitaria Reformada**

**Facultad de Ingeniería Ambiental**

**Barranquilla-Atlántico**

**2025**

**Integración Del Ciclo De Vida En La Gestión De Residuos Plásticos Usados Como  
Modelo De Una Economía Circular En Una Empresa Ubicada En El Municipio Galapa,  
Atlántico.**

**ALEX JUNIOR BOLAÑO BRUGES  
JUDITH EDEYLIS CONRADO TIRIA**

Investigación presentada como requisito para optar por el título de **Ingeniero Ambiental**

**Tutor:**

**ASLETH ORTEGA**

**Cotutora:**

**MARTHA MENDOZA H.**

**Corporación Universitaria Reformada**

**Departamento de Ingeniería**

**Barranquilla – Atlántico**

**2025**

---

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Contenido  | 3  |
| 1. Introducción  | 8  |
| 2. Planteamiento del Problema  | 10 |
| 2.1. Pregunta de investigación   | 11 |
| 3. Justificación   | 12 |
| 4. Objetivos   | 14 |
| 4.1. Objetivo General  | 14 |
| 4.2. Objetivos Específicos   | 14 |
| 5. Marco referencial   | 15 |
| 5.1. Marco Teórico   | 15 |
| 5.1.1. Residuos Plásticos: Definición y Conceptualización              | 15 |
| 5.1.2. Clasificación y Tipos de Plásticos                              | 17 |
| 5.1.3. Problemática Ambiental de los Residuos Plásticos                | 19 |
| 5.1.4. Tipos de Residuos Plásticos según Origen                        | 20 |
| 5.1.5. Análisis de Ciclo de Vida (ACV): Definición y Conceptualización | 21 |
| 5.1.6. Economía Circular: Definición y Conceptos Fundamentales         | 24 |
| 5.1.7. Modelos de Negocio Circulares                                   | 25 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.1.8. | Integración del ACV en Modelos de Economía Circular para Residuos Plásticos           |    |
|        | 26  |    |
| 5.2.   | Marco Legal   | 28 |
| 5.3.   | Estado del Arte   | 30 |
| 6.     | Metodología   | 33 |
| 6.1.   | Diseño de Investigación   | 33 |
| 6.2.   | Tipo de Investigación   | 34 |
| 6.3.   | Área de Estudio   | 34 |
| 6.4.   | Fases metodológicas   | 35 |
| 7.     | Resultados y Discusión  | 38 |
| 7.1.   | Fase 1 – Identificación de las etapas del ciclo de vida y caracterización del proceso | 39 |
| 7.2.   | Fase 2 – Inventario del ciclo de vida e identificación de “hotspots” ambientales      | 42 |
| 7.3.   | Fase 3 – Síntesis de resultados y lineamientos de mejora hacia la economía circular   |    |
|        | 47  |    |
| 8.     | Conclusiones  | 51 |
| 9.     | Recomendaciones   | 53 |
| 10.    | Bibliografía  | 55 |

## **Listado de Tablas**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Marco Legal Colombiano .....  | 28 |
| <b>Tabla 2.</b> Condiciones generales de la jornada observada. ....                                       | 39 |
| <b>Tabla 3.</b> Etapas del proceso y su función dentro del ciclo de vida .....                            | 41 |
| <b>Tabla 4.</b> Resumen de flujos por etapa del proceso (octubre 2025).....                               | 42 |
| <b>Tabla 5.</b> Resumen de flujos por etapa del proceso (octubre 2025).....                               | 45 |
| <b>Tabla 6.</b> Distribución del consumo de agua por proceso.....   | 46 |
| <b>Tabla 7.</b> Rendimiento productivo y rechazos. ....   | 46 |
| <b>Tabla 8.</b> Oportunidades de mejora para la implementación de un modelo de economía circular<br>..... | 48 |

## **Listado de Ilustraciones**

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Estrategias de economía circular ..... | 25 |
| <b>Ilustración 2.</b> Fases metodológicas .....              | 35 |
| <b>Ilustración 3.</b> Diagrama de flujo de la empresa. ....  | 40 |

## Resumen

El presente estudio tiene como propósito analizar la integración del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la gestión de residuos plásticos como herramienta para fortalecer la implementación de un modelo de economía circular en la empresa aprovechamiento de plástico, ubicada en el municipio de Galapa, Atlántico. La investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo, analítico y aplicado, estructurado en tres fases: identificación de las etapas del ciclo de vida, evaluación de impactos ambientales asociados al proceso productivo y formulación de lineamientos de mejora orientados a la circularidad. El levantamiento de información incluyó observación directa, revisión operativa y entrevistas semiestructuradas, recopilando datos sobre flujos de materia, energía, agua, transporte y generación de residuos.

Los resultados evidencian la existencia de procesos operativos eficientes, con un rendimiento global del 95 % y una baja tasa de rechazo (5 %). Sin embargo, se identificaron puntos críticos en el consumo de recursos, especialmente en el lavado (responsable del 95 % del consumo hídrico mensual) y en las etapas térmicas de aglutinado, peletizado y extrusión, que en conjunto representan más del 90 % del consumo energético. Asimismo, se constató la ausencia de sistemas de recirculación de agua, submedición energética y estrategias de valorización para los residuos no aprovechables.

A partir de estos hallazgos, se proponen lineamientos orientados a la mejora de la eficiencia hídrica y energética, la reducción de residuos enviados a disposición final y la implementación progresiva de prácticas de economía circular. El estudio demuestra que la integración del ACV es viable, útil y necesaria para optimizar la gestión ambiental en empresas recicladoras de plástico del Atlántico colombiano.

**Palabras Claves:** Análisis de ciclo de vida, residuos plásticos, economía circular, reciclaje, sostenibilidad, gestión ambiental, Galapa.

## Abstract

This study aims to analyze the integration of Life Cycle Assessment (LCA) into the management of plastic waste as a tool to strengthen the implementation of a circular economy model in the company Plástico Jiménez, located in the municipality of Galapa, Atlántico. The research follows a descriptive, analytical, and applied approach structured into three phases: identification of life cycle stages, evaluation of the environmental impacts associated with the production process, and development of improvement guidelines oriented toward circularity. Data collection included direct observation, operational review, and semi-structured interviews, compiling information on material, energy, water, transportation, and waste-generation flows.

Results show that the company exhibits efficient operational performance, with an overall yield of 95% and a low rejection rate of 5%. However, critical resource-intensive stages were identified, particularly the washing process, which accounts for 95% of monthly water consumption, and the thermal processes of agglutination, pelletizing, and extrusion, which together represent more than 90% of the plant's energy use. Furthermore, the absence of water recirculation systems, energy submetering, and valorization strategies for non-recyclable waste was evidenced.

Based on these findings, improvement guidelines are proposed to enhance water and energy efficiency, reduce waste sent to final disposal, and support the progressive implementation of circular economy practices. The study demonstrates that integrating LCA into operational decision-making is feasible, beneficial, and necessary to optimize environmental performance in plastic recycling companies within the Atlántico region of Colombia.

**Key Words:** Life cycle assessment, plastic waste, circular economy, recycling, sustainability; environmental management, Galapa.

## 1. Introducción

En la actualidad, la contaminación por plásticos constituye uno de los desafíos ambientales más críticos a nivel mundial debido al aumento acelerado de su producción, consumo y disposición inadecuada. Diversos estudios señalan que el uso masivo de productos plásticos de un solo uso ha sobrepasado la capacidad de gestión de residuos de la mayoría de los países, generando acumulación en ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos (Geographic., 2025).

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la producción anual de residuos plásticos se ha duplicado en las últimas dos décadas, pasando de 180 millones a más de 350 millones de toneladas, tendencia que continúa en crecimiento (OCDE, 2022). A esta problemática se suma la lenta descomposición del material y las bajas tasas de reciclaje: apenas el 9% del plástico producido mundialmente es reciclado, lo que intensifica sus impactos negativos sobre la biodiversidad, la fauna, los recursos naturales y la salud humana (Statista, 2024).

Esta situación se agrava debido a factores interrelacionados como el crecimiento demográfico, la falta de educación ambiental, las limitadas prácticas de consumo responsable y la escasa participación comunitaria en programas de gestión de residuos. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) reporta que, solo en 2019, la cadena productiva del plástico generó 1.800 millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero, equivalentes al 3,4% de las emisiones globales (UNEP, 2023). Estos niveles de contaminación repercuten directamente en la calidad del aire, los cuerpos de agua, la salud pública y la integridad de los ecosistemas, evidenciándose en la acumulación de residuos, afectación de áreas urbanas y rurales, proliferación de vectores y generación de malos olores.

Ante este panorama, la economía circular se presenta como un modelo estratégico para mitigar los impactos ambientales asociados al plástico, al promover la reducción, reutilización y reciclaje de materiales dentro de ciclos productivos cerrados. Complementariamente, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) regulado por las normas ISO 14040 y 14044 se consolida como una herramienta esencial para evaluar los impactos ambientales de un producto o servicio desde la extracción de materias primas hasta la gestión de sus residuos, proporcionando información clave para la toma de decisiones sostenibles (Commission, 2021). En el sector plástico, su aplicación permite identificar puntos críticos del proceso, optimizar flujos, mejorar la eficiencia energética y aumentar la competitividad empresarial mediante estrategias basadas en datos (Europe, 2023).

En este contexto, el presente proyecto de investigación se enfoca en la integración del Análisis de Ciclo de Vida en la gestión de residuos plásticos dentro de una empresa ubicada en el municipio de Galapa, Atlántico. Su propósito es analizar los impactos derivados del manejo actual de los residuos plásticos y proponer estrategias que permitan reducir su generación, aumentar su valorización y promover prácticas alineadas con los principios de la economía circular, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo económico de la región.

## 2. Planteamiento del Problema

La problemática asociada a los residuos plásticos se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más urgentes a nivel global, nacional y local. A escala mundial, se estima que cada año aproximadamente 8 millones de toneladas de residuos plásticos ingresan a los océanos, cifra que podría incrementarse significativamente si las tendencias actuales de producción y consumo continúan sin cambios estructurales. Proyecciones internacionales señalan que, de mantenerse este comportamiento, la cantidad acumulada de plásticos en el océano podría alcanzar hasta 32 millones de toneladas para 2050, generando consecuencias ambientales irreversibles sobre los ecosistemas marinos, la biodiversidad y la salud humana (UNEP, 2021).

En el contexto nacional, Colombia enfrenta importantes deficiencias en la gestión de residuos sólidos. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el país se generan cerca de 25.000 toneladas de residuos sólidos al día, de las cuales únicamente alrededor del 13% se recupera e incorpora nuevamente al ciclo productivo, mientras que un 7% es recuperado y comercializado por recicladores de oficio (MADS, 2021). Estas cifras evidencian la baja eficiencia del sistema nacional de reciclaje y las brechas existentes para avanzar hacia un modelo de economía circular efectivo.

