



**EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL TETRA PAK: UN ENFOQUE
INTEGRAL PARA LA SOSTENIBILIDAD EN LA GESTIÓN DE ENVASES**

ALINA SOFIA DIAGO CASTRO.

Corporación Universitaria Reformada

Facultad de Ingeniería

**Programa de Tecnología en Desarrollo Ambiental y Sostenible articulado por ciclo
propedéutico con Ingeniería Ambiental.**

Barranquilla-Atlántico

2026

**EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL TETRA PAK: UN ENFOQUE
INTEGRAL PARA LA SOSTENIBILIDAD EN LA GESTIÓN DE ENVASES
ALINA SOFIA DIAGO CASTRO.**

**Investigación presentada como requisito para optar por el título de Tecnólogo en
Desarrollo Ambiental y Sostenible.**

Tutora: Sofía Sulbaran.

Cotutora: Martha Alicia Mendoza Hernández.

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla – Atlántico

2026

Contenido

Resumen	5
Abstract	6
1. Introducción.....	7
2. Planteamiento del problema	8
3. Justificación	10
4. Objetivos.....	12
4.1. Objetivo General	12
4.2. Objetivos Específicos	12
5. Marco referencial.....	13
5.1. Estado Del Arte	13
5.2. Marco Legal.....	19
5.3. Marco teórico.....	21
6. Metodología.....	23
6.1. Tipo de investigación	23
6.2. Área de estudio	23
6.3. Desarrollo metodológico	24
6.3.1. Fases de desarrollo del proyecto	24
7. Resultados y discusión	27
8. Conclusiones.....	39

9. Recomendaciones	41
10. Bibliografía.....	42

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Esquema metodológico del proyecto</i>	24
<i>Ilustración 2. Diagrama de procesos del Tetra Pak</i>	27
<i>Ilustración 3. Esquema de Matriz de aspectos ambientales</i>	28
<i>Ilustración 4. Matriz DOFA</i>	37

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Criterios de Evaluación de la Matriz de Conesa</i>	30
<i>Tabla 2. Rangos a calcular de los Criterios de la Matriz de Conesa</i>	31
<i>Tabla 3. Calificación de impacto</i>	31
<i>Tabla 4. Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales con base a Matriz de Conesa</i>	34

Resumen

El Tetra Pak es un envase ampliamente utilizado en alimentos y bebidas por su practicidad y capacidad de conservación, pero su composición multicapa de cartón, plástico y aluminio plantea desafíos ambientales relacionados con emisiones, consumo de recursos y disposición final. La Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) constituye una herramienta esencial para analizar su impacto en todas las etapas, identificar puntos críticos y comparar alternativas de envasado. Los resultados obtenidos evidencian que los mayores impactos se concentran en las fases de producción de materia prima y gestión posconsumo, destacando la importancia de fortalecer esquemas de reciclaje, tecnologías más limpia y estrategias de economía circular. Este proyecto busca aportar a la gestión sostenible de envases mediante la exploración del potencial del Tetra Pak en el marco de la economía circular y la reducción de su huella ambiental.

Palabras claves: Tetra Pak, Evaluación de Ciclo de Vida, sostenibilidad de envases, economía circular, impacto ambiental, gestión de residuos.

Abstract

The Tetra Pak is a widely used packaging in food and beverages for its practicality and preservation capacity, but its multilayer composition of cardboard, plastic, and aluminum poses environmental challenges related to emissions, resource consumption, and final disposal. Life Cycle Assessment (LCA) is an essential tool to analyze its impact at all stages, identify critical points, and compare packaging alternatives. The results obtained show that the greatest impacts are concentrated in the raw material production and post-consumption management phases, highlighting the importance of strengthening recycling schemes, cleaner technologies, and circular economy strategies. This project aims to contribute to the sustainable management of packaging through exploring the potential of Tetra Pak within the framework of the circular economy and reducing its environmental footprint.

Keywords: Tetra Pak, Life Cycle Assessment, packaging sustainability, circular economy, environmental impact, waste management.

1. Introducción

El Tetra Pak es un tipo de empaque muy común para alimentos y bebidas, como leche, jugos, sopas y otros. Es conocido por su forma rectangular y su material compuesto. Un envase de Tetra Pak está compuesto principalmente de una combinación de tres materiales principales: cartón (75%), plástico (20%) y aluminio (5%), son ideales para proteger alimentos húmedos de la luz y el aire. (lechero, 2021) Sin embargo, esta combinación de materiales plantea un desafío ambiental complejo, pues su producción, transporte, consumo de energía y disposición final generan impactos significativos que requieren un análisis profundo.

Si bien este tipo de envase presenta ventajas como su ligereza y practicidad, también desventajas como: generación de emisiones de gases de efecto invernadero, consume agua y puede terminar en vertederos si no se recicla.

En este contexto, la propia empresa Tetra Pak ha señalado la necesidad de impulsar soluciones circulares que permitan mitigar el problema de los residuos, advirtiendo que, de no gestionarse de forma correcta, estos envases pueden permanecer en el ambiente por cientos de años, afectando ecosistemas y recursos hídricos. (Pak, 2021)

La sostenibilidad del Tetra Pak depende en gran medida de la eficiencia de los sistemas de recolección y reciclaje implementados. Por ello, este proyecto busca, a través de la Evaluación del Ciclo de Vida, identificar los posibles impactos ambientales que se pueden generar por la fabricación, consumo y pos consumo del Tetra Pak. Al fomentar la separación en la fuente, el fortalecimiento de las cadenas de reciclaje y la inversión en nuevas tecnologías, se abre la posibilidad de diseñar estrategias sostenibles que reduzcan significativamente su impacto ambiental. En definitiva, comprender el ciclo de vida del Tetra Pak no solo permite dimensionar sus efectos, sino también promover prácticas que contribuyan a la construcción de un futuro más sostenible.

2. Planteamiento del problema

El envase Tetra Pak constituye uno de los sistemas de empaque más utilizados en la industria de alimentos y bebidas debido a sus propiedades de conservación, ligereza y eficiencia logística. Su estructura multicapa, compuesta principalmente por cartón, polímeros y aluminio, permite proteger productos sensibles a la luz, el oxígeno y la humedad. No obstante, esta complejidad material plantea desafíos significativos en términos de sostenibilidad ambiental, particularmente en las etapas de producción y posconsumo.

En el ámbito ambiental, además de las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos durante su ciclo de vida, la disposición inadecuada de los envases Tetra Pak genera contaminación del suelo y cuerpos de agua, afectando la biodiversidad. Estudios han señalado que los residuos de plásticos y laminados contribuyen a la liberación de microplásticos, los cuales alteran cadenas tróficas y representan riesgos para organismos acuáticos y terrestres. (Jambeck Jenna R., 2015).

Desde la perspectiva de la salud humana, la acumulación de residuos de envases compuestos en vertederos genera lixiviados contaminantes y proliferación de vectores, lo que incrementa el riesgo de enfermedades infecciosas en comunidades cercanas. Asimismo, la incineración de este tipo de residuos, cuando se realiza sin control, libera sustancias tóxicas, asociadas con enfermedades respiratorias y cáncer. (Rogers Keith, 2024).

