

Impacto ambiental de las bolsas de plástico: un análisis del ciclo de vida en el cantón San Lorenzo
Environmental Impact of Plastic Bags: A Life Cycle Analysis in San Lorenzo Canton

Para citar este trabajo:

Prado-Cabezas, M. Impacto ambiental de las bolsas de plástico: un análisis del ciclo de vida en el cantón San Lorenzo. *Reincisol*, 3(5), pp. xxx-xxx. [https://doi.org/10.59282/reincisol.Vx\(x\)xxx-xxxxx](https://doi.org/10.59282/reincisol.Vx(x)xxx-xxxxx)

Autores:

María Mercedes Prado Cabezas
Instituto Superior Tecnológico ALBERTO ENRÍQUEZ
Ciudad: San Lorenzo, País: Ecuador
Correo Institucional: mercedespradocabezas@gmail.com
Orcid <https://orcid.org/0009-0006-8371-5942>

RECIBIDO: 8 enero 2024 **ACEPTADO:** 28 marzo 2024 **PUBLICADO** 14 abril 2024

Resumen (máximo 250 palabras)

El presente proyecto evaluó el impacto ambiental de diferentes tipos de bolsas de plástico, de papel y reutilizables de polipropileno reciclable mediante un análisis de ciclo de vida (ACV) en el cantón San Lorenzo, Ecuador. Se utilizó herramientas como el software openLCA y la base de datos ecoinvent, se analizó las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-Eq) a lo largo de los períodos de producción, transporte, uso y disposición final de las bolsas. Los resultados indicaron que las bolsas de plástico presentan el mayor impacto ambiental, especialmente en las etapas de producción y transporte, debido a su dependencia de recursos no renovables y a la alta intensidad energética de su fabricación. Además, la falta de un procedimiento eficiente de gestión de residuos en San Lorenzo ayuda a la contaminación ambiental y de salud pública por plásticos. Las bolsas de papel, aunque biodegradables, también generan un impacto ambiental considerable, derivado del consumo de recursos naturales y energía en su producción. Sin embargo, el uso de fibras recicladas y la energía hidroeléctrica ayudan a reducir su huella de carbono. Por otro lado, las bolsas reutilizables de polipropileno reciclable ofrecen ventajas en términos de sostenibilidad cuando se utilizan repetidamente y se gestionan adecuadamente al final de su vida útil. En conclusión, el proyecto muestra la importancia de adoptar materiales sostenibles y mejorar las prácticas de gestión de residuos. A través de políticas públicas, conciencia social y prácticas de consumo responsables, se pueden reducir los impactos ambientales asociados con el uso de bolsas en San Lorenzo.

Palabras claves: Análisis de ciclo de vida (ACV); Emisiones de dióxido de carbono (CO₂-Eq); Contaminación plástica; Gestión de residuos; Huella de carbono.

Abstract (maximo 250 palabras)

The project evaluated the environmental impact of different types of plastic, paper, and reusable polypropylene bags through a life cycle analysis (LCA) in the San Lorenzo canton, Ecuador. Tools such as the openLCA software and the ecoinvent database were used to analyze the equivalent carbon dioxide (CO₂-Eq) emissions throughout the production, transportation, use, and disposal stages of the bags. The results indicated that plastic bags have the greatest environmental impact, particularly in the production and transportation stages, due to their reliance on non-renewable resources and the high energy intensity of their manufacturing. Additionally, the lack of an efficient waste management system in San Lorenzo contributes to environmental pollution and public health issues caused by plastic. While paper bags are biodegradable, they also generate an environmental impact due to the consumption of natural resources and energy in their production. However, the use of recycled fibers and hydroelectric power helps reduce their carbon footprint. On the other hand, reusable polypropylene bags offer sustainability advantages when used repeatedly and properly managed at the end of their life cycle. In conclusion, the project highlights the importance of adopting sustainable materials and improving waste management practices. Through public policies, social awareness, and responsible consumption practices, the environmental impacts associated with the use of bags in San Lorenzo can be reduced.

Keywords: Life cycle analysis (LCA); Carbon dioxide emissions (CO₂-Eq); Plastic pollution; waste management; Carbon footprint.

INTRODUCCIÓN

El ciclo de vida de las bolsas de plástico, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, abarca una serie de procesos que tienen serias repercusiones ambientales. La producción de plástico comienza con la explotación de recursos no renovables como el petróleo y el gas natural, lo que ayuda a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y a la degradación ambiental. Además, el proceso de fabricación de las bolsas de plástico requiere grandes cantidades de energía y agua, liberando contaminantes nocivos al aire y al agua. Tras su corto período de uso, muchas de estas bolsas terminan en vertederos o, en el peor de los casos, en cuerpos de agua, donde pueden descomponerse en microplásticos que son consumidos por la fauna marina, afectando así la cadena alimenticia humana (Arce-Bastias, 2022).

El uso generalizado de bolsas de plástico ha despertado una creciente preocupación por sus impactos negativos en el medio ambiente, especialmente en zonas como San Lorenzo, Ecuador, donde la gestión de residuos es deficiente. A pesar de su practicidad, las bolsas de plástico contribuyen significativamente a la contaminación ambiental, afectando tanto la biodiversidad como la salud pública. Una causa fundamental de este problema es el desconocimiento acerca del impacto que generan las bolsas de plástico a lo largo de su ciclo de vida. En consecuencia, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto ambiental de las bolsas de plástico en cada fase de su ciclo de vida y cómo puede cuantificarse su huella de carbono para identificar sus efectos negativos en el entorno y proponer soluciones sostenibles?