El departamento del Atlántico y, en particular, el municipio de Galapa, reflejan esta situación de manera clara. La gestión de residuos sólidos en el municipio presenta limitaciones estructurales relacionadas con la recolección, separación en la fuente, aprovechamiento y disposición final. La ausencia de un sistema eficiente de manejo de residuos, sumada al inadecuado comportamiento ciudadano frente a la separación, disposición y entrega de materiales aprovechables, ha generado impactos ambientales que se hacen evidentes en espacios públicos, zonas periurbanas y vías de acceso. A ello se suma la falta de apropiación social y conciencia ambiental por parte de la población, situación que contribuye al incremento de residuos vertidos

en lugares no autorizados y al deterioro ambiental del territorio (CRA, 2024). Dentro de este contexto, la empresa ubicada en Galapa que trabaja con materiales plásticos enfrenta múltiples desafíos que dificultan su transición hacia modelos de economía circular.

Actualmente la empresa carece de una comprensión sistémica de los impactos ambientales generados en cada etapa del manejo de los residuos plásticos. La ausencia de análisis de ciclo de vida impide identificar puntos críticos de intervención, cuantificar impactos y diseñar procesos más eficientes.

La empresa presenta debilidades en la implementación de herramientas estandarizadas y metodologías estructuradas que permitan cuantificar impactos ambientales, consumo energético, emisiones y generación de residuos. Esta carencia limita la toma de decisiones informadas, dificulta el establecimiento de indicadores ambientales y restringe la adopción de prácticas sostenibles.

En la empresa de transformación de residuos plásticos usados no existen lineamientos que limita la eficacia de las iniciativas de aprovechamiento, dificulta la estandarización de procesos, y afecta la capacidad de las empresas para cumplir objetivos de sostenibilidad ambiental y económica.

## **2.1.Pregunta de investigación**

Ante esta problemática surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo la integración del análisis de ciclo de vida en la gestión de residuos plásticos puede contribuir al desarrollo de un modelo de economía circular efectivo en una empresa ubicada en el municipio de Galapa, Atlántico?

### **3. Justificación**

La presente investigación se justifica debido a la convergencia de diversos factores ambientales, sociales, económicos y regulatorios que exigen una acción inmediata y articulada para enfrentar la problemática de los residuos plásticos. A nivel global, la evidencia científica señala que más de 690 especies marinas se han visto afectadas por la contaminación por plásticos, situación que refleja la gravedad del impacto de estos materiales sobre la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos (UNEP, 2017).

Esta problemática mundial se replica en el contexto nacional y local, particularmente en el municipio de Galapa, donde la gestión ineficiente de los residuos sólidos genera afectaciones que se manifiestan en la contaminación de espacios públicos, el deterioro paisajístico, la proliferación de vectores y el incremento de riesgos sanitarios (CNRC, 2021). Estas dinámicas impactan directamente la calidad de vida de la población y la integridad de los ecosistemas del Caribe colombiano.

La pertinencia de este estudio se amplía al considerar los compromisos adquiridos por Colombia en materia ambiental y de economía circular. El país ha establecido metas ambiciosas, como lograr que para 2030 el 100% de los plásticos de un solo uso que circulan en el mercado sean reutilizables, reciclables o compostables, de acuerdo con las directrices nacionales de sostenibilidad y economía circular (MADS, 2019).

Sin embargo, existe una brecha significativa entre estas disposiciones y su implementación efectiva, especialmente en municipios intermedios como Galapa, donde las capacidades técnicas, financieras y operativas son limitadas. Esta desconexión evidencia la necesidad de investigaciones aplicadas que contribuyan a operacionalizar los lineamientos normativos dentro del sector empresarial (Galapa, 2021).

Desde la perspectiva empresarial, la investigación se justifica por la ausencia de metodologías estructuradas que permitan evaluar, cuantificar y comprender los impactos ambientales asociados al manejo de residuos plásticos. La inexistencia de herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) dentro de la gestión interna de las empresas limita su capacidad para identificar puntos críticos de intervención, optimizar procesos, reducir emisiones y mejorar la eficiencia en el uso de recursos, tal como recomiendan las normas internacionales ISO 14040 y ISO 14044.

Asimismo, la falta de lineamientos claros para la implementación de modelos de economía circular dificulta la transición desde prácticas lineales de “extraer–producir–desechar” hacia esquemas productivos sostenibles basados en la reutilización, valorización y cierre de ciclos materiales.

En este escenario, el ACV se configura como una herramienta clave para el diseño de estrategias empresariales integrales que contribuyan simultáneamente a la sostenibilidad ambiental, la competitividad económica y el bienestar social.

Desde el punto de vista académico, el estudio aporta al cierre significativo en la literatura relacionada con la aplicación del ACV y la economía circular en contextos empresariales del Caribe colombiano, región donde estos enfoques han sido poco explorados. Los resultados generados ofrecerán herramientas analíticas y operativas replicables en empresas de otros municipios con características similares, fortaleciendo la toma de decisiones, la planificación ambiental y la implementación de modelos productivos sostenibles a nivel regional.

## **4. Objetivos**

### **4.1.Objetivo General**

Analizar la Integración del ciclo de vida en la gestión de residuos plásticos usados como modelo de una economía circular en una empresa ubicada en el municipio Galapa, Atlántico.

### **4.2.Objetivos Específicos**

- Identificar las etapas del ciclo de vida aplicables a los procesos de gestión de residuos plásticos en la empresa.
- Evaluar los impactos ambientales asociados a la gestión de residuos plásticos mediante la metodología de análisis de ciclo de vida.
- Proponer lineamientos de mejora para fortalecer la implementación de un modelo de economía circular en la empresa de residuos plásticos en Galapa

## **5. Marco referencial**

### **5.1. Marco Teórico**

El presente Marco Teórico tiene como propósito fundamentar conceptualmente los principales ejes que sustentan esta investigación, proporcionando los elementos teóricos, científicos y normativos necesarios para comprender la problemática de los residuos plásticos y la importancia de integrar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la gestión empresarial. A través de una revisión de literatura actualizada, se abordan las características del plástico como material, su comportamiento ambiental, los modelos de gestión de residuos aplicables en distintos contextos y las implicaciones socioambientales asociadas a su manejo inadecuado.

Este marco teórico permite integrar las perspectivas ambiental, empresarial y normativa, sirviendo como soporte para el análisis profundo de la gestión de residuos plásticos en la empresa ubicada en Galapa, Atlántico, y orientando la construcción de estrategias viables para la transición hacia un modelo productivo más sostenible y alineado con los principios de la economía circular.

#### **5.1.1. Residuos Plásticos: Definición y Conceptualización**

Los residuos plásticos se definen como elementos fabricados a partir de material plástico que son descartados por su poseedor al no encontrarle valor o utilidad (Caleau Zavattieri, 2021). Esta conceptualización abarca tanto los productos plásticos que han cumplido su función original como aquellos materiales que, por diversas razones, son considerados como desechos por parte de los usuarios finales o los procesos industriales.

La problemática de los residuos plásticos ha adquirido dimensiones críticas a nivel global. Cada minuto, el equivalente a un camión de basura de plástico se vierte en nuestro océano, y aproximadamente 7.000 millones de los 9.200 millones de toneladas de plástico producidas entre

1950 y 2017 se convirtieron en residuos plásticos, que acabaron en los vertederos o fueron arrojados (UNEP, 2024). Esta magnitud evidencia la urgencia de implementar estrategias efectivas para la gestión de estos materiales. Según datos recientes, la producción mundial de plásticos alcanzó 407 millones de toneladas en 2015, con un consumo de 322 millones de toneladas (Roland Geyer, 2017), cifras que han continuado en aumento exponencial durante la última década.

Una de las características más distintivas de los residuos plásticos es su persistencia ambiental. A diferencia de otros materiales orgánicos, el plástico no se biodegrada y puede tardar entre 500 y 1000 años en descomponerse completamente (Alhazmi, 2021). La duración prolongada de los residuos plásticos en el ambiente genera impactos acumulativos que trascienden las escalas temporales tradicionales de gestión de residuos, afectando no solo a la generación actual sino comprometiendo seriamente la calidad ambiental para las generaciones futuras (Alhazmi, 2021).

En Estados Unidos, aproximadamente tres cuartas partes de los plásticos (27 millones de toneladas en 2018) terminan en vertederos (EPA, 2020). Esta situación se replica en diversos países alrededor del mundo, evidenciando la magnitud global del problema y la necesidad de implementar estrategias de gestión más efectivas y sostenibles. El tiempo de descomposición depende del tipo específico de plástico y las condiciones ambientales a las que esté expuesto (Caleau Zavattieri, 2021). lo que complejiza aún más las estrategias de gestión y requiere enfoques diferenciados según el tipo de material y el contexto geográfico y climático específico.

### 5.1.2. Clasificación y Tipos de Plásticos

Los plásticos se clasifican mediante un sistema de codificación numérica del 1 al 7, ubicado en el interior del símbolo de reciclaje, que facilita su identificación y gestión diferenciada. Este sistema de clasificación fue desarrollado por la Society of the Plastics Industry (SPI) en 1988 y se ha convertido en un estándar internacional para la identificación de resinas plásticas. El 1 se corresponde con el PET (o PETE); el 2, con el HDPE; el 3 con el PVC; el 4 con el LDPE, el 5 con el polipropileno (PP), el 6 con el poliestireno (PS) y el 7 con mezclas de otros plásticos (SPG, 2022).

Código 1 - PET (Polietileno Tereftalato): Este tipo de plástico es ampliamente reciclado y usado en botellas de bebidas y contenedores de alimentos (Gestores de Residuos Madrid, 2024). El PET presenta altas tasas de reciclabilidad debido a su composición homogénea y es uno de los materiales más valorados en los sistemas de economía circular. Sus propiedades incluyen claridad óptica, resistencia a la barrera de gases, y ligereza, lo que lo hace ideal para aplicaciones de envasado. Los procesos de reciclaje de PET son relativamente eficientes y económicamente viables, permitiendo múltiples ciclos de reciclaje aunque con cierta degradación de propiedades en cada ciclo (Tom Chilton, 2010).

Código 2 - HDPE (Polietileno de Alta Densidad): Habitualmente es más resistente que el PET, pero también más contaminante debido a que contiene antimonio en su composición, aunque es igualmente de fácil reciclaje. Con él se elaboran productos como juguetes, detergentes, ciertos tipos de cosméticos o tuberías (Repecto, 2020).

Es comúnmente reciclado y utilizado en botellas de leche, recipientes de productos de limpieza, y tuberías. El HDPE se caracteriza por su alta relación resistencia-densidad, haciéndolo ideal para aplicaciones que requieren durabilidad y resistencia al impacto (Madrid, 2024).