En términos económicos, la falta de infraestructura adecuada para el reciclaje de envases Tetra Pak representa una pérdida de recursos potencialmente aprovechables, como fibras de celulosa de alta calidad y aluminio. Esta ineficiencia impide cerrar ciclos productivos dentro de la economía circular y genera costos adicionales para los gobiernos en la gestión de residuos sólidos. Según el Banco Mundial, si no se toman medidas urgentes, los costos de la gestión de residuos aumentarán

en un 70% hacia el 2050, comprometiendo la sostenibilidad financiera de muchos países. (Grupo, 2018).

En este contexto, el problema no radica exclusivamente en el envase como producto, sino en las limitaciones estructurales, tecnológicas y operativas de los sistemas de gestión para manejar de manera sostenible su ciclo de vida completo.

Pregunta problema.

¿Cuál es el impacto del ciclo de vida del envase Tetra Pak y qué alternativas sostenibles pueden mitigar sus efectos negativos?

3. Justificación

A través de los años se ha desencadenado una gran problemática en tema de residuos sólidos, principalmente una alta presencia de productos envasados en el mercado alimenticio (leche, jugo, sopas, etc) debido a la particularidad del envase de un solo uso, más conocido como el Tetra Pak, donde los envases plásticos representan una fracción creciente en la sociedad moderna que conllevan seriamente a problemas en su huella ambiental por extracción de materias primas, consumo energético y emisiones durante su ciclo de vida, sobre todo en la disposición final de este.

El Tetra Pak, compuesto especialmente por cartón, polietileno y aluminio, presenta serias dificultades de reciclaje puesto a su estructura multicapa. Esta característica ha limitado su recuperación en los sistemas de gestión de residuos, provocando que una gran proporción de estos envases termine en rellenos sanitarios o, en el peor de los casos, en ecosistemas naturales que posiblemente lo deterioren y su impacto ambiental resulte un proceso complejo para recuperarse naturalmente.

Desde una perspectiva social y económica, el problema se intensifica debido a la baja rentabilidad que representa el reciclaje del Tetra Pak para los recicladores de base y las empresas de aprovechamiento. Los altos costos de separación y procesamiento reducen las posibilidades de que se integre a las cadenas de valor circulares, generando pérdidas económicas y limitando el desarrollo de modelos de negocio sostenibles. Asimismo, el manejo inadecuado de estos residuos puede implicar riesgos para la salud humana, especialmente cuando se acumulan en espacios urbanos o se descomponen en vertederos sin control adecuado.

Ante esta problemática, resulta pertinente realizar un estudio basado en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), ya que este enfoque permite evaluar de manera integral los impactos ambientales, sociales y económicos asociados al Tetra Pak desde la extracción de

materias primas hasta su disposición final. A través de este análisis se pretende dar respuesta a la pregunta: ¿Cuál es el impacto ambiental, social y económico del ciclo de vida del envase Tetra Pak y qué alternativas sostenibles pueden mitigar sus efectos negativos?

Este proyecto de investigación se justifica en tanto que busca aportar evidencia científica para la formulación de estrategias que favorezcan la gestión adecuada de este tipo de residuos, fomentando la economía circular, promoviendo tecnologías de reciclaje más eficientes y sensibilizando tanto a la industria como a los consumidores sobre la importancia de reducir la huella ambiental. Con ello, se contribuye no solo a la mitigación del cambio climático y la protección de los ecosistemas, sino también al fortalecimiento de la sostenibilidad en la cadena de valor de los envases en el sector alimentario.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Evaluar ambientalmente el ciclo de vida del envase Tetra Pak, mediante el análisis documental de sus etapas de producción, uso y disposición final, a fin de identificar los impactos ambientales asociados y plantear estrategias sostenibles de gestión.

4.2. Objetivos Específicos

- Analizar las etapas que conforman el ciclo de vida del envase Tetra Pak.
- Identificar los impactos ambientales asociados a las etapas de producción, uso y disposición final del envase Tetra Pak.
- Proponer estrategias sostenibles orientadas a mejorar la gestión ambiental y reducir los impactos generados por los envases Tetra Pak.

5. Marco referencial

5.1. Estado Del Arte

La literatura internacional sobre residuos sólidos destaca el crecimiento acelerado de los desechos y la considerable presión que este fenómeno ejerce sobre los sistemas de gestión ambiental. Existe un énfasis particular en envases complejos como el Tetra Pak, debido a sus desafíos específicos de manejo.

En este contexto, el Análisis de ciclo de vida (ACV) resulta fundamental ya que permite evaluar el desempeño ambiental de un envase en todas sus etapas. Su objetivo principal es identificar los puntos críticos de impacto a lo largo del proceso, lo cual es esencial para respaldar a la toma de decisiones hacia prácticas más sostenibles.

Diversos estudios han aplicado el ACV a envases de Tetra Pak con el fin de determinar sus ventajas y limitaciones. El informe “Comparative Life Cycle Assessment of Tetra Pak® carton packages and alternative packagings for liquid food on the Nordic market” realizado por el Instituto de Investigación Energética y Ambiental Heidelberg GmbH – IFEU, analiza el desempeño ambiental de envases cartoneros Tetra Pak frente a envases alternativos (PET, HDPE, vidrio, etc.) en los mercados de Suecia, Noruega, Finlandia y Dinamarca. Se adhiere a las normas ISO 14040 e ISO 14044. Este estudio revela que la ventaja ambiental de Tetra Pak depende del tipo de bebida, las condiciones de transporte, la energía del país y la tasa de reciclaje. (Ambiental, 2016)

De manera complementaria, el informe “Evaluating the Sustainability of Tetra Pak Smart Packaging Through Life Cycle and Economic Analysis” comparan envases Tetra Pak convencionales con un envase “inteligente” que incorpora una capa antioxidante activa y un sensor químico para detectar deterioro de alimentos. Se evalúan varios escenarios de desperdicio

de alimentos (línea base, mejor caso, caso promedio, peor caso). En el escenario promedio, el envase inteligente redujo el impacto ambiental en la categoría Cambio climático en un 29.17% comparado con el envase convencional, aunque sus costos de producción fueron mayores. (Stramarkou Marina, 2025).

El reciclaje del Tetra Pak se ha visto limitado por la dificultad de separar adecuadamente sus capas. Los métodos convencionales logran recuperar parte de la fibra de papel, pero dejan un remanente plástico-aluminio que usualmente se destina a valorización energética o disposición final. Frente a ello, la literatura reciente ha explorado métodos avanzados de tratamiento. Por ejemplo, el estudio “Degradation of Waste Tetra Pak Packaging with Hydrothermal Treatment in Sub-/Supercritical Water” investiga la degradación de envases Tetra Pak usando tratamientos con agua en condiciones subcríticas y supercríticas. Los autores hallan que los rendimientos de fase oleosa (productos recuperables) pueden llegar hasta alrededor del 60-65 % dependiendo de las condiciones de temperatura y tiempo. Este tipo de tecnología representa una alternativa para valorizar residuos multicapa que generalmente se consideran difíciles de reciclar. (Irgolič Mihael, 2024).

Algunos trabajos incorporan análisis económico (costos de gestión, rentabilidad del reciclaje) y evaluación social (condiciones de recicladores informales).