La evaluación del ciclo de vida (ACV) ofrece una metodología eficaz para analizar los impactos ambientales en todas las etapas del tiempo de vida de un producto, desde su origen hasta su disposición final. Este enfoque integral es esencial para entender el costo ambiental real de las bolsas de plástico y para identificar oportunidades de mitigación. En el contexto de San Lorenzo, la implementación de un ACV podría facilitar la creación de políticas y estrategias que promuevan prácticas sostenibles, minimizando así el impacto ambiental y preservando los recursos naturales de la región (Resano Goizueta, 2019).

En este sentido, el objetivo principal de la investigación propuesta es evaluar los impactos ambientales de las bolsas de plástico mediante un análisis exhaustivo de su ciclo de vida, para

identificar y cuantificar los efectos negativos que tienen en el medio ambiente. Para alcanzar este propósito, es necesario examinar cada etapa del período de existencia de las bolsas, desde la extracción de las materias primas hasta su eliminación final. Además, es imprescindible cuantificar las emisiones de CO₂ generadas en cada fase, lo que proporcionará una imagen clara de la huella de carbono de las bolsas de plástico.

Este estudio es relevante ya que permitirá comparar el impacto ambiental de las bolsas de plástico con alternativas como las de papel y las reutilizables. Aunque las bolsas de papel son biodegradables, su producción conlleva un alto consumo de recursos naturales y energía. Por su parte, las bolsas reutilizables, fabricadas generalmente con materiales más duraderos, pueden reducir su impacto si se utilizan de forma repetida a lo largo del tiempo. Este análisis comparativo permitirá determinar qué opción presenta un menor impacto ambiental en su conjunto, fomentando prácticas más sostenibles entre los habitantes de San Lorenzo (Thoss, 2021).

Este estudio reside en la necesidad de obtener una evaluación exhaustiva que sirva de base para la implementación de estrategias sostenibles, la formulación de políticas más eficaces y el desarrollo de alternativas menos dañinas para el medio ambiente. Asimismo, la investigación pretende cubrir la falta de información técnica y científica existente, proporcionando datos que puedan ser utilizados para estandarizar normativas y certificaciones, reduciendo la incertidumbre tanto en el mercado como entre los actores involucrados en el ciclo de vida de las bolsas de plástico (Arce-Bastias, 2022). Al abordar estos temas, este estudio contribuirá a la reducción de la contaminación por plásticos, a la protección de los ecosistemas y la salud humana, y a la promoción de prácticas comerciales más sostenibles (Resano, 2019).

Los resultados de este estudio podrán servir como base para el desarrollo de políticas públicas locales destinadas a regular el uso y la disposición de las bolsas de plástico, promoviendo alternativas más sostenibles que beneficien tanto al medio ambiente como a la comunidad de San Lorenzo. En última instancia, la adopción de estas políticas podría transformar la gestión de residuos en la región, protegiendo los ecosistemas locales y mejorando la calidad de vida de sus habitantes (Cortes, 2022).

El análisis del ciclo de vida constituye un instrumento clave para entender y mitigar los impactos ambientales de las bolsas de plástico. En el caso de San Lorenzo, esta metodología puede aportar datos valiosos que orienten la toma de decisiones y el diseño de políticas. Por ejemplo, al identificar las fases del ciclo de vida con mayores emisiones de CO₂, se pueden formular estrategias específicas para reducir estas emisiones. Además, la comparación del impacto ambiental de distintos tipos de bolsas puede favorecer la adopción de alternativas más sostenibles que contribuyan a la protección del medio ambiente y la salud pública (Thoss, 2021).

Consecuentemente, el cantón San Lorenzo enfrenta una crisis ambiental debido a la contaminación por bolsas de plástico. La aplicación del análisis del ciclo de vida ofrece una solución prometedora para evaluar y mitigar estos efectos. Este estudio no solo proporcionará datos útiles para la formulación de políticas y estrategias sostenibles, sino que también contribuirá a educar y sensibilizar a la comunidad sobre la necesidad de reducir el uso de plástico y adoptar prácticas más respetuosas con el medio ambiente. Con un enfoque integral y basado en evidencia científica, es posible avanzar hacia un futuro más sostenible y saludable para San Lorenzo y sus habitantes (UNEP, 2020).

MATERIALES Y METODOS

El estudio fue de naturaleza cuantitativa, ya que utiliza datos estadísticos y métricas específicas para evaluar los impactos ambientales en distintas etapas del tiempo de existencia de las bolsas de plástico, desde su producción hasta su disposición final. El enfoque principal fue el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), una herramienta cuantitativa reconocida por su capacidad para identificar puntos críticos y proponer mejoras ambientales a lo extenso de todos los periodos de vida de un producto. Este camino integral se aplicará tanto a las bolsas de plástico como a las de papel y reutilizables para asegurar la consistencia en los resultados y conclusiones.

El presente estudio se estructuró en tres etapas. Al inicio de la etapa, se utilizó el software openLCA para llevar a cabo el ACV, considerando los procesos de ciclo de vida que incluyeron la extracción de materias primas, la fabricación, el transporte, el uso y la disposición final. Se recopilaron datos primarios mediante revisión bibliográfica y secundarios de la base de datosecoinvent. La segunda etapa consistió en la recolección de información cuantitativa sobre los

materiales utilizados, el consumo energético y las emisiones generadas en cada etapa del ciclo de vida (*Table 1*). En la tercera etapa, se ejecutaron los procesos en openLCA para obtener representaciones gráficas de los impactos ambientales, especialmente en términos de emisiones de CO₂.