Código 3 - PVC (Policloruro de Vinilo): Contiene una sustancia tóxica llamada nonilfenol, lo que no evita que se utilice en una amplia gama de productos, que van desde los marcos de las puertas a las tarjetas de crédito o diversos materiales de construcción. Es uno de los plásticos más problemáticos desde el punto de vista ambiental (Repecto, 2020)

La combustión del PVC libera sustancias halogenadas peligrosas y CO<sub>2</sub>, contaminando el aire y contribuyendo al calentamiento global (Rinku Verma, 2016). Su reciclaje presenta desafíos significativos debido a la presencia de aditivos y plastificantes que dificultan los procesos de recuperación.

Código 4 - LDPE (Polietileno de Baja Densidad): Tiene una alta resistencia, tanto a los impactos como a los químicos al igual que el HDPE. Es bastante flexible y su transparencia depende del espesor. Es el material con el que se hace el papel film, el plástico de burbujas o las bolsas de la compra. Su alta flexibilidad y claridad lo hacen ideal para aplicaciones de embalaje y protección de productos. El LDPE también se utiliza en recubrimientos para cartones de alimentos, vasos desechables, y una amplia variedad de contenedores flexibles (Rinku Verma, 2016).

Código 5 - PP (Polipropileno): Junto con el PET y HDPE, es uno de los tipos con una reciclabilidad más alta (DKV Seguros, 2025). El polipropileno presenta excelentes propiedades mecánicas y térmicas, haciéndolo adecuado para aplicaciones que requieren resistencia al calor. Se utiliza ampliamente en tapas de botellas, contenedores de yogurt y margarina, pajitas para beber, contenedores para alimentos calientes, piezas automotrices, y pañales desechables (Rinku Verma, 2016).

Códigos 6 y 7: El código 6 corresponde al poliestireno (PS), un material económico con cierta rigidez que se utiliza en vasos de espuma desechables, contenedores para alimentos para llevar, cubiertos plásticos, perchas, y embalajes de espuma. El código 7 incluye otros materiales,

incluyendo algunos que pueden tener una mezcla de diferentes tipos de plásticos, como el policarbonato (PC), que se caracteriza por su transparencia y alta resistencia al impacto (Repecto, 2020).

### **5.1.3. Problemática Ambiental de los Residuos Plásticos**

La gestión actual de los residuos plásticos presenta deficiencias significativas a nivel global que representan una amenaza creciente para los ecosistemas terrestres y marinos. En total, el 46% de los residuos plásticos se deposita en vertederos municipales, mientras que el 22% se gestiona de manera inadecuada y se convierte en basura dispersa en el ambiente (UNEP, 2023). Esta situación evidencia la necesidad urgente de implementar sistemas de gestión más eficientes y sostenibles que permitan reducir los impactos ambientales asociados a estos materiales.

La contaminación marina representa una de las manifestaciones más visibles y críticas de la problemática global de los residuos plásticos. Una media de 8 millones de toneladas de plástico es vertida cada año a los océanos, lo que equivale a vaciar un camión de basura lleno de plásticos cada minuto (Ecodes, 2025). Aproximadamente 8 millones de toneladas de plásticos ingresan al océano anualmente, y se estima que habrá aproximadamente 32 millones de toneladas para el año 2050 si no se implementan medidas efectivas de prevención y gestión. Esta contaminación se ha acumulado en zonas offshore masivas, siendo la más grande conocida como el Great Pacific Garbage Patch, que tiene un área superficial estimada de 1.6 millones de kilómetros cuadrados (Lebreton, 2017).

La contaminación por plástico puede alterar los hábitats y los procesos naturales, reduciendo la capacidad de los ecosistemas para adaptarse al cambio climático, afectando directamente a los medios de vida de millones de personas (Lebreton, 2017).

Los impactos trascienden la dimensión ambiental puramente ecológica e incluyen consecuencias socioeconómicas significativas para las comunidades dependientes de recursos naturales, particularmente aquellas dedicadas a la pesca, el turismo costero, y otras actividades económicas vinculadas a la salud de los ecosistemas marinos.

La contaminación plástica afecta negativamente a más de 690 especies marinas documentadas (Mexico, 2021), incluyendo tortugas marinas, aves marinas, mamíferos marinos, y una amplia variedad de peces e invertebrados. Los organismos marinos pueden ingerir partículas de plástico confundiéndolas con alimento, lo que puede causar bloqueos intestinales, falsa sensación de saciedad, y transferencia de contaminantes químicos a través de la cadena alimentaria. Además, los microplásticos, fragmentos de plástico menores a 5mm, han sido detectados en una amplia variedad de organismos marinos y sistemas de agua dulce, generando preocupaciones sobre sus efectos en la salud humana a través del consumo de productos del mar.

#### **5.1.4. Tipos de Residuos Plásticos según Origen**

Son aquellos materiales plásticos que han sido utilizados por el consumidor final y posteriormente descartados. Incluyen envases de alimentos, botellas de bebidas, bolsas plásticas, empaques de productos diversos, y productos de uso doméstico e industrial que han cumplido su función original. Estos residuos representan la mayor proporción de los plásticos que ingresan a los sistemas de gestión de residuos sólidos municipales y presentan desafíos particulares debido a su heterogeneidad, nivel de contaminación con restos de alimentos y otros materiales, y la necesidad de sistemas eficientes de recolección y separación (CNRC, 2021).

Corresponden a los materiales plásticos generados durante los procesos de manufactura, incluyendo recortes, productos defectuosos, coladas y canales de inyección, y materiales que no cumplen con las especificaciones de calidad requeridas. Estos residuos típicamente presentan

mayor homogeneidad que los residuos post-consumo y están relativamente limpios, lo que facilita su reciclaje. Sin embargo, dependiendo del proceso de manufactura, pueden contener aditivos, colorantes, o estar mezclados con otros materiales que pueden complicar su recuperación (Ecodes, 2025).

#### **5.1.5. Análisis de Ciclo de Vida (ACV): Definición y Conceptualización**

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología de evaluación ambiental comprehensiva que permite analizar y cuantificar los aspectos ambientales e impactos potenciales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida completo, es decir, de todas las etapas de su existencia desde la extracción de materias primas hasta su disposición final (Europe, 2023). Esta herramienta metodológica constituye un enfoque sistemático para evaluar el impacto ambiental potencial a lo largo del ciclo de vida de un proceso, producto o servicio, y está estandarizada bajo las normas ISO 14040 e ISO 14044 (ISO, 2006 ).

La ISO 14040 establece la definición técnica del ACV como una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas (UPM, 2024). Esta metodología normalizada y con base científica constituye cada vez más la base de los procesos de desarrollo de productos sostenibles y las estrategias de marketing relacionadas con la sostenibilidad ambiental (DQS, 2024).

El ACV permite identificar las entradas y salidas de materia y energía de un producto o servicio a lo largo de toda su vida útil, desde la adquisición de la materia prima hasta su disposición final, pasando por la producción, distribución, uso y gestión del residuo y reciclado. (DQS, 2024).

## Fases del Análisis de Ciclo de Vida

Según la normativa ISO 14040:2006, el ACV se estructura en cuatro fases fundamentales que constituyen un proceso iterativo y sistemático. Estas fases no son necesariamente secuenciales y pueden requerir revisiones y ajustes a medida que se desarrolla el estudio (ISO, 2006 ):

**1. Definición de Objetivos y Alcance:** Esta fase inicial delimita el tema de estudio, los motivos que llevan a realizarlo y el alcance que esperamos tener (Industries, 2023). En esta etapa se establecen de manera clara y detallada los propósitos del estudio, la audiencia objetivo a la que se dirige el análisis, el sistema de producto a analizar, la unidad funcional que servirá como base de comparación, los límites del sistema que definirán qué procesos se incluyen y excluyen del análisis, las categorías de impacto ambiental a evaluar, los requisitos de calidad de datos, y las asunciones y limitaciones del estudio.

La definición de la unidad funcional es particularmente crítica ya que proporciona la referencia a la cual se relacionan todas las entradas y salidas del sistema. La unidad funcional debe describir cuantitativamente las funciones del producto o servicio estudiado y proporcionar una base común para la comparación de diferentes alternativas. Por ejemplo, en estudios de ACV de residuos plásticos, las unidades funcionales típicamente utilizadas incluyen masa de residuos tratados (ej., 1 tonelada de residuos plásticos mixtos), volumen de residuos gestionados, o masa de producto reciclado producido (Alhazmi, 2021).

**2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV):** En la fase del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) los valores de cargas ambientales corresponden a un esfuerzo de objetividad al máximo todo el conjunto de datos y parámetros utilizados. Dichos valores pueden variar en función de la exactitud de los datos y de su precisión. Esta fase involucra la recopilación exhaustiva y cuantificación detallada de todas las entradas de materias

primas, energía, agua, y otros recursos y salidas incluyendo emisiones al aire, agua y suelo, y residuos sólidos asociadas al sistema de producto estudiado (Alhazmi, 2021).

El desarrollo del inventario requiere la construcción de un diagrama de flujo del sistema que muestre todos los procesos unitarios incluidos dentro de los límites del sistema y sus interrelaciones. Para cada proceso unitario, se deben identificar y cuantificar todas las entradas de materiales y energía, así como todas las salidas en forma de productos, co-productos, emisiones y residuos. La recolección de datos puede basarse en mediciones directas, datos de literatura científica y técnica, bases de datos de inventario de ciclo de vida, o estimaciones basadas en modelos y cálculos (14044, ISO, 2006).

**3. *Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV):*** La evaluación del impacto del ciclo de vida es la fase en la que se evalúan los efectos ambientales potenciales asociados con las entradas y salidas identificadas en el inventario. Se utilizan modelos científicos y métodos de caracterización para cuantificar el impacto en categorías como el cambio climático, agotamiento de recursos, acidificación, eutrofización, toxicidad humana, ecotoxicidad, y formación de oxidantes fotoquímicos (Envira, 2024). Esta fase traduce los datos del inventario en indicadores de impacto ambiental potencial, utilizando modelos de caracterización científicamente fundamentados. Los elementos obligatorios incluyen la selección de categorías de impacto, indicadores de categoría, y modelos de caracterización; la clasificación de los resultados del inventario asignando los datos a las categorías de impacto seleccionadas; y el cálculo de los resultados de los indicadores de categoría mediante la aplicación de los factores de caracterización. Los elementos opcionales pueden incluir normalización, agrupación, y ponderación de los resultados.

4. ***Interpretación del Ciclo de Vida:*** La fase de interpretación ayuda a comprender el impacto ambiental general del producto o proceso, identificar oportunidades de mejora significativas y tomar decisiones informadas. Es una fase crucial ya que proporciona las conclusiones, recomendaciones e informes del estudio de ACV (Acteco, 2025). Esta etapa integra los resultados de las fases anteriores de manera sistemática, identifica aspectos significativos, evalúa la completitud, sensibilidad y consistencia del estudio, y formula conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

La interpretación debe incluir un análisis de contribución para identificar qué etapas del ciclo de vida, procesos, flujos elementales, o categorías de impacto contribuyen más significativamente a los resultados globales (Alhazmi, 2021).