Por otra parte, la aplicación del análisis del ciclo de vida (ACV) es indispensable como herramienta de gestión ambiental. Esta técnica permite estimar el impacto potencial de un producto a lo largo de su vida, identificando así oportunidades para la consecuencia ambiental a escala global o regional. Un ejemplo de su utilidad se encuentra en el artículo de investigación titulado “El Análisis del Ciclo de Vida aplicado a las plantas de tratamiento de aguas residuales” en este trabajo, el ACV demostró ser clave para identificar oportunidades de mejora en los

aspectos ambientales, respaldar la toma de decisiones y seleccionar indicadores de desempeño ambiental pertinentes. (Miranda Juan Pablo, 2016).

Según el artículo de investigación, “Análisis del ciclo de vida de la producción de yogur natural en el Combinado Lácteo Santiago de Cuba”, el ACV permite identificar los puntos críticos de la cadena productiva que más inciden en el medio ambiente, considerando etapas como la obtención de materias primas, el procesamiento industrial, el envasado, la distribución y la disposición final de residuos. (Cruz Eleagne, 2021)

Asimismo, el concepto de ciclo de vida se utiliza para analizar el desarrollo científico y tecnológico de un área específica. Un ejemplo de ello es el artículo “Análisis de ciclo de vida de las publicaciones sobre la producción de quinua, a través de curva en S” su metodología de la curva en S se aplica para evaluar el estado del arte y el desarrollo de las investigaciones sobre quinua a lo largo del tiempo. (Garcia Miguel, 2019).

En relación con, el Banco Mundial y otros autores resaltan por medio del documento “Qué Desperdicio 2.0: Panorama Global de la Gestión de Residuos Sólidos hasta 2050” que la inadecuada gestión de residuos tiene costos macrosociales crecientes y externalidades (ambientales y de salud) cuantificables; asimismo, la baja valorización de envases multicapa afecta la viabilidad económica de cadenas locales de reciclaje y la capacidad de integración de recicladores. (Kaza Silpa, 2021).

El trabajo “Experimentación del Tetra Pak reutilizado para el diseño de producto” desarrollado en la Universidad Católica de Pereira, analiza el potencial de reutilización del envase Tetra Pak posconsumo como materia prima para nuevos productos, con el objetivo de extender su vida útil y reducir su disposición en rellenos sanitarios. Su principal contribución radica en evidenciar la necesidad de evaluar ambientalmente estas estrategias, lo cual refuerza la pertinencia del ACV

como herramienta para cuantificar los beneficios reales de la reutilización frente a otras opciones de gestión. (Agudelo, 2019).

El documento “El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y Gestión ambiental” constituye la base teórica y metodológica del proyecto, permitiendo justificar el uso del ACV como herramienta idónea para evaluar la sostenibilidad de envases. Sirve como sustento conceptual para la definición de límites del sistema, unidad funcional y análisis de impactos aplicados específicamente al envase Tetra Pak. Asimismo, resalta su respaldo en normas internacionales como la ISO 14040 e ISO 14044. (Romero, 2003).

El estudio “Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación del comportamiento ambiental del proceso de elaboración de leche entera UHT en una industria láctea cuencana”, desarrollado en la Universidad de Cuenca, aplica el ACV para cuantificar impactos ambientales asociados a la producción de leche UHT, considerando el envasado como parte del sistema. Su contribución al proyecto radica en mostrar cómo identificar las etapas del ciclo de vida con mayor impacto, lo cual es adaptable al análisis específico del envase Tetra Pak. (Iglesias, 2025).

El artículo científico “Análisis de inventario del ciclo de vida de las bebidas gaseosas” desarrollado por la Universidad Nacional de Misiones, realiza un ACV completo de bebidas envasadas en botellas PET, identificando entradas, salidas y variables críticas generadoras de impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Este estudio aporta un referente comparativo para el análisis de envases, permitiendo contrastar el comportamiento ambiental de envases plásticos frente a envases multicapa como el Tetra Pak. Además, refuerza la importancia de evaluar el envase como elemento clave dentro del impacto ambiental total del producto. (Pacheco et al., 2007).

El trabajo académico “Plan de negocios para la creación de una empresa productora y comercializadora de Eco-Productos Industriales obtenidos de la reutilización de insumos

provenientes del reciclaje, en este caso el cartón Tetra Pak en la ciudad de Bogotá” disponible en el repositorio de la Universidad de La Salle aborda la evaluación ambiental de productos y envases desde un enfoque de sostenibilidad, integrando conceptos de ciclo de vida, gestión de residuos y mejora del desempeño ambiental en sistemas productivos. Este estudio consiste en reforzar la visión integral del ACV como soporte técnico para mejorar la gestión de envases y residuos. (Ariza Reyes, 2007).

El artículo “Evaluation of Mechanical Properties of Composites Manufactured from Recycled Tetra Pak” enfatiza la viabilidad técnica de reutilizar residuos de este tipo de envases como materia prima para nuevos materiales compuestos. El estudio evidencia que, si bien existe interés en recuperar materiales de envases Tetra Pak, la separación física y transformación económica de sus componentes sigue siendo compleja y limitada, principalmente por aspectos técnicos y de eficiencia del proceso. Esto coincide con otros estudios que destacan la dificultad de reciclaje de envases multicapa y su impacto en la gestión posconsumo. (Macias Gallego, 2020).

El estudio “Comparative Life Cycle Assessment of Polyethylene Terephthalate (pet) and Multilayer Tetra Pak Juice Packaging Systems” presenta un LCA comparativo entre envases PET y envases Tetra Pak, evaluando sus huellas ambientales según estándares ISO 14040/44 y destacando las principales categorías de impacto como cambio climático y agotamiento de fósiles. Los resultados muestran que, en muchos indicadores, el envase multicapa Tetra Pak puede ser ambientalmente más favorable que alternativas de PET. (Marina Stramarkoua, 2021).

El artículo “Life cycle environmental and economic assessment of Tetra Pak recycling technologies” realiza un LCA combinado con análisis económico de tecnologías de reciclaje de Tetra Pak, analizando también el costo social. Se enfoca en tecnologías específicas de tratamiento de residuos de Tetra Pak, mostrando cómo diferentes métodos influyen en impactos ambientales y costo económico donde es clave para el proyecto debido que aborda la fase del posconsumo y

compara tecnologías de reciclaje desde la perspectiva ambiental y económica. (Huijuan Dong, 2024).

El estudio “Life cycle assessment of beverage packaging” examina varias opciones de envases para bebidas (incluyendo Tetra Pak) comparando sus impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida. Este tipo de hallazgo proporciona evidencia comparativa entre diferentes sistemas de envasado en estudios LCA. (Brock, 2020).

Por último, el artículo “Comparative Life Cycle Assessment of hot filling and aseptic packaging systems used for beverages” realiza un análisis comparativo del ciclo de vida (LCA) de dos tecnologías de envasado usadas en bebidas: sistemas de llenado en caliente y sistemas de envasado aséptico, que es la base del envase Tetra Pak. La evaluación de impactos ambientales se realiza siguiendo la metodología estandarizada del ACV (ISO 14040/44). Los resultados muestran que los sistemas de envasado aséptico presentan menores impactos ambientales en la mayoría de las categorías evaluadas, principalmente debido al menor peso y uso de materiales, lo que se traduce en menores emisiones y cargas ambientales a lo largo del ciclo. (Manfredi Michele, 2015).