Tabla 1 CONSUMO DE ENERGIA Y GENERACION DE RESIDUOS PARA 1000 BOLSAS.

Tipo de bolsa	Materia prima	Electricidad	Peso
Plastico	GRANAZA DE POLIETILENO	6.151 kWh (22.144 MJ) (0,758 kWh/kg)	418,4 g
Papel	FIRBRA DE CELULOSA	1.500 kWh (5.400 MJ) (25 kwh/kg)	600g
Reutilizable alt.	POLIPROPILENO RECICLABLE	5.000kWh (18 MJ) (41,67 kWh/kg)	120g

El presente estudio de investigación se desarrolló en el cantón San Lorenzo, ubicado en la provincia de Esmeraldas, Ecuador, tal que posee 305.310 ha y alrededor de 48.391hab. La población del estudio estuvo conformada por entidades involucradas en la cadena de industrias manufactureras que representa el 4.26% de la población, comercio al por mayor y menor equivalente al 9.65% de la población, transporte y almacenamiento representada por un 2.19% de la población (GADM-SL, 2021). Esto incluyó a productores de materiales plásticos, empresas de transporte, usuarios locales de bolsas y gestores de residuos. También se consideraron fuentes secundarias de datos, como estudios previos y bases de datos especializadas.

La muestra seleccionada fue no probabilística y estuvo compuesta por datos representativos de las emisiones de CO₂, el consumo de energía y la generación de residuos a lo largo del periodo de vida de las bolsas. Se seleccionaron datos de procesos estándar para 1000 bolsas de plástico, papel y polipropileno reciclable. La elección de esta muestra se justificó por su capacidad para representar los patrones de consumo y disposición de bolsas en el contexto local, proporcionando información fiable para el análisis.

Herramientas utilizadas

Para la recopilación de datos se utilizó revisiones bibliográficas y el software openLCA, que permitió modelar y simular los procesos involucrados en cada etapa del ciclo de vida. Se prestó especial atención a aspectos como el consumo de energético, uso de materiales y generación de residuos en cada fase. Los datos obtenidos serán detallados y abarcados en una base de datos compatible con openLCA, permitiendo un análisis exhaustivo y preciso.

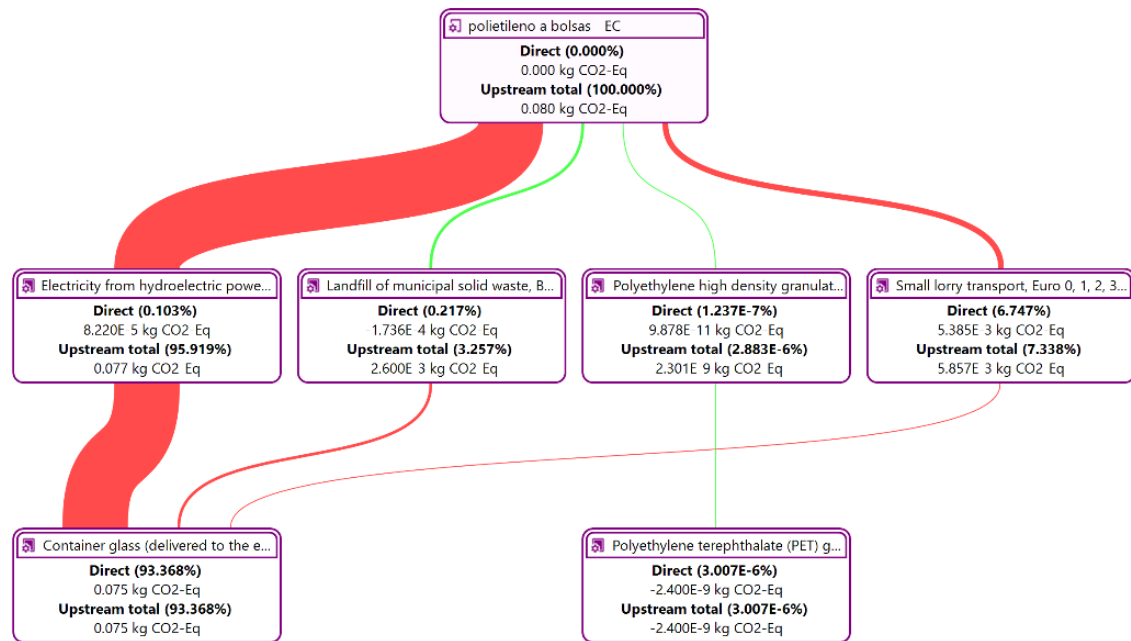
Los resultados se interpretarán mediante técnicas estadísticas descriptivas y gráficas para visualizar y comparar los impactos ambientales identificados. Asimismo, se utilizarán métodos de análisis multicriterio para evaluar alternativas y determinar cuál presenta el menor impacto ambiental total. La validación de los resultados se llevará a cabo mediante comparaciones con estudios previos, permitiendo la formulación de recomendaciones basadas en evidencia para la adopción de prácticas más sostenibles en el área de estudio.

RESULTADOS

En sección se muestran los resultados obtenidos por la Evaluación de impacto Ambiental a partir del software OpenLCA. En primera instancia, se muestran los resultados generales por los 3 tipos de bolsas utilizadas en el cantón de San Lorenzo.

Figura 1

Resultados de ACV de bolsas de plástico, diagrama de Sanky.