#### **5.1.6. Economía Circular: Definición y Conceptos Fundamentales**

La economía circular representa un paradigma económico alternativo y transformador al modelo lineal tradicional, fundamentado en principios de sostenibilidad, regeneración, y optimización del uso de recursos. La economía circular aplica tres principios fundamentales: eliminar los residuos y la contaminación mediante el diseño preventivo, hacer circular productos y materiales manteniendo su máximo valor, y regenerar la naturaleza permitiendo que los sistemas naturales se recuperen (Circular, 2017).

Los orígenes formales del concepto de economía circular aparecen en diversas disciplinas y corrientes de pensamiento desde los años setenta, siendo la economía ambiental y la ecología industrial determinantes para impulsar su desarrollo conceptual y práctico (Cerdá, 2016).

La economía circular se fundamenta en una perspectiva sistémica que reconoce la interconexión entre los aspectos económicos, ambientales y sociales. Se trata, por tanto, de un modelo en el que, sin olvidar lo económico, se prima el beneficio social y medioambiental,

interrelacionándose de manera muy estrecha con la sostenibilidad (Ecodes, 2025). Este enfoque holístico representa un cambio paradigmático fundamental en la manera en que concebimos la producción, el consumo, y la gestión de recursos y residuos (Ecodes, 2025).

La economía circular es un sistema que busca aprovechar los recursos para reducir, reciclar y reutilizar y darles una segunda vida, e idealmente múltiples ciclos de vida (BBVA, 2025). Las estrategias principales incluyen:

#### **Ilustración 1.** Estrategias de economía circular

**Reducción:** Minimización del consumo de recursos y energía en los procesos productivos mediante diseño eficiente, optimización de procesos, y cambios en patrones de consumo.

**Reutilización:** Aprovechamiento de productos y componentes para nuevos usos sin modificaciones significativas, extendiendo su vida útil más allá de su función original.

**Reciclaje:** Transformación de residuos en nuevas materias primas para procesos productivos, cerrando ciclos de materiales y reduciendo la demanda de recursos vírgenes.

**Regeneración:** Restauración y mejora de los sistemas naturales a través de las actividades económicas, permitiendo la recuperación de ecosistemas degradados y el mantenimiento de servicios ecosistémicos.

**Fuente:** (Circular, 2017)

#### **5.1.7. Modelos de Negocio Circulares**

La innovación en modelos de negocio sostenibles está redefiniendo la manera en que las empresas operan, creando valor económico, social y medioambiental a través de estrategias centradas en la economía circular. En lugar de seguir el modelo lineal de "extraer-producir-desechar", la economía circular busca mantener los recursos en uso durante el mayor tiempo posible, minimizar los residuos y regenerar los sistemas naturales (ICEMD, 2024)

La economía circular permite nuevos modelos de negocio basados en el suministro de servicios en lugar de productos. Esta "servitización" o pago por uso conlleva además el desarrollo de nuevas plataformas con un enfoque colaborativo y de intercambio, que acrecienta el ya importante papel de la tecnología en este campo (ICEMD, 2024).

Ejemplos de estos modelos incluyen sistemas de producto-como-servicio donde los fabricantes retienen la propiedad de los productos y los consumidores pagan por su uso, plataformas de compartición que maximizan la utilización de activos, y modelos de recuperación y regeneración que extraen valor de productos al final de su vida útil (Romero, 2019).

Los hallazgos de investigaciones recientes destacan que, a pesar de enfrentar barreras financieras, carencia de conocimientos especializados y retos logísticos, la economía circular ofrece oportunidades significativas para la innovación y la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad y el éxito económico a largo plazo. La discusión subraya la importancia de la colaboración intersectorial, políticas de apoyo y programas educativos para superar estos obstáculos (Romero, 2019).

#### **5.1.8. Integración del ACV en Modelos de Economía Circular para Residuos Plásticos**

La integración del Análisis de Ciclo de Vida en estrategias de economía circular para la gestión de residuos plásticos representa una sinergia metodológica fundamental para asegurar que las iniciativas de circularidad efectivamente resulten en mejoras ambientales netas.

Investigaciones recientes han demostrado que no todas las estrategias circulares automáticamente resultan en beneficios ambientales; algunas pueden incluso generar cargas ambientales mayores que las opciones lineales convencionales si no se diseñan e implementan cuidadosamente (Luthin et al., 2024).

En el contexto específico de residuos plásticos, estudios de ACV han demostrado consistentemente que el reciclaje mecánico generalmente presenta menores impactos ambientales que la disposición en vertedero o la incineración, particularmente en categorías como Potencial de Calentamiento Global y Agotamiento de Recursos Abióticos, siempre que se alcancen tasas de sustitución adecuadas de material virgen y eficiencias razonables de proceso (Alhazmi, 2021).

La evaluación integrada mediante ACV permite identificar los parámetros críticos que más influyen en el desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos plásticos circulares, guiando decisiones de diseño de sistema, inversiones en tecnología, y políticas de gestión. Esta integración es esencial para asegurar que la transición hacia economía circular en el sector de plásticos contribuya efectivamente a objetivos de sostenibilidad ambiental (Alhazmi, 2021).

## 5.2. Marco Legal

La gestión de residuos plásticos en Colombia se encuentra regulada por un marco normativo robusto que ha evolucionado significativamente en los últimos años, reflejando el compromiso del país con la transición hacia una economía circular y la gestión sostenible de residuos. Este marco legal establece responsabilidades, metas, y mecanismos de implementación para diversos actores de la cadena de valor de los plásticos, desde productores hasta gestores de residuos y autoridades ambientales.

A continuación, se presenta una descripción de las principales normativas que regulan la gestión de residuos plásticos y promueven la economía circular en Colombia, con énfasis particular en aquellas aplicables al departamento del Atlántico y al municipio de Galapa:

**Tabla 1.** Marco Legal Colombiano

| <b>NORMA</b>           | <b>AÑO</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
|------------------------|------------|---|
| <b>Ley 1252</b>        | 2008       | Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Establece prohibiciones para la introducción, disposición y quema al aire libre de residuos. |
| <b>Decreto 2981</b>    | 2013       | Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Define las actividades de recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos.  |
| <b>Decreto 596</b>     | 2016       | Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio.        |
| <b>Resolución 668</b>  | 2016       | Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. Establece obligaciones para comercios de cobrar por bolsas plásticas y promover alternativas reutilizables.                                   |
| <b>Resolución 1407</b> | 2018       | Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se   |

| NORMA   | AÑO  | DESCRIPCIÓN   |
|---|------|---|
|   |      | dictan otras disposiciones. Implementa la Responsabilidad Extendida del Productor (REP).  |
| <b>Resolución 1799</b>  | 2019 | Por la cual se adoptan disposiciones para la recolección selectiva y la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques, llantas y pilas usadas en las islas del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.                |
| <b>Estrategia Nacional de Economía Circular</b>                             | 2019 | Documento que define la visión, objetivos, líneas de acción y metas para la transición hacia una economía circular en Colombia para 2030.   |
| <b>Resolución 1342</b>  | 2020 | Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de generadores de residuos peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 de 2005.  |
| <b>Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de un Solo Uso</b> | 2021 | Establece acciones y metas para reducir el consumo de plásticos de un solo uso, con objetivo de que el 100% de estos productos sean reutilizables o compostables para 2030.   |
| <b>Ley 2232</b>   | 2022 | Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones. Prohíbe progresivamente ciertos productos plásticos de un solo uso. |
| <b>Decreto 1407</b>   | 2022 | Por el cual se modifica el Decreto 596 de 2016 y se adoptan otras disposiciones para la formalización de los recicladores de oficio.  |
| <b>Resolución 1397</b>  | 2023 | Por la cual se modifica la Resolución 1407 de 2018 sobre gestión de residuos de envases y empaques. Actualiza metas de aprovechamiento y obligaciones de reporte.   |
| <b>Ley 2173</b>   | 2021 | Por medio de la cual se promueve el aprovechamiento de residuos, el emprendimiento y la generación de empleo a través de las actividades de reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.  |
| <b>Decreto 670</b>  | 2025 | Por el cual se establecen disposiciones para acelerar la transición hacia una economía circular en Colombia, con énfasis en gestión de residuos y aprovechamiento de materiales.  |

| NORMA                  | AÑO  | DESCRIPCIÓN  |
|------------------------|------|--|
| <b>Resolución 2184</b> | 2019 | Por la cual se modifica la Resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas. |

**Fuente:** (Autores,2025).

### 5.3. Estado del Arte

El avance progresivo de la producción de plásticos a nivel mundial ha impulsado un creciente interés científico en comprender los impactos ambientales asociados a su ciclo de vida, así como en el desarrollo de metodologías que permitan gestionar de manera sostenible estos materiales. En este sentido, diversos estudios internacionales coinciden en que los plásticos representan uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI, debido a su uso masivo, persistencia en el entorno y baja tasa de reciclaje. Investigaciones pioneras, como la de Geyer, Jambeck y Law (2017), evidencian que la producción acumulada de plásticos ha alcanzado niveles sin precedentes, generando impactos significativos en el calentamiento global, el agotamiento de recursos y la contaminación marina.

Estos hallazgos han impulsado la adopción del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como una herramienta esencial para evaluar de manera integral las emisiones, consumos y residuos generados en cada etapa del ciclo de vida de los productos plásticos.

En el ámbito europeo, la Comisión Europea (European Commission, 2021) ha promovido la aplicación del ACV a través de directrices como el Product Environmental Footprint (PEF), demostrando que la integración de esta metodología con estrategias de economía circular puede reducir considerablemente los impactos ambientales.

Asimismo, estudios recientes desarrollados en Portugal e Italia han mostrado que el reciclaje mecánico de plásticos postconsumo genera impactos ambientales significativamente menores en comparación con la producción de plástico virgen, especialmente en categorías como

calentamiento global y uso de energía (Amaro et al., 2021; Rigamonti et al., 2020). De esta manera, se evidencia una tendencia global hacia la promoción del ACV como base para la toma de decisiones sostenibles en la gestión de residuos plásticos.

Paralelamente, el modelo de economía circular ha emergido como un complemento fundamental para enfrentar la problemática del plástico. Según la Ellen MacArthur Foundation (2021), la circularidad puede reducir hasta un 48% las emisiones asociadas a la producción de plásticos mediante estrategias de reutilización, reciclaje, rediseño y simbiosis industrial.

En la misma línea, Plastics Europe (2023) destaca que las empresas que adoptan prácticas circulares mejoran su eficiencia en el uso de materiales, reducen sus costos operativos y aumentan su competitividad en mercados donde la sostenibilidad se ha convertido en un criterio determinante. Estos estudios coinciden en que la economía circular no solo representa una alternativa ambientalmente necesaria, sino también económicamente atractiva, especialmente para empresas que trabajan con materiales plásticos.