En resumen, existe una base sustancial de estudios ACV aplicados a envases Tetra Pak, comparando sus impactos frente a otros materiales, evaluando innovaciones tecnológicas y considerando escenarios alternativos de fin de vida. Sin embargo, busca aportar información cuantitativa y técnica para fortalecer la sostenibilidad en la gestión de envases.

5.2. Marco Legal

En Colombia, la gestión de residuos sólidos, incluidos los envases y empaques como el Tetra Pak, está regulada por un conjunto de normas que buscan garantizar el manejo adecuado de los residuos, promover la economía circular y reducir los impactos ambientales.

De acuerdo con, la Constitución Política de Colombia de 1991 establece en su Artículo 79: reconoce el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y establece la obligación del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, mientras que en el Artículo 80: dispone que el Estado debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2016).

Sobre esta base se expide la Ley 99 de 1993, que crea el Ministerio de Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) donde principalmente establece los principios de desarrollo sostenible y la responsabilidad de los generadores de contaminación.

Posteriormente, la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (CONPES 3874 de 2016) plantea lineamientos para la reducción, aprovechamiento y valorización de residuos, promoviendo la separación en la fuente y la adopción de sistemas que permitan un manejo más eficiente de los empaques y envases. (Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES, 2016). De manera complementaria, la Ley 1259 de 2008 introduce el comparendo ambiental como herramienta de control para sancionar el inadecuado manejo de los residuos. (República de Colombia, 2008).

Un avance significativo en relación con los envases y empaques se da con la expedición de la Resolución 1407 de 2018, mediante la cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece el régimen de gestión ambiental aplicable a estos materiales. En ella se definen las obligaciones de productores e importadores, quienes deben implementar planes posconsumo con

metas progresivas de aprovechamiento y reciclaje. (República de Colombia, Resolución 1407, 2018) Estas disposiciones son reforzadas por la Resolución 1342 de 2020, que ajusta las metas de aprovechamiento hasta el año 2030, incrementando los compromisos de responsabilidad extendida del productor. (República de Colombia, Resolución 1342, 2020).

Adicionalmente, la Ley 2232 de 2022 regula la reducción gradual de plásticos de un solo uso en el país, lo cual, si bien no prohíbe directamente el uso de Tetra Pak, impulsa la transición hacia alternativas de envasado más sostenibles, incentivando a la industria a innovar en materiales reciclables o reutilizables. (República de Colombia, Ley 2232 de julio, 2022).

En este sentido, la normatividad colombiana establece un marco robusto que incide de manera directa en la gestión de envases multicapa como el Tetra Pak. No obstante, persisten retos técnicos y logísticos para garantizar su adecuado reciclaje, lo que hace indispensable la generación de investigaciones que, como la presente, aporten soluciones innovadoras para alinear la práctica industrial con los objetivos de sostenibilidad y las metas normativas nacionales.

5.3. Marco teórico

Un envase Tetra Pak es un envase multicapa de cartón, plástico y aluminio ampliamente utilizados en el sector alimentario representan un reto considerable para la sostenibilidad, ya que su estructura compuesta de cartón, plástico y aluminio dificulta el reciclaje convencional.

En este sentido, la Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) se ha consolidado como una herramienta esencial para comprender y evaluar los impactos ambientales de los productos a lo largo de todas sus etapas.

Según el artículo de investigación, “Análisis del ciclo de vida de la producción de yogur natural en el Combinado Lácteo Santiago de Cuba”, el ACV permite identificar los puntos críticos de la cadena productiva que más inciden en el medio ambiente, considerando etapas como la obtención de materias primas, el procesamiento industrial, el envasado, la distribución y la disposición final de residuos. (Cruz Eleagne, 2021).

La economía circular ofrece un marco conceptual esencial para abordar esta problemática. De acuerdo con, la Fundación Ellen MacArthur, este modelo busca reemplazar el paradigma lineal de producción y consumo por un esquema en el que los materiales se mantengan en uso el mayor tiempo posible, reduciendo la generación de residuos. Bajo este enfoque, los envases multicapa como el Tetra Pak deberían rediseñarse y gestionarse de manera que puedan reincorporarse al ciclo productivo mediante procesos de reciclaje, valorización energética o innovación en materiales alternativos. (Foundation, 2021).

Adicionalmente, investigaciones recientes han explorado el uso de tecnologías avanzadas de clasificación automatizada basadas en visión computarizada, sensores multispectrales y modelos de aprendizaje profundo, con el fin de optimizar la identificación y separación de residuos en flujos mixtos. Un estudio publicado en la revista científica *Resources, Conservation and*

Recycling propone un sistema de clasificación multimodal capaz de mejorar significativamente la precisión en la separación de residuos plásticos y materiales compuestos, alcanzando niveles de eficiencia superiores a los métodos tradicionales. (Konstantinidis, 2023).

En América Latina, la Iniciativa de Ciclo de Vida del PNUMA resalta la necesidad de aplicar el ACV en los sectores productivos para mejorar la sostenibilidad, priorizando envases y empaques como una de las categorías con mayor potencial de reducción de impactos ambientales. Esta recomendación cobra relevancia para el caso colombiano, donde el crecimiento de residuos sólidos y la limitada capacidad de tratamiento de envases multicapa refuerzan la urgencia de adoptar metodologías de análisis ambiental. (Life Cycle Initiative, 2025).

6. Metodología

6.1. Tipo de investigación

En el marco del proyecto titulado “*Evaluación del Ciclo de Vida del Tetra Pak: un enfoque integral para la sostenibilidad en la gestión de envases*”, la investigación se desarrolla bajo un tipo de estudio documental, fundamentado en la recopilación, revisión y análisis de información proveniente de fuentes secundarias como artículos científicos, informes técnicos, bases de datos de análisis de ciclo de vida (ACV), normativas nacionales e internacionales, así como documentos emitidos por organismos ambientales y entidades de gestión de residuos.

El enfoque metodológico adoptado es de carácter cualitativo por lo que se realiza un análisis descriptivo y comparativo de literatura académica, estudios de caso y políticas públicas vinculadas a la producción, consumo y posconsumo de envases multicapa como el Tetra Pak.

En cuanto a su alcance, la investigación se clasifica como descriptiva–analítica. Es descriptiva porque permite caracterizar los procesos de producción del Tetra Pak, así como su distribución, consumo y gestión posconsumo, visibilizando las principales limitaciones técnicas y ambientales derivadas de su compleja estructura multicapa. Asimismo, es analítica al evaluar los impactos ambientales identificados con base en la metodología de ciclo de vida, comparando los resultados con otras alternativas de envasado y proponiendo estrategias sostenibles orientadas a la reducción de su huella ambiental y al fortalecimiento de la economía circular.

6.2. Área de estudio

No se presenta un área de estudio específico puesto que el proyecto es de carácter cualitativo donde se enfoca un análisis documental y descriptivo.

6.3. Desarrollo metodológico

El proyecto “*Evaluación del Ciclo de Vida del Tetra Pak: un enfoque integral para la sostenibilidad en la gestión de envases*” se desarrolla a través de un proceso metodológico estructurado en fases, que permite cumplir los objetivos planteados.

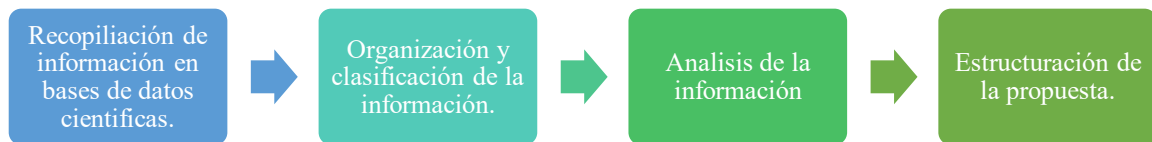


Ilustración 1. Esquema metodológico del proyecto

Fuente: Propia, 2026.

6.3.1. Fases de desarrollo del proyecto

6.3.1.1. Fase 1. Revisión documental y bibliográfica

- **Descripción:** en esta etapa se recopila información relevante de bases académicas (Scopus, ScienceDirect, Redalyc, Scielo), así como informes técnicos, normativos y reportes corporativos relacionados con la producción, consumo y posconsumo de envases Tetra Pak.
- **Instrumentos/Técnicas:** análisis comparativo de literatura
- **Resultado esperado:** consolidación de un marco conceptual y normativo actualizado, y construcción de un mapa de procesos del ciclo de vida del Tetra Pak.

6.3.1.2. Fase 2. Caracterización del ciclo de vida del Tetra Pak

- **Descripción:** identificación de las etapas que componen el ciclo de vida del envase (extracción de materias primas, producción de cartón, plástico y aluminio, ensamblaje, distribución, consumo, posconsumo y disposición final).
- **Instrumentos/Técnicas:** elaboración de diagramas de flujo y matrices de procesos.
- **Resultado esperado:** caracterización detallada de la cadena de valor del Tetra Pak.

6.3.1.3. Fase 3. Análisis de impactos ambientales

- **Descripción:** en esta fase se identifican y analizan cualitativamente los impactos ambientales asociados a la fabricación, consumo y posconsumo del Tetra Pak. El análisis se apoya en estudios de ACV existentes y en evaluaciones ambientales similares, organizando la información de manera comparativa.
- **Instrumentos/Técnicas:** análisis cualitativo de estudios de ACV, matrices de identificación de impactos ambientales y análisis comparativo entre etapas del ciclo de vida.
- **Resultado esperado:** identificación de los impactos ambientales más significativos asociados a cada fase del ciclo de vida del Tetra Pak.

6.3.1.4. Fase 4. Propuesta de estrategias sostenibles

- **Descripción:** a partir de la información obtenida, se plantean alternativas de gestión y reducción de impactos, basadas en experiencias internacionales, políticas de responsabilidad extendida del productor (REP) y enfoques de economía circular.
- **Instrumentos/Técnicas:** análisis comparativo de casos, aplicación de matriz DOFA, análisis de políticas públicas.

- **Resultado esperado:** formulación de un plan de acción sostenible con estrategias de prevención, mitigación y aprovechamiento de residuos Tetra Pak.

7. Resultados y discusión

A partir de la revisión documental y del análisis del enfoque de ciclo de vida, se identificó que el envase Tetra Pak presenta impactos ambientales distribuidos a lo largo de todas sus etapas: extracción de materias primas, producción, distribución, uso y posconsumo.

Los resultados evidencian que la fase de producción tiene una concentración significativa de impactos ambientales en la etapa de producción, asociados principalmente al consumo energético y al uso de materiales de alta intensidad ambiental como el aluminio. Asimismo, la etapa de posconsumo representa uno de los mayores desafíos ambientales debido a las limitaciones técnicas, económicas y logísticas para su aprovechamiento, especialmente en países en desarrollo.

Este análisis permitió reconocer que, aunque el envase ofrece ventajas funcionales como la conservación de alimentos y la reducción del desperdicio, su compleja estructura multicapa incrementa su huella ambiental cuando no existe una gestión adecuada al final de su vida útil.

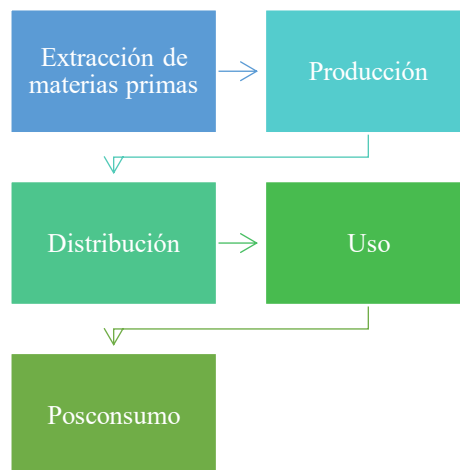


Ilustración 2. Diagrama de procesos del Tetra Pak

Fuente: Propia, 2026.

El análisis cualitativo permitió identificar los principales aspectos ambientales asociados al ciclo de vida del envase, entre los cuales se destacan:

- **Emisiones atmosféricas**, principalmente durante la producción de aluminio y polímeros.
- **Consumo intensivo de agua y energía**, en los procesos industriales.
- **Generación y disposición inadecuada de residuos sólidos**, con baja tasa de reciclaje debido a la dificultad de separación de materiales y puede terminar frecuentemente en rellenos sanitarios.
- **Aprovechamiento de recursos forestales y transformación del uso del suelo**, generando pérdida potencial de biodiversidad asociada a la presión sobre ecosistemas forestales.

Estos resultados evidencian que el impacto del envase Tetra Pak no se limita a una sola etapa, sino que es acumulativo a lo largo de su ciclo de vida, siendo el posconsumo el punto crítico desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental.



Ilustración 3. Esquema de Matriz de aspectos ambientales

Fuente: Propia, 2026.

De acuerdo con el hallazgo de algunos aspectos ambientales asociados al ciclo de vida del envase, es necesario la aplicación de una Matriz ambiental que permita explorar la totalidad de los Aspectos e Impactos que se generan durante y después del ciclo de vida del envase.

En este caso, se presenta la Matriz de CONESA, también conocida como matriz de importancia de impactos ambientales, es un método desarrollado por Vicente Conesa Fernández-Vítora, un destacado experto en gestión ambiental. Por lo tanto, este enfoque permite identificar, valorar y categorizar los impactos ambientales de un proyecto de manera cuantitativa. La matriz combina diversos factores para evaluar la magnitud e importancia de los impactos, facilitando la toma de decisiones fundamentadas. (Green, 2024)

Asimismo, la Matriz de Conesa se basa en una evaluación detallada de los siguientes factores:

- 1. Acciones del proyecto:** incluye todas las actividades asociadas a un proyecto, como construcción, operación y cierre.
- 2. Factores ambientales:** son los elementos del medio ambiente afectados por el proyecto, como aire, agua, suelo, flora, fauna y paisaje
- 3. Impactos potenciales:** se refiere a los cambios positivos o negativos en el entorno debido al proyecto.
- 4. Criterios de evaluación:** la matriz utiliza criterios como la magnitud, extensión, duración, reversibilidad y periodicidad para determinar la importancia de cada impacto.

En el marco de los factores se da a conocer detalladamente los criterios de evaluación, calificación de impacto y rangos a calcular de la Matriz de Conesa por medio de la formula:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		SIGNIFICADO
Signo	(+) / (-)	naturaleza del impacto
Intensidad	IN	intensidad o grado probable de destrucción
Extensión	EX	extensión o área de influencia del impacto
Momento	MO	momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto
Persistencia	PE	persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto
Reversibilidad	RV	posibilidad de reconstrucción del factor afectado
Recuperabilidad	MC	recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humano
Sinergia	SI	sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples
Acumulación	AC	acumulación o efecto de incremento progresivo
Efecto	EF	efecto (tipo directo o indirecto)
Periodicidad	PR	regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente

Tabla 1. Criterios de Evaluación de la Matriz de Conesa

Fuente: Green progress, 2026.

Signo	Beneficioso (+) Perjudicial (-)	Intensidad	Baja (1) Media (2) Alta (4) Muy alta (8) Total (12)
(EX) Extensión	Puntual (1) Parcial (2) Extenso (4) Total (8) Crítica (12)	(MO) Momento	Largo plazo (1) Medio plazo (2) Inmediato (4) Crítico (8)
(PE) Persistencia	Fugaz (1) Temporal (2) Permanente (4)	(RV) Reversibilidad	Corto plazo (1) Medio plazo (2) Irreversible (4)
(SI) Sinergia	Sin sinergismo (1) Sinérgico (2) Muy sinérgico (4)	(AC) Acumulación	Simple (1) Acumulativo (4)

(EF) Efecto	Indirecto (1) Directo (4)	(PR) Periodicidad	Irregular (1) Periódico (2) Continuo (4)
(MC) Recuperabilidad	Recup inmediato (1) Recuperable (2) Mitigable (4) Irrecuperable (8)		

Tabla 2. Rangos a calcular de los Criterios de la Matriz de Conesa

Fuente: Green progress, 2026.

Importancia	Calificación
0 - 25	INFERIOR
26 - 50	MODERADO
51 - 75	SEVERO
76 - 100	CRITICO

Tabla 3. Calificación de impacto

Fuente: Green progress, 2026.

A continuación, es de gran relevancia exponer la Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales relacionada con los hallazgos del proyecto de investigación:

MATRIZ DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES																		
FACTOR	ACTIVIDADES	ASPECTO	IMPACTO	Naturaleza	INTENSIDAD	EXTENSIÓN	MOMENTO	PERSISTENCIA	REVERSIBILIDAD	SINERGIA	ACUMULACIÓN	EFECTO	PERIODICIDAD	RECUPERABILIDAD	IMPORTANCIA	CALIFICACIÓN	MEDIDA DE PREVENCIÓN O MITIGACIÓN	
				+ -														
Aire	Producción de aluminio y polímeros	Emisiones atmosféricas derivadas del funcionamiento de maquinaria industrial	Deterioro de la calidad del aire y contribución al cambio climático	-	8	4	1	4	4	2	4	4	4	4	44	MODERADO	Mantenimientos preventivos del vehículo y revisión tecnicomecanicas	
Agua / energía	Procesos industriales de fabricación del envase	Consumo intensivo de agua y energía durante el proceso de fabricación del envase.	Agotamiento de recursos naturales y aumento de la huella ambiental del proceso productivo	-	4	4	4	4	4	2	1	4	4	4	40	MODERADO	Implementación de tecnologías de eficiencia energética y recirculación del agua	

Suelos / Residuos	Posconsumo del envase	Generación y disposición inadecuada de residuos sólidos multicapa en la etapa de posconsumo	Incremento de la carga sobre los sistemas de gestión de residuos, mayor disposición en rellenos sanitarios y reducción del aprovechamiento material.	-	8	4	8	4	4	2	4	4	4	2	49	MODERADO	Fortalecimiento de programas de reciclaje, ecodiseño y educación ambiental
Suelo/ Biodiversidad	Extracción de materia prima (cartón)	Aprovechamiento de recursos forestales y transformación del uso del suelo	Alteración de la cobertura vegetal y pérdida potencial de biodiversidad asociada a la presión sobre ecosistemas forestales.	-	4	2	2	4	2	1	1	1	2	4	28	MODERADO	Uso de cartón proveniente de fuentes certificadas; manejo forestal sostenible
Recursos naturales / Agua	Envasado y conservación del alimento	Implementación de sistema de envasado aséptico y hermético que prolonga la vida útil del producto	Disminución del desperdicio de alimentos y reducción indirecta de la carga ambiental asociada a su producción	+	8	4	2	4	2	2	4	1	4	4	40	MODERADO	Fortalecer tecnologías de conservación; optimizar cadenas de distribución; campañas contra el desperdicio de alimentos

Recursos naturales	Producción del envase	Incorporación de fibra de cartón proveniente de fuentes renovables certificadas	Sustitución parcial de materias primas de origen fósil, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono del envase y al fortalecimiento de prácticas de manejo forestal sostenible	+	2	2	1	2	4	1	1	1	2	4	25	MODERADO	Garantizar certificaciones forestales; incrementar contenido renovable; trazabilidad de materias primas
Gestión de residuos	Programas de recolección y reciclaje	Operación de esquemas de aprovechamiento posconsumo	Reducción de la cantidad de residuos destinados a disposición final y disminución en la extracción de materias primas vírgenes.	+	2	1	4	4	1	1	1	1	2	4	26	MODERADO	Fortalecer alianzas con recicladores; ampliar cobertura de recolección selectiva; educación ambiental
Socioeconómico /Gestión ambiental	Cadena de reciclaje y aprovechamiento	Vinculación de gestores y recicladores en la gestión posconsumo del envase	Fortalecimiento del empleo verde y formalización del sector de reciclaje, contribuyendo al desarrollo socioeconómico asociado a la economía circular	+	2	2	2	2	2	1	1	1	2	4	24	INFERIOR	Formalización y capacitación de recicladores; incentivos económicos

Tabla 4. Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales con base a Matriz de Conesa

Fuente: Propia,2026.

En la Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales se identificó que la mayoría de los impactos, tanto positivos como negativos, presentan una significancia moderada según los criterios de evaluación establecidos. No obstante, el impacto positivo relacionado con el fortalecimiento del empleo verde y la formalización del sector reciclador obtuvo una calificación baja, lo cual indica que, aunque aporta al desarrollo socioeconómico en el marco de la economía circular, su magnitud es menor en comparación con los impactos ambientales directos asociados a las etapas de producción y posconsumo del envase.

Como resultado del análisis comparativo con otras alternativas de envasado y de experiencias documentadas en la literatura, se identificaron diversas estrategias sostenibles con potencial para mitigar los impactos negativos del Tetra Pak, entre las que se destacan:

- **Fortalecimiento de la economía circular**, mediante sistemas de recolección selectiva y reciclaje especializado.
- **Mejoras en el ecodiseño del envase**, orientadas a reducir el uso de materiales complejos o facilitar su separación.
- **Responsabilidad extendida del productor**, promoviendo la participación de fabricantes en la gestión posconsumo.
- **Educación y sensibilización del consumidor**, como herramienta clave para mejorar las tasas de recuperación del envase.
- **Comparación con envases alternativos**, que permite identificar opciones con menor impacto ambiental en contextos específicos.

Estas estrategias, analizadas desde un enfoque cualitativo, muestran que es posible reducir la huella ambiental del envase si se abordan de manera integral todas las etapas de su ciclo de vida.

Con base en la información se pretende la aplicación de la Matriz DOFA, es una herramienta de análisis estratégico que permite entender los factores internos y externos que afectan o favorecen una organización o proyecto. Cuenta con 4 cuadrantes de análisis (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas, Amenazas).

Fue creada por Albert S. Humphrey para orientar correctamente el análisis de los elementos problemáticos y favorables de una compañía. Y, además, para tomar decisiones que ayudaran a que esta creciera. Con la matriz DOFA se puede ver y comparar la información de cada cuadrante

para definir las acciones a futuro (NegoyEmpre, 2020) Para comprender mejor, a continuación, se presenta la Matriz DOFA relacionada con el proyecto “*Evaluación del Ciclo de Vida del Tetra Pak: un enfoque integral para la sostenibilidad en la gestión de envases*”

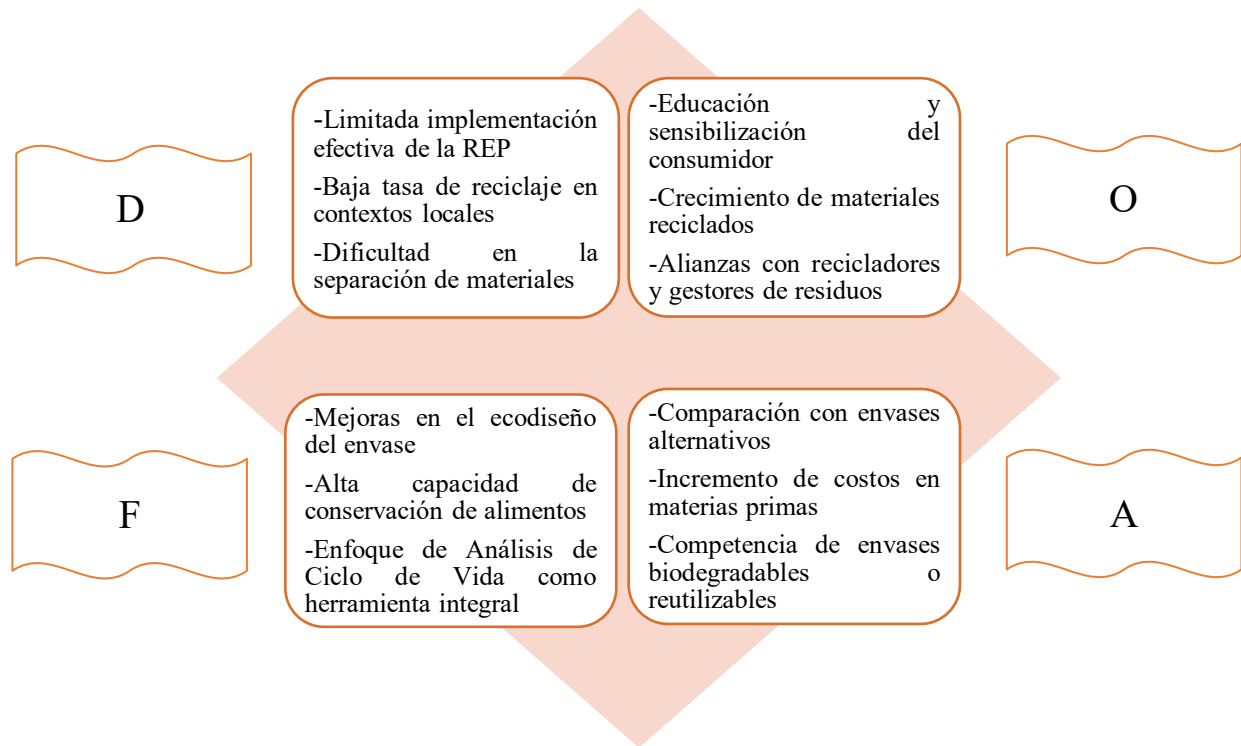


Ilustración 4. Matriz DOFA

Fuente: Propia, 2026.

El análisis DOFA permitió identificar factores internos y externos que influyen en la gestión sostenible del envase Tetra Pak. Entre las fortalezas se destacan los avances en ecodiseño y la optimización del desempeño ambiental del envase, mientras que las debilidades se relacionan con la complejidad estructural del material multicapa y las limitaciones en la implementación efectiva de la responsabilidad extendida del productor. A nivel externo, se evidencian oportunidades asociadas al fortalecimiento de la economía circular y a los procesos de educación ambiental del

consumidor, así como amenazas derivadas de la competencia con envases alternativos percibidos como más fácilmente reciclables.

8. Conclusiones

La presente investigación permitió evaluar el ciclo de vida del envase Tetra Pak desde un enfoque integral, evidenciando que su impacto ambiental se manifiesta a lo largo de todas las etapas que lo conforman, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Los hallazgos muestran que, si bien el envase presenta ventajas funcionales en la conservación de alimentos y la reducción del desperdicio, estas se ven contrarrestadas por los impactos ambientales asociados a su compleja estructura multicapa.

Se concluye que la fase de producción constituye uno de los principales focos de impacto ambiental debido al elevado consumo de energía y recursos naturales, especialmente en la fabricación de aluminio y polímeros. De igual forma, la etapa de posconsumo se identifica como un punto crítico, ya que la dificultad para separar y reciclar los materiales que componen el envase limita su aprovechamiento y favorece su disposición en rellenos sanitarios.

El análisis cualitativo realizado confirma que la estructura multicapa del Tetra Pak representa una barrera significativa para la gestión sostenible del residuo, particularmente en contextos donde la infraestructura tecnológica y los sistemas de recolección selectiva son insuficientes. Esta condición incrementa la presión sobre los sistemas de gestión de residuos y contribuye a la generación de impactos ambientales acumulativos.

Asimismo, se concluye que el análisis de ciclo de vida se consolida como una herramienta fundamental para comprender de manera integral los impactos ambientales del envase, permitiendo evitar evaluaciones parciales y facilitando la comparación con otras alternativas de envasado. Este enfoque metodológico aporta una visión sistémica que resulta clave para la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad.

Finalmente, la investigación evidencia que, aunque el envase Tetra Pak genera impactos ambientales relevantes, estos pueden ser mitigados mediante la implementación de estrategias sostenibles basadas en la economía circular, el ecodiseño y la corresponsabilidad entre los diferentes actores involucrados. De esta manera, se responde a la pregunta problema al demostrar que el impacto del ciclo de vida del envase es significativo, pero susceptible de ser reducido a través de una gestión integral y sostenible.

9. Recomendaciones

Se recomienda a las empresas productoras de envases multicapa fortalecer estrategias de ecodiseño orientadas a reducir la complejidad técnica de su composición, facilitando la separación de materiales y mejorando su potencial de reciclaje, con el fin de disminuir los impactos ambientales asociados a su ciclo de vida.

Se sugiere a las entidades responsables de la gestión de residuos implementar y fortalecer sistemas de recolección selectiva y reciclaje especializado para envases Tetra Pak, especialmente en contextos urbanos donde se concentra su mayor consumo, promoviendo su reincorporación a cadenas de valor bajo un enfoque de economía circular.

Se recomienda a las autoridades ambientales y entes reguladores consolidar esquemas de responsabilidad extendida del productor, que incentiven la participación de los fabricantes en la gestión posconsumo del envase, garantizando una distribución equitativa de responsabilidades ambientales.

Se propone desarrollar programas de educación y sensibilización ambiental dirigidos a los consumidores, orientados a mejorar las prácticas de separación en la fuente y disposición adecuada de los envases, reconociendo el papel fundamental del usuario final en la sostenibilidad del ciclo de vida del producto.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones profundicen en el análisis cuantitativo del ciclo de vida del Tetra Pak, incorporando indicadores ambientales específicos y estudios comparativos con otros tipos de envases, así como evaluaciones en contextos locales, con el fin de complementar y fortalecer los resultados obtenidos en el presente estudio.

10. Bibliografía

Agudelo, J. (2019). *Google Academico*. Google Academico:

<https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/12d2579e-15de-4e15-8bfc-9b9d8a89b9d0/content>

Ambiental, H. G.-I. (Mayo de 2016). *Instituto de Investigación Energética y Ambiental*. Instituto

de Investigación Energética y Ambiental: https://www.ifeu.de/en/project/tetra-pak-lca-nordic-countries?utm_source=

Ariza Reyes, Y. P. (2007). *Google Academico* . Google Academico :

<https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/83ddea6b-d37b-4c90-b704-53437ce5493f/content>

Brock, A. &. (Diciembre de 2020). *Detritus*. Detritus:

https://digital.detritusjournal.com/articles/life-cycle-assessment-of-beverage-packaging/368?utm_source=

Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES, D. N. (21 de Noviembre de 2016).

Documento CONPES. Documento CONPES: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3874-de-2016.pdf>

Cruz Eleagne, A.-M. A. (Junio de 2021). *Redalyc*. Redalyc:

<https://www.redalyc.org/journal/1813/181369731001/181369731001.pdf>

Foundation, E. M. (26 de Mayo de 2021). *Completing the picture: How the circular economy*

tackles climate change. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>

Garcia Miguel, &. L. (Junio de 2019). *Scielo*. Scielo:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2027-83062019000100379&script=sci_arttext

Green, P. (2024). *Green Progress*. Green Progress:

<https://evaluaciondeimpactoambiental.com/matriz-conesa/>

Grupo, B. M. (20 de Septiembre de 2018). *Grupo Banco Mundial*. Grupo Banco Mundial:

<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

Huijuan Dong, F. Y. (Marzo de 2024). *ScienceDirect*. ScienceDirect:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344923004895?utm_source=

Iglesias, L. (15 de Mayo de 2025). *Google Academico*. Google Academico: [https://rest-](https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/88eb6340-97a7-4620-a777-f786e34f94b6/content)

[dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/88eb6340-97a7-4620-a777-f786e34f94b6/content](https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/88eb6340-97a7-4620-a777-f786e34f94b6/content)

Irgolič Mihael, Č. M. (1 de Julio de 2024). *MDPI*. MDPI: [https://www.mdpi.com/2073-](https://www.mdpi.com/2073-4360/16/13/1879?utm_source=)

[4360/16/13/1879?utm_source=](https://www.mdpi.com/2073-4360/16/13/1879?utm_source=)

Jambeck Jenna R., G. R. (13 de Febrero de 2015). *Science*. Science:

https://www.science.org/doi/10.1126/science.1260352?utm_source=.com

Kaza Silpa, Y. L. (Abril de 2021). *World Bank Group* . World Bank Group :

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/697271544470229584>

Konstantinidis, F. K. (Diciembre de 2023). *ScienceDirect*. ScienceDirect:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923003786?via%3Dihub>

lechero, D. (5 de Febrero de 2021). *Diario lechero*. Diario lechero:

https://www.diariolechero.cl/noticia/innovacion-y-tecnologia/2021/02/conociendo-mas-sobre-los-envases-de-tetra-pak?utm_source=

Life Cycle Initiative, U. (12 de Septiembre de 2025). *Advancing Life Cycle Assessment: A shared*

vision for a Global LCA Platform. <https://www.lifecycleinitiative.org/advancing-life-cycle-assessment-a-shared-vision-for-a-global-lca-platform/>

Macias Gallego, S. G. (Octubre de 2020). *Redalyc*. Redalyc:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257066152004>

Manfredi Michele, V. G. (Febrero de 2015). *ScienceDirect*. ScienceDirect:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877414003860?utm_source=

Marina Stramarkoua, C. B. (1 de Julio de 2021). *Chemical Engineering Transactions*. Chemical Engineering Transactions:

https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/11702?utm_source=

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., (. (Julio de 2016). *Minambiente*. Minambiente:

[https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2351-constitucion-](https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2351-constitucion-del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-ambiente#:~:text=Art%C3%ADculo%2079.,el%20logro%20de%20estos%20fines.&text=Art%C3%ADculo%2080.,situados%20en%20las%20)

[del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-](https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2351-constitucion-del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-ambiente#:~:text=Art%C3%ADculo%2079.,el%20logro%20de%20estos%20fines.&text=Art%C3%ADculo%2080.,situados%20en%20las%20)

[ambiente#:~:text=Art%C3%ADculo%2079.,el%20logro%20de%20estos%20fines.&text=](https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2351-constitucion-del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-ambiente#:~:text=Art%C3%ADculo%2079.,el%20logro%20de%20estos%20fines.&text=Art%C3%ADculo%2080.,situados%20en%20las%20)

[Art%C3%ADculo%2080.,situados%20en%20las%20](https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2351-constitucion-del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-ambiente#:~:text=Art%C3%ADculo%2079.,el%20logro%20de%20estos%20fines.&text=Art%C3%ADculo%2080.,situados%20en%20las%20)

Miranda Juan Pablo, G. C. (2016). *Redalyc*. Redalyc:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87048049007>

NegoyEmpre. (13 de Julio de 2020). *Negocios y Empresa*. Negocios y Empresa:

<https://negociosyempresa.com/analisis-foda-matriz-dofa/>

Pacheco, O., Plaza, G., Cárdenas, J. V., y Sandoval, J. A. (2007). *Redalyc*. Redalyc:

<https://www.redalyc.org/pdf/3826/382679021001.pdf>

Pak, T. (2021). *Circularidad y reciclaje*. Circularidad y reciclaje:

<https://www.tetrapak.com/sustainability/focus-areas/circularity-and-recycling>

República de Colombia, M. d. (2008). *Ley 1259 2008*. Ley 1259 2008:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1259-2008.pdf>

República de Colombia, M. d. (26 de Julio de 2018). *Resolución 1407*. Resolución 1407:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1407-de-2018.pdf>

República de Colombia, M. d. (20 de Diciembre de 2020). *Resolución 1342*. Resolución 1342:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1342-de-2020.pdf>

República de Colombia, M. d. (7 de Julio de 2022). *Ley 2232 de julio*.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/07/LEY-2232-DE-07-DE-JULIO-DE-2022.pdf>

Rogers Keith, W. E. (28 de Mayo de 2024). *PubMed*. PubMed:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38539046/>

Romero, B. (Julio de 2003). *Scribd*. Scribd: [https://es.scribd.com/document/28827510/El-](https://es.scribd.com/document/28827510/El-Analisis-del-Ciclo-de-Vida)

[Analisis-del-Ciclo-de-Vida](https://es.scribd.com/document/28827510/El-Analisis-del-Ciclo-de-Vida)

Stramarkou Marina, B. C. (23 de Mayo de 2025). *MDPI*. MDPI: [https://www.mdpi.com/2071-](https://www.mdpi.com/2071-1050/17/11/4810?utm_source=)

[1050/17/11/4810?utm_source=](https://www.mdpi.com/2071-1050/17/11/4810?utm_source=)