En el estudio del análisis de ciclo de vida (ACV) (*Figura 1*) de las bolsas de plástico revela una distribución de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-Eq) a lo extenso de las diferentes etapas de su ciclo de vida. Los datos indican que la fase de producción es la principal fuente de emisiones, generando aproximadamente 0.075 kg CO₂-Eq. Esta etapa abarca tanto la extracción de materias primas como la fabricación de las bolsas, siendo la más intensiva en términos de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero.

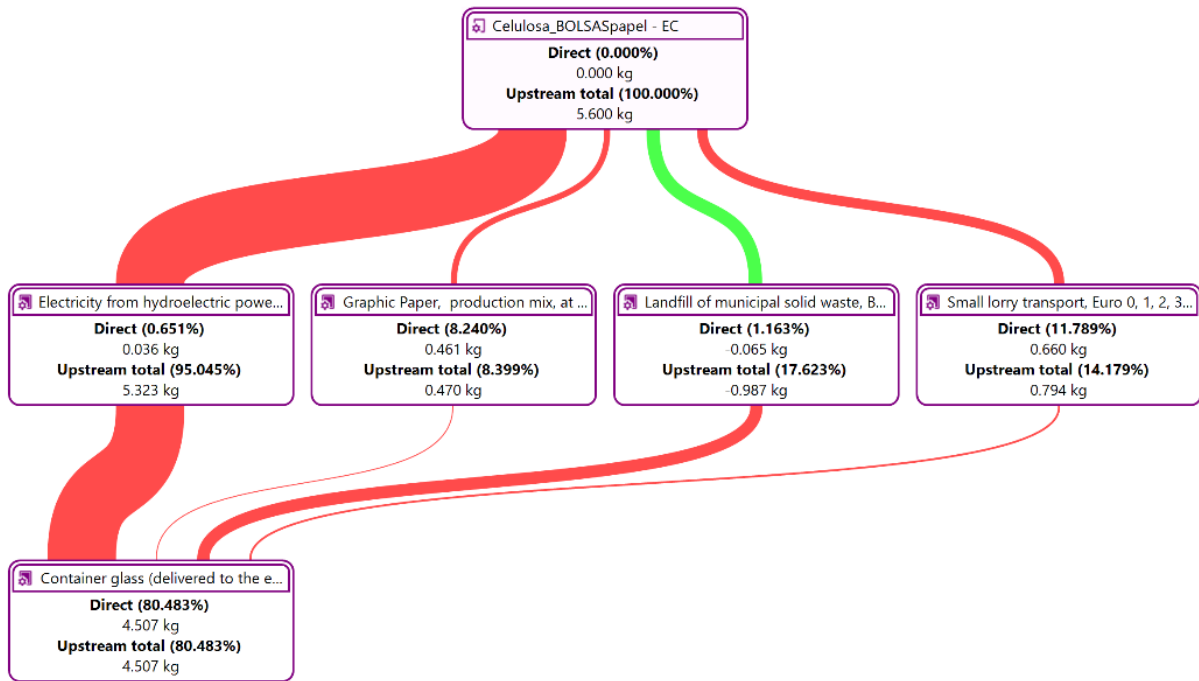
El transporte en camiones pequeños, involucrado en la logística de distribución, se identifica como la segunda fuente más notable de emisiones, contribuyendo con 5.385E-3 kg CO₂-Eq. Por otro lado, la electricidad utilizada en la producción, generada principalmente por plantas hidroeléctricas, añade solo 8.220E-5 kg CO₂-Eq. La baja contribución de las emisiones derivadas de la electricidad resalta la importancia de utilizar fuentes de energía renovables para minimizar el impacto ambiental asociado a la producción de plástico.

Además, el análisis también evidencia emisiones negativas en subprocesos específicos, como el granulado de polietileno tereftalato (PET) y la disposición en vertederos de residuos sólidos

municipales, con emisiones de $-2.400\text{E}-9$ kg CO₂-Eq y $-1.736\text{E}-4$ kg CO₂-Eq, respectivamente. Estas emisiones negativas sugieren que la implementación de prácticas efectivas de reutilización y reciclaje puede tener efectos compensatorios en la reducción de las emisiones netas de CO₂. La capacidad del PET para ser reciclado y reutilizado reduce notablemente la huella de carbono, demostrando los beneficios ambientales de integrar técnicas de reciclaje en la gestión de residuos plásticos.

Figura 2

Resultados de ACV de bolsas de papel, diagrama de Sanky.



Los datos de la (Figura 2), revelan que la producción de papel gráfico es la principal fuente de emisiones de CO₂-Eq, seguida por la fase de manufactura. El transporte de las bolsas de papel en camiones pequeños añade aproximadamente 5,385E-3 kg CO₂-Eq, lo que reitera la importancia de considerar la logística como un elemento crítico en el impacto ambiental. Por otro lado, el uso de electricidad proveniente de plantas hidroeléctricas en el proceso de producción contribuye mínimamente con 2.005E-5 kg CO₂-Eq, debido a la naturaleza renovable de esta fuente de energía. Estos hallazgos destacan las fases de producción y transporte como puntos críticos para intervenciones de sostenibilidad.