En América Latina, el estado del arte revela importantes desafíos. Tanto la CEPAL (2020) como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2021) han documentado que la región enfrenta limitaciones significativas en infraestructura, tecnología y capacidades institucionales para la gestión eficiente de residuos plásticos.

Investigaciones desarrolladas en Brasil, México y Chile indican que las empresas recicladoras presentan debilidades técnicas en la cuantificación de impactos ambientales y carecen de herramientas estandarizadas basadas en ACV para mejorar sus procesos (Lima et al., 2022). Esta situación se agrava en municipios intermedios, donde las capacidades técnicas y económicas son más limitadas.

Colombia no es ajena a este panorama. Estudios nacionales muestran que el país recupera apenas el 13% de sus residuos sólidos, porcentaje que refleja un bajo aprovechamiento frente al potencial existente (DNP, 2022; MADS, 2019). Aunque algunas investigaciones han aplicado el ACV a sectores como envases, empaques alimentarios y procesos agroindustriales, se observa una escasez de estudios aplicados a empresas dedicadas a la gestión de residuos plásticos, especialmente en el Caribe colombiano (Bello et al., 2020; Restrepo & Vélez, 2022).

Esta brecha es particularmente relevante en municipios como Galapa, donde existen empresas dedicadas al acopio, transformación y reciclaje de plásticos, pero donde la literatura académica sobre sus impactos ambientales es limitada o inexistente.

En síntesis, el estado del arte evidencia que, aunque a nivel internacional el ACV y la economía circular se han consolidado como enfoques esenciales para la gestión sostenible de plásticos, en América Latina y especialmente en Colombia persiste un rezago significativo en la aplicación de estas metodologías dentro del ámbito empresarial. La falta de investigaciones contextualizadas al territorio del Atlántico colombiano crea un vacío que justifica plenamente la pertinencia de este estudio.

Por tanto, esta investigación contribuye al avance del conocimiento al aplicar el ACV y los principios de economía circular en una empresa del municipio de Galapa, generando evidencia científica, herramientas técnicas y lineamientos estratégicos que pueden servir como modelo para otros territorios con características similares.

## **6. Metodología**

El Marco Metodológico orienta el desarrollo de la investigación definiendo los enfoques, métodos, técnicas e instrumentos utilizados para alcanzar los objetivos planteados. En este apartado se describen las decisiones metodológicas que sustentan el proceso investigativo, estableciendo el tipo de estudio, el enfoque adoptado, el diseño de investigación y las fases que estructuran el análisis. Asimismo, se detallan los procedimientos empleados para la recolección, procesamiento y análisis de la información, integrando herramientas cuantitativas y cualitativas que permiten comprender de manera integral la gestión de residuos plásticos en la empresa ubicada en el municipio de Galapa.

Dado que esta investigación incorpora la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y los principios de la economía circular, el marco metodológico incluye también la descripción del proceso normativo basado en las ISO 14040 y 14044, que orientan la identificación de impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del material estudiado. Este enfoque posibilita evaluar de forma estructurada los flujos de entrada y salida, los puntos críticos del proceso y las oportunidades de mejora.

### **6.1. Diseño de Investigación**

El diseño de esta investigación es de carácter transversal, dado que no se manipulan deliberadamente las variables del estudio, sino que se analizan los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural dentro de la empresa ubicada en el municipio de Galapa. Este diseño permite observar, describir y analizar los procesos de gestión de residuos plásticos existentes, así como evaluar los impactos ambientales asociados a través de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Asimismo, se integra un componente aplicado, orientado a la formulación de lineamientos estratégicos que promuevan la adopción de un modelo de economía circular en la empresa objeto de estudio. Este diseño permite una perspectiva metodológica sólida para comprender los procesos actuales y plantear mejoras concretas basadas en evidencia.

## **6.2. Tipo de Investigación**

La investigación es de tipo descriptiva, analítica y aplicada. Es descriptiva porque permite caracterizar las prácticas, etapas y procesos que conforman la gestión de residuos plásticos en la empresa, identificando sus particularidades y condiciones operativas. Es analítica al incluir la evaluación cuantitativa de los impactos ambientales generados en cada fase del ciclo de vida, utilizando la metodología ACV bajo los lineamientos de las normas ISO 14040 y 14044, lo que posibilita interpretar datos y establecer relaciones entre los diferentes flujos de materiales, energía y emisiones.

Finalmente, es aplicada porque busca generar soluciones prácticas mediante la formulación de lineamientos que contribuyan a mejorar la gestión interna y facilitar la transición hacia la economía circular, impactando directamente en la sostenibilidad ambiental y operativa de la empresa.

## **6.3. Área de Estudio**

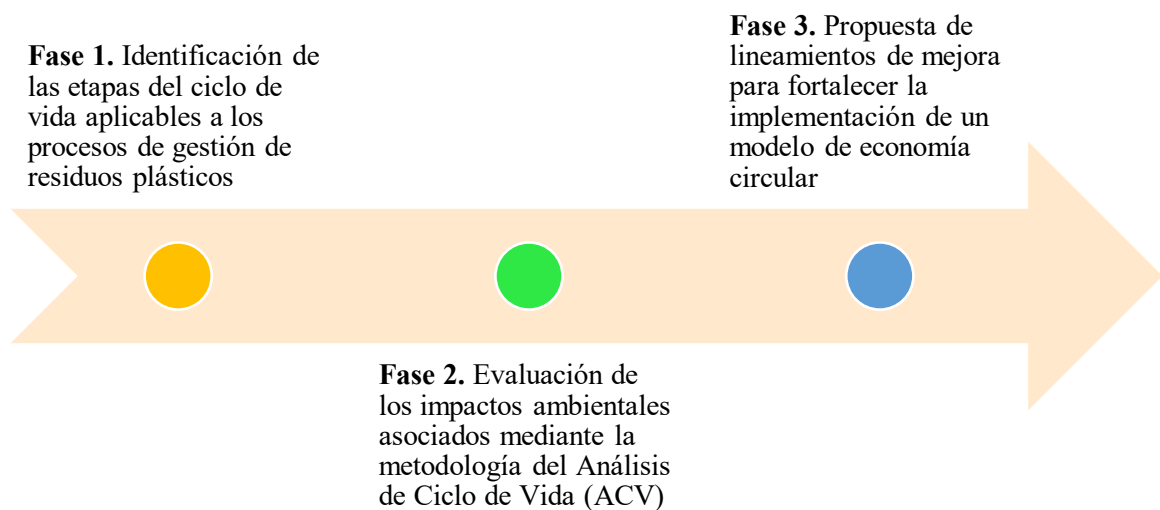
El área de estudio corresponde a una empresa ubicada en el municipio de Galapa, Atlántico, dedicada a la gestión, clasificación, aprovechamiento o transformación de residuos plásticos postconsumo o postindustriales. El análisis se centra en los procesos internos que conforman la cadena de manejo de residuos dentro de la planta: recepción de materiales, clasificación, trituración, lavado, secado, extrusión, almacenamiento y despacho. De manera complementaria, incluye los flujos de entrada y salida asociados al consumo de agua, energía,

transporte, generación de residuos y emisiones. Este ámbito permite evaluar de manera integral la gestión actual de los residuos plásticos, así como identificar oportunidades de mejora alineadas con los principios de circularidad y sostenibilidad ambiental.

#### 6.4. Fases metodológicas

Las fases metodológicas se estructuran en correspondencia directa con los objetivos específicos, permitiendo desarrollar un proceso lógico, ordenado y sustentado que garantiza el cumplimiento del propósito general de la investigación.

##### Ilustración 2. Fases metodológicas



**Fuente:** (Autores,2025).

#### **Fase 1. Identificación de las etapas del ciclo de vida aplicables a los procesos de gestión de residuos plásticos.**

Esta fase consiste en realizar un diagnóstico detallado del proceso actual de gestión de residuos plásticos dentro de la empresa. Para ello, se llevan a cabo actividades de observación directa, revisión documental y entrevistas semiestructuradas con el personal encargado de las

diferentes áreas operativas. El propósito es identificar y describir cada etapa del ciclo de vida involucrada en el manejo de los residuos, desde su ingreso a la planta hasta su transformación o disposición final.

Se elaboran diagramas de flujo que permiten visualizar los procesos y sus conexiones, así como registrar los flujos de materiales, insumos y energía que intervienen en cada etapa. Esta identificación sirve como base para delimitar adecuadamente el sistema de estudio, definir la unidad funcional, establecer límites del sistema y organizar la información necesaria para realizar el inventario del ciclo de vida en la fase siguiente.

## **Fase 2. Evaluación de los impactos ambientales asociados mediante la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

En esta fase se aplica el ACV siguiendo las directrices establecidas por la ISO 14040 y 14044, lo que implica cumplir cuatro etapas fundamentales: definición de objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto ambiental e interpretación. Primero, se define el alcance del estudio indicando la unidad funcional, los límites del sistema, los flujos relevantes y las categorías de impacto a considerar.

Posteriormente, se realiza la recolección de datos primarios sobre consumo energético, uso de agua, transporte, producción, generación de residuos y emisiones. Estos datos se integran en un Inventario del Ciclo de Vida (ICV) que permite cuantificar los flujos de entrada y salida del sistema. Con esta información, se emplean evaluarán las categorías de impacto ambiental, tales como el calentamiento global, acidificación, eutrofización, toxicidad humana y uso de recursos.

Se interpretan los resultados para identificar los procesos o etapas que generan mayores impactos ambientales los cuales serán esenciales para la formulación de propuestas de mejora en la fase siguiente.

### **Fase 3. Propuesta de lineamientos de mejora para fortalecer la implementación de un modelo de economía circular**

Con base en los resultados obtenidos en la fase anterior, se formulan lineamientos de mejora dirigidos a optimizar la gestión de residuos plásticos e integrar prácticas de economía circular en la empresa. Estos lineamientos consideran estrategias como la optimización energética, el aumento del aprovechamiento de materiales, la reducción de pérdidas en el proceso, la mejora en la calidad del material reciclado, la implementación de tecnologías limpias y el fortalecimiento de programas internos de separación y control de residuos.

Asimismo, se plantean acciones de corto, mediano y largo plazo que la empresa puede adoptar para disminuir su impacto ambiental y mejorar su desempeño en sostenibilidad. Las propuestas se elaboran considerando la viabilidad técnica, económica y ambiental, buscando que la empresa pueda avanzar hacia modelos circulares que generen valor agregado, reduzcan la dependencia de materias primas vírgenes y contribuyan al cumplimiento de los compromisos ambientales locales y nacionales.

## **7. Resultados y Discusión**

El presente capítulo expone los resultados derivados del trabajo de campo y de la aplicación metodológica desarrollada en la empresa ubicada en el municipio de Galapa, Atlántico. A partir de la información recolectada durante la visita técnica y del consolidado operativo del mes de octubre de 2025, se presenta un análisis detallado de cada una de las fases que componen el estudio: identificación de etapas del ciclo de vida, elaboración del inventario ambiental y evaluación preliminar de los principales flujos de materia, energía y agua asociados al proceso productivo de reciclaje y fabricación de bolsas plásticas.