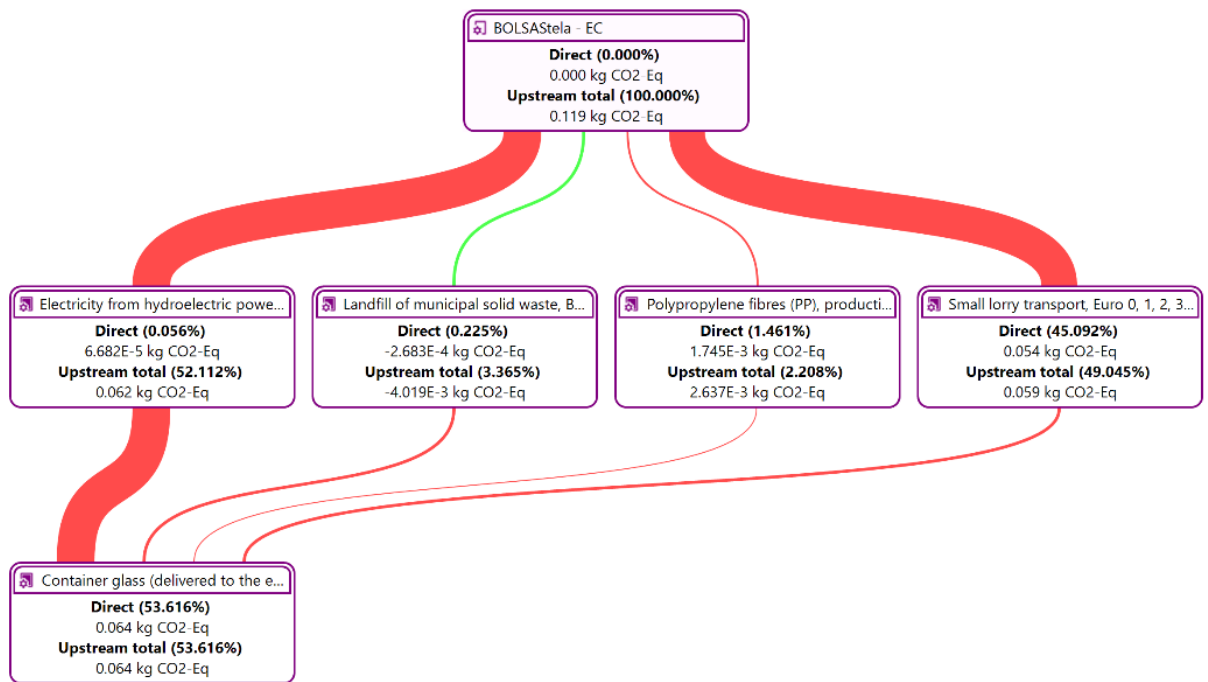
Además, un hallazgo indicador es la emisión negativa observada en la disposición final de las bolsas de papel en vertederos de residuos sólidos municipales, con un valor de -2.327E-4 kg CO₂-Eq. Estas emisiones negativas indican que los procesos de reciclaje y compostaje efectivos pueden tener un efecto compensatorio, reduciendo la liberación neta de carbono en

el medio ambiente. La combinación de fibras recicladas en la producción y la gestión adecuada de los residuos de papel demuestran ser estrategias viables para reducir las emisiones globales.

No obstante, Los resultados indican que, aunque las bolsas de papel tienen un menor impacto en comparación con alternativas menos sostenibles, aún es posible optimizar su ciclo de vida mediante prácticas de reciclaje y el uso de fuentes de energía renovable. La baja contribución de la electricidad hidroeléctrica en las emisiones totales resalta la ventaja de incorporar fuentes de energía sostenibles para minimizar la huella de carbono en las operaciones de producción. Esto proporciona una base para recomendar el uso de bolsas de papel como una alternativa más ecológica, siempre que se acompañen de medidas de sostenibilidad adecuadas.

Figura 3

Resultados de ACV de bolsas de reutilizables, diagrama de Sanky.



El análisis de ciclo de vida (ACV) de las bolsas reutilizables fabricadas con polipropileno reciclable revela diversas fuentes de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-Eq) a

lo largo de su ciclo de vida. El proceso de manufactura es la principal fuente de emisiones, generando aproximadamente 0.064 kg CO₂-Eq. Esta cifra refleja la intensidad energética y las emisiones asociadas con la producción inicial del material y la fabricación de las bolsas.

La fase de distribución, que implica el transporte en camiones pequeños, contribuye con 0.054 kg CO₂-Eq. Esta emisión se asocia con el uso de combustibles fósiles en la logística de transporte y recalca la importancia de optimizar las rutas y la eficiencia del transporte para la reducción de las emisiones de carbono.

A su vez, la producción de fibras de polipropileno (PP), derivadas de petróleo crudo, aporta 1.745E-3 kg CO₂-Eq. Aunque esta contribución es relativamente menor en comparación con las fases de manufactura y transporte, sigue siendo relevante dada la dependencia de recursos no renovables. El uso de electricidad generada en plantas hidroeléctricas durante la producción añade 6.682E-5 kg CO₂-Eq.

Este valor bajo refleja la ventaja de utilizar fuentes de energía renovable, que contribuyen de manera mínima al total de emisiones de CO₂-Eq.

Un hallazgo importante del ACV es la emisión negativa observada en los vertederos de residuos sólidos municipales o al final del ciclo de vida de las bolsas, con un valor de -2.683E-4 kg CO₂-Eq. Esta emisión negativa indica la efectividad de las prácticas de reciclaje y reutilización en la compensación de las emisiones totales. Las emisiones negativas se atribuyen a la capacidad de las bolsas reutilizables de polipropileno para ser recicladas y a la eficiencia en el manejo de residuos, lo cual reduce la cantidad de materiales que terminan en vertederos y disminuye las emisiones netas. (*Figura 3.*)

DISCUSIÓN

El análisis del ciclo de vida de las bolsas de plástico ha sido abordado desde diferentes perspectivas. Solórzano-Solano (2022) destaca que la mayor fuente de emisiones proviene del proceso de producción, con 0.075 kg CO₂-Eq, mientras que el transporte en camión contribuye en menor medida. Su estudio señala la importancia de incorporar materiales reciclados en la fabricación para reducir las emisiones generales. Esto resalta la necesidad de optimizar la cadena de producción como una estrategia clave para mitigar el impacto ambiental. Además, la electricidad generada por fuentes renovables, como la hidroeléctrica, también juega un rol importante en la disminución de las emisiones.

Por otro lado, Amaya Cervantes (2021) pone énfasis en las emisiones compensatorias negativas, como las del vertedero de residuos sólidos municipales, con $-1.736E-4$ kg CO₂-Eq. Según este autor, estas emisiones sugieren un potencial efecto de mitigación que podría ser aprovechado en futuros sistemas de gestión de residuos, destacando la capacidad de ciertos procesos de residuos para neutralizar las emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, es necesario un manejo adecuado de los vertederos para maximizar estos beneficios ambientales.

También, González García (2021) sostiene que el uso de materiales reciclados, como el polietileno tereftalato (PET), podría generar impactos positivos en el ciclo de vida, con emisiones negativas de $-2.400E-9$ kg CO₂-Eq. Este autor también sugiere que una correcta gestión de residuos es esencial para reducir el impacto global de las bolsas de plástico. Al igual que Amaya Cervantes, recalca la importancia de la reutilización de materiales y la optimización del transporte para disminuir las emisiones, destacando el valor del reciclaje como una estrategia efectiva para minimizar el daño ambiental.

En el contexto de la producción y el transporte de materiales muestra una clara relación entre los procesos industriales y su impacto ambiental. Según Hadad (2016), la producción de materiales y el transporte representan una fuente de emisiones, particularmente debido a la dependencia de combustibles fósiles. Este autor destaca la importancia de mejorar la eficiencia del transporte y promover el uso de fuentes de energía alternativas para reducir el impacto en el medio ambiente. Las emisiones negativas observadas en el reciclaje del PET y

el manejo de residuos municipales reflejan el potencial de estas prácticas para mitigar las emisiones, lo que refuerza la necesidad de fortalecer los procesos de reutilización y reciclaje.

Coello Pisco (2024) recalca lo importante que son las energías renovables, como la hidroeléctrica y la biomasa, en la reducción de emisiones de CO₂-Eq. Las plantas hidroeléctricas, aunque generan emisiones durante su construcción, tienen una baja contribución en su operación diaria debido a la naturaleza limpia y renovable de la energía. Este enfoque en la energía limpia resalta la necesidad de políticas que promuevan el uso de fuentes sostenibles para contrarrestar el impacto de la elaboración y el transporte de materiales industriales.

En contraste, Machuca (2023) sostiene que, aunque las fuentes renovables son importantes, el manejo adecuado de residuos sólidos es fundamental para reducir el impacto total de las emisiones. Este autor observa que las emisiones negativas en el manejo de residuos, particularmente en vertederos bien gestionados, pueden compensar en parte las emisiones derivadas de la producción y el transporte. De este modo, propone que la gestión eficaz de los residuos es un componente clave para lograr una huella de carbono más baja.

Mientras que, en términos del ACV de las bolsas de papel revela variaciones importantes en las emisiones de CO₂-Eq dependiendo de las fuentes de energía y materiales utilizados. Según Balmaceda Castillo (2021), la manufactura de papel genera 0.016 kg CO₂-Eq, debido en parte a la mezcla de fibras recicladas y primarias, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental. El autor destaca la importancia del reciclaje en la disminución de las emisiones, indicando que la inclusión de fibra reciclada no solo reduce el uso de recursos vírgenes, sino que también minimiza las emisiones relacionadas con la producción.

En otro estudio, Valle Blas (2024) analiza cómo la energía utilizada en el proceso de producción afecta las emisiones totales. El uso de electricidad hidroeléctrica, que aporta solo 2.005E-5 kg CO₂-Eq, demuestra que las fuentes de energía renovables son clave para minimizar el impacto ambiental. Valle Blas resalta que, aunque el proceso de producción tiene un impacto considerable, el uso de fuentes energéticas limpias y renovables como la hidroeléctrica reduce las emisiones de CO₂-Eq durante la fabricación de bolsas de papel.

Por su parte, Mendoza Peñafiel y Maquilón Martínez (2024) discuten la contribución del transporte y la disposición de residuos en el ACV de las bolsas de papel. En su análisis, el transporte en camiones pequeños genera $5.385E-3$ kg CO₂-Eq, lo que, aunque moderado, propone la necesidad de optimizar las rutas de distribución para reducir el impacto. Además, la disposición final en vertederos municipales presenta emisiones negativas ($-2.327E-4$ kg CO₂-Eq), lo que indica que el adecuado manejo de residuos puede compensar parcialmente las emisiones generadas en etapas anteriores del ciclo de vida.

En términos de las emisiones de CO₂-Eq en la producción de bolsas de papel revela que la mayor fuente de emisiones proviene de la producción de papel gráfico, especialmente cuando se combina fibra primaria con reciclada. Según Loayza Puma (2023), esta mezcla implica una relación equilibrada entre eficiencia y sostenibilidad, ya que la fibra primaria asegura la calidad, mientras que la fibra reciclada reduce la demanda de recursos vírgenes. Este autor destaca que la fibra reciclada, si bien reduce las emisiones, todavía necesita mejoras en su procesamiento para ser completamente sostenible, lo que sugiere un balance necesario entre sostenibilidad y rendimiento en la industria del papel.