El análisis integra tanto datos cuantitativos como observaciones cualitativas, permitiendo comprender el comportamiento real del sistema bajo las condiciones operativas de la planta. Asimismo, se identifican los procesos críticos con mayor contribución a la carga ambiental, los cuales sirven como base para la formulación de lineamientos de mejora orientados a fortalecer la transición hacia un modelo de economía circular.

En conjunto, los resultados presentados permiten evaluar el desempeño ambiental de la empresa y proporcionan insumos sólidos para la toma de decisiones estratégicas y la construcción de propuestas de optimización empresarial sustentadas en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

### 7.1. Fase 1 – Identificación de las etapas del ciclo de vida y caracterización del proceso

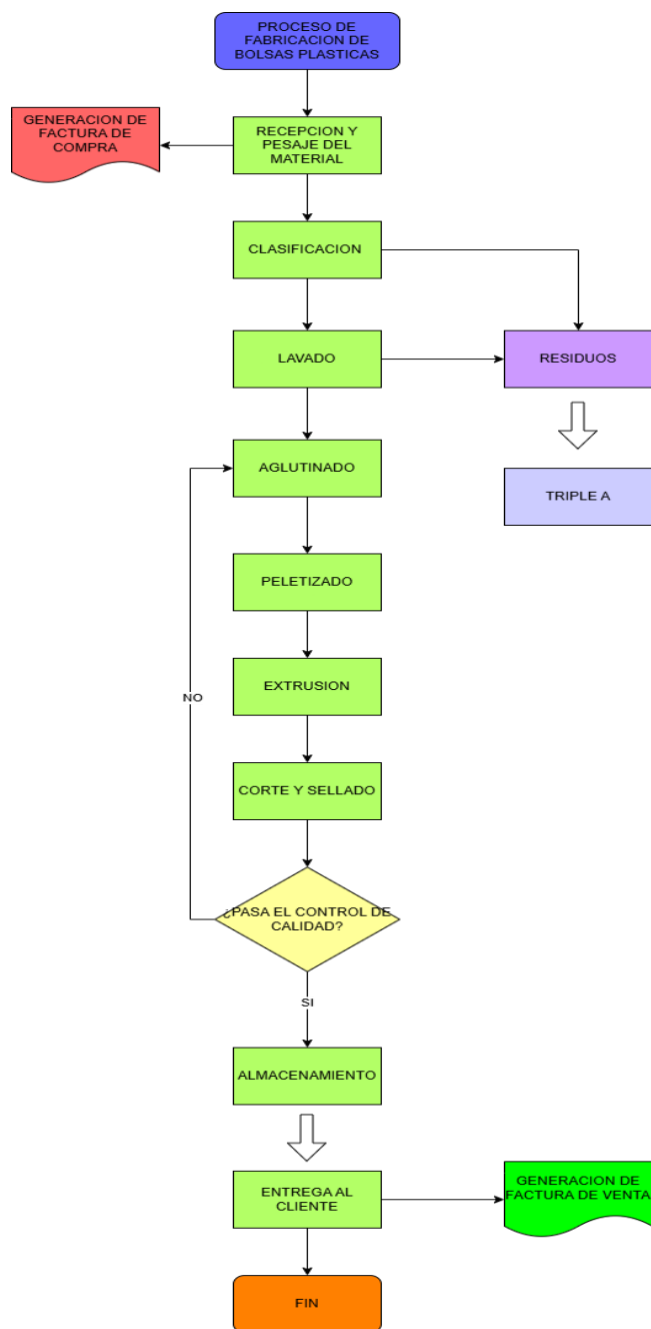
Durante la primera visita técnica realizada el 06/10/2025, entre las 7:00 a.m. y las 5:00 p.m., se observó el turno 1 de operación de la planta Plástico Jiménez bajo condiciones operativas normales. En esta jornada se contó con la participación de siete operarios distribuidos por proceso y dos observadores externos, quienes realizaron el levantamiento de la información ambiental y productiva requerida para el estudio de ACV.

**Tabla 2.** Condiciones generales de la jornada observada.

| Ítem                     | Descripción                              |
|--------------------------|--|
| Fecha                    | 06/10/2025                               |
| Turno                    | 1 (7:00 a.m. – 5:00 p.m.)                |
| Condición operativa      | Normal                                   |
| Operarios clasificación  | 2  |
| Operario lavado          | 1  |
| Operario aglutinado      | 1  |
| Operario peletizado      | 1  |
| Operario extrusión       | 1  |
| Operario corte y sellado | 1  |
| Observadores             | Alex J. Bolaño B. y Judith E. Conrado T. |

Fuente: (Autores,2025)

**Ilustración 3.** Diagrama de flujo de la empresa.



Fuente: (Empresa de Plásticos de Galapa,2025).

A partir del diagrama de flujo del proceso de fabricación de bolsas plásticas aportado por la empresa, se identificaron las etapas principales del ciclo de vida dentro de los límites “puerta a puerta” de la planta: recepción y clasificación del material, lavado, aglutinado, peletizado,

extrusión, corte y sellado, almacenamiento, entrega al cliente y gestión de residuos. Sobre estas etapas se estructuró el inventario de ciclo de vida (ICV).

**Tabla 3.** Etapas del proceso y su función dentro del ciclo de vida

| <b>Etapas del proceso</b> | <b>Descripción principal</b>  | <b>Rol dentro del ACV</b>                                   |
|---------------------------|---|---|
| Recepción y clasificación | Ingreso de PEAD y LDPE posconsumo; separación manual por tipo, color y nivel de contaminación.      | Definición de calidad de la materia prima reciclada.        |
| Lavado                    | Limpieza del material en tanques con agua y detergente para eliminar suciedad y residuos orgánicos. | Reducción de contaminantes antes del procesamiento térmico. |
| Aglutinado                | Compactación y secado parcial del material lavado mediante fricción y calor.                        | Preparación del material para peletizado/extrusión.         |
| Peletizado                | Transformación del aglutinado en pellets plásticos uniformes.                                       | Generación de producto intermedio reciclado.                |
| Extrusión (film)          | Fusión de pellets y formación de film tubular.  | Conversión del pellet en semifabricado para bolsas.         |
| Corte y sellado           | Corte del film y formación de bolsas recicladas.  | Obtención del producto final.                               |
| Gestión de residuos       | Manejo de rechazos y residuos no aprovechables con Triple A S.A. E.S.P.                             | Salida del sistema; destino final de fracciones no útiles.  |

Fuente: (Autores,2025)

Del análisis de materia prima recibida en la visita (1.000 kg, 50% PEAD y 50% LDPE) se observó un rechazo del 5% en la etapa de clasificación (50 kg enviados a disposición final), lo que evidencia un buen control de contaminación en la entrada. La observación del proceso permitió confirmar que la clasificación es manual y visual, con tiempos promedio de 60 minutos por lote y baja contaminación cruzada, lo cual es consistente con un sistema de reciclaje mecánico bien organizado.

## 7.2. Fase 2 – Inventario del ciclo de vida e identificación de “hotspots” ambientales

En la segunda fase se consolidaron los datos operativos de octubre de 2025 para construir el inventario de ciclo de vida (ICV). La Tabla 3 resume los flujos principales de materia, energía y agua por etapa del proceso.

**Tabla 4.** Resumen de flujos por etapa del proceso (octubre 2025)

| <b>Etapa del proceso</b>  | <b>Energía (kWh/mes)</b> | <b>Agua (m<sup>3</sup>/mes)</b> | <b>Producción (kg/mes)</b> | <b>Residuos (kg/mes)</b> | <b>Observaciones clave</b>                            |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|---|
| Recepción y clasificación | –                        | –                               | 24.000                     | 1.200                    | Rechazo 5% por material no reciclable.                |
| Lavado manual             | –                        | 499                             | 22.800                     | –                        | Agua descargada al alcantarillado, sin recirculación. |
| Aglutinado                | 1.316,6                  | –                               | 21.600                     | –                        | Operación continua, consumo eléctrico relevante.      |

| <b>Etapas del proceso</b> | <b>Energía (kWh/mes)</b> | <b>Agua (m<sup>3</sup>/mes)</b> | <b>Producción (kg/mes)</b> | <b>Residuos (kg/mes)</b> | <b>Observaciones clave</b>                           |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| Peletizado                | 1.929,2                  | –                               | 21.000                     | –                        | Etapas con mayor consumo de energía.                 |
| Extrusión (film)          | 1.316,6                  | 26                              | 20.500                     | –                        | Uso de agua para enfriamiento, sin sistema cerrado.  |
| Corte y sellado           | 365,6                    | –                               | 20.000                     | 400                      | 98% producto conforme; 2% rechazo reprocesable.      |
| Gestión de residuos       | –                        | –                               | –                          | 1.215                    | Disposición final en relleno sanitario con Triple A. |
| <b>Totales</b>            | <b>4.926,0</b>           | <b>525,0</b>                    | <b>24.000</b>              | <b>1.215</b>             | Datos correspondientes al mes analizado.             |

Fuente: (Autores,2025)

La Tabla 4 presenta un panorama integral de los principales flujos de materia, energía, agua y residuos asociados al proceso de reciclaje y fabricación de bolsas plásticas en Plástico Jiménez durante el mes de octubre de 2025. En términos generales, los datos evidencian un sistema productivo lineal bien estructurado, donde cada etapa cumple una función específica dentro del ciclo de vida del material; sin embargo, también revela la existencia de procesos de alta intensidad ambiental, especialmente en las etapas de lavado, aglutinado, peletizado y extrusión.

El proceso de recepción y clasificación se destaca como uno de los puntos más eficientes, con un rechazo del 5% (1.200 kg/mes), lo que refleja un control adecuado de la calidad del material posconsumo recibido. No obstante, esta etapa marca el inicio de la generación de residuos no aprovechables que ingresan de inmediato a la cadena de disposición final.

En cuanto al consumo agua, la etapa de lavado manual concentra el 95% del agua utilizada (499 m<sup>3</sup>/mes), lo que la convierte en un crítico dentro del análisis. La ausencia de un sistema de recirculación y la descarga directa al alcantarillado sugieren impactos potenciales en categorías ambientales como eutrofización y ecotoxicidad acuática.

Por otro lado, el consumo energético se encuentra ampliamente dominado por los procesos de aglutinado, peletizado y extrusión, los cuales en conjunto representan más del 90% de la energía eléctrica mensual. El peletizado, con 1.929,2 kWh/mes, se establece como la etapa más intensiva, indicando que las transformaciones térmicas y de fusión del material reciclado son las operaciones más demandantes dentro del sistema.

Las etapas finales de corte y sellado muestran un comportamiento eficiente, con un 98% de producto conforme y una generación de residuos relativamente baja (400 kg/mes). Sin embargo, al observar los residuos totales gestionados (1.215 kg/mes), se evidencia que la empresa aún no incorpora estrategias de valorización complementaria, lo que limita su avance hacia la economía circular.

## **1. Consumo de energía**

La planta registró un consumo eléctrico mensual de 4.926 kWh, con una distribución claramente concentrada en los equipos de transformación térmica.

**Tabla 5.** Resumen de flujos por etapa del proceso (octubre 2025)

| <b>Proceso / Equipo</b> | <b>Consumo (kWh/mes)</b> | <b>Participación (%)</b> |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Aglutinadora            | 1.316,6                  | 26,7%                    |
| Peletizadora            | 1.929,2                  | 39,2%                    |
| Extrusora Blow Film     | 1.316,6                  | 26,7%                    |
| Corte y sellado         | 365,6                    | 7,4%                     |
| <b>TOTAL</b>            | <b>4.926,0</b>           | <b>100%</b>              |

Fuente: (Autores,2025)

El peletizado se identifica como el principal consumidor de energía (39,2%), seguido por la aglutinadora y la extrusora (cada una con 26,7%). Esto indica que los procesos de fusión, compactación y conformado del material son los que aportan mayor intensidad energética al sistema. A nivel global, la planta presenta una intensidad de 205,25 kWh/ton de producto, valor que será de referencia para la posterior evaluación de impactos y comparaciones con otros estudios de reciclaje mecánico.

Desde la perspectiva del ACV, estos resultados señalan a las etapas de peletizado, aglutinado y extrusión como críticos potenciales en categorías como calentamiento global y consumo de energía primaria, lo que las convierte en candidatos prioritarios para estrategias de eficiencia energética y mejoras tecnológicas.

## **2. Consumo de agua**

En cuanto al recurso hídrico, el consumo mensual total fue de **525 m<sup>3</sup>**, fuertemente concentrado en el proceso de lavado.

**Tabla 6.** Distribución del consumo de agua por proceso.

| <b>Proceso</b> | <b>Consumo<br/>(m<sup>3</sup>/mes)</b> | <b>Participación<br/>(%)</b> | <b>Comentario</b>                       |
|----------------|--|------------------------------|---|
| Lavado manual  | 499                                    | 95,0%                        | Agua utilizada en limpieza de material. |
| Extrusora      | 26                                     | 5,0%                         | Agua para enfriamiento de film.         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>525</b>                             | <b>100%</b>                  |   |

Fuente: (Autores,2025)

La intensidad hídrica de la planta alcanza 21,87 m<sup>3</sup> de agua/ton de producto, dominada por el lavado. Actualmente no existe recirculación de agua y la descarga se realiza al alcantarillado, lo que implica posibles impactos en categorías como eutrofización y ecotoxicidad acuática, dependiendo de la carga orgánica y química del efluente. Este hallazgo se alinea con las observaciones de campo que recomiendan la implementación de sistemas de decantación y recirculación parcial.

### **3. Rendimiento del proceso y generación de residuos**

El consolidado mensual refleja un material procesado de 24 toneladas y una producción de 21,3 toneladas, lo que corresponde a un rendimiento global de 95% y un rechazo total del 5%.

**Tabla 7.** Rendimiento productivo y rechazos.

| <b>Concepto</b>    | <b>Valor</b> |
|--------------------|--------------|
| Material procesado | 24,0 t       |
| Material producido | 21,3 t       |
| Rendimiento global | 95%          |

| <b>Concepto</b>         | <b>Valor</b> |
|-------------------------|--------------|
| Rechazos totales        | 2,6 t        |
| % rechazo sobre entrada | 5%           |
| Residuos valorizados    | 0 t          |
| Residuos a disposición  | 2,6 t        |

Fuente: (Autores,2025)

Si bien el porcentaje de rechazo es relativamente bajo para un sistema de reciclaje mecánico, se evidencia que la totalidad del rechazo se envía a disposición final en relleno sanitario, sin esquemas de valorización complementaria. Esto revela una oportunidad clara para avanzar en estrategias de economía circular, por ejemplo, mediante acuerdos con otras industrias para procesamiento, generación de subproductos o uso de fracciones no aptas para film en otras aplicaciones.

#### **4. Transporte de materiales**

El transporte se realiza mediante camiones medianos a diésel, con cuatro viajes de entrada (80 km) y cuatro de salida (100 km) al mes, para un total de 180 km recorridos. Considerando la producción mensual, se obtiene un indicador de 1,9 km/ton de producto. Aunque en términos relativos el transporte no representa el principal consumidor de recursos frente a energía y agua, sí contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que se considera en el modelamiento del ACV.

### **7.3. Fase 3 – Síntesis de resultados y lineamientos de mejora hacia la economía circular**

A partir del análisis de inventario realizado en la Fase 2, se identificaron los procesos críticos y se formularon oportunidades de mejora alineadas con la implementación de un modelo de

economía circular en la empresa de aprovechamiento de residuos plásticos. La Tabla 8 resume las principales brechas y estrategias.

**Tabla 8.** Oportunidades de mejora para la implementación de un modelo de economía circular

| <b>Etapa / Aspecto</b>  | <b>Hallazgo principal</b>                              | <b>Evidencia cuantitativa</b>                    | <b>Lineamiento de mejora propuesto</b>  | <b>Tipo de beneficio</b> |
|-------------------------|--|--|---|--------------------------|
| Lavado                  | Alto consumo de agua sin recirculación.                | 499 m <sup>3</sup> /mes (95% del consumo total). | Implementar sistema de decantación y recirculación parcial; diseñar circuito cerrado para primeras etapas.    | A, E                     |
| Aglutinado y peletizado | Alto consumo de energía eléctrica.                     | 3.245,8 kWh/mes (65,9% del total).               | Programas de eficiencia energética: monitoreo de temperatura y corriente, mantenimiento preventivo reforzado. | A, E                     |
| Extrusión               | Consumo de agua para enfriamiento sin sistema cerrado. | 26 m <sup>3</sup> /mes.                          | Incorporar torre de enfriamiento o circuito cerrado; aislamiento térmico adicional.                           | A, E                     |
| Corte y sellado         | Rechazo de 2% del producto final.                      | 1.800 bolsas rechazadas por turno.               | Mejorar calibración de temperatura de sellado y controles de calidad en línea para reducir rechazos.          | A, O, E                  |

| <b>Etapa / Aspecto</b> | <b>Hallazgo principal</b>                                 | <b>Evidencia cuantitativa</b>          | <b>Lineamiento de mejora propuesto</b>   | <b>Tipo de beneficio</b> |
|------------------------|---|--|--|--------------------------|
| Gestión de residuos    | Toda la fracción no aprovechable se envía a relleno.      | 2,6 t/mes a disposición final.         | Explorar opciones de coprocesamiento, acuerdos con otras industrias y segregación avanzada de fracciones.    | A, E                     |
| Información y control  | No existen submedidores por línea de producción.          | Consumo global 4.926 kWh/mes.          | Instalar submedición eléctrica por proceso para seguimiento de indicadores de ACV y planes de mejora.        | A, O                     |
| Modelo de circularidad | No hay indicadores de circularidad ni contenidos mínimos. | Sin metas de % de contenido reciclado. | Definir metas de contenido reciclado, tasa de aprovechamiento y reducción de consumo de recursos por unidad. | A, E, O                  |

Fuente: (Autores,2025)

Para el tipo de beneficio se considero:

- A: Ambiental
- E: Económico
- O: Operativo.

Todo con el fin de abarcar todas las oportunidades en todos los ejes para ello se plantean las medidas planteadas buscan:

- Reducir la intensidad de uso de agua y energía por tonelada de producto.
- Disminuir el volumen de residuos enviados a disposición final.
- Incrementar la eficiencia operacional y la competitividad de la empresa.
- Fortalecer la trazabilidad de datos para futuras actualizaciones del ACV y procesos de certificación ambiental.

## 8. Conclusiones

El presente apartado sintetiza los principales hallazgos obtenidos a lo largo del estudio, integrando los resultados del análisis de ciclo de vida, la caracterización de los procesos operativos y la evaluación de los flujos de materia, energía y agua en la empresa de aprovechamiento de plásticos. Estas conclusiones permiten valorar el desempeño ambiental actual, identificar los puntos críticos del sistema productivo y determinar en qué medida los objetivos planteados fueron alcanzados. Asimismo, proporcionan una visión general del impacto que tiene la gestión de residuos plásticos dentro del enfoque de economía circular aplicado al contexto del municipio de Galapa.

1. La gestión actual de residuos plásticos en la empresa de aprovechamiento de plástico en Galapa presenta un desempeño operativo estable, con un rendimiento global del 95% y una baja tasa de rechazo (5%), lo cual evidencia un adecuado control de calidad en las etapas de clasificación, corte y sellado. Sin embargo, persisten brechas ambientales significativas relacionadas con el uso de recursos y la disposición final de residuos no valorizables.
2. El análisis de inventario de ciclo de vida (ICV) permitió identificar que las etapas con mayor impacto ambiental corresponden al lavado y a los procesos térmicos (aglutinado, peletizado y extrusión). El lavado concentra el 95% del consumo hídrico mensual (499 m<sup>3</sup>), mientras que los procesos térmicos representan más del 90% del consumo energético, lo cual los convierte en críticos prioritarios para la gestión ambiental.
3. La empresa presenta una ausencia de sistemas de recirculación de agua, lo que genera descargas directas al alcantarillado sin tratamiento previo y contribuye a posibles impactos en categorías como eutrofización, ecotoxicidad y uso intensivo de recurso

hídrico. Este hallazgo representa una de las oportunidades más claras para la reducción de impactos ambientales.

4. A pesar de contar con procesos operativos eficientes, la empresa carece de herramientas sistemáticas para evaluar su desempeño ambiental, tales como submedidores energéticos por la línea de producción, monitoreo continuo de variables térmicas y análisis de calidad del efluente de lavado. Esto limita la capacidad de tomar decisiones con base en evidencia ambiental cuantitativa.
5. Los resultados obtenidos permiten concluir que la integración del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es técnicamente viable y altamente útil para la empresa, ya que permite identificar puntos críticos, establecer indicadores de circularidad y generar lineamientos estratégicos de mejora ambiental alineados con la normativa vigente y los principios de economía circular.

## 9. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y del análisis detallado de las etapas del proceso, se formulan las recomendaciones orientadas a mejorar el desempeño ambiental y operacional de la empresa, fortaleciendo su transición hacia un modelo de economía circular. Estas sugerencias buscan ofrecer alternativas viables, contextualizadas y alineadas con las oportunidades identificadas en el estudio, permitiendo a la empresa de aprovechamiento de residuos en Galapa implementar acciones estratégicas que optimicen el uso de recursos, reduzcan impactos y promuevan una producción más sostenible.

1. Implementar un sistema de recirculación parcial o total del agua de lavado, incorporando mecanismos de decantación, filtración y sedimentación. Esto permitiría reducir hasta un 60–70% del consumo hídrico mensual y disminuir la carga contaminante del efluente descargado.
2. Instalar submedidores energéticos en las líneas de aglutinado, peletizado y extrusión, con el fin de monitorear el consumo energético en tiempo real e identificar variaciones anormales asociadas a fallas mecánicas o deficiencias de mantenimiento. Esta acción permitirá plantear programas de eficiencia energética basados en evidencia.
3. Desarrollar estrategias de valorización de residuos no aprovechables, como acuerdos con empresas de procesamiento, aprovechamiento energético, producción de subproductos plásticos alternativos o alianzas con industrias que utilicen fracciones no aptas, esto reduciría la presión sobre los rellenos sanitarios y fortalecería la economía circular.
4. Establecer indicadores ambientales permanentes, tales como kWh/ton producido, m<sup>3</sup> de agua/ton, kg de rechazo/ton o % de contenido reciclado en producto final. Estos indicadores deben integrarse a la planeación anual de la empresa y revisarse mensualmente para asegurar el cumplimiento de metas.

5. Capacitar al personal operativo en prácticas de economía circular, ecoeficiencia y uso racional del recurso hídrico, de modo que se fortalezca la cultura ambiental interna y se reduzcan pérdidas por manipulación, fallas de proceso o reprocesos innecesarios.
6. Implementar un programa de mejora continua basado en ACV, actualizando anualmente el inventario de ciclo de vida para monitorear avances y priorizar acciones de intervención según los nuevos puntos críticos identificados.
7. Evaluar la posibilidad de integrar fuentes de energía renovable o mecanismos de compensación ambiental (paneles solares, acuerdos de energía verde, créditos de carbono), especialmente considerando que los procesos térmicos representan una de las cargas energéticas más altas del sistema.

## 10. Bibliografía

- 14044, ISO. (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. Obtenido de International Organization for Standardization.:  
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- Acteco. (2025). *La importancia de la trazabilidad en la Gestión de Residuos con la nueva normativa en 2025*. Obtenido de <https://www.acteco.es/trazabilidad-gestion-residuos-nueva-normativa-2025/#:~:text=Prep%C3%A1rate%20para%202025,hacia%20la%20sostenibilidad%20y%20circularidad>.
- Alhazmi, H. A. (2021). Gestión de residuos plásticos: una revisión de los estudios de evaluación del ciclo de vida existentes. *Gestión de residuos plásticos: una revisión de los estudios de análisis del ciclo de vida existentes.*, 13 (10), 5340.  
doi:<https://doi.org/10.3390/su13105340>
- Caleau Zavattieri, J. (2021). Los residuos como recursos economía circular en el Área Metropolitana de Mendoza. *Universidad Nacional de Cuyo.* , 108 p. Obtenido de <https://bdigital.uncu.edu.ar/16808>
- Cerdá, E. &. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401(3), 11-20. Obtenido de [https://earthgonomic.org/biblioteca/Taller\\_Economia\\_Circular/2019\\_UniversidadComplutensedemadrid\\_Economia-Circular-autor-Cerda.pdf](https://earthgonomic.org/biblioteca/Taller_Economia_Circular/2019_UniversidadComplutensedemadrid_Economia-Circular-autor-Cerda.pdf)
- Circular, F. E. (2017). *Economía circular. Apoyar el cambio hacia una economía eficiente en el uso de los recursos*. Obtenido de <https://naturalezasintoxicos.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/02/cc-economc3ada-circular.pdf>

CNRC. (2021). *Congreso de la República de Colombia*. Obtenido de Ley 2232 de 2022: Por medio de la cual se regula la reducción gradual de plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones: <https://www1.funcionpublica.gov.co/web/eva/gestor-normativo>

Commission, E. (2021). *Product Environmental Footprint (PEF) Guide*. Obtenido de [https://kohtas.com/eu-deforestation-regulation.html?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=21646711159&gbraid=0AAAAACZkqp2M0KZSpSz4JKuKDjFY7OZnJ&gclid=Cj0KCQiAiebIBhDmARIsAE8PGNJGSRs27W5jbA\\_0bzpa6G8aY2LqwEhakNf\\_fZxGfkmVLCdhB8vZjdcaAkOeEALw\\_wcB](https://kohtas.com/eu-deforestation-regulation.html?gad_source=1&gad_campaignid=21646711159&gbraid=0AAAAACZkqp2M0KZSpSz4JKuKDjFY7OZnJ&gclid=Cj0KCQiAiebIBhDmARIsAE8PGNJGSRs27W5jbA_0bzpa6G8aY2LqwEhakNf_fZxGfkmVLCdhB8vZjdcaAkOeEALw_wcB)

Commission., E. (2021). *Product Environmental Footprint (PEF) Guide. Publications Office of the EU*. Obtenido de [https://environment.ec.europa.eu/index\\_es](https://environment.ec.europa.eu/index_es)

CRA. (2024). *Informe de Gestión de Residuos Sólidos en el Departamento del Atlántico*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional del Atlántico: <https://www.crautonomia.gov.co/documentos/INFORME%20CRA/2024/Informe%20de%20Gestión%20C.R.A.%20Vigencia%202024.pdf>

DQS. (2024). *Intercambio anual de auditores DQS MYS 2024*. Obtenido de <https://www.dqsglobal.com/en/about/newsroom/dqs-mys-annual-auditor-exchange-2024#:~:text=Times%20flies%20and%20here%20comes,about%20ISO%2014001%20%20ISO%2045001.&text=The%20purpose%20of%20this%20event,accreditation%2C%20EHS%20Legal%20Updates%20etc.&text=>

Ecodes. (2025). *La gestión de residuos y el consumo responsable, principales acciones realizadas por los bares y restaurantes premiados en la II Edición de los Premios 'Sin Huella'*. Obtenido de <https://ecodes.org/sala-de-prensa/notas-de-prensa/ii-edicion-premios-hosteleria-por-el-clima>

- Europe, P. (2023). *Circular Economy for Plastics: A European Strategy*. Obtenido de <https://plasticseurope.org/>
- Foundation., E. M. (2021). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- Galapa, A. d. (2021). *Plan De Gestión Integral de Residuos Solidos* . Obtenido de Alcadia de Galapa : <https://www.galapa-atlantico.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/PLAN%20DE%20GESTION%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20-%20PGIRS%20-%20DOC%20ACTUALIZACION%202021.pdf>
- Geographic., N. (2025). *Plastic pollution: The facts and figures*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution>
- ICEMD. (2024). *Innovación en Modelos de Negocio Sostenibles* . Obtenido de <https://icemd.esic.edu/knowledge/articulos/innovacion-en-modelos-de-negocio-sostenibles-nuevas-estrategias-empresariales-centradas-en-la-economia-circular/>
- Industries, K. (2023). *Análisis de Ciclo de Vida (ACV): así funciona la sostenibilidad basada en datos*. Obtenido de <https://knauf-industries.es/analisis-ciclo-vida-acv/>
- ISO. (2006 ). *ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. Obtenido de International Organization for Standardization.: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- Lebreton, L. S. (2017). Evidencia de que la Gran Mancha de Basura del Pacífico está acumulando plástico rápidamente. *Sci Rep* , 4666 (2018). Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w>
- Madrid, C. d. (2024). *ESTRATEGIA DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RESIDUOS* . Obtenido de <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM050367.pdf>

- MADS. (2019). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Estrategia Nacional de Economía Circular: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>
- MADS. (2021). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Diagnóstico nacional de residuos sólidos. Gobierno de Colombia: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/Informe-de-Gestion-Minambiente-2021-VF-PUBLIC.pdf>
- Mexico, G. d. (2021). *Reducir el uso de este material se ha convertido en una batalla medioambiental*. Obtenido de Contaminación por plástico: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es#:~:text=100%20000%20tortugas%20y%20mam%C3%ADferos,que%20peces%20en%20el%20oc%C3%A9ano.>
- OCDE. (2022). *Perspectivas mundiales de los plásticos: impulsores económicos, impactos ambientales y opciones de política*. *Organisation for Economic Co-operation and Development*. doi:<https://doi.org/10.1787/de747aef-en> .
- Repecto. (2020). *El reciclaje paso a paso: así es este proceso*. Obtenido de <https://www.repetco.com/el-reciclaje-paso-a-paso-asi-es-este-proceso/>
- Rinku Verma, K. V. (2016). Contaminantes tóxicos procedentes de los residuos plásticos: una revisión. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>
- Roland Geyer, J. R. (2017). *Producción, uso y destino de todos los plásticos jamás fabricados*. Obtenido de <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>
- Romero, G. D. (2019). Progresando hacia un modelo de economía circular. *Economía y Medio Ambiente* , 211.

SPG. (2022). *Conoce cuáles son y para qué sirven los códigos de identificación de los plásticos*.

Obtenido de <https://www.spg-pack.com/blog/codigos-identificacion-plasticos/>

Statista. (2024). *Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2023*. Obtenido de

[https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-](https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/?srsIid=AfmBOooqDtwmKVkUd-dDDQ7zunN9ZsQqHepM02Nv_YdtL4Cuj2nAmG3R)

[1950/?srsIid=AfmBOooqDtwmKVkUd-](https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/?srsIid=AfmBOooqDtwmKVkUd-dDDQ7zunN9ZsQqHepM02Nv_YdtL4Cuj2nAmG3R)

[dDDQ7zunN9ZsQqHepM02Nv\\_YdtL4Cuj2nAmG3R](https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/?srsIid=AfmBOooqDtwmKVkUd-dDDQ7zunN9ZsQqHepM02Nv_YdtL4Cuj2nAmG3R)

Tom Chilton, E. B. (2010). Análisis del ciclo de vida del reciclaje en circuito cerrado y la

recuperación térmica del PET posconsumo. *Recursos, conservación y reciclaje*.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.002>

UNEP. (2017). (*United Nations Environment Programme*). Obtenido de *arine litter and*

*microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change:*

[https://www.unep.org/resources/publication/marine-plastic-debris-and-microplastics-](https://www.unep.org/resources/publication/marine-plastic-debris-and-microplastics-global-lessons-and-research-inspire)

[global-lessons-and-research-inspire](https://www.unep.org/resources/publication/marine-plastic-debris-and-microplastics-global-lessons-and-research-inspire)

UNEP. (2021). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic*

*pollution*. Obtenido de United Nations Environment Programme:

[https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-](https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution)

[plastic-pollution](https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution)

UNEP. (2023). *Turning off the tap: How the world can end plastic pollution*. Obtenido de United

Nations Environment Programme: [https://www.unep.org/resources/turning-off-tap-end-](https://www.unep.org/resources/turning-off-tap-end-plastic-pollution-create-circular-economy)

[plastic-pollution-create-circular-economy](https://www.unep.org/resources/turning-off-tap-end-plastic-pollution-create-circular-economy)

UNEP. (2024). *Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos*. Obtenido de

<https://www.unep.org/es/resources/perspectiva-mundial-de-la-gestion-de-residuos-2024>