El transporte de las bolsas de papel, aunque representa una contribución menor, sigue siendo una fuente relevante de emisiones. Según Mendoza Peñafiel (2024), el transporte en camiones pequeños genera emisiones adicionales que podrían ser reducidas mediante la optimización de las rutas y la introducción de vehículos con tecnologías más limpias. Sin embargo, en comparación con otras etapas del ciclo de vida, como la producción del papel, el transporte tiene un impacto más limitado, aunque aún es relevante para el análisis total de las emisiones de CO₂-Eq.

Además, la baja contribución de la electricidad hidroeléctrica y las emisiones negativas asociadas a los vertederos de residuos sólidos destacan el papel crucial de las fuentes de energía renovable y el reciclaje. Valle Blas (2024) recalca que las plantas hidroeléctricas, al ser fuentes limpias de energía, emiten cantidades insignificantes de CO₂-Eq. Además, los vertederos bien gestionados contribuyen a la compensación de emisiones, lo que resalta la efectividad de las actividades de reciclaje en la reducción del impacto ambiental total de las bolsas de papel.

El análisis de las bolsas reutilizables de polipropileno reciclable revela que la mayor fuente de emisiones proviene de su proceso de manufacturación. Según Loayza Puma, (2023), con una tasa de reutilización del 7%, se generan aproximadamente 0.064 kg CO₂-Eq, lo que representa una considerable contribución al impacto ambiental global. Este autor destaca que, aunque el uso de fibras recicladas puede mitigar parte de estas emisiones, el proceso de fabricación aún depende en gran medida de materias primas derivadas del petróleo crudo, lo que incrementa las emisiones totales. Esta dependencia de recursos fósiles recalca la necesidad de una transición hacia materiales más sostenibles.

En relación con el transporte, el uso de camiones pequeños añade 0.054 kg CO₂-Eq a las emisiones totales, según los datos analizados. Esto se alinea con las observaciones de Mendoza Peñafiel (2024), quien menciona que el transporte en vehículos tradicionales sigue siendo una fuente notable de emisiones de vapores de efecto invernadero, a pesar de que las bolsas de polipropileno sean reutilizables. El autor propone que la optimización de los recorridos de transporte y el uso de vehículos eléctricos podrían reducir considerablemente este impacto.

Por lo tanto, el uso de electricidad generada por plantas hidroeléctricas y la disposición de residuos en vertederos municipales tienen efectos compensatorios. Como indica Valle Blas (2024), las bajas emisiones asociadas a la energía hidroeléctrica (6.682E-5 kg CO₂-Eq) y las emisiones negativas de los vertederos (-2.683E-4 kg CO₂-Eq) demuestran que las actividades de reciclaje y reutilización pueden compensar parte del impacto ambiental. Sin embargo, la efectividad de estos mecanismos depende de una adecuada gestión de los residuos y del uso eficiente de fuentes de energía renovable.

Dado que las emisiones de CO₂-Eq en la producción de bolsas reutilizables de polipropileno reciclable destaca que la manufacturación y el transporte en camiones pequeños son las principales fuentes de impacto ambiental. Según Coello Pisco (2024), la fabricación de productos basados en polipropileno reciclable genera importantes emisiones debido al uso intensivo de energía y la dependencia de fuentes no renovables en ciertas fases de la producción. Sin embargo, este autor señala que la reducción de emisiones se puede lograr mediante la mejora en la eficiencia energética y la adopción de tecnologías más limpias en el proceso de manufacturación.

Por otro lado, el transporte en camiones pequeños también contribuye a las emisiones de CO₂-Eq. Amaya Cervantes (2021) resalta que, aunque el transporte no es el principal factor, su impacto se acumula debido a la frecuencia de los envíos y las distancias recorridas. Este autor propone que la implementación de vehículos eléctricos o el uso de biocombustibles podría ser una solución efectiva para reducir las emisiones derivadas del transporte, particularmente en la distribución de productos reciclables como las bolsas de polipropileno.

Finalmente, la baja emisión de CO₂-Eq asociada con la energía hidroeléctrica y las emisiones negativas en los vertederos son clave para compensar el impacto total de las bolsas reutilizables de polipropileno. Solórzano-Solano (2022), enfatiza que las fuentes de energía renovable, como la hidroeléctrica, son fundamentales para minimizar las emisiones en el ciclo de vida de las bolsas. Además, las emisiones negativas en los vertederos reflejan la efectividad de las tecnologías de reciclaje en mitigar el impacto ambiental, lo que contribuye a un ciclo de vida más sostenible.

CONCLUSIÓN

Las alternativas sostenibles demostraron ser efectivas en la reducción del impacto ambiental, aunque con ciertas limitaciones. Las bolsas de papel y las reutilizables de polipropileno presentaron un menor impacto ambiental en comparación con las bolsas de plástico, particularmente cuando se implementan prácticas de reciclaje y se utiliza energía renovable en su producción. Las bolsas de papel, al incorporar un porcentaje de fibras recicladas y utilizar electricidad generada a partir de fuentes hidroeléctricas, reducen su huella de carbono. Sin embargo, es crucial asegurar que estas prácticas de sostenibilidad se mantengan a lo largo de todo el ciclo de vida de las bolsas para maximizar su efectividad. Las bolsas reutilizables de polipropileno reciclable demostraron una gran ventaja, especialmente en contextos donde se fomenta su uso continuo y adecuado reciclaje al final de su vida útil, recalando su papel en la promoción de una economía circular.

En cuanto a la identificación de los puntos críticos de impacto ambiental, el análisis reveló que las etapas de producción y transporte son las primordiales fuentes de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-Eq) para todas las bolsas estudiadas. En las bolsas de plástico, la producción, incluyendo la extracción de materias primas, es la fase más intensiva en requisitos de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero.

Similarmente, en las bolsas de papel, la manufactura y la producción de papel gráfico son los principales contribuyentes a las emisiones. El transporte también se destacó como un factor revelador, aunque en menor grado, recalcando la importancia de mejorar la logística y el uso de combustibles más limpios.

Además, este proyecto confirmó que es posible reducir los impactos ambientales mediante el uso de alternativas sostenibles y prácticas de reciclaje, pero también destacó la necesidad de abordar los puntos críticos de impacto ambiental identificados en las etapas de producción y transporte. Para lograr una reducción de la huella de carbono, se requieren esfuerzos continuos en la implementación de materiales reciclados, el uso de energía renovables y la optimización de la cadena de suministro. Estos resultados brindan una base sólida para desarrollar políticas públicas y habilidades de gestión de residuos más sostenibles en el cantón San Lorenzo y otros cantones del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 7ma ed.

- Amaya Cervantes, S. A. (2021). Importancia de los análisis de ciclo de vida en la medición de impactos ambientales. Repositorio Universidad de Pamplona.
- Amielli, L., Breyter, F., Rangel, A., & Rossi, S. (2018). Extensión de la vida útil de polímeros plásticos. *X Congreso Regional de Tecnología En Arquitectura (CRETA)(La Plata, 2018)*.
- Arce-Bastias, F. (2022). Beneficios ambientales del reciclaje de residuos plásticos posconsumo para la producción de postes en Mendoza, Argentina. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(Supl.1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.nSupl.1.2022.2145>
- Balmaceda Castillo, H. A. (2021). Análisis de ciclo de vida comparativo entre el uso de concreto convencional y alternativas de concreto reciclado. Core.

- Borda, B. E., Albuja, N. L., & Iannacone, J. (2020). Diagnóstico sobre el consumo de bolsas de plástico de un solo uso y su impacto negativo en el ambiente. *Cátedra Villarreal*, 8(2), 121-135.
- Coello Pisco, S. (2024). Estudio de caso: Tecnologías de producción de hidrógeno verde para Ecuador. ResearchGate.
- Cortes Daza, K. (2022). *Importancia de las alternativas para reducir o eliminar el plástico de un solo uso en Colombia*.
- Esch, P. M., Moor, C., Schmid, B., Albertini, S., Hassler, S., Donzé, G., & Saxer, H. P. (2010). Análisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de los Embalajes y Otros. *Quality Assurance Journal*, 13(3-4).
- Estrada, R. (2020). *¿Por qué el plástico tarda tanto tiempo en degradarse? – El Financiero*. El Financiero.
- GADM-SL. (2021). ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PDOT) 2019-2023. GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN SAN LORENZO, 91-92.
- González García, P. (2021). Análisis de ciclo de vida del procesado de atún del Cantábrico. Repositorio Universidad de Cantabria.
- Hadad López, K. (2016). Análisis de compensación de emisiones de CO₂ por medio de un proyecto de reciclaje de Pet en ENKA de Colombia.
- Lee, J., Pereira, G., Sánchez Matteucci, A., & Barson, A. (2009). Análisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de los Embalajes y Otros Productos Plásticos en Chile V1.o. *Carbon Reduction Institute*.
- Loayza Puma, K. A. (2023). Estudio comparativo del uso del hormigón de cal mediante el análisis del ciclo de vida (ACV). UPC.
- Machuca, Y. N. (2023). La Huella de Carbono como indicador ambiental durante la poscosecha de peras agroecológicas en el Alto Valle del río Negro (Argentina). RDI Uncoma

- Melero, J., Mejía, K. A., Cuevas, G. L., Telles, S. P., Hernández, A. M., & Martínez, D. H. (2023). Los microplásticos y la importancia de reducirlos para beneficio de la salud. *Actas Del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia La Circularidad y El Residuo Cero. Castelló de La Plana, 20, 21 y 22 de Junio de 2023*, 52.
- Mendoza Peñafiel, J. L., & Maquilón Martínez, M. L. (2024). Elaboración de prototipo de piedra de revestimiento para paredes con plástico PET, caucho y papel reciclado. Repositorio ULVR.
- Peláez, H. I. C., & Agudelo, J. L. B. (2017). Evaluación ambiental del proceso de elaboración de bolsas plásticas en Colombia utilizando la metodología de análisis de ciclo de vida. *Revista Politécnica*, 13(24), 9-18.
- Ramos Barletta, A., & Propagas, F. (2023). *Nuestro planeta necesita que erradiquemos urgentemente el uso de bolsas plásticas*.
- Resano Goizueta, P. (2019). *Revisión del análisis del ciclo de vida como herramienta de evaluación de impactos ambientales*.
- Solórzano Solano, N. D. (2022). Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana. Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Thoss, J. (2021). *Análisis comparativo de modelos de éxito en la Gestión de Residuos sólidos urbanos en distintos países y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*.
- Tirado Arroyo, P. M. (2023). *Estudio de impacto ambiental del plástico y ciclo de vida de envases plásticos en la ciudad de Trujillo: perspectiva empresarial. 2023*.
- UNEP. (2020). Plastics and the environment: A life cycle approach. *United Nations Environment Programme*. <https://www.unep.org/plastics-lifecycle>
- Valle Blas, C., & Chueca, J. R. (2024). Sostenibilidad en la cadena de suministro textil: Una guía práctica para empresas en busca de un futuro más responsable. Universidad Politécnica de Madrid.

Conflicto de intereses

El autor indica que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

Con certificación de:

