



**Análisis de Ciclo de vida (ACV) de productos derivados cárnicos: Explorando la relación
entre Sostenibilidad Ambiental y Económica**

Life Cycle Assessment (LCA) of meat products: exploring the relationship between
environmental and economic sustainability

Ana Milena Montoya Aguirre
Estefanía Ríos Gil

Trabajo de grado

Director del trabajo de grado:
Camilo Polanco López de Mesa

UNIVERSIDAD EAFIT
Escuela de Administración
Maestría en Sostenibilidad
Medellín
Junio, 2025

*Montoya Aguirre, A. M., & Ríos Gil, E. (2025). Análisis de Ciclo de vida (ACV) de productos
derivados cárnicos: explorando la relación entre sostenibilidad ambiental y económica (Trabajo
de grado). Universidad EAFIT, Maestría en Sostenibilidad.*

Tabla de contenido

1. Dedicatoria.....	7
2. Título	7
3. Resumen	8
4. Resumen en inglés.....	9
5. Listado de palabras clave.....	9
6. Highlights o mensajes destacados.....	10
7. Infográfico	11
8. Introducción	12
9. Objetivos.....	14
9.1. Objetivo general	14
9.2. Objetivos específicos	14
10. Marco teórico	15
10.1. Sostenibilidad: concepto y enfoques.....	15
10.2. Dimensiones de la sostenibilidad.....	16
10.2.1. Dimensión económica.....	16
10.2.2. Dimensión Ambiental	16
10.2.3. Dimensión Social.....	17
10.3. Sostenibilidad en la industria alimentaria	18
10.4. Relación de sostenibilidad vs costos.....	19
10.5. Ciclo de vida: concepto general y etapas	21
10.5.1. Etapas del ciclo de vida.....	21
10.5.2. Proceso de fabricación de embutidos cárnicos - ciclo de vida	22
10.5.3. Impactos ambientales y costos en la cadena de producción de embutidos cárnicos ..	24
10.6. Teorías sobre sostenibilidad y evaluación del ciclo de vida	26
10.6.1. Teoría y aplicación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV).....	26
10.6.2. Teoría del Triple Resultado (Triple Bottom Line)	27
10.7. Herramientas para el análisis del ciclo de vida	28
10.8. Limitaciones teóricas y prácticas.....	29

11.	Metodología	32
11.1.	Caso de estudio	34
11.2.	Fases de la metodología del ACV según ISO 14040	34
11.2.1.	Definición de alcance.....	34
11.2.2.	Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	35
11.2.3.	Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV).	38
11.2.4.	Interpretación de resultados.....	39
11.2.5.	Limitaciones en la aplicación de la metodología.....	39
11.2.6.	Consideraciones de calidad y revisión crítica	40
11.3.	Validación de percepción del cliente	40
12.	Consideraciones éticas.....	44
13.	Hallazgos y resultados	46
13.1.	Análisis ciclo de vida	46
13.1.1.	Principales categorías de impacto ambiental.....	47
13.1.2.	Huella de carbono – Método IPCC 2013 GWP 100a	48
13.1.3.	Análisis de contribución por etapa (IPCC GWP 100a)	50
13.2.	Encuesta no probabilística.....	51
14.	Discusión	55
14.1.	Discusión Análisis Ciclo de Vida (ACV)	55
14.2.	Discusión de los resultados de la encuesta aplicada	55
14.3.	El rol del aporte nutricional en la sostenibilidad social y la percepción del precio.....	59
15.	Recomendaciones	61
16.	Conclusiones	64
17.	Contribución a los ODS.....	64
18.	Impacto del trabajo al desarrollo sostenible.....	69
18.1.	Supuestos del Modelo	70
18.2.	Análisis de los resultados	70
18.3.	Usos potenciales de los resultados.....	71
19.	Biografía de los autores y director de trabajo de grado	74
20.	Agradecimientos y reconocimientos	76
21.	Referencias bibliográficas.....	78

22.	Apéndices.....	85
22.1.	Apéndice A.....	85
22.1.1.	Encuesta realizada.....	85
22.1.2.	Resultados gráficos de la encuesta a consumidores	86
22.2.	Apéndice B	92
22.3.	Apéndice C	96

Índice de figuras

Figura 1. Mensajes comunicacionales clave y etiquetas digitales	10
Figura 2. Infográfico del estudio.....	11
Figura 3. Etapas ciclo de vida de un producto cárnico.	22
Figura 4. Comparación de los diferentes software referenciados en la bibliografía para análisis ACV.	29
Figura 5. Resumen de la metodología implementada. de las fases del ACV.	33
Figura 6. Diagrama de flujo de materiales y energía del caso de estudio.	37
Figura 7. Consideraciones éticas.	45
Figura 8. Impacto ambiental total por referencia (con y sin sistema de empaque).	46
Figura 9. Comparación de las cinco categorías con mayor impacto ambiental por referencia. ...	47
Figura 11. Contribución por tipo de materia prima a la huella de carbono (IPCC 2013 GWP 100a) para la Referencia A.	49
Figura 12. Contribución por tipo de materia prima a la huella de carbono (IPCC 2013 GWP 100a) para la Referencia B.	49
Figura 13. Árbol de contribución a la huella de carbono por etapa de proceso según IPCC GWP 100a (500 g de producto terminado Referencia A).....	50

Índice de figuras de apéndice

Figura A 1. Distribución en género de los encuestados.	86
Figura A 2. Distribución por edades de los encuestados.....	87
Figura A 3. Porcentajes por nivel de escolaridad de los encuestados.....	87
Figura A 4. Porcentajes por rango de ingresos mensual de los encuestados.....	88

Figura A 5. Porcentajes por rango de ingresos mensual de los encuestados.....	88
Figura A 6. Percepción de los consumidores sobre la relación entre el precio y la sostenibilidad de productos alimenticios.	89
Figura A 7. Importancia atribuida por los consumidores a la sostenibilidad ambiental y social en decisiones de compra de alimentos.	89
Figura A 8. Frecuencia de compra de productos alimenticios promocionados como sostenibles en los últimos seis meses.	90
Figura A 9. Aspectos no negociables identificados por los consumidores al adquirir productos alimenticios sostenibles.	90
Figura A 10. Señales o características que los consumidores asocian con la sostenibilidad de un producto alimenticio.....	91
Figura A 11. Disposición de los consumidores a pagar un sobreprecio por productos sostenibles con evidencia verificable.	91

1. Dedicatoria

Con el alma llena de amor, dedicamos este trabajo a quienes han sido nuestro mayor soporte y fuente de inspiración en este camino.

A **Dios**, quien con su infinita sabiduría y amor nos ha guiado en cada paso, regalándonos la fuerza para avanzar aun en los momentos más desafiantes.

A nuestra **familia**, pues este proyecto nos ha demostrado el vínculo, el amor incondicional, compromiso y refugio con el que contamos, la cual nos ha permitido crecer y brillar con luz propia. Son el pilar que con su experiencia y amor incondicional han estado siempre presentes, sosteniéndonos con sabias palabras y cálidos abrazos. Juntos, han sido nuestra fuerza detrás de cada logro.

A **nosotras mismas**, porque este es un tributo al poder de nuestra resiliencia, a la confianza que hemos depositado en nuestras capacidades y a la determinación con la que hemos enfrentado este desafío. Nos reconocemos como mujeres valientes, capaces y merecedoras de todo lo que hemos alcanzado. Nos valoramos y celebramos el camino recorrido, recordándonos siempre que somos más fuertes de lo que imaginamos.

Es un homenaje a quienes siempre han caminado a nuestro lado.

2. Título

Análisis de Ciclo de vida (ACV) de productos derivados cárnicos: Explorando la Relación entre Sostenibilidad Ambiental y Económica

Life Cycle Assessment (LCA) of meat products: exploring the relationship between environmental and economic sustainability

3. Resumen

Este estudio analiza la relación entre el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la sostenibilidad ambiental y los costos en el mercado en dos referencias de productos cárnicos, utilizando como unidad funcional 500 g de producto terminado. A través del software openLCA, se modelaron los procesos productivos considerando flujos elementales y procesos proxy construidos con datos primarios y secundarios, respetando criterios de trazabilidad y confidencialidad. Se utilizaron las bases AGRIBALYSE 3.2, ELCD 3.2 y ECCC, y se aplicó el método ReCiPe 2016 Endpoint (H) y IPCC 2013 GWP 100a para evaluar el impacto ambiental. Los resultados indican que la referencia de mayor costo genera mayor impacto, y que aspectos como el tipo de proteína utilizada en la materia prima, la eficiencia energética, la valorización de residuos y la selección de materias primas influyen significativamente en la carga ambiental. Se identificaron oportunidades de mejora en procesos térmicos, formulaciones y materiales de empaque. Asimismo, se evidenció que los consumidores valoran atributos como calidad nutricional y el empaque al definir la sostenibilidad. Las conclusiones resaltan la importancia de comunicar con base en evidencias técnicas, y de fortalecer prácticas desde el diseño y formulación del producto, la simbiosis industrial y la selección de proveedores comprometidos con la sostenibilidad. Este estudio contribuye al entendimiento de cómo integrar sostenibilidad y economía en la toma de decisiones del sector cárnico.

4. Resumen en inglés

This study analyzes the relationship between Life Cycle Analysis (LCA), environmental sustainability and costs in the market in two meat product references, using 500g of finished product as the functional unit. Using openLCA software, the production processes were modeled considering elementary flows and proxy processes constructed with primary and secondary data, respecting criteria of traceability and confidentiality. The AGRIBALYSE 3.2, ELCD 3.2 and ECCC databases were used, and the ReCiPe 2016 Endpoint (H) and IPCC 2013 GWP 100^a methods were applied to assess the environmental impact. The results indicate that the reference of higher cost generates higher impact, and that aspects such as the type of protein used in the raw material, energy efficiency, waste valorization and selection of raw materials significantly influence the environmental load.

Opportunities for improvement were identified in thermal processes, formulations and packaging materials. It was also found that consumers value attributes such as nutritional quality and packaging when defining sustainability. The conclusions highlight the importance of communicating based on technical evidence, and of strengthening practices from the design and formulation of the product, industrial symbiosis and the selection of suppliers committed to sustainability. This study contributes to the understanding of how to integrate sustainability and economy in the decision making in the meat sector.

5. Listado de palabras clave

- Productos cárnicos / Meat products
- Sostenibilidad y Costos / Sustainability and Costs
- Análisis de ciclo de vida (ACV) / Life Cycle Analysis (LCA)
- ODS 12: Producción y Consumo Responsable / SDG 12: Responsible Production and Consumption.

6. Highlights o mensajes destacados

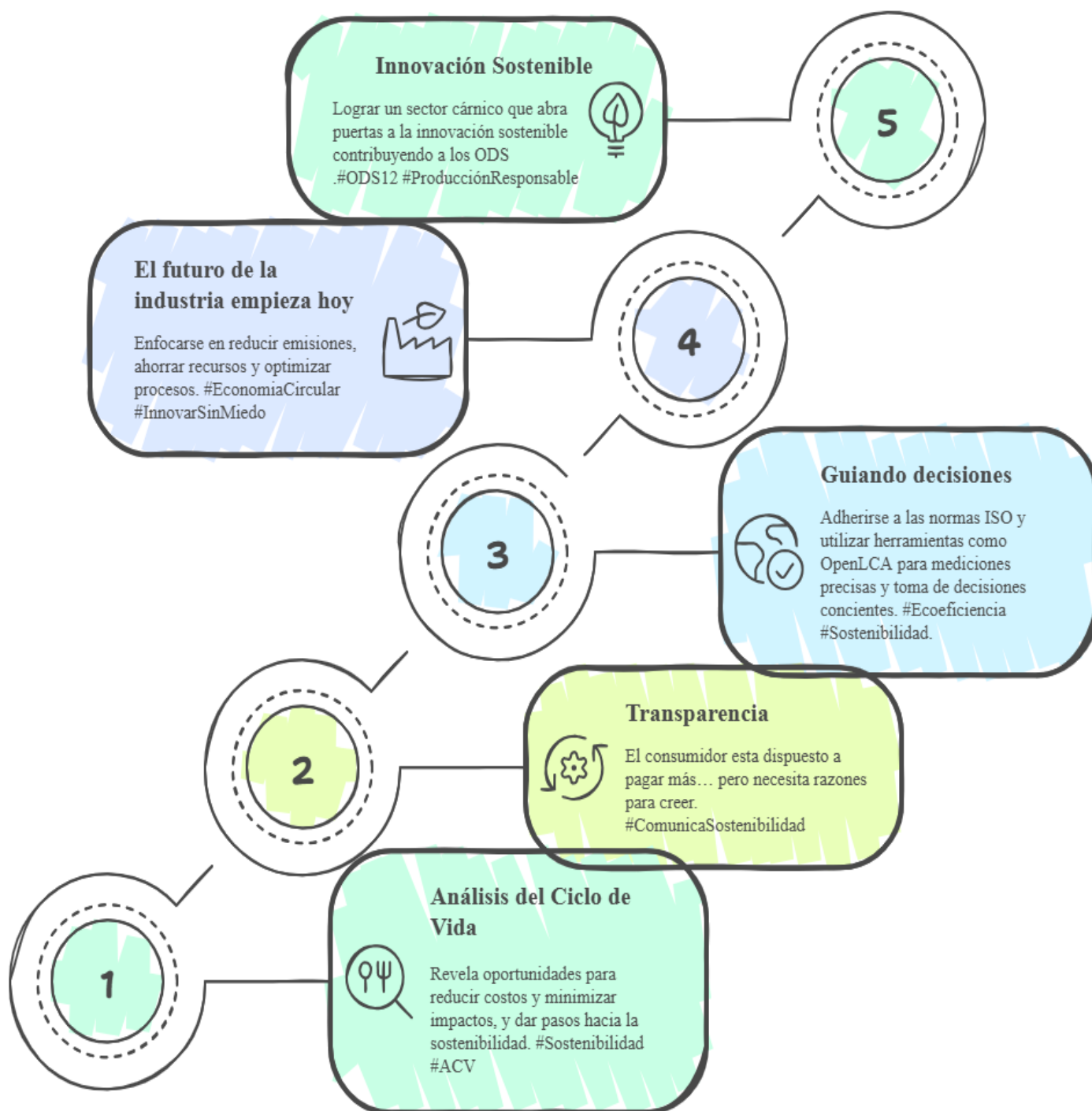


Figura 1. Mensajes comunicacionales clave y etiquetas digitales

Fuente: Elaboración propia.

7. Infográfico

Impacto ambiental

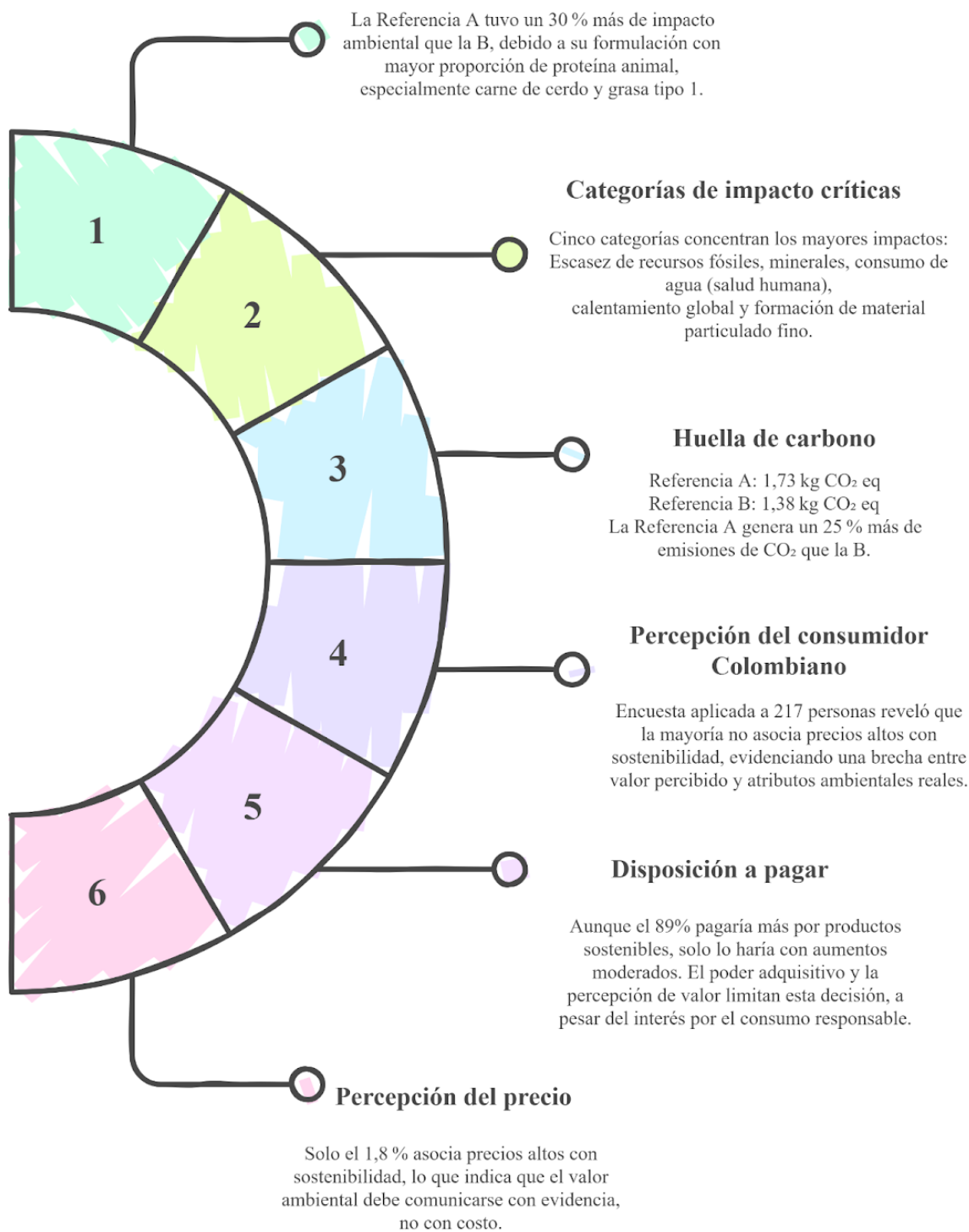


Figura 2. Infográfico del estudio.

Fuente: Elaboración propia.

8. Introducción

El sector cárnico desempeña un papel crucial en la economía global, pero enfrenta importantes desafíos ambientales derivados de su cadena de valor. Esto incluye procesos altamente demandantes en recursos naturales, como es el consumo hídrico y energético, así como altas emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las materias primas y prácticas manufactureras. Dichos impactos no solo afectan al medio ambiente, sino que también repercuten en los costos de producción y en la sostenibilidad operativa del sector.

Ante este panorama, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) surge como una herramienta integral que permite evaluar y cuantificar los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final (Abdoli & Bahramimianrood, 2023), permitiendo obtener datos clave sobre la sostenibilidad ambiental e identificar oportunidades para optimizar costos y mejorar la eficiencia en la industria de procesamiento de embutidos cárnicos.

Para llevar a cabo este tipo de análisis de manera precisa y comparable, es fundamental el uso de herramientas avanzadas como openLCA 2.4.1, en conjunto con metodologías estandarizadas basadas en las normas ISO 14040 y 14044, lo que facilita un análisis detallado de los impactos ambientales (Wilfart et al., 2021). Sin embargo, uno de los principales desafíos radica en la limitada disponibilidad de literatura relacionada, la dificultad para obtener datos precisos, debido a la confidencialidad y la competencia comercial de las fuentes, y la necesidad de armonizar metodologías para comparar resultados de manera efectiva (United Nations Environment Programme, 2009).

En alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), este estudio se alinea particularmente con el ODS 12, enfocado en la producción y el consumo responsables, al destacar

la importancia de integrar las prácticas sostenibles para reducir la huella ecológica. Así, la presente investigación no solo busca llenar vacíos en la literatura, sino también ofrece recomendaciones prácticas que mejoren la sostenibilidad corporativa y apoyen la planificación estratégica de largo plazo. Para ello, se adoptó un enfoque de análisis detallado de datos a nivel de componentes específicos, lo cual permite construir una comprensión más integral y contextualizada del sistema (Abdoli & Bahramimianrood, 2023).

Este trabajo de grado tuvo como objetivo analizar la relación entre la sostenibilidad ambiental y el costo de venta de dos productos derivados cárnicos, con características similares en gramaje y procesos de producción, pero con distinta valoración económica en el mercado. El análisis se desarrolló bajo un enfoque "de puerta a puerta", abarcando desde la entrada de materias primas hasta la salida del producto terminado en las instalaciones de manufactura. La comparación permitió identificar oportunidades de mejora que promuevan la adopción de tecnologías limpias y estrategias sostenibles en la industria cárnica.

Como resultado, se construyó un reporte corporativo detallado que explora dicha relación entre la sostenibilidad ambiental y los costos en el mercado de los productos cárnicos seleccionados. Asimismo, este trabajo proporciona información clave para cualquier interesado del sector, facilitando la replicación del modelo de análisis y apoyando la toma de decisiones informadas que impulsen la ecoeficiencia, refuercen la competitividad empresarial y promuevan una gestión sostenible y rentable de los productos cárnicos.

9. Objetivos

9.1. Objetivo general

- Aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para analizar la relación entre la sostenibilidad ambiental y el costo de venta de dos productos derivados cárnicos con gramaje y procesos de producción similares, pero con distinta valoración económica en el mercado.

9.2. Objetivos específicos

- Evaluar los impactos ambientales asociados a dos referencias de productos cárnicos mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (la **Referencia A**, de mayor costo, y la **Referencia B**, de menor costo), considerando todas las etapas del ciclo de vida desde la recepción de materias primas hasta la salida del producto terminado.

- Analizar la relación entre los costos económicos y los impactos ambientales de los productos seleccionados, identificando si un producto con mayor costo de mercado implica necesariamente una mayor sostenibilidad ambiental.

- Identificar oportunidades de mejora en los procesos productivos de los productos cárnicos, proponiendo estrategias que permitan optimizar la ecoeficiencia y reducir tanto costos como impactos ambientales.

10. Marco teórico

10.1. Sostenibilidad: concepto y enfoques

Según Elkington (1998), el desarrollo sostenible consiste en satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las de las futuras generaciones mediante tres pilares, planteando así una interdependencia entre el bienestar social, la viabilidad económica y la preservación ambiental; este enfoque promueve una perspectiva integral e intergeneracional en las actividades productivas. En esta línea, Cappelletti et al. (2023b) destacan que la sostenibilidad implica un equilibrio dinámico entre estos tres pilares, sustentado en el uso responsable de los recursos naturales y en un modelo donde el desarrollo económico y el bienestar social se alinean con la protección ambiental.

La sostenibilidad puede abordarse desde dos enfoques según la naturaleza del problema; el primero es la sostenibilidad fuerte, que parte de la premisa de que ciertos recursos naturales son insustituibles y, por tanto, deben preservarse de manera independiente del capital manufacturado, con el objetivo de conservar recursos críticos y evitar su agotamiento (Gómez, 2021). En contraste, la sostenibilidad débil permite la sustitución de capital natural por capital manufacturado, siempre que se mantenga la funcionalidad del sistema (Correa, 2004), pues, como indican Daly y Cobb (1994), el capital reproducible y el capital natural deben mantenerse intactos en conjunto.

En el ámbito empresarial, la sostenibilidad implica una responsabilidad integral, que combina la rentabilidad económica, protección ambiental y desarrollo social (ICONTEC, 2022), especialmente relevante en sectores de alto impacto como el cárnico, donde es crucial mitigar los efectos negativos mediante prácticas responsables.

10.2. Dimensiones de la sostenibilidad

La sostenibilidad se compone de tres dimensiones interrelacionadas: económica, ambiental y social. Estas facilitan la evaluación de cómo las actividades industriales pueden sostenerse en el tiempo sin comprometer recursos ni afectar el bienestar de las comunidades (Elkington, 1998).

10.2.1. Dimensión económica

La sostenibilidad económica implica que las actividades de una empresa deben ser rentables sin comprometer los recursos que aseguren dicha rentabilidad a largo plazo. Elkington (1998) subraya que el beneficio económico debe coexistir en equilibrio con las dimensiones ambiental y social para ser verdaderamente sostenible. En la industria cárnica, esto se traduce en reducir costos sin incrementar el impacto ambiental, priorizando eficiencia y sostenibilidad para garantizar ingresos futuros.

El concepto de Costo del Ciclo de Vida (LCC) refuerza esta perspectiva, al considerar todos los costos asociados a un producto desde su adquisición hasta el final de su vida útil (Woodward, 1997). En productos cárnicos, este enfoque permite optimizar recursos y reducir el costo total de propiedad.

10.2.2. Dimensión Ambiental

La sostenibilidad ambiental se enfoca en minimizar el impacto negativo de las actividades industriales sobre el entorno natural, promoviendo el uso racional de los recursos, la reducción de emisiones contaminantes y la protección de los ecosistemas. Según la ISO 14040 (2022), un análisis exhaustivo de esta dimensión permite a las empresas identificar y gestionar su huella ambiental durante todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

Adoptar prácticas ambientales responsables en este ámbito permite avanzar en sostenibilidad y responder a un mercado cada vez más consciente del impacto ambiental. En la industria alimentaria, especialmente en la cárnica, esta dimensión cobra especial relevancia debido a los altos niveles de consumo de agua, emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos (Jaramillo, 2018).

10.2.3. Dimensión Social

La sostenibilidad social se refiere a los impactos que las actividades industriales generan en la sociedad y las comunidades en las que operan. Elkington (1998) argumenta que las empresas deben asumir su responsabilidad no solo ante los accionistas, sino también ante un espectro más amplio de grupos de interés, lo que implica promover condiciones laborales justas y contribuir activamente al bienestar colectivo.

Esta dimensión es tan relevante como la ambiental y la económica, ya que abarca aspectos fundamentales como la equidad, el bienestar humano y la cohesión social, fundamentales para el desarrollo sostenible y la toma de decisiones organizacionales. Mani et al. (2018) definen las prácticas socialmente sostenibles como aquellas relacionadas con el producto y del proceso que determinan la seguridad, el bienestar y la calidad de vida humana, involucrando a actores como proveedores, fabricantes, consumidores y la sociedad en general. En la misma línea, Sundström y Mickelsson (2020) argumentan que, desde una perspectiva sustantiva, la sostenibilidad social busca el crecimiento de los grupos de interés mediante objetivos como la inclusión, la cohesión social y la generación de aprendizaje continuo; y que, desde la visual operativa, debe enfocarse en cómo las organizaciones se relacionan con sus stakeholders mediante la transparencia, la toma de decisiones y la comunicación. Finalmente, en Turker y Özdemir (2019) destacan que una organización socialmente sostenible incorpora principios de equidad (intergeneracional,

intrageneracional, geográfica y procedimental) mediante enfoques innovadores que responden a las demandas sociales en un entorno dinámico donde convergen la innovación, las necesidades sociales y los distintos actores.

En el contexto de las empresas manufactureras, integrar esta dimensión permite no solo mitigar riesgos reputacionales o regulatorios, sino también generar valor estratégico fortaleciendo las relaciones con consumidores, comunidades y empleados. Esto contribuye a consolidar un enfoque integral de sostenibilidad, donde la percepción del consumidor cobra relevancia. Dicha percepción puede estar influenciada por múltiples factores, como el impacto ambiental, el bienestar asociado al aporte nutricional y el precio del producto, lo cual resalta la importancia de comprender estas variables en el análisis del comportamiento de compra. Considerar estos aspectos permite alinear la oferta con las expectativas del consumidor y fortalecer la legitimidad social y competitividad de las empresas en un mercado cada vez más exigente en sostenibilidad.

10.3. Sostenibilidad en la industria alimentaria

La sostenibilidad en la industria de alimentos, especialmente en el sector de productos cárnicos, enfrenta desafíos significativos debido a los altos impactos ambientales asociados a sus procesos. Este sector contribuye considerablemente a la emisión de gases de efecto invernadero, así como al consumo intensivo de agua y suelo (Jaramillo, 2018; Perez et al., 2018). Estas condiciones hacen de la sostenibilidad un eje prioritario, ya que sus efectos negativos sobre el medio ambiente y los recursos naturales demandan una transición hacia prácticas más responsables.

La implementación de estrategias sostenibles no solo permite reducir los impactos ambientales, sino que también mejora la eficiencia económica mediante acciones como la reducción de residuos y el reciclaje de materiales (Aranda et al., 2021). Investigaciones recientes

destacan que optimizar el uso de recursos fortalece la viabilidad económica del sector (Zira et al., 2021). Además, estas iniciativas generan ventajas competitivas, al alinear a las empresas con un mercado cada vez más consciente del impacto ambiental de sus decisiones de consumo (Wilken et al., 2024).

Asimismo, la sostenibilidad en el consumo de carne se vincula crecientemente con las prácticas productivas y el bienestar animal, reflejando una preocupación social y ambiental en aumento entre los consumidores (Font-i-Furnols & Guerrero, 2022). En este contexto, la sostenibilidad se posiciona como una herramienta estratégica para impulsar modelos productivos más responsables y viables, con beneficios para el medio ambiente, la sociedad y la rentabilidad del sector.

10.4. Relación de sostenibilidad vs costos

Aunque la sostenibilidad es un objetivo compartido, muchos la perciben como costosa, lo que afecta la decisión de compra, incluso entre consumidores que valoran los productos sostenibles, pues estudios recientes demuestran que la disposición a pagar precios más altos se relaciona con la percepción de beneficios sociales y ambientales (Shah & Yang, 2022). Sin embargo, el precio continúa siendo una barrera decisiva, ya que, muchos consumidores, aunque reconocen ventajas de calidad en los productos sostenibles, terminan optando por productos convencionales por su menor precio (Wilken et al., 2024).

La disposición a pagar varía según la conciencia ambiental, el contexto económico y las preferencias culturales (Cappelletti et al., 2023b). En el sector cárnico, también influyen factores éticos, como el bienestar animal y los impactos ambientales, entre ellos las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de agua (Font-i-Furnols & Guerrero, 2022). Esto contribuye a la

"brecha actitud-comportamiento", es decir, la distancia entre lo que los consumidores declaran y lo que efectivamente compran (Cappelletti et al., 2023b).

A pesar del interés por la sostenibilidad, muchos no asumen sobrecostos, condicionados por su ingreso disponible y el precio elevado de los productos cárnicos. Además, la percepción de valor depende de la claridad y transparencia con la que se comuniquen los beneficios sostenibles del producto. Cuando las empresas ofrecen información clara y verificable, a través de etiquetas y certificaciones, los consumidores responden positivamente (Chou et al., 2015). No obstante, la complejidad o falta de comprensión de estas etiquetas puede generar escepticismo o indiferencia, debilitando su efectividad.

Desde la perspectiva empresarial, implementar prácticas sostenibles suele percibirse como costoso, especialmente en la industria cárnica, donde los procesos son intensivos en recursos y la infraestructura necesaria para mitigar impactos puede representar una inversión significativa. Sin embargo, herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permiten identificar oportunidades de ahorro mediante gestión eficiente y optimización de procesos (Woodward, 1997). En consecuencia, la sostenibilidad puede convertirse en una ventaja competitiva al generar ahorros y fortalecer el posicionamiento empresarial (Jaramillo, 2018).

Para que estos beneficios se consoliden, es necesario considerar los patrones de consumo; un caso es el "efecto rebote", donde conductas sostenibles generan compensaciones negativas. Por ejemplo, un consumidor que compra carne sostenible puede sentirse con "licencia" para aumentar su consumo total, elevando su huella ambiental (Abdoli & Bahramimianrood, 2023). Este efecto evidencia que los esfuerzos empresariales en sostenibilidad deben ir acompañados de estrategias de educación para fomentar un consumo consciente y coherente.

Por otro lado, las políticas de mercado y la regulación estatal cumplen un papel crucial al incentivar prácticas responsables o gravar las menos sostenibles, esto no solo orienta las decisiones de compra, sino que también contribuye a democratizar el acceso a productos sostenibles.

En conclusión, sostenibilidad y costos están estrechamente vinculados. Aunque el interés crece, el precio sigue siendo un obstáculo. En la industria cárnica, adoptar prácticas eficientes puede generar ahorro, por lo que la sostenibilidad emerge como un elemento estratégico de competitividad y aceptación en el mercado.

10.5. Ciclo de vida: concepto general y etapas

El ciclo de vida se refiere al conjunto de etapas por las atraviesa un producto o servicio, desde su concepción hasta su disposición final. Esta perspectiva permite analizar los impactos ambientales a lo largo de toda la cadena de procesos, destacando la importancia de optimizar cada fase para reducir la huella ambiental. En este marco, es posible evaluar los aspectos e impactos ambientales potenciales asociados con un producto, proceso o servicio mediante la elaboración de un inventario de entradas relevantes de energía, materiales y emisiones ambientales durante su ciclo de vida (Calderón et al., 2010).

10.5.1. Etapas del ciclo de vida

La siguiente figura presenta de forma esquemática las principales etapas del ciclo de vida de los productos cárnicos, destacando los impactos ambientales más relevantes en cada fase.

Etapas del Ciclo de Vida de los productos cárnicos

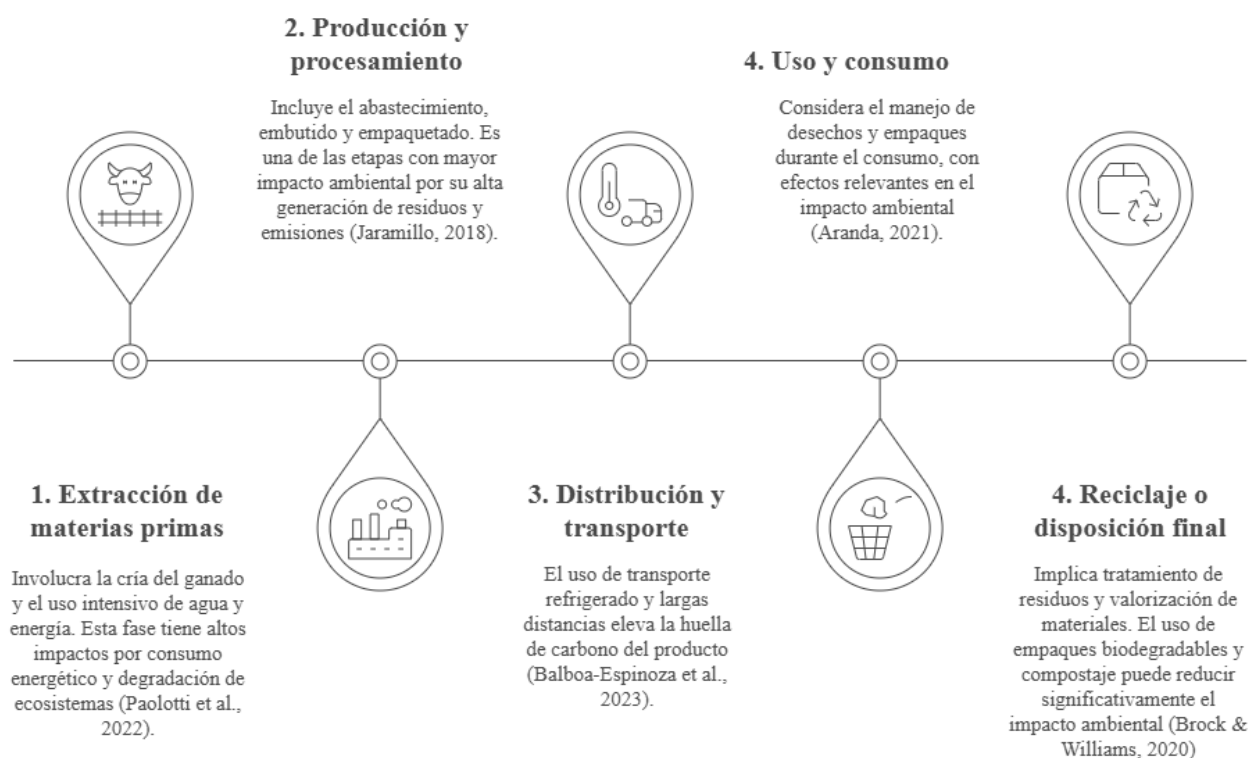


Figura 3. Etapas ciclo de vida de un producto cárnico.

Fuente: Elaboración propia a partir de diversos autores (Paolotti et al., 2022; Jaramillo, 2018; Balboa et al., 2023; Aranda, 2021; Brock & William, 2020).

10.5.2. Proceso de fabricación de embutidos cárnicos - ciclo de vida

La etapa manufacturera de embutidos cárnicos es un sistema complejo que comprende una serie de procesos interconectados, orientados a garantizar la calidad, seguridad y cumplimiento de las normativas sanitarias del producto final. La elección de las materias primas es un factor determinante, ya que los embutidos son productos procesados cuya calidad y precio dependen del origen de la carne, siendo preferida la de animales jóvenes y magros por su textura y facilidad de procesamiento (FAO, 2014). Esta consideración inicial es clave para asegurar la calidad del

producto final y su viabilidad económica, marcando el punto de partida para una producción eficiente y sostenible.

Cada proceso, desde la recepción de la materia prima hasta el etiquetado, influye directamente en la cantidad de recursos, la generación de residuos y los costos operativos, por lo que su gestión eficiente es fundamental. Los procesos típicos en la fabricación de embutidos cárnicos se desarrollan en el siguiente orden:

Tabla 1

Flujo del proceso de elaboración de embutidos cárnicos

Proceso	Descripción
Recepción	Se inicia con la llegada de materias primas como carne de res, cerdo, grasa, condimentos y tripas, provenientes de proveedores cercanos a la planta (Naranjo & Salazar, 2010).
Alistamiento	Se realiza la limpieza y preparación inicial de los ingredientes, como el picado y escaldado del tocino, siguiendo parámetros específicos de temperatura y forma (FAO, 2014).
Molienda o troceado	La carne se muele con diámetros determinados para facilitar el mezclado posterior, cuidando no excederse en el picado para evitar problemas en la textura del producto (FAO, 2014; Álvarez & Montesdeoca, 2020).
Mezclado o cutedado	Se integran carne, grasa, hielo y otros ingredientes en equipos industriales, cuidando el control de temperatura para lograr una emulsión estable (FAO, 2014).
Embutido	La mezcla se introduce en tripas naturales o sintéticas previamente remojadas, asegurando una distribución uniforme y evitando rupturas (FAO, 2014; Álvarez & Montesdeoca, 2020).

Proceso térmico	Se aplica calor mediante cocción, escaldado o ahumado, con el fin de coagular proteínas, garantizar inocuidad y mejorar la textura del producto (FAO, 2014).
Enfriado o choque térmico	Tras la cocción, se enfría el producto rápidamente en agua para estabilizar su calidad (FAO, 2014).
Almacenamiento	Los embutidos terminados se agrupan por pedido y se conservan en cámaras de refrigeración para preservar su frescura (Naranjo & Salazar, 2010).
Separado o tajado	Según los requerimientos del cliente, se cortan en porciones estandarizadas usando herramientas manuales o automáticas (FAO, 2014).
Empaque	El producto se embala con materiales sintéticos adecuados, protegiéndolo de agentes externos y asegurando su durabilidad (FAO, 2014).
Etiquetado	Finalmente, se incorpora información relevante como ingredientes, datos nutricionales y trazabilidad, cumpliendo con la normativa vigente (Álvarez & Montesdeoca, 2020).

Fuente: Elaboración propia a partir de diversos autores (FAO, 2014; Álvarez & Montesdeoca, 2020; Naranjo & Salazar, 2010).

10.5.3. Impactos ambientales y costos en la cadena de producción de embutidos cárnicos

La cadena de producción de embutidos cárnicos impone una presión significativa sobre el medio ambiente en cada etapa de su cadena de valor, desde la ganadería hasta el procesamiento y la distribución, cada eslabón contribuye a la huella ecológica del producto final. Diversos estudios han cuantificado estos impactos, destacando el uso del agua, la generación de residuos y las emisiones de metano y dióxido de carbono (Benalcázar & Wilches, 2010; Jaramillo, 2018; Morais et al., 2023; Paolotti et al., 2022; Perez et al., 2018).

Entre los factores determinantes está la selección de la fuente de la proteína y las prácticas de manejo, pues influyen directamente en estos impactos. Mientras la ganadería convencional mantiene una elevada huella ecológica, los embutidos de origen vegetal surgen como alternativas

sostenibles, aunque aún requieren mayor investigación sobre su desempeño ambiental y aceptación por parte del consumidor (Tang et al., 2024).

Además de los impactos ambientales, los costos económicos son considerables. Estos están determinados por las características de las materias primas, las etapas del proceso productivo y los requerimientos logísticos, en especial la cadena de frío (Benalcázar & Wilches, 2010). La carne, grasa y tripas representan una parte significativa de los costos totales de producción, influidos por su calidad, tipo de corte y dinámicas del mercado (Naranjo & Salazar, 2010; FAO, 2014).

El procesamiento también implica gastos vinculados con la mano de obra, la energía y el manejo de residuos. Aunque la automatización de los procesos puede reducir los costos laborales (Font-i-Furnols & Guerrero, 2022), el consumo energético, especialmente en refrigeración y cocción, representa una carga financiera importante (Perez et al., 2018).

Para mitigar estos impactos, es esencial aplicar prácticas sostenibles como sistemas de gestión ambiental, el uso eficiente de recursos y estrategias de minimización o economía circular de residuos. Una estrategia emergente destacada es la agricultura regenerativa, que ofrece una respuesta integral a los desafíos del sistema agroalimentario. A diferencia de las prácticas convencionales, este enfoque promueve la restauración de los ecosistemas agrícolas, priorizando la salud del suelo, la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y el bienestar rural, sin comprometer la rentabilidad (Sher et al., 2023).

Jaramillo (2018) propone estrategias específicas para la industria cárnica, como la reducción de emisiones en la fase primaria, la optimización de los procesos productivos y la implementación de prácticas de producción más limpias. Estas medidas, sumadas a enfoques como la economía circular y la investigación en nuevas tecnologías, son fundamentales para avanzar hacia un sistema alimentario más sostenible.

Finalmente, la transición demanda acciones coordinadas entre productores, consumidores, gobiernos y academia, mediante el fomento de la inversión en investigación y desarrollo, y el establecimiento de políticas públicas que incentiven modelos productivos sostenibles.

10.6. Teorías sobre sostenibilidad y evaluación del ciclo de vida

10.6.1. Teoría y aplicación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología estandarizada que evalúa los impactos ambientales de un producto desde la obtención de materias primas hasta su disposición final. Según Khanpit et al. (2024), la teoría comprende cuatro fases interdependientes: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación, todas deben desarrollarse de forma coherente y articulada, y esta estructura es reconocida internacionalmente a través de las normas ISO 14040 y 14044 (ICONTEC, 2021, 2022).

Para una aplicación coherente, es esencial definir una unidad funcional, que establece el referente cuantitativo del análisis y permite realizar comparaciones válidas entre sistemas productivos (ICONTEC, 2022); y en contextos de productos cárnicos, esta sumada a la herramienta es particularmente útil, para identificar puntos críticos de impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad de los procesos (Morais et al., 2023; Paolotti et al., 2022).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ofrece una visión integral del desempeño ambiental de un producto, proceso o servicio, cuantificando su carga ambiental para identificar áreas de mejora, siendo versátil y aplicable a diversos sectores productivos (Cappelletti et al., 2023a; Khanpit et al., 2024). Asimismo, facilitando la toma de decisiones pues ofrece información clave para la eficiencia continua (Aranda et al., 2021).

Adicional a lo anterior, existen dos enfoques metodológicos según la finalidad del estudio, el enfoque atribucional (ALCA) que describe los flujos actuales de materiales y energía,

ofreciendo una visual del impacto presente; en contraste, está el consecuencial que proyecta como estos flujos podrían cambiar ante decisiones específicas, siendo útil para escenarios de sostenibilidad futuros (Cappelletti et al., 2023a).

Aunque su implementación presenta limitaciones, como la disponibilidad y precisión de los datos, lo cual puede afectar los resultados al emplear modelos genéricos o supuestos sobre el futuro (Barros Telles Do Carmo et al., 2017), también aporta beneficios económicos al identificar oportunidades para reducir costos mediante una gestión eficiente de los recursos y satisfacer con las expectativas de consumidores conscientes, en línea con los principios de la ecoeficiencia (Chou et al., 2015). Esta versatilidad ha sido reconocida en estudios recientes como el de Piastrellini et al. (2024), donde la herramienta demostró su capacidad para identificar impactos y oportunidades de mejora dentro de sistemas productivos, evidenciando su utilidad para relacionar aspectos ambientales con variables económicas.

10.6.2. Teoría del Triple Resultado (Triple Bottom Line)

La teoría del Triple Resultado (TBL), introducida por John Elkington en *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business* (1998), establece que el éxito de una empresa debe evaluarse a través de tres dimensiones: la social, la ambiental y la económica, proporcionando así un marco integral para medir la sostenibilidad empresarial (Huang & Badurdeen, 2017).

El enfoque TBL fomenta una visión equilibrada de la gestión corporativa que, en el caso de los productos cárnicos, abarca tanto los impactos ambientales como aspectos sociales, incluyendo el bienestar animal y los beneficios nutricionales para el consumidor. Su aplicación consiste en integrar criterios sociales a la valoración de las prácticas. Su aplicación permite caracterizar de forma integral las decisiones empresariales, generando beneficios que trascienden la rentabilidad

económica y fomentan una mayor aceptación social de los productos. De esta manera, se promueve un equilibrio entre los intereses financieros de la empresa y su responsabilidad con el entorno y la sociedad (United Nations Environment Programme, 2020).

10.7. Herramientas para el análisis del ciclo de vida

Existe el desarrollo de múltiples herramientas para implementar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), las más reconocidas en la literatura se encuentran SimaPro, GaBi y openLCA, cada una ofreciendo fortalezas específicas en términos de modelado, compatibilidad con bases de datos y facilidad de uso. En este estudio, se eligió openLCA 2.4.1 por su carácter de código abierto, flexibilidad metodológica y compatibilidad con bases de datos ampliamente utilizadas como *ecoinvent* y *Agribalyse*, lo que permite garantizar trazabilidad, replicabilidad y confiabilidad en el análisis. Además, su uso se ha consolidado en investigaciones académicas por su capacidad para modelar sistemas complejos de producción de manera transparente y sin requerimientos de licencias costosas (Khanpit, et al., 2024; Malviya et al., 2024).

Una de las características más importantes de esta herramienta es la capacidad para construir modelos personalizados a partir de datos primarios, lo que le da al investigador control sobre la construcción de sus propios procesos, flujos y cadenas de suministro, permitiendo tomar decisiones metodológicas, adaptándose a las condiciones reales del caso de estudio y así mejorando la precisión y relevancia de los resultados obtenidos.

Además, permite aplicar metodologías estandarizadas conforme a las normas ISO 14040 y 14044, lo que la convierte en una herramienta robusta para estudios de sostenibilidad, particularmente en el análisis de productos cárnicos (Malviya et al., 2024). Gracias a su integración con bases de datos reconocidas, posibilita comparaciones precisas entre alternativas de producción mediante la incorporación de aspectos ambientales y económicos, pues para mejorar el

rendimiento de cualquier dominio, primero debe medirse de manera integral (Huang & Badurdeen, 2018). En este sentido, openLCA resulta útil para identificar y mitigar los impactos asociados al cambio climático, el consumo hídrico y la generación de residuos. Los aspectos específicos relacionados con la implementación del software se detallan en el apartado metodológico.






Comparación de Software			
Característica	SimaPro	GaBi	openLCA
 Desarrollador	PRé Sustainability (Países Bajos)	Sphera Solutions (Alemania)	GreenDelta (Alemania)
 Licencia	Licencia comercial	Licencia comercial	Software libre y de código abierto
 Bases de datos integradas	Ecoinvent, Agri-footprint, ELCD, etc.	Ecoinvent, GaBi, USLCI, etc.	Ecoinvent (opcional), AGRIBALYSE, ELCD, Exiobase, etc.
 Ventajas clave	Interfaz amigable, uso extendido	Amplia cobertura industrial, buena visualización	Gratuito, flexible, compatible con múltiples bases, permite al usuario modelar desde cero como creador del sistema
 Limitaciones	Costoso, requiere instalación local	Costoso, curva de aprendizaje	Requiere conocimientos técnicos, menos intuitivo
 Metodologías	ReCiPe, CML, IPCC, ILCD, Eco-indicator 99, USEtox	CML, ILCD, ReCiPe, EPS, Ecological Scarcity (UBP)	ReCiPe, EF 3.0, TRACI, CML, ILCD, IPCC, USEtox

Figura 4. Comparación de los diferentes software referenciados en la bibliografía para análisis ACV.

Fuente: Elaboración propia.

10.8. Limitaciones teóricas y prácticas

Aunque el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta ampliamente reconocida, presenta limitaciones teóricas que pueden afectar su precisión y aplicabilidad en contextos complejos, como el de los productos cárnicos. Uno de los principales retos es conseguir datos fiables y representativos en todas las fases del ciclo de vida, debido a que muchas veces se mezclan

fuentes y se presentan conflictos entre objetivos e indicadores diversos (Barros Telles Do Carmo et al., 2017).

Otro desafío relevante es el momento de valorar los impactos, ya que no existe un único método para ponderarlos; este proceso, como señala Barros Telles do Carmo et al. (2017), carece de una estandarización generando resultados subjetivos y afectación en la comparabilidad entre estudios.

Aunque las normas ISO proporcionan un marco general para la aplicación del ACV, ciertos elementos metodológicos (particularmente en la evaluación de impactos sociales y económicos) aún no están completamente estandarizados. Según Cappelletti et al. (2023b), esta falta de criterios limita la generalización de los resultados. En productos cárnicos, estas limitaciones pueden dar lugar a variaciones significativas en los resultados según los métodos y supuestos aplicados, introduciendo incertidumbre en las conclusiones del análisis.

En cuanto a la herramienta seleccionada, aunque openLCA es valorada por ser flexible y de fácil de acceso, su nivel de precisión depende mucho de la calidad y disponibilidad de las bases de datos como ELCD 3.2, ECCC y Agribalyse 3.2. Además, su enfoque principal es el análisis de impactos ambientales, por lo que si se requiere incluir aspectos y/o económicos puede requerir el uso de herramientas complementarias (Malviya et al., 2024). Entre estas se destacan la Evaluación del Ciclo de Vida Social (S-LCA) (Barros Telles Do Carmo et al., 2017), que puede implementarse mediante bases de datos como PSILCA o Social Hotspots Database, enfocadas en impactos sociales como empleo, salud y derechos humanos (Font-i-Furnols & Guerrero, 2022). En cuanto a la dimensión económica, el enfoque de Life Cycle Costing (LCC) permite estimar los costos asociados a cada etapa del ciclo de vida del producto, y puede ser implementado a través de herramientas como SimaPro + LCC plugin, siempre que se cuente con bases de datos económicas

específicas. No obstante, estas herramientas no serán incluidas en este trabajo de grado, ya que exceden el alcance definido para esta investigación.

Otra limitación es el alcance del análisis "de puerta a puerta" en lugar de "de la cuna a la tumba" de este trabajo. Este enfoque implica que el análisis se centra exclusivamente desde el momento en que los materiales llegan a la instalación hasta su salida como producto terminado, reduciendo la amplitud del análisis, ya que no se consideran fases como la gestión de residuos o transporte (Paolotti et al., 2022). Y a lo anterior se suma, que el uso de la herramienta de ACV en productos cárnicos sigue siendo escasa, lo cual limita la disponibilidad de datos específicos y la comparación con estudios similares como el de Morais et al. (2023).

Desde lo práctico, llevar a cabo la recolección, validación y modelación de datos requiere una inversión de tiempo y recursos considerable, lo que limita el estudio. Además, la variabilidad en los procesos productivos de la industria cárnica, debido a factores como tecnología, formulación o disponibilidad de recursos, dificulta la estandarización y comparación directa entre distintas referencias del mercado. Además, la interpretación adecuada de los resultados requiere personal capacitado pues errores en el análisis pueden comprometer los resultados. Pues aunque los hallazgos obtenidos son valiosos para el contexto estudiado, su implementación o generalización puede verse restringida por las capacidades específicas de cada empresa para adaptar sus procesos o asumir las inversiones recomendadas.

11. Metodología

Este estudio empleó una metodología basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para identificar y comparar los impactos ambientales y su costo de mercado de dos productos cárnicos, a partir de un análisis detallado por componentes específicos. El enfoque fue mixto, ya que integró elementos cualitativos como cuantitativos. Por un lado se recopilieron datos numéricos sobre impactos ambientales, costos y uso de recursos, que fueron modelados en el software especializado openLCA 2.4.1. Y por otro lado también se integraron elementos cualitativos como la interpretación de resultados y una encuesta exploratoria sobre la percepción del consumidor, con el fin de contextualizar los hallazgos y abrir líneas para futuras investigaciones.

Para el análisis se emplearon tanto datos primarios como secundarios. Los datos primarios fueron recopilados directamente de los procesos productivos de ambas referencias e incluyendo consumos energéticos, agua, insumos, emisiones y residuos generados en cada etapa del ciclo de vida. Como secundarios, se utilizaron las bases de datos gratuitas ELCD 3.2, Agribalyse 3,2 y ECCC, que proporcionan inventarios estandarizados de materiales y procesos relevantes para el sector cárnico. En la fase de evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida (EICV), se aplicaron los métodos incluidos en el paquete openLCA LCIA Methods 2.3.1, destacando los métodos Recipe 2016 Endpoint H (con perspectiva jerárquica, seleccionado para cuantificar el impacto en 22 categorías) y IPCC 2013 GWP 100a.

Además, se consultaron fuentes bibliográficas especializadas mediante códigos de búsqueda específicos en plataformas como Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y ResearchGate, organizadas a través del gestor de referencias Mendeley. Toda la metodología aplicada integró de manera estructurada la norma ISO 14040 (Figura 5) garantizando trazabilidad

y cobertura de las etapas necesarias para un estudio riguroso y coherente con los objetivos específicos planteados.

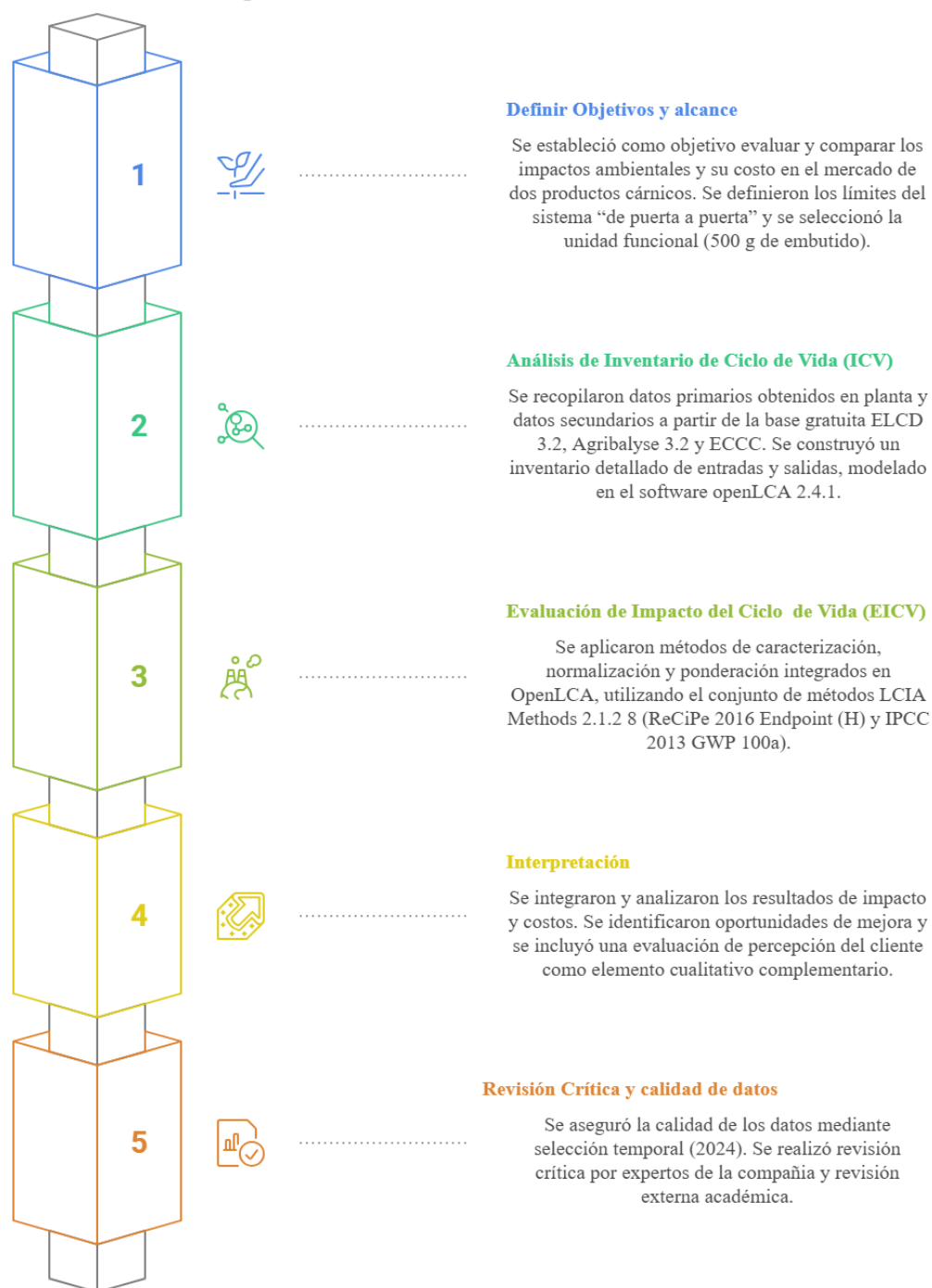


Figura 5. Resumen de la metodología implementada. de las fases del ACV.

Fuente: Elaboración propia.

11.1. Caso de estudio

El estudio se centra en dos productos cárnicos procesados, identificados como Referencia A y Referencia B, que, aunque comparten un proceso y etapas de fabricación común, difieren en el precio final al consumidor. Esta diferencia plantea una interrogante clave: ¿existe una relación directa entre el precio del producto y su desempeño ambiental?. Para responderla, se recopilieron datos detallados en cada fase del proceso de producción de ambas referencias.

Estudios previos han demostrado que un mayor precio no siempre se traduce en un menor impacto ambiental. Por ejemplo, en Morais et al. (2023) concluyeron que una carne de línea súper premium, a pesar de su precio elevado, generó una huella de carbono un 286% superior, así como mayores niveles de eutrofización, acidificación y uso del suelo frente a líneas de menor precio. Este tipo de hallazgos proporciona un referente útil para contrastar y contextualizar los resultados al caso de estudio dentro de las dinámicas actuales del sector.

11.2. Fases de la metodología del ACV según ISO 14040

La metodología aplicada se basó en las directrices establecidas por las normas ISO 14040 e ISO 14044 (ICONTEC, 2021, 2022), permitiendo garantizar el rigor técnico, la consistencia metodológica y la comparabilidad de los estudios.

11.2.1. Definición de alcance

En esta primera fase se estableció que la unidad funcional para este estudio es **un paquete de 500 gramos de embutido cárnico**, formato común en el mercado, lo que permite comparaciones objetivas y coherentes entre ambas referencias en términos de impacto ambiental y costo de producción. Su elección es clave, ya que todos los resultados del ACV se expresan en relación con ella (ICONTEC, 2022).

Los límites del sistema se definieron bajo un enfoque “**de la puerta a la puerta**”, es decir, desde la recepción de materias primas en planta hasta la salida del producto terminado, lo que permite concentrarse en las etapas bajo control directo de la empresa, facilitando proponer mejoras viables, como optimizar recursos o aplicar Producción Más Limpia (Jaramillo, 2018). Esta decisión se basa en la literatura, que identifica impactos relevantes en el consumo energético en las etapas de cocción y refrigeración (Perez et al., 2018), la gestión de residuos (Jaramillo, 2018), y en la materia prima cárnica (Naranjo & Salazar, 2010).

Además, este enfoque es coherente con las recomendaciones de (ICONTEC, 2022), que promueven establecer sistemas manejables para obtener resultados prácticos, útiles y representativos en contextos reales de producción.

11.2.2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV) constituye una etapa fundamental dentro del ACV, ya que permite identificar y cuantificar los flujos de entrada y salida asociados a cada fase del ciclo de vida de los productos evaluados.

11.2.2.1. Recolección de datos. La recopilación de datos se llevó a cabo mediante un enfoque de dos niveles, para asegurar la precisión y representatividad del inventario del ciclo de vida. En el primer nivel, se obtuvieron datos primarios directamente en planta, a través de visitas técnicas realizadas a las instalaciones de producción de las dos referencias, las cuales contaron con el acompañamiento de expertos de diversas áreas, como producción, generación de energía y refrigeración, gestión de suministros, ambiental, investigación y desarrollo, así como capacidades técnicas, quienes proporcionaron información detallada y verificada sobre el funcionamiento real de los procesos.

Durante estos espacios se recopilieron datos de entradas y salidas del sistema, como el tipo y cantidad de materias primas, consumos energéticos, insumos auxiliares, generación de residuos y emisiones, entre otros aspectos operativos clave. Esta información fue posteriormente organizada y convertida en unidades funcionales estandarizadas, mediante relaciones proporcionales entre cantidades producidas y variables de consumo, con el fin de modelar adecuadamente cada referencia en el software de análisis de ciclo de vida.

En el segundo nivel, los datos primarios fueron complementados con datos secundarios extraídos de bases de datos públicas y estandarizadas, las cuales aportan valores verificados para materiales y procesos comunes en la industria cárnica.

11.2.2.2. Flujo de materiales y energía del caso. A través de un diagrama de flujo (Figura 6), se representa gráficamente el recorrido de materiales y energía a lo largo del proceso productivo. Si bien el flujo de proceso es idéntico para ambas referencias, las diferencias radican en las cantidades, tipos y tiempos de insumos utilizados, donde “tipos” hace referencia tanto a la naturaleza como a la calidad de las materias primas y demás componentes del proceso productivo.

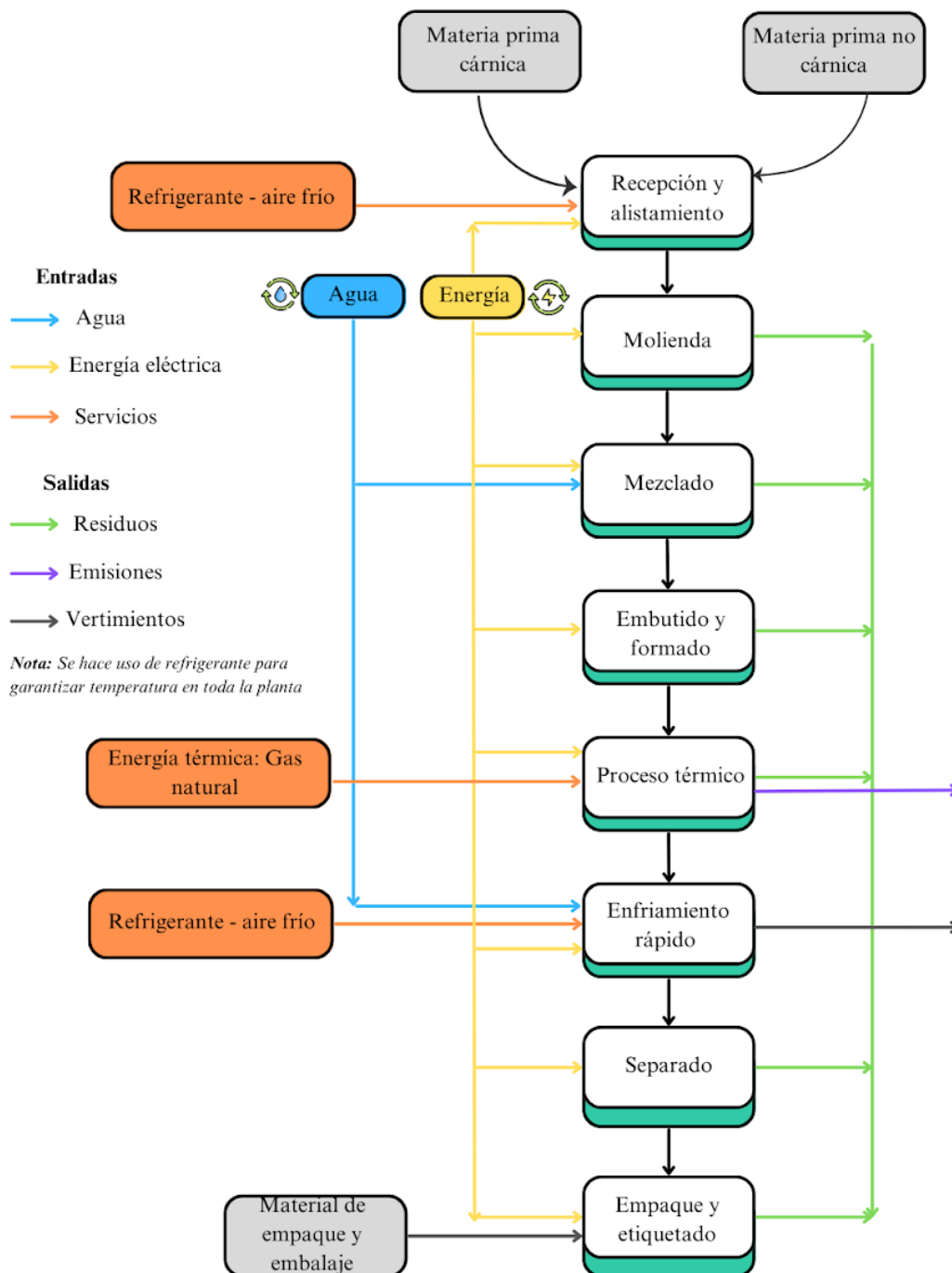


Figura 6. Diagrama de flujo de materiales y energía del caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

11.2.2.3. Procesamiento en software. Los datos fueron organizados y modelados para construir un inventario detallado de los flujos de materiales y energía asociados a cada referencia cárnica. El modelado del inventario del ciclo de vida se llevó a cabo utilizando el software openLCA, (Malviya et al., 2024) afirman que los resultados proporcionados por el software openLCA (versión 1.11.0) demuestran fiabilidad. Para este estudio, se empleó la base de datos ELCD 3.2, Agribalyse 3.2 y ECCC de acceso libre y enfoque europeo, reconocidas por proporcionar inventarios detallados de procesos industriales, energéticos y agroalimentarios relevantes para el análisis ambiental.

La integración de datos primarios y secundarios se realizó bajo criterios de coherencia y trazabilidad, garantizando transparencia en la construcción del inventario. Para ampliar la técnica del modelado en openLCA, incluyendo justificaciones, manejo de información por confidencialidad, modelaciones, consideraciones, procesos y vínculos establecidos, se remite al Apéndice C.

11.2.3. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV).

Con la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV) se transformaron los datos del inventario en indicadores ambientales significativos, con el fin de comparar el desempeño ambiental de las dos referencias cárnicas.

11.2.3.1. Clasificación y caracterización de impactos. Los flujos del inventario fueron asignados a distintas categorías de impacto ambiental, tales como cambio climático, consumo de agua y agotamiento del recurso, esto por ser los impactos documentados más relevantes en el sector cárnico. Para la caracterización se utilizaron los métodos contenidos en el paquete LCIA Methods 2.3.1, disponibles en openLCA. En particular, se empleó el método ReCiPe Endpoint (H) por su compatibilidad con sistemas complejos y formatos JSON-LD, evitando errores que pueden surgir

con versiones más recientes. Adicionalmente, también IPCC 2013 GWP 100a por su amplia aceptación internacional y porque permite cuantificar el potencial de calentamiento global a 100 años, facilitando la comparación con otros estudios y estándares de reporte climático.

11.2.3.2. Normalización y ponderación de impactos. La normalización se aplicó como una etapa complementaria al análisis de impacto, con el fin de contextualizar los resultados obtenidos en relación con valores de referencia regionales o globales. Esto convierte los resultados de cada categoría de impacto en valores relativos, dividiendo cada uno por un valor de referencia global. La ponderación asigna un valor relativo a cada categoría de impacto y los convierte en una unidad común que son los puntos ReCiPe (Pt), facilitando la comparación integrada de resultados.

11.2.4. Interpretación de resultados

Se realizó un análisis comparativo de los impactos y costos de las referencias A y B, integrando los resultados del ACV para verificar si el producto de mayor costo resultaba más sostenible en términos ambientales, identificando áreas de mejora en los procesos productivos, que podrían reducir tanto los impactos ambientales como los costos. Finalmente, el estudio concluyó si el producto de mayor costo ofrecía beneficios ambientales adicionales, formulando recomendaciones para la industria cárnica, enfocadas en la implementación de prácticas sostenibles para mejorar el desempeño.

11.2.5. Limitaciones en la aplicación de la metodología

El estudio enfrentó limitaciones asociadas a la disponibilidad parcial de datos específicos y datos promediados durante la recolección de información en planta, lo que pudo afectar la precisión del modelado. Además, por razones de confidencialidad, la formulación de los productos no se presentó de forma exacta, sino agrupada en categorías generales para mantener la representatividad sin comprometer información sensible. En cuanto a las bases de datos, se

evidenció que ELCD 3.2, aunque robusta en procesos industriales y energéticos, no incluye datos específicos para productos cárnicos, por lo que para suplir esta limitación, se incorporó AGRIBALYSE 3.2, seleccionando tres indicadores clave (emisiones fósiles, consumo energético y uso de agua), que fueron escalados a la unidad funcional y modelados manualmente en openLCA mediante procesos proxy limitados a flujos elementales y conectados a los insumos del sistema.

11.2.6. Consideraciones de calidad y revisión crítica

La calidad de los datos y la revisión crítica constituyeron pilares fundamentales en la realización del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), conforme a lo establecido en las normas -ISO 14044 y 14040. Para garantizar la calidad de los datos recolectados, se utilizaron únicamente datos correspondientes al periodo 2024, provenientes de empresas ubicadas en territorio colombiano, con el fin de mantener la consistencia y precisión necesarias para reflejar fielmente las condiciones reales de los sistemas estudiados (ICONTEC, 2021) Asimismo, se indicó en qué casos fue necesario manejar incertidumbres y/o suposiciones.

Por otro lado, la revisión crítica tuvo como alcance la validación de la representatividad de los procesos y la idoneidad de los datos en relación con el objetivo del estudio, además de la coherencia de los resultados obtenidos. Esta revisión se llevó a cabo mediante un proceso interno, el cual incluyó un panel de expertos, como líderes mantenimiento y centro de I+D de la empresa, así como revisiones externas realizadas por la dirección del presente trabajo de grado, cumpliendo con los estándares internacionales establecidos (ICONTEC, 2022).

11.3. Validación de percepción del cliente

Como complemento a la interpretación de los resultados, se aplicó una encuesta para evaluar la percepción del cliente sobre la sostenibilidad ambiental de los productos en relación con su precio. Esta encuesta recogió opiniones de los consumidores respecto a si consideraban que un

producto de mayor costo era efectivamente más sostenible desde el punto de vista ambiental, entre otras preguntas de interés.

Dado que no fue posible determinar el total de consumidores de productos cárnicos ni contar con un marco de muestra específico, se optó por un muestreo no probabilístico de tipo convencional o accidental. Esta decisión se fundamentó por la ausencia de una base de datos pública, actualizada y accesible que identifique a los consumidores colombianos de productos cárnicos en términos individuales, ni que, además, los clasifique según su percepción sobre la sostenibilidad. Aunque existen fuentes generales como las encuestas del DANE, estas no ofrecen información suficiente para delimitar una población objetivo pertinente al enfoque de este trabajo, ya que los datos disponibles agrupan el consumo alimentario de forma amplia y no permiten aislar específicamente a quienes adquieren productos cárnicos procesados o derivados. En consecuencia, se recopilaron datos a partir de los consumidores más accesibles, lo cual resulta coherente con el carácter exploratorio de la encuesta.

Esta modalidad es reconocida como una opción adecuada para estudios exploratorios con recursos limitados y donde se busca comprender fenómenos particulares en contextos definidos. Como lo señala la Comisión Económica para América Latina y el Caribe es un método rápido y económico que recopila datos de los sujetos más accesibles, aunque con limitaciones en representatividad, pero útil en estudios exploratorios, donde el cálculo del tamaño y la selección de la muestra se basan en juicios y criterios subjetivos.

Desde la lógica estadística, se reconoce que este tipo de muestreo limita la capacidad de generalización de los resultados, pero permite un análisis cualitativo y cuantitativo útil para procesos investigativos mixtos (CEPAL, 2024). Así lo justifica Fuentelsaz (2004), al afirmar: “El tamaño de la muestra necesario estará condicionado por los objetivos del estudio” (p. 6). En la

misma línea, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2024) señala que “la elección del método adecuado dependerá del contexto de la investigación, los objetivos del estudio y las limitaciones prácticas” (p. 14).

Con base en estas recomendaciones y reconociendo la naturaleza exploratoria del componente de percepción, se estableció un mínimo de 200 encuestas válidas. Estas se aplicaron mediante un formulario digital en la plataforma Google Forms, y las preguntas formuladas se detallan en el Apéndice A. Aunque no se buscó representatividad estadística, los resultados obtenidos permitieron identificar y contrarrestar con literatura tendencias de consumo y percepción social frente a los productos sostenibles, en coherencia con los objetivos y limitaciones del estudio.

Las preguntas sociodemográficas incluidas en la encuesta, como género, edad, nivel educativo, ingresos y número de personas en el hogar fueron seleccionadas con base en estudios previos que las utilizaron para evaluar la influencia de estos factores en la percepción y comportamiento de compra frente a productos sostenibles. El estudio de Diamantopoulos et al., (2003), *Can socio-demographics still play a role in profiling green consumers?*, usaron estas características para explorar su vínculo con actitudes y conductas ambientales. Por su parte, Chuah et al., (2020), las manejaron para evaluar el impacto en la preocupación ambiental y el compromiso sostenible del cliente. Finalmente, Wang et al., (2021), las consideró para analizar el comportamiento proambiental considerando diferencias demográficas y culturales..

Estas investigaciones también guiaron la formulación de preguntas orientadas a identificar el perfil del consumidor, su grado de conciencia sobre la sostenibilidad y su disposición a pagar por productos sostenibles. De este modo, el cuestionario se construyó en base a marcos conceptuales validados, que fueron adaptados con el fin de asegurar la pertinencia de las preguntas frente a los objetivos del estudio. La inclusión del género se justificó para identificar posibles

diferencias actitudinales hacia el consumo sostenible según sexo (incluyendo la opción “prefiero no decirlo”), mientras que variables como el nivel educativo e ingresos se consideraron para estimar la capacidad crítica, informacional y económica del encuestado. Y el número de integrantes del núcleo familiar permitió explorar posibles restricciones económicas o percepciones del gasto relacionadas al tamaño del hogar.

El análisis se realizó bajo un enfoque estadístico descriptivo, utilizando frecuencias y cruces entre variables sociodemográficas y comportamiento de compra, con el fin de explorar relaciones e identificar patrones generales en la percepción del consumidor sobre productos sostenibles.

12. Consideraciones éticas

Para asegurar un desarrollo ético y riguroso de este trabajo, se priorizó el cumplimiento de lineamientos que garantizan la integridad, la transparencia y el uso adecuado de la información. Se evitó cualquier posible conflicto de interés, y se adoptaron medidas que respaldan una investigación objetiva, libre de sesgos y orientada a generar conocimiento que aporte al desarrollo sostenible del sector cárnico.

1	<p>Consentimiento informado</p> <p>Para el desarrollo de este trabajo, se obtuvo la aprobación de asuntos de ética de la organización, cumpliendo con las condiciones y lineamientos establecidos para el uso de la información interna. Asimismo, se contó con la autorización de las áreas pertinentes, incluyendo al jefe inmediato, el presidente de la empresa, el líder de Investigación y el área de Recursos Humanos. Esto permitió acceder a información operativa relevante, garantizando el respeto por la confidencialidad institucional y el cumplimiento de principios éticos y de transparencia.</p>
2	<p>Confidencialidad y anonimato</p> <p>Para proteger la confidencialidad de la información, se firmó un acuerdo que establece que las referencias de estudio se denominarán Referencia A y Referencia B, evitando cualquier detalle que identifique a la empresa o sus productos. No se mencionarán nombres comerciales, marcas registradas, códigos internos ni imágenes que puedan asociarse con la organización. La información divulgada se limitará exclusivamente a análisis generales, garantizando así el anonimato y la protección de los datos de la compañía de estudio.</p>
3	<p>Conflicto de intereses</p> <p>El proyecto fue registrado en la plataforma de conflicto de intereses y áreas interesadas para garantizar la transparencia y el adecuado manejo de la información. Este proceso ayudó a mitigar posibles sesgos y asegura la objetividad en los resultados.</p>
4	<p>Tratamiento ético de los datos</p> <p>Los datos recopilados para el análisis de ciclo de vida fueron utilizados exclusivamente con fines académicos, sin ningún propósito comercial ni de divulgación externa. No se incluyeron detalles sensibles como costos unitarios, nombres de proveedores, especificaciones de formulación ni información técnica interna de los productos. Solo se divulgaron análisis y conclusiones generales, respetando la integridad y privacidad de la información. Este tratamiento se realizó conforme a la Ley 1581 de 2012 sobre Protección de Datos Personales y las políticas internas de la organización.</p>

5	<p>Manipulación y sesgo</p> <p>Para minimizar el sesgo en el análisis, se siguieron los criterios del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), ISO 14040:2022 e ISO 14044:2022, garantizando una evaluación imparcial de la sostenibilidad ambiental y económica de las referencias de estudio, con el fin de garantizar la objetividad y transparencia del trabajo.</p>
6	<p>Cumplimiento de regulaciones y directrices</p> <p>Esta investigación se alineó con el código de buen gobierno y las políticas internas de la empresa de estudio, respetando las normativas de confidencialidad, como la protección de datos sensibles operativos. Asimismo, se aplicaron estándares de integridad académica y profesional, garantizando la correcta citación de fuentes y la veracidad en la presentación de resultados.</p>
7	<p>Uso de inteligencia artificial</p> <p>En este trabajo de grado se asignó a la inteligencia artificial el rol de asistente editorial, empleando la aplicación ChatGPT (modelo GPT-4) como herramienta de apoyo para la redacción, edición y estructuración del contenido. Su uso tuvo como propósito mejorar la claridad, coherencia y estilo académico del documento, sin intervenir en el contenido técnico ni en el análisis de resultados. Las tareas realizadas incluyeron la sugerencia de sinónimos para evitar repeticiones, la mejora de la fluidez en los párrafos, la propuesta de transiciones entre secciones y la reducción de redundancias, especialmente dentro del marco teórico. Entre los comandos o instrucciones (prompts) utilizados se encuentran ejemplos como:</p> <p>“Resume este texto manteniendo el estilo académico” “Haz más claro este párrafo” “Reduce redundancias y mejora la continuidad entre ideas” “Propón una transición adecuada entre estos dos apartados” “Mejora este fragmento conservando las citas textuales” “Revisa este párrafo y propón cómo mejorarlo sin perder la esencia” “Revisa la gramática del siguiente texto”</p> <p>El contenido generado por la herramienta fue siempre revisado, editado y validado por las autoras, asegurando su adecuación con los objetivos del trabajo y el cumplimiento de los lineamientos académicos exigidos. Adicionalmente, algunas figuras del presente trabajo fueron organizadas visualmente con el apoyo de Napkin, una herramienta de inteligencia artificial para esquemas conceptuales. No se empleó para el análisis ni interpretación de los datos.</p>

Figura 7. Consideraciones éticas.

Fuente: Elaboración propia

13. Hallazgos y resultados

13.1. Análisis ciclo de vida

Según el método ReCiPe 2016 Endpoint (H), la Referencia A presentó un impacto ambiental total de 910.304 puntos, mientras que la Referencia B alcanzó 702.476 puntos por unidad funcional (500 g), lo que representa un 30 % más de carga ambiental en la Referencia A.

Los puntos ReCiPe del sistema de empaque, tomados de un informe previo, representaron menos del 0,001 % del total en ambas referencias, por lo que no modifican significativamente los resultados globales.

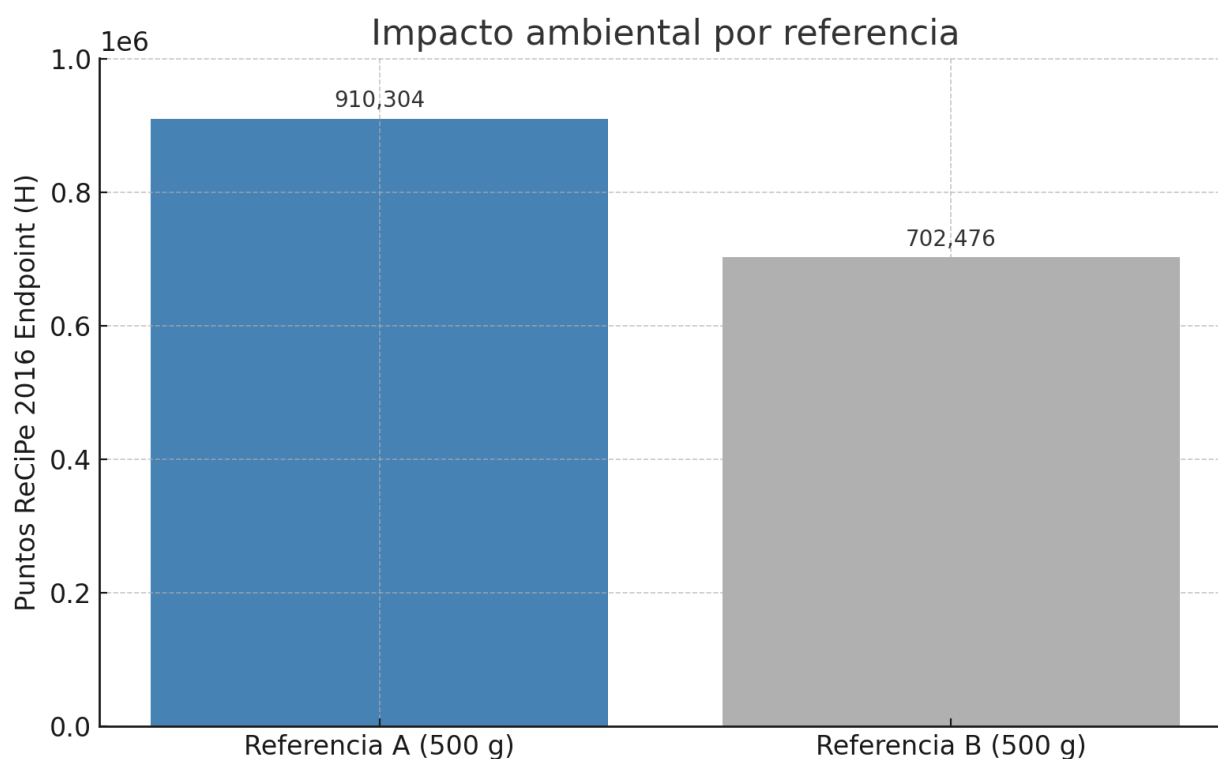


Figura 8. Impacto ambiental total por referencia (con y sin sistema de empaque).

Fuente: Elaboración propia con base resultados de openLCA.

13.1.1. Principales categorías de impacto ambiental

Al desagregar los resultados por categoría, se identificó que los mayores aportes a los impactos ambientales provienen de las siguientes cinco categorías clave:

- Escasez de recursos fósiles
- Escasez de recursos minerales
- Consumo de agua para salud humana
- Calentamiento global (afectación a la salud humana)
- Formación de material particulado fino.

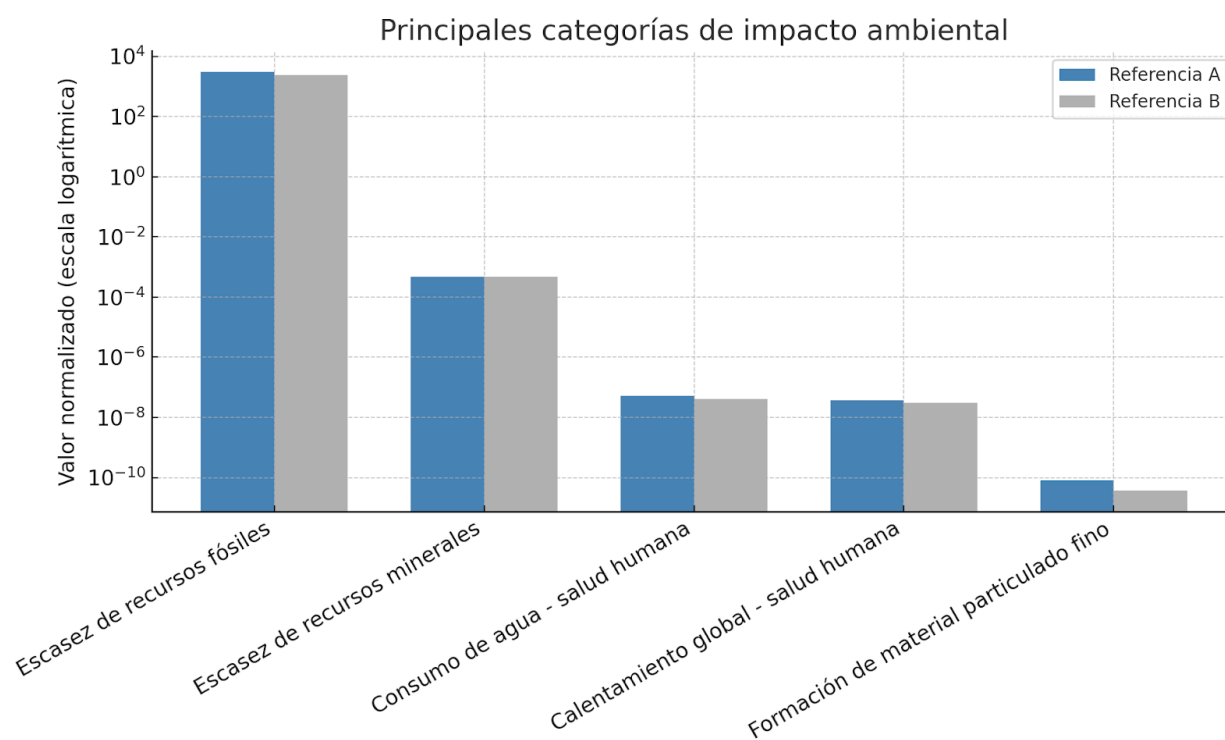


Figura 9. Comparación de las cinco categorías con mayor impacto ambiental por referencia.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de openLCA.

En todas estas categorías, la Referencia A presentó impactos más elevados que la Referencia B. La diferencia más marcada se registró en la categoría de escasez de recursos fósiles,

con valores de 3.034 puntos para la A frente a 2.341 para la B. Esta tendencia también se repitió, aunque en menor magnitud, en consumo de agua, calentamiento global y material particulado fino, lo que refuerza el patrón de mayor carga ambiental en la Referencia A.

13.1.2. Huella de carbono – Método IPCC 2013 GWP 100a

La huella de carbono obtenida fue de 1,72075 kg CO₂ eq para la Referencia A y de 1,37583 kg CO₂ eq para la Referencia B, por unidad funcional (500 g). Esto representa una diferencia de 0,34492 kg CO₂ eq, equivalente a un 25 % más en la Referencia A, indicando una mayor contribución al cambio climático en comparación con la B.

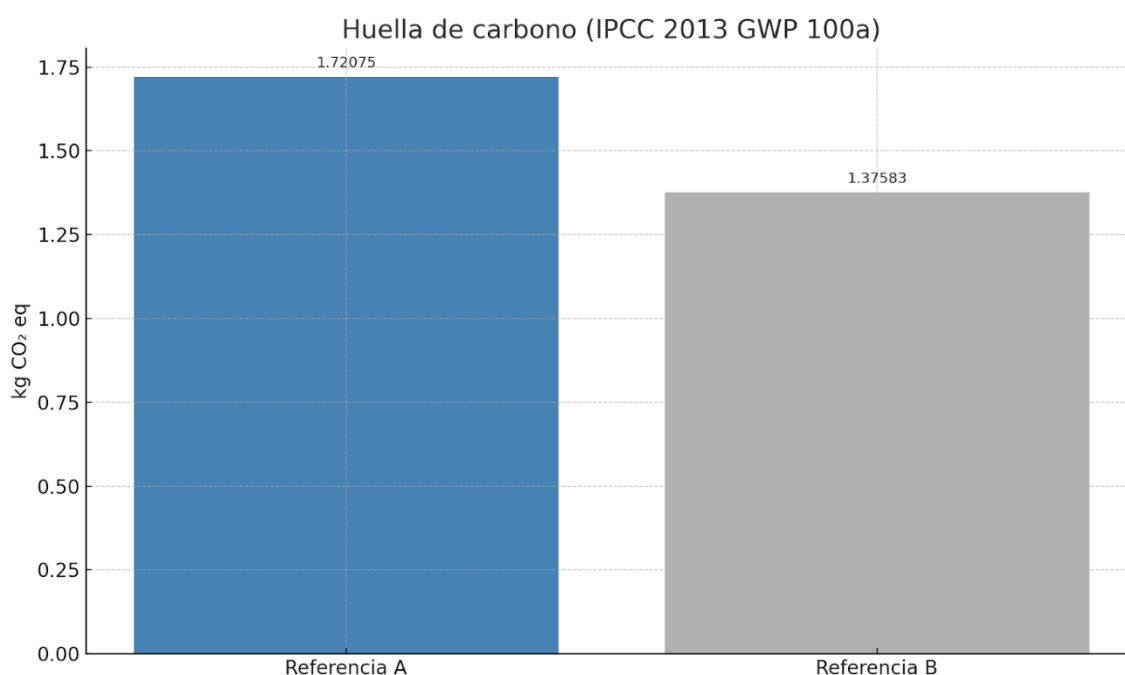


Figura 10. Huella de carbono por unidad funcional (500 g) según IPCC 2013 GWP 100a.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de openLCA.

Esta diferencia se refuerza con los resultados de las contribuciones por insumo obtenidas en OpenLCA. En la Referencia A, los principales aportes al cambio climático provinieron del cerdo (1.451 kg CO₂ eq), la grasa animal tipo 1 (0.150 kg CO₂ eq) y la tripa de celulosa no comestible (0.066 kg CO₂ eq), seguidos de los aditivos funcionales (0.018 kg CO₂ eq) y el empaque

(0.013 kg CO₂ eq). En la Referencia B, las mayores contribuciones se atribuyeron al cerdo (0.645 kg CO₂ eq), carne de ave (0.447 kg CO₂ eq), grasa animal tipo 2 (0.079 kg CO₂ eq), grasa animal tipo 1 (0.078 kg CO₂ eq) y tripa de celulosa (0.061 kg CO₂ eq). En ambos casos, las materias primas cárnicas fueron responsables de la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que los insumos especiales como la tripa de celulosa y el empaque representaron una fracción menor del total.

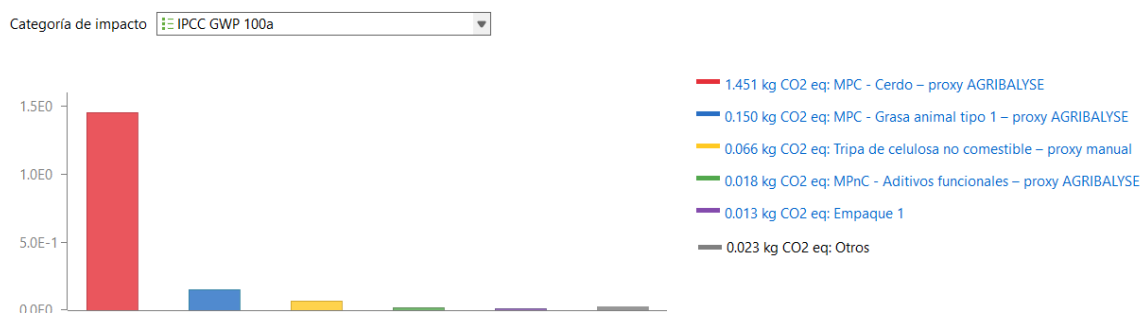


Figura 11. Contribución por tipo de materia prima a la huella de carbono (IPCC 2013 GWP 100a) para la Referencia A.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de openLCA

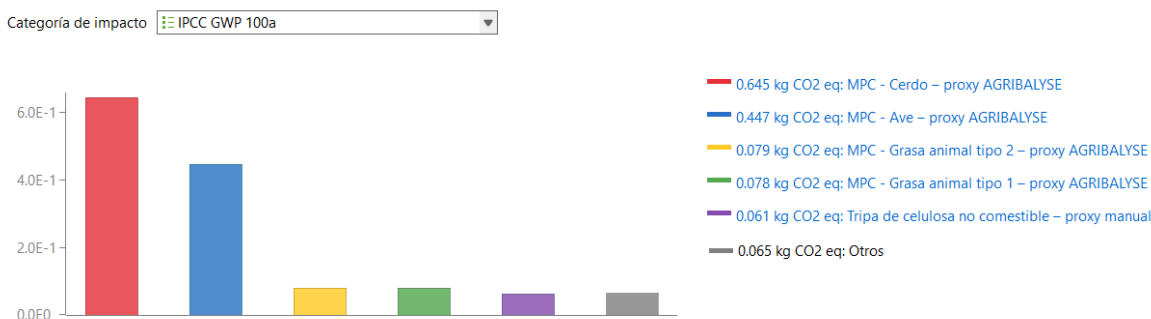


Figura 12. Contribución por tipo de materia prima a la huella de carbono (IPCC 2013 GWP 100a) para la Referencia B.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de openLCA

13.1.3. Análisis de contribución por etapa (IPCC GWP 100a)

El análisis por etapa acumulada revela que la Referencia A presenta una huella de carbono mayor al finalizar cada fase del proceso. A medida que se avanza desde la recepción hasta el empaque, se observa una acumulación progresiva de impactos, alcanzando un valor final de 1.72 kg CO₂ eq. En comparación, la Referencia B muestra una acumulación más moderada, con un valor final de 1.38 kg CO₂ eq. Esta diferencia acumulada refleja que, aunque ambas referencias comparten etapas similares, la Referencia A presenta una mayor carga climática global, posiblemente asociada a sus materias primas cárnicas.

☰ Referencia A

Flujo 🗑 idity, unspecified - Emission to air/unspecified ▼
 Categoría de impacto ☰ IPCC GWP 100a ▼

Contribución	Proceso	Required amount	Total result [kg CO ₂ eq]
✓ 100.00%	🔗 08. Empaque y etiquetado – Ref A (500 g)	0.50000 kg ■	1.72075
✓ 99.00%	🔗 07. Separado – Ref A (500 g)	0.50000 kg ■	1.70353
✓ 99.00%	🔗 06. Enfriamiento rápido – Ref A (500 g)	0.50000 kg ■	1.70353
✓ 99.00%	🔗 05. Tratamiento térmico – Ref A (500 g)	0.50000 kg ■	1.70353
✓ 98.51%	🔗 04. Embutado y formado – Ref A (500 g)	0.50000 kg ■	1.69518
✓ 94.68%	🔗 03. Mezclado – Ref A (500 g)	0.50000 kg ■	1.62924
✓ 93.05%	🔗 02. Molienda – Ref A (500 g)	0.42300 kg ■	1.60122
✓ 93.05%	🔗 01. Recepción y alistamiento – Ref A (500 g)	0.42300 kg ■	1.60122

Figura 13. *Árbol de contribución a la huella de carbono por etapa de proceso según IPCC GWP 100a (500 g de producto terminado Referencia A)*

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de openLCA

Referencia B

Flujo
 Categoría de impacto

ty, unspecified - Emission to water/fresh water

IPCC GWP 100a

Contribución	Proceso	Required amount	Total result [kg CO2 eq]
100.00%	08. Empaque y etiquetado – Ref B (500 g)	0.50000 kg	1.37583
98.08%	07. Separado – Ref B (500 g)	0.50000 kg	1.34943
98.08%	06. Enfriamiento rápido – Ref B (500 g)	0.50000 kg	1.34943
98.08%	05. Tratamiento térmico – Ref B (500 g)	0.50000 kg	1.34942
97.42%	04. Embutido y formado – Ref B (500 g)	0.50000 kg	1.34038
92.94%	03. Mezclado – Ref B (500 g)	0.50000 kg	1.27876
90.84%	02. Molienda – Ref B (500 g)	0.39070 kg	1.24984
90.84%	01. Recepción y alistamiento – Ref B (500 g)	0.39070 kg	1.24984

Figura 14. Árbol de contribución a la huella de carbono por etapa de proceso según IPCC GWP 100a (500 g de producto terminado Referencia B).

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de openLCA

13.2. Encuesta no probabilística

Este análisis interpreta los resultados obtenidos a partir de la encuesta aplicada a consumidores colombianos, donde se recopilaron 217 respuestas válidas mediante un muestreo no probabilístico de tipo accidental o convencional, tal como se describe en el capítulo de metodología.

Perfil del consumidor y condiciones sociodemográficas

Del total de encuestados ($n = 217$), se observa una mayor participación del género femenino. La distribución por edad fue amplia, aunque se concentra principalmente entre los 20 y 49 años (Ver Figura A2 del apéndice A), correspondiente a una etapa económicamente activa, lo que sugiere capacidad de tomar decisiones de compra informadas y autonomía económica. Además, muchos están activos laboral o académicamente (el 74,7 % tiene una formación profesional, Figura A3), lo que podría incrementar su exposición a información sobre temas de sostenibilidad, aportando profundidad a sus respuestas.

Respecto al ingreso mensual, el 71% se ubica entre uno y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (Figura A4), lo que indica ingresos estables, pero no necesariamente de alto poder adquisitivo, lo que influye en su sensibilidad al precio. Por último, la mayoría convive en hogares conformados entre tres o cuatro personas (54%), seguidos por quienes viven en hogares con dos personas (26,5 %), mientras aquellos con más de 4 miembros y quienes viven solos representa menores proporciones (Figura A5); lo que permite explorar cómo la composición del hogar incide directamente en los patrones de consumo.

Comportamiento de compra y disposición a pagar

El 52% de los encuestados afirmó haber comprado al menos un producto alimenticio promocionado como sostenible en los últimos seis meses (Figura A9), esto puede deberse al aumento en la disponibilidad y visibilidad de estos productos en el mercado colombiano. Aunque la mayoría (89%) manifestó estar dispuesta a pagar más por un producto sostenible, el 69% solo aceptaría incrementos moderados, entre el 5 % y el 10 % (Figura A11). Esta disposición parece no estar necesariamente ligada al nivel educativo, sino también a variables como el nivel de ingresos (predominantemente iguales o inferiores a un salario mínimo) y la composición del núcleo familiar. Esto sugiere que, aunque hay un interés por el consumo responsable, está condicionado por el impacto al poder adquisitivo y de una comprensión aún limitada del valor agregado ambiental o social.

Cuando se profundiza en la relación entre el perfil del consumidor y la disposición a pagar, los resultados indican una asociación positiva, pues la mayoría de consumidores con algún tipo de formación manifestaron estar dispuestas a pagar adicional, en contraste con quienes tienen escolaridad primaria, quienes en un 100 % indicaron no estar dispuestos a asumir ningún

sobreprecio, lo que coincide que todos ganan uno o hasta menos de un salario mínimo legal vigente.

Factores de influencia: señales y expectativas

Los resultados evidencian que el aspecto no negociable más mencionado por los encuestados al comprar un producto alimenticio sostenible (Figura A10) es que tenga un impacto ambiental reducido (35,9%), especialmente en personas con formación profesional (79,8%), lo que sugiere que existe una relación entre nivel educativo y conciencia ambiental. Sin embargo, se presenta un aproximado "empate técnico" entre dos posturas divergentes: por un lado, "No tengo expectativas especiales" (25%) y, por el otro, "Que el producto tenga una mayor calidad en términos de sabor, nutrición y durabilidad" (23%); esto revela la coexistencia de dos perfiles dentro de la muestra: uno que aún no integra exigencias sostenibles en sus decisiones de compra, y otro que la vincula con beneficios funcionales directos.

Esta dualidad puede estar influida por diversidades sociodemográficas, como que las personas con menor escolaridad o ingresos manifiestan menor disposición al sobreprecio, y por lo tanto, menos exigencias. En contraste, quienes poseen estudios superiores son quienes valoran atributos funcionales (como sabor y durabilidad) como condición para validar la sostenibilidad.

Además, un 3 % de las personas indicaron que la sostenibilidad no les resulta importante en los productos (Figura A7), pero este grupo asocia el concepto de sostenibilidad principalmente a características como empaque reciclable o certificados, sin identificar los beneficios ambientales o sociales más amplios. Por lo que, aunque reconocen señales de narrativa en sostenibilidad, no las traducen en acciones concretas como para crearles valor e importancia en su imaginario.

Relación entre percepción de precio y sostenibilidad

Una de las preguntas claves de la encuesta indagó si los consumidores asocian un mayor precio con atributos sostenibles, donde los resultados revelan que esta percepción si bien no está generalizada, la mayoría de consumidores no asocian el tema de precios altos con atributos sostenibles.

Solo el 1,8% afirmó que sí considera que un precio más alto implica una mayor sostenibilidad, mientras que el 72,4% expresó que “no necesariamente”, y un 10,1% afirmó que “nunca” el precio alto tiene relación con la sostenibilidad (ver Figura A6). Este patrón fue consistente entre diferentes niveles de escolaridad y edad, lo que sugiere que en el imaginario del consumidor colombiano, el precio por sí solo no es un atributo confiable para inferir sostenibilidad en productos. Incluso dentro del segmento con educación de posgrado, que en otras preguntas demostró mayor disposición al pago responsable, se observa una inclinación similar.

14. Discusión

14.1. Discusión Análisis Ciclo de Vida (ACV)

Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida evidenciaron que la Referencia A, pese a tener el precio más alto en el mercado, presentó una carga ambiental total aproximadamente un 30 % superior frente a la Referencia B, de acuerdo con el método ReCiPe 2016 Endpoint (H). Este hallazgo responde directamente al objetivo central del estudio, al demostrar que un mayor precio no se traduce necesariamente en un mejor desempeño ambiental.

La diferencia principal se atribuyó a la formulación del producto. La Referencia A contiene una mayor proporción de materia prima cárnica, en particular carne de cerdo, cuyo contenido es más del doble en comparación con la Referencia B. Según los factores de emisión de AGRIBALYSE 3.2, el cerdo fue identificado como el ingrediente con mayor impacto ambiental entre las proteínas animales modeladas, con contribuciones destacadas en cambio climático, consumo de agua con deprivación y escasez de recursos fósiles. En contraste, la Referencia B incluye una mezcla más balanceada entre carne de ave, cerdo y grasas de menor impacto, lo que permite reducir significativamente la intensidad ambiental de su formulación.

Además, se observó que la B incorpora un mayor porcentaje de agua en su formulación, mientras que la A concentra más proteína animal por unidad funcional. Esta decisión tiene un doble efecto, por un lado, reduce la presión sobre recursos críticos en la Referencia B; por otro, implica un mayor consumo de energía térmica ya que esta requiere agua caliente en la mezcla. Aun así, el efecto neto de estas decisiones se traduce en una carga ambiental global más baja para la Referencia B, dado que el impacto de sus materias primas es considerablemente menor al de las utilizadas en la A.

Desde el punto de vista operativo, se identificó que la Referencia B demanda un uso más intensivo de equipos eléctricos, especialmente en etapas como la molienda y el mezclado, además de registrar mayores pérdidas por merma. Sin embargo, al tratarse de electricidad de origen hidroeléctrico, su contribución al impacto ambiental es baja en la mayoría de las categorías. En contraste, la mayor proporción de ingredientes con alta huella ambiental en la Referencia A fue el factor determinante en el resultado global.

En cuanto a los insumos no cárnicos, se identificaron impactos relevantes por kilogramo en algunos condimentos y aditivos funcionales presentes únicamente en la Referencia A. Aunque su participación en masa es baja, estos insumos generan contribuciones visibles en varias categorías de impacto, lo que refuerza la mayor carga ambiental de la A frente a la B.

Otro insumo relevante fue la tripa de celulosa no comestible. A pesar de su bajo peso por unidad funcional, su impacto en cambio climático, consumo de agua y agotamiento de recursos fósiles, fue visible en ambas referencias, siendo mayor en la A debido a un uso ligeramente más elevado. Este resultado resalta que incluso los insumos secundarios pueden influir en los resultados del ACV cuando están asociados a procesos industriales de alta intensidad.

Respecto al sistema de empaque, ambos productos mostraron una contribución marginal a los impactos totales. Si bien la Referencia A incluye un zíper de polietileno de baja densidad (LDPE), derivado de recursos fósiles, su participación en el impacto total es mínima. Este efecto se ve compensado por mejoras previas en el diseño estructural del empaque de esta referencia, que han optimizado el uso de material. En este sentido, el tipo de empaque no constituye un factor diferenciador relevante entre ambas referencias dentro del alcance de este análisis.

La evaluación de la huella de carbono, calculada con el método IPCC 2013 GWP 100a, confirmó la tendencia observada: la Referencia A emite un 25 % más de CO₂ equivalente por

unidad funcional que la Referencia B. Esta diferencia se mantuvo de forma consistente a lo largo de las etapas del sistema, lo que ratifica que las materias primas cárnicas, especialmente el cerdo y las grasas animales de alto impacto, son los principales responsables de la carga climática del producto.

En conjunto, los resultados del ACV indican que el desempeño ambiental de un alimento procesado depende fundamentalmente de su formulación. Aunque la Referencia A presentó mayor eficiencia operativa y menores mermas, su mezcla más intensiva en proteína animal y aditivos de alto impacto fue determinante para que registrara una huella ambiental más elevada. Esta conclusión es especialmente relevante, ya que evidencia que la sostenibilidad ambiental no puede inferirse a partir del valor comercial del producto, sino que debe evaluarse mediante herramientas cuantitativas como el Análisis de Ciclo de Vida, que permiten identificar puntos críticos y orientar decisiones de mejora basadas en evidencia técnica.

14.2. Discusión de los resultados de la encuesta aplicada

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman lo anticipado en la literatura revisada, y es que existen conexiones relevantes entre las características sociodemográficas de los consumidores y su comportamiento hacia el consumo sostenible. En primer lugar, la mayor participación del género femenino (Figura A1) podría estar relacionada con una mayor disposición de las mujeres a involucrarse en temas de sostenibilidad y consumo consciente, en línea con lo expuesto por Diamantopoulos et al. (2003), quienes identifican un mayor compromiso ético y ambiental en el género femenino.

Frente a la disposición a pagar más por un producto verdaderamente sostenible, el 88,9 % (Figura A11) manifestó estar dispuesto, lo que respalda lo planteado por Shah & Yang (2022) y Wilken et al. (2024), los cuales indican que si bien el precio sigue siendo una barrera importante,

la conciencia ambiental y social puede motivar a asumir sobrecostos. Aunque no corresponde a literatura científica revisada por pares, McKinsey Quarterly es reconocida por su capacidad de identificar comportamientos de mercado a gran escala, y en uno de sus informes indican que el 70 % de los consumidores en sectores como automóviles, construcción y electrónica estarían dispuestos a pagar hasta un 5 % más por productos sostenibles y advierten que dicha disposición está condicionada a que los productos mantengan estándares de calidad equivalentes (Witold, 2019). La coincidencia entre estos datos y los hallazgos de esta investigación refuerza su validez empírica.

Adicionalmente, la asociación positiva entre las personas con mayor formación académica y la disposición a asumir sobrepagos a cambio de sostenibilidad, concuerda con Wang et al. (2021), quienes destacan que la educación influye en la comprensión más profunda de los impactos sociales y ambientales del consumo.

No obstante, la encuesta demuestra que persiste la “brecha actitud-comportamiento”, (Cappelletti et al., 2023b; Vermeir & Verbeke, 2006), esta actitud no siempre se traduce en comportamientos congruentes o expectativas definidas. Muchos de quienes afirman valorar la sostenibilidad declaran no tener criterios específicos al momento de comprar productos sostenibles, lo cual sugiere una desconexión entre la intención declarada y la acción efectiva. Este fenómeno plantea un doble desafío, fortalecer la alfabetización del consumidor en temas de sostenibilidad y generar mecanismos de validación accesibles y comprensibles, que transformen la conciencia ambiental en decisiones de compra coherentes.

Además, el concepto de sostenibilidad se encuentra condicionado por percepciones individuales, que van desde enfoques ético-ambientales, hasta visiones utilitaristas o incluso escépticas. Esta diversidad refuerza la necesidad de implementar estrategias de comunicaciones

segmentadas, capaces de conectar con públicos con distintos niveles de conocimiento e interés. Los resultados también reflejan una demanda creciente por información clara y verificable, pues si bien muchos asocian la sostenibilidad con el uso de empaques reciclables o biodegradables y certificaciones ambientales, también valoran la transparencia en los procesos de producción y cadena de suministro (Figura A8), lo que indica que la confianza no depende únicamente del etiquetado, sino de la capacidad de las empresas para comunicar con claridad y coherencia sobre el origen, impacto y propósito del producto, siendo esta transparencia un elemento clave para impulsar decisiones de compra más responsables. Este hallazgo refuerza la percepción de que, para ciertos segmentos más escépticos o desconectados del concepto de sostenibilidad, la narrativa ambiental debe ser traducida en beneficios tangibles y funcionales, como salud, calidad o ahorro, más allá de los discursos éticos y románticos tradicionales.

Por último, el 82,5 % de los encuestados considera que un precio alto “no necesariamente” o “nunca” se relaciona con prácticas sostenibles (Figura A6), lo que revela una clara desconfianza hacia el sobreprecio como indicador de sostenibilidad, posiblemente alimentada por experiencias previas de greenwashing, baja educación ambiental o una visión centrada exclusivamente en la relación precio/calidad, lo cual se pone en entredicho una de las premisas comunes en estrategias comerciales sostenibles, y que un precio elevado no constituye, por sí solo, un indicador confiable de responsabilidad ambiental y social. El valor sostenible que se desee transmitir debe estar respaldado por evidencias tangibles del compromiso socioambiental, más allá del precio.

14.3. El rol del aporte nutricional en la sostenibilidad social y la percepción del precio

Más allá del cumplimiento ambiental o la rentabilidad, las empresas que producen alimentos tienen hoy el reto de responder a una ciudadanía que exige productos sostenibles. En esta investigación, el 96,7 % de los encuestados valoró la sostenibilidad en los productos (Figura

A7), y el 23% expresó que, para considerar un producto realmente sostenible, este debe ofrecer calidad nutricional, buen sabor y durabilidad (Figura A10). Este hallazgo revela que la sostenibilidad social, entendida como la capacidad de una empresa de contribuir activamente al bienestar de las personas, también se construye desde el producto en sí.

Profundizando en este punto en las referencias analizadas, comparando desde el punto de vista nutricional, la referencia A ofrece un perfil nutricional más equilibrado que la referencia B, ya que aporta aproximadamente un 23% más de proteína, lo que favorece el mantenimiento de la masa muscular y una mayor sensación de saciedad (Phillips, 2016).

Asimismo, contiene 45% menos de carbohidratos y cerca de un 3% menos de sodio, lo que reduce los riesgos asociados a su consumo excesivo como lo son las enfermedades como la diabetes tipo 2 y la hipertensión (Huang et al., 2020; veiRodrigues et al., 2023). También destaca su aporte en zinc, ausente en la referencia B, pues este mineral desempeña un papel clave en funciones inmunológicas (Prasad, 2014). Todo lo anterior, fortalece la percepción de valor entre los consumidores, y demuestra que desde los atributos funcionales, las empresas no solo mejoran su oferta, sino que ejercen un rol social activo, y al comprender esto, generar bienestar real en quienes los consumen y se conectan con su aporte a la sostenibilidad social, y podría explicar también por qué la referencia A tiene un mayor costo en el mercado.

15. Recomendaciones

a. Los resultados del ACV sugieren que revisar y optimizar la formulación del producto es una de las estrategias más efectivas para reducir su impacto ambiental. En particular, se recomienda disminuir la proporción de ingredientes con alta huella, como la carne de cerdo, y explorar combinaciones más balanceadas que incorporen materias primas de menor impacto ambiental. Estas modificaciones deben realizarse sin comprometer la calidad ni el valor nutricional del producto, garantizando que se mantenga la aceptación del consumidor.

b. Se recomienda fortalecer el modelo energético basado en el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes hidroeléctricas certificadas (I-RECs), dado que este enfoque contribuye significativamente a reducir la huella de carbono del proceso productivo y a cumplir con estándares internacionales de sostenibilidad. De manera complementaria, se sugiere evaluar el rediseño de procesos térmicos o formulaciones que actualmente requieren agua caliente, con el fin de disminuir el consumo de gas natural, que representó una de las principales fuentes de impacto climático, especialmente en la Referencia B.

c. Continuar y escalar las estrategias de valorización interna de residuos, tanto dentro del proceso como a través de esquemas de simbiosis industrial, representa una oportunidad concreta para reducir impactos ambientales y avanzar hacia modelos productivos más circulares. Esta práctica permite reducir o eliminar flujos de residuos, transformándolos en insumos útiles para otros procesos.

d. Se recomienda continuar evaluando y mejorando el diseño del sistema de empaque, considerando tanto la selección de materiales como su estructura funcional. Aunque la inclusión de un zíper de polietileno puede aumentar el impacto ambiental, los resultados muestran que este efecto puede ser compensado mediante optimizaciones en otros componentes del empaque, como

el fondo y la tapa. Por tanto, se sugiere priorizar soluciones que mantengan la funcionalidad y la percepción de calidad del producto, pero que a la vez minimicen su huella ambiental mediante un diseño integral y balanceado.

e. Es importante fortalecer la trazabilidad y calidad de los datos primarios empleados en el modelado. Se sugiere mejorar el registro del tiempo real de operación de los equipos, así como caracterizar de forma más precisa las materias primas utilizadas, especialmente en contextos con múltiples proveedores. Aunque el uso de proxies fue necesario en este estudio, su reemplazo progresivo por datos específicos del sistema permitirá obtener resultados más representativos y confiables.

f. Se recomienda fortalecer los controles operativos en las etapas de procesamiento, con el fin de reducir pérdidas por merma, adherencias y cocción. Estas pérdidas, evidenciadas especialmente en la Referencia B, reflejan un uso menos eficiente de los recursos y generan impactos evitables. La implementación de buenas prácticas de manufactura, ajustes en parámetros de operación y seguimiento sistemático pueden contribuir significativamente a mejorar la eficiencia del sistema y disminuir su carga ambiental.

g. Las estrategias de sostenibilidad también deben apoyarse en una comunicación efectiva basada en datos verificables. Dado que los consumidores no necesariamente asocian un precio elevado con un mejor desempeño ambiental, es clave construir mensajes claros basados en métricas como huella de carbono o puntuaciones ReCiPe. Estas herramientas permiten comunicar de forma accesible, comprensible y trazable el valor ambiental del producto, contribuyendo a educar al consumidor, construir confianza y diferenciar la oferta en el mercado.

h. Se recomienda establecer criterios de sostenibilidad en la selección de proveedores, favoreciendo aquellos que compartan este compromiso o estén dispuestos a trabajar en mejoras

conjuntas. Priorizar materias primas de origen local no solo contribuye a reducir impactos por transporte, sino que también fortalece las dimensiones social y económica, generando valor compartido en los territorios donde opera la organización.

16. Conclusiones

a. La Referencia A, a pesar de ser la de mayor valor en el mercado, presentó impactos ambientales más altos que la Referencia B, según los métodos ReCiPe 2016 Endpoint (H) e IPCC 2013 GWP 100a. Este hallazgo demuestra que un mayor precio no implica necesariamente un mejor desempeño ambiental. Sin embargo, esta relación no puede generalizarse, ya que los impactos dependen de múltiples factores como la formulación, el origen de las materias primas, la forma de producir, la eficiencia operativa y los modelos de abastecimiento. Por ello, la sostenibilidad debe sustentarse en evidencia técnica verificable, y no asumirse a partir del valor comercial del producto.

b. La Referencia A presentó una formulación más simple, concentrada en carne de cerdo y grasa animal tipo 1, ingredientes que, según AGRIBALYSE, tienen una alta huella ambiental en categorías como cambio climático, escasez de recursos fósiles y consumo de agua con deprivación. En contraste, la Referencia B incorporó una mezcla más diversa que incluye carne de ave y grasa tipo 2, con menor intensidad ambiental, lo cual contribuyó a su mejor desempeño en todas las categorías evaluadas. Este resultado resalta la importancia de revisar la selección de materias primas desde un enfoque ambiental, privilegiando insumos con menor huella y trabajando en conjunto con proveedores locales para fomentar prácticas más sostenibles.

c. Las etapas de mezclado, tratamiento térmico y embutido se identificaron como puntos críticos en términos de impacto ambiental, principalmente por el elevado consumo de energía térmica y el uso de insumos funcionales. En la Referencia B, estas operaciones fueron especialmente intensivas debido a las condiciones específicas de su formulación. Este resultado confirma que la carga ambiental del sistema no depende únicamente de los ingredientes utilizados, sino también de la forma en que se ejecutan los procesos. Por tanto, se vuelve fundamental mejorar

la eficiencia de los equipos térmicos, aplicar principios de ecodiseño en las operaciones y optimizar el uso de los recursos energéticos, considerando que muchos equipos mantienen un consumo base incluso cuando no operan a plena capacidad.

d. Respecto al sistema de empaque, aunque la Referencia A emplea un zíper de polietileno (PE), los resultados mostraron que las mejoras aplicadas en el diseño estructural (como la reducción de peso en fondo y tapa) permitieron mitigar su impacto. Esto sugiere que el tipo y la eficiencia del diseño del empaque pueden tener más influencia ambiental que el peso total del material, y que una estrategia de diseño optimizado puede incorporar elementos funcionales sin aumentar significativamente los impactos.

e. En términos operativos, la Referencia B presentó mayores pérdidas por merma, adherencias y cocción, lo que representa un uso menos eficiente de los recursos. Este hallazgo refuerza la necesidad de fortalecer los controles operativos, especialmente en las etapas de procesamiento, para reducir desperdicios y mejorar la eficiencia del sistema.

f. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) demostró ser una herramienta integral para evaluar el desempeño ambiental de productos alimentarios de forma cuantitativa y comparativa. Su aplicación permite identificar puntos críticos a lo largo del sistema productivo y evidenciar oportunidades concretas de mejora ambiental que pueden implementarse sin comprometer el desempeño económico del producto. Más allá de su utilidad técnica, el ACV puede incorporarse como un instrumento estratégico para apoyar la toma de decisiones en áreas como desarrollo de producto, compras sostenibles, eficiencia operativa y diseño de empaques. Adicionalmente, constituye un sustento técnico clave para comunicar de manera transparente el valor ambiental de los productos, combatiendo percepciones erróneas o prácticas de *greenwashing* y fortaleciendo la confianza del consumidor.

g. El hecho de que una planta productiva opere con modelos energéticos basados en fuentes hidroeléctricas y energía eléctrica certificada internacionalmente como renovable (I-RECs), y adicional que los residuos se manejen a través de su valorización como materia prima en otros procesos, contribuye de manera positiva a la disminución de impactos ambientales. Estas prácticas reflejan un enfoque de sostenibilidad integral que no solo reduce emisiones y consumo de recursos, sino que también promueve una gestión más eficiente y circular dentro de la operación.

h. Existe una percepción generalizada que el precio alto no es una señal de sostenibilidad, pues el 82,5% de los encuestados no lo asocian con responsabilidad ambiental o social, quizás por experiencias previas de greenwashing, baja educación ambiental o una visión centrada exclusivamente en la relación precio/calidad. Lo que indica que el valor sostenible debe comunicarse con evidencias claras y no puede utilizarse únicamente del precio.

i. Aunque el 96,7% de los encuestados consideran la sostenibilidad como importante en el valor agregado de los productos, pero no siempre actúan en coherencia al momento de comprar, lo que confirma persistencia de la brecha actitud-comportamiento. Esto plantea la necesidad de fortalecer la alfabetización ambiental y ofrecer mecanismos simples de verificación accesibles que guíen decisiones de compra responsables.

j. Se identifican dos perfiles de consumidores; uno que valora atributos funcionales y ambientales en los productos sostenibles, y otro más escéptico o indiferente que, aunque reconoce señales como el empaque reciclable o certificaciones, no traduce esta percepción en comportamientos de compra. Esta diversidad indica que no todos los consumidores responden a los mismos estímulos, por lo que se hace necesario implementar estrategias de comunicación transparentes segmentadas que adapten el mensaje a las motivaciones específicas de cada grupo,

ya sea destacando los beneficios funcionales, éticos o económicos para buscar vínculos más sólidos hacia el consumidor.

k. Se observa una relación entre el nivel educativo y la disposición a pagar más por productos sostenibles. En el caso de las personas con escolaridad primaria, todas manifestaron que no asumirían ningún sobrepeso, que está ligada tanto a una restricción económica, como también a una brecha en la comprensión del valor de sostenibilidad, posiblemente por falta de información y desconocimiento, reforzando la necesidad de promover la educación sostenible desde edades tempranas.

l. La sostenibilidad social también se construye desde el producto, y cuando este ofrece atributos nutricionales superiores, como en el caso de la referencia A, donde existe un bienestar asociado al aporte nutricional, puede fortalecer su valor percibido y justificar ese mayor precio en el mercado.

17. Contribución a los ODS



Figura 15. Contribución al ODS 12.

Fuente: Elaboración propia.

18. Impacto del trabajo al desarrollo sostenible

La industria cárnica se desarrolla en un contexto donde las exigencias de sostenibilidad están en aumento, impulsadas por consumidores, comunidades y reguladores que buscan productos más responsables con el medio ambiente, enfrentando el reto de equilibrar las expectativas del mercado con la necesidad de mitigar sus efectos negativos.

A través de este análisis de valoración se busca identificar los impactos potenciales derivados del proyecto, incluyendo beneficios sociales, económicos y ambientales. En el ámbito social, se espera fortalecer la confianza de las comunidades hacia la industria, mejorar la percepción de los consumidores sobre los productos sostenibles y así aumentar la satisfacción personal de quienes eligen opciones más responsables. Desde una perspectiva económica, el incremento en la preferencia por estos productos podría traducirse en mayores ingresos, impulsando la expansión de líneas sostenibles en el mercado. Además, la adopción de soluciones conscientes puede contribuir a reducir costos asociados al Costo Social del Carbono (SCC), fortaleciendo tanto el desempeño financiero como el compromiso ambiental de la industria.

El enfoque metodológico incluye el uso del SROI (Retorno Social sobre la Inversión) como herramienta para proyectar el valor social y ambiental asociado a las prácticas sostenibles en este sector. Esta metodología permite traducir impactos cualitativos en valores monetarios que reflejan los beneficios generados en términos de desarrollo sostenible. En este caso, el análisis de impacto se realiza como un pronóstico que utiliza puntos críticos del ciclo de vida de los productos como base, para anticipar los efectos de posibles mejoras o ajustes futuros en las operaciones.

El análisis está dirigido a presidentes, directores generales (CEO), directores de sostenibilidad (CSO) y gerentes de sostenibilidad, directores etc como el sector cárnico, consumidores y comunidades locales, quienes podrían beneficiarse de la información generada al

tomar decisiones más informadas sobre sostenibilidad para el desarrollo de los productos derivados cárnicos. Adicionalmente, este trabajo busca aportar conocimiento a otros sectores interesados en replicar estrategias similares para fortalecer sus fuentes de decisión.

En síntesis, esta investigación busca no solo explorar la relación entre costos y sostenibilidad, sino también aportar herramientas analíticas para fortalecer la toma de decisiones estratégicas en la industria. Esto permitirá avanzar hacia prácticas más responsables y competitivas, alineadas con las crecientes demandas del mercado y los objetivos de desarrollo sostenible.

18.1. Supuestos del Modelo

Para evaluar el impacto del proyecto, se establecieron supuestos que permitieron proyectar los beneficios económicos, sociales y ambientales asociados. Estos incluyen el aumento en los ingresos por la preferencia hacia productos sostenibles, la mejora en la percepción y satisfacción de los consumidores, y la reducción de costos vinculados al Costo Social del Carbono (SCC). Estos fundamentos sirven como punto de partida para estimar los posibles escenarios futuros, demostrando cómo este proyecto puede contribuir al equilibrio entre sostenibilidad y rentabilidad en la industria (ver Apéndice B).

18.2. Análisis de los resultados

El análisis del Social Return on Investment (SROI), calculado para este trabajo con base en la metodología propuesta por The SROI Network (2012) y detallado en el Apéndice B, permitió estimar que, por cada peso colombiano (COP) invertido en este proyecto, se generaría un valor social equivalente a 18 cop. Este resultado se obtuvo a partir del modelo desarrollado, el cual incorpora la inversión total estimada en actividades de sensibilización, los beneficios esperados (como el incremento en la preferencia de compra de productos sostenibles y la mejora en la

percepción de impacto personal), y ajustes por atribución, desplazamiento y decrecimiento (Ver Apéndice B).

Aunque no exista una la guía técnica que establezca valores de referencia explícitos para calificar un retorno de SROI, el informe "*Measuring Value: A Guide to Social Return on Investment (SROI)*" de la New Economics Foundation (NEF) ilustra cómo interpretar los resultados del SROI, indicando que una relación superior a 1:1 significa que los beneficios superan los costos. En este sentido, una relación estimada de 18:1 sugiere un retorno social excepcional frente a la inversión realizada, evidenciando no solo beneficios económicos, sino también un fuerte aporte a la sostenibilidad social a través de la educación ambiental, la transformación de patrones de consumo y el fortalecimiento del vínculo entre ciudadanía y responsabilidad ambiental. Este análisis respalda la viabilidad de proyectos que promuevan prácticas sostenibles en la industria cárnica sin comprometer sus objetivos económicos.

Adicionalmente, los resultados enfatizan la importancia de evaluar los impactos ambientales mediante el ACV. Este enfoque facilita la identificación de áreas clave de mejora, promoviendo la reducción de costos, el aumento de los beneficios sociales y el cumplimiento de estándares de sostenibilidad, lo que genera un valor significativo para todas las partes interesadas.

18.3. Usos potenciales de los resultados

Los resultados obtenidos del análisis del SROI tienen múltiples usos potenciales que aportan valor estratégico y operacional al sector cárnico. Iniciando que estos resultados pueden guiar la toma de decisiones estratégicas, permitiendo priorizar inversiones y acciones que maximicen el retorno social y ambiental, pues proporcionan una base sólida para diseñar y mejorar políticas internas que promuevan la sostenibilidad en las operaciones desde una visión más amplia.

La medición del impacto y los indicadores derivados del análisis permiten evaluar el desempeño de las acciones seleccionadas para su implementación. Además, posicionan como un elemento clave para priorizar, la comunicación efectiva de estos logros a las partes interesadas, con un enfoque de mercado que busque superar barreras asociadas a temores relacionados con el cambio o la innovación, puesto que, el fortalecimiento de la relación con los consumidores mediante la implementación de estrategias como etiquetas de sostenibilidad, campañas publicitarias y programas de fidelización, refuerzan la confianza y lealtad de los clientes hacia los productos en los que se aplican dichas iniciativas, y así como se detalló en la discusión de la encuesta movilizar las decisiones conscientes de compras sostenibles. Esto no solo promueve el compromiso con la sostenibilidad, sino que también contribuye al posicionamiento competitivo de los productos en el mercado.

Este enfoque también actúa como una herramienta estratégica para atraer inversionistas y socios interesados en proyectos que generen un impacto social y ambiental positivo, respondiendo a las tendencias actuales de sostenibilidad. Los resultados también indican las áreas críticas para la optimización de procesos, declarando temas cruciales como la mejora de la eficiencia energética y la reducción de emisiones, contribuyendo a un uso más eficiente de los recursos permitiendo alinear las acciones de cualquier compañía con metas globales de sostenibilidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos usos proporcionan una integralidad de las aplicaciones del análisis, consolidando su relevancia para la gestión sostenible y estratégica de una compañía.

Mapa de impacto

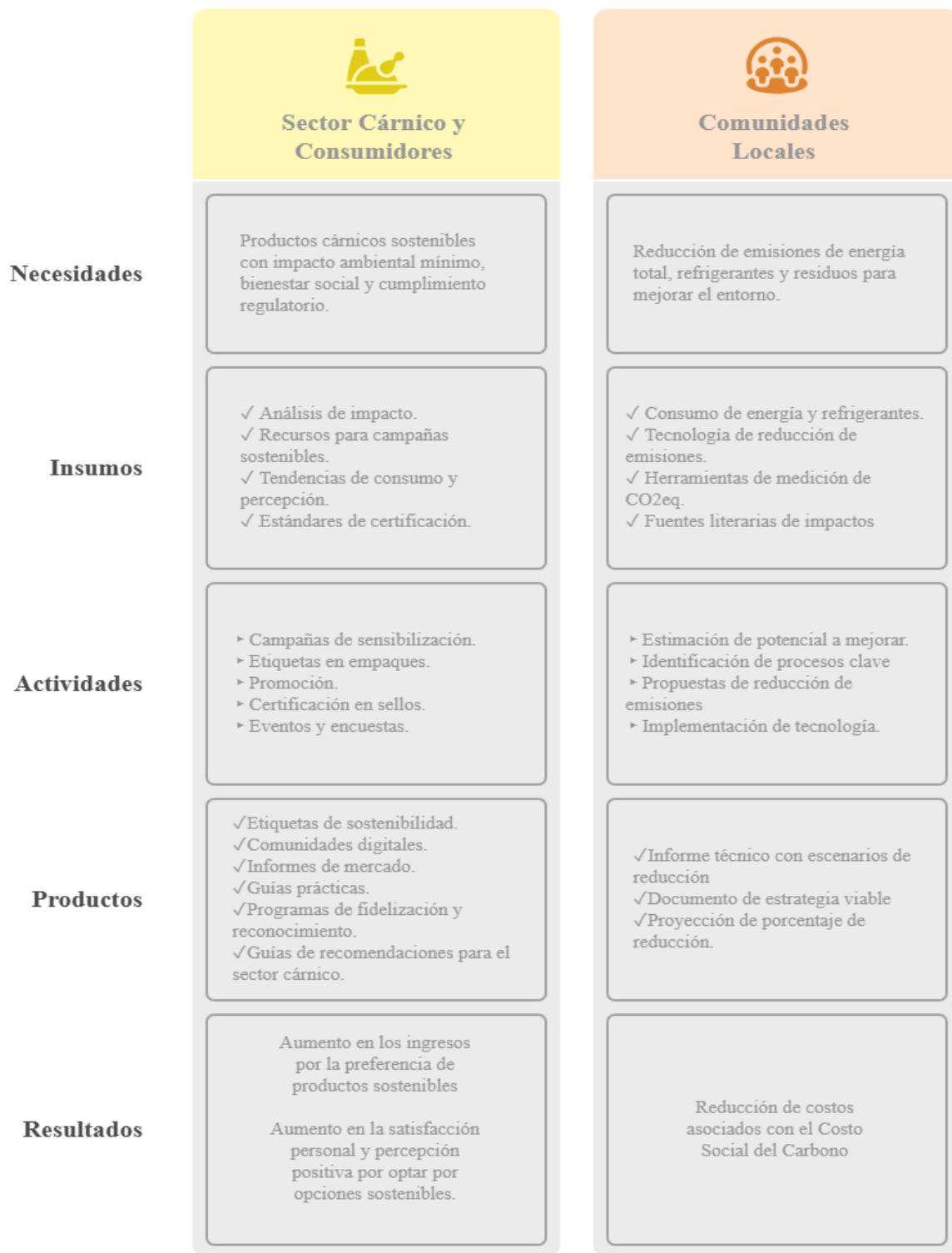


Figura 16. Identificación del mapa de impactos a los stakeholder según la teoría del cambio y SROI.

Fuente: Elaboración propia.

19. Biografía de los autores y director de trabajo de grado

ANA MILENA MONTOYA AGUIRRE

Ingeniera Sanitaria de la Universidad de Antioquia con más de 10 años de experiencia en la gestión integral de proyectos de saneamiento ambiental, sostenibilidad y control ambiental. Ha liderado iniciativas en plantas de tratamiento de agua potable y residual, así como en procesos de sostenibilidad de procesos productivos, con un enfoque orientado al cumplimiento normativo y la optimización de recursos. Se destaca por su capacidad para implementar estrategias sostenibles que reducen impactos ambientales y mejoran la eficiencia operativa. Su trayectoria demuestra un fuerte compromiso con la mejora continua, adaptabilidad a nuevos contextos y tecnologías, y habilidades clave en trabajo colaborativo y gestión de relaciones en equipos multidisciplinarios.



Correo: ammontoa10@eafit.edu.co



LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/ana-milena-montoya-aguirre-938396310/>

ESTEFANIA RIOS GIL

Ingeniera Ambiental de la Universidad de Medellín, con siete años de experiencia promoviendo estrategias de gestión ambiental en la industria. Su trayectoria se centra en la formulación de iniciativas sostenibles que optimizan recursos, garantizan el cumplimiento normativo y fomentan la mejora continua en los sistemas de gestión ambiental. Con una visión estratégica e interdisciplinaria, ha liderado proyectos que fortalecen la ecoeficiencia y consolidan la cultura ambiental en entornos organizacionales. Motivada por generar un impacto positivo, diseña soluciones prácticas que priorizan la sostenibilidad y promueven un desarrollo responsable y resiliente, beneficiando tanto al medio ambiente como a las comunidades.



Correo: eriosg2@eafit.edu.co



LinkedIn: [linkedin.com/in/estefanía-ríos-gil-7b83481a7](https://www.linkedin.com/in/estefanía-ríos-gil-7b83481a7)

CAMILO POLANCO

Líder experto en sostenibilidad estratégica para la adaptación al cambio climático en las organizaciones. Con más de 20 años de experiencia académica e investigativa en temas como educación, economía circular, sostenibilidad. Profesor de pregrado y postgrado de varias universidades públicas y privadas. Con varios títulos de postgrado como Master of Science en Medio Ambiente y Desarrollo de la UNAL, un MBA de la Universidad Eafit, y un Master en Sostenibilidad, ESG y Economía Circular de la Universidad Europea de Madrid y varios cargos directivos en la Alcaldía de Medellín, Grupo EPM, Grupo Postobón, UdeM entre otros. Amante de la bici y un buen café.



Correo: cpolanco@hotmail.com



LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/camilo-polanco-lópez-de-mesa-5b78a549>



ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3338-3506?lang=es>

20. Agradecimientos y reconocimientos

En este apartado, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento y reconocimiento a todas las personas que han sido parte fundamental de este proceso, tanto en lo profesional como en lo personal.

A Dios, por ser nuestra guía y fuente inagotable de fortaleza. Agradecemos cada lección y oportunidad que nos ha permitido crecer y superar los desafíos.

A nuestros familiares y seres queridos. Principalmente, a ti, Alex Arboleda por tu apoyo constante, por creer en mí y acompañarme en cada etapa de mi vida. También a Víctor Gaviria y Margarita Aguirre, por su amor inagotable, por cuidar de mis hijos con tanta dedicación, permitiéndome enfocar en este proyecto. Su aliento y compañía han sido fundamentales para llegar hasta aquí. A nuestras compañeras de la maestría, quienes nos han brindado su conocimiento, apoyo y amistad a lo largo de este proceso. Cada actividad, debate y experiencia compartida ha sido un valioso aporte en nuestra formación y crecimiento.

A nuestro director de grado, Camilo Polanco, por su guía, paciencia y valiosos aportes. Su dedicación y compromiso nos han permitido desarrollar este trabajo con un enfoque claro y fundamentado. Su acompañamiento ha sido clave para superar los desafíos y alcanzar los objetivos propuestos. A nuestro compañero del Centro de Investigación y Desarrollo, por su invaluable orientación, por proporcionarnos información clave y por guiarnos con su experiencia, lo que fue fundamental para avanzar con claridad y éxito en este proceso.

Y finalmente, un agradecimiento especial de corazón entre nosotras:

Estefanía Ríos Gil, gracias por ser una amiga, compañera y guía espiritual, por recordarme siempre que la fe puede mover montañas. Eres una mujer de fe inquebrantable, amorosa, generosa,

recta y honorable, que encuentra en la oración y la espiritualidad la fortaleza para superar cualquier adversidad.

Ana Milena Montoya Aguirre, gracias por ser un pilar fundamental durante esta aventura, por tu apoyo incondicional y por demostrarme, con tu ejemplo, que no hay sueño imposible cuando se tiene determinación y corazón. Te admiro como madre, estudiante y mujer íntegra, inspiras con tu fuerza, dedicación y valentía.

21. Referencias bibliográficas

- Abdoli, S., & Bahramimianrood, B. (2023). A target-driven framework for assessing the effectiveness of product-service-system development approaches at System of Systems level. *Procedia CIRP*, 119, 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.01.002>
- Alcaldía de Medellín & EPM. (2021). Ficha técnica – Captura y quema de biogás en el relleno sanitario La Pradera (Proyecto MDL). ACI Medellín. <https://www.acimedellin.org/wp-content/uploads/2021/10/ficha-biogasv2.pdf>
- Álvarez Ochoa, B. V., & Montesdeoca Montesdeoca, J. P. (2020). Elaboración de salchichas tipo Viena enriquecidas con harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L) de la variedad Kabuli. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/db55c1c9-82dd-4878-9084-fbd3403c86c4>
- Aranda, J., Zambrana-Vásquez, D., Del-Busto, F., & Círez, F. (2021). Social impact analysis of products under a holistic approach: A case study in the meat product supply chain. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132112163>
- Balboa Espinosa, V., Segura-Salazar, J., Hunt, C., Aitken, D., & Campos, L. (2023). Comparative life cycle assessment of battery-electric and diesel underground mining trucks. *Journal of Cleaner Production*, 425. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139056>
- Barros Telles Do Carmo, B., Russo Garrido, S., Arcese, G., & Luchetti, M. C. (2017). Weighting and scoring in Social Life Cycle Assessment. https://www.researchgate.net/publication/335614162_Weighting_and_Scoring_in_Social_Life_Cycle_Assessment
- Benalcázar López, J. A., & Wilches Garzón, P. E. (2010). Análisis del trabajo en la fábrica de embutidos “La Italiana” aplicado a las líneas de producción de embutidos.
- Botero, L. A., Milena, S., & Arbelaez, R. (2006). La industria y comercialización de las carnes frías preparadas con carne bovina en Antioquia frente al TLC. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/bee50f36-50bc-468c-8466-7b7bd803a795/content>
- Brock, A., & Williams, I. (2020). Life cycle assessment of beverage packaging. *Detritus*, 13, 47–61. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.14025>
- Calderón, L. A., Iglesias, L., Laca, A., Herrero, M., & Díaz, M. (2010). The utility of Life Cycle Assessment in the ready meal food industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1196–1207. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2010.03.015>
- Cappelletti, F., Menghi, R., Rossi, M., & Germani, M. (2023). Comparison between LCA results and consumers-perceived environmental sustainability of three swimming products.

- International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 17(a-4), 1905–1932.
<https://doi.org/10.1007/s12008-023-01284-x>
- Cappelletti, F., Rossi, M., & Germani, M. (2023). A dynamic approach for life cycle assessment. the case of domestic refrigerators. In b (Ed.), *Proceedings of the Design Society* (Vol. 3, pp. 131–140). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.14>
- CEPAL. (2024). Recomendaciones metodológicas sobre la medición de la calidad de las cifras provenientes de encuestas de hogares. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f04569e6-4f38-42e7-a32b-e0b298e0ab9c/content?utm_source=chatgpt.com
- Chou, C.-J., Chen, C.-W., & Conley, C. (2015). An approach to assessing sustainable product-service systems. *Journal of Cleaner Production*, 86, 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.059>
- Chuah, S. H. W., El-Manstrly, D., Tseng, M. L., & Ramayah, T. (2020). Sustaining customer engagement behavior through corporate social responsibility: The roles of environmental concern and green trust. *Journal of Cleaner Production*, 262(121348). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121348>
- Clean Air Task Force. (2024). Colombian waste sector methane analysis. Clean Air Task Force. <https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2024/04/11203037/colombian-waste-sector-methane-analysis.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). Nota técnica para el uso del precio social del carbono en la evaluación social de proyectos de inversión. https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/methodology/2_Nota_tecnica_uso_del_precio_social_del_carbono_2021.pdf
- Correa Restrepo, F. (2004). *Economía de la sostenibilidad: perspectivas económicas y ecológicas*.
- Daly, H. E., & John B. Cobb Jr. (1994). *For the common good : redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future*. <https://archive.org/details/forcommongoodred00daly/page/n7/mode/2up>
- Diamantopoulos, A., Schlegelmilch, B. B., Sinkovics, R. R., & Bohlen, G. M. (2003). Can socio-demographics still play a role in profiling green consumers? A review of the evidence and an empirical investigation. In *Journal of Business Research* (Vol. 56, Issue 6, pp. 465–480). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(01\)00241-7](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(01)00241-7)
- Dustin Tahisin, G. Rodríguez. (2021). Sostenibilidad: Apuntes sobre sostenibilidad fuerte y débil, capital manufacturado y natural. *Inclusión & Desarrollo*. 131–143.

- Elkington, J. (1998). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. New Society Publishers.
- Entrepôt Recherche Data Gouv. (2024). *Agribalyse 3.2 - Base de datos francesa de evaluación del ciclo de vida para productos alimentarios*. <https://doi.org/10.57745/XTENSJ>
- Environment and Climate Change Canada. (2024). *Fuel Life Cycle Assessment Model Database ECCC*. [https://data-donnees.az.ec.gc.ca/data/climate/framework/fuel-life-cycle-assessment-model/English/1-Fuel%20LCA%20Model/Fuel%20LCA%20Model%20\(latest%20version\)/Fuel%20LCA%20Model%20database?lang=en](https://data-donnees.az.ec.gc.ca/data/climate/framework/fuel-life-cycle-assessment-model/English/1-Fuel%20LCA%20Model/Fuel%20LCA%20Model%20(latest%20version)/Fuel%20LCA%20Model%20database?lang=en)
- FAO. (2014). *Manual de instrucciones: Fichas técnicas - Procesados de carnes*. <http://www.fao.org/3/a-au165s.pdf>
- Font-i-Furnols, M., & Guerrero, L. (2022). Spanish perspective on meat consumption and consumer attitudes. *Meat Science*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108874>
- Fuentelsaz Gallego, C. (2004). *Cálculo del tamaño de la muestra Formación continuada*. In *Matronas Profesión* (Vol. 5, Issue 18). https://neuroclinica.org/wp-content/uploads/2021/09/calculo_muestra.pdf
- Geopelie. (2023). *The Different Textile Fibers and Their Environmental Impact*. <https://geopelie.com/en/blogs/blog/the-environmental-impact-of-the-different-textile-fibers>
- Henisz, W., Koller, T., & Nuttall, Robin. (2019, November 14). *Cinco maneras en que ESG crea valor*. *McKinsey Quarterly*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/five-ways-that-esg-creates-value/es-ES>
- Huang, A., & Badurdeen, F. (2017). *Sustainable Manufacturing Performance Evaluation: Integrating Product and Process Metrics for Systems Level Assessment*. *Procedia Manufacturing*, 8, 563–570. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.072>
- Huang, A., & Badurdeen, F. (2018). *Metrics-based approach to evaluate sustainable manufacturing performance at the production line and plant levels*. *Journal of Cleaner Production*, 192, 462–476. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.234>
- Huang, L., Trieu, K., Yoshimura, S., Neal, B., Woodward, M., Campbell, N. R. C., Li, Q., Lackland, D. T., Leung, A. A., Anderson, C. A. M., Macgregor, G. A., & He, F. J. (2020). *Effect of dose and duration of reduction in dietary sodium on blood pressure levels: Systematic review and meta-analysis of randomised trials*. In *The BMJ* (Vol. 368). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.m315>

- ICONTEC. (2021). NTC-ISO 14044: Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida.
- ICONTEC. (2022). NTC-ISO 14040: Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- Jaramillo Pineda, C. A. (2018). Análisis de ciclo de vida (ACV) de un producto cárnico, como estrategia para un agronegocio sustentable: un estudio en la unidad eduproductiva de la universidad técnica del norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8811>
- Khanpit, V., Viswanathan, S., & Hinrichsen, O. (2024). Environmental impact of animal milk vs plant-based milk: Critical review. *Journal of Cleaner Production*, 449. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141703>
- Malviya, A. K., Zarehparast Malekzadeh, M., Li, J., Li, B., Santarremigia, F. E., Molero, G. D., Villalba Sanchis, I., & Yepes, V. (2024). A Formulation Model to Compute the Life Cycle Environmental Impact of NiZn Batteries from Cradle to Grave. *Energies*, 17(11). <https://doi.org/10.3390/en17112751>
- Mani, V., Agarwal, R., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Dubey, R., & Childe, S. J. (2016). Social sustainability in the supply chain: Construct development and measurement validation. *Ecological Indicators*, 71, 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.007>
- Morais, H. B., Chardulo, L. A. L., Baldassini, W. A., Lippi, I. C. D. C., Orsi, G. B., & Ruviaro, C. F. (2023). Environmental Impacts of High-Quality Brazilian Beef Production: A Comparative Life Cycle Assessment of Premium and Super-Premium Beef. *Animals*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/ani13223578>
- Moreira, R. M., Biazon, C. L., & de Oliveira, E. C. (2025). Measurement Uncertainty and Compliance Evaluation Applied to Natural Gas Moisture. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/app15052482>
- Naranjo Jaramillo, I. E., & Salazar González, R. E. (2010). Plan de mejoramiento en el proceso productivo de la salchicha Frankfuter de la empresa Carnidem Cia. Ltda., utilizando la metodología Seis Sigma.
- Paolotti, L., Rocchi, L., & Boggia, A. (2022). Environmental Assessment of the Fresh Sausage Transformation Process in the Italian Context: An LCA Study. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 484–498. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0037>
- Perez Martinez, M. M., Noguerol, R., Casales, B. I., Lois, R., & Soto, B. (2018). Evaluation of environmental impact of two ready-to-eat canned meat products using Life Cycle Assessment. *Journal of Food Engineering*, 237, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.031>

- Phillips, S. M. (2016). The impact of protein quality on the promotion of resistance exercise-induced changes in muscle mass. In *Nutrition and Metabolism* (Vol. 13, Issue 1, pp. 1–9). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12986-016-0124-8>
- Piastrellini, R., Rótolo, G. C., Arena, A. P., Civit, B. M., & Curadelli, S. (2024). Evaluation of the environmental sustainability of agricultural production using the methodologies of energy analysis and life cycle assessment. Case study, tomato grown in Mendoza (Argentina). *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100082>
- Prasad, A. S. (2014). Zinc: An antioxidant and anti-inflammatory agent: Role of zinc in degenerative disorders of aging. In *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* (Vol. 28, Issue 4, pp. 364–371). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.07.019>
- PWC. (2024, May 15). Consumers willing to pay 9.7% sustainability premium, even as cost-of-living and inflationary concerns weigh: PwC 2024 Voice of the Consumer Survey. <https://www.pwc.com/gx/en/news-room/press-releases/2024/pwc-2024-voice-of-consumer-survey.html>
- Resources for the Future (RFF). (2023). Social Cost of Carbon Explorer (SCC Explorer). <https://www.rff.org/publications/data-tools/scc-explorer/>
- Rodrigues, S. S. Q., Vasconcelos, L., Leite, A., Ferreira, I., Pereira, E., & Teixeira, A. (2023). Novel Approaches to Improve Meat Products' Healthy Characteristics: A Review on Lipids, Salts, and Nitrites. In *Foods* (Vol. 12, Issue 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods12152962>
- Rodriguez, H., Restrepo, L. F., & Urango, L. (2015). Preferencias y frecuencia de consumo de derivados cárnicos por parte de estudiantes universitarios de Medellín, Colombia. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, ISSN 2174-5145. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2174-51452015000400004
- Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 184, pp. 353–365). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>
- Shah, P., & Yang, J. Z. (2022). Consumer Willingness to Pay for Sustainable Products. *Environmental Communication*, 16(8), 1077–1093. <https://doi.org/10.1080/17524032.2022.2152847>
- Shen, L., & Patel, M. K. (2010). LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MAN-MADE CELLULOSE FIBRES. In *Lenzinger Berichte* (Vol. 88). https://www.lenzing.com/fileadmin/content/PDF/07_Forschung_u_Entwicklung/Lenzinger_Berichte/LB88_2010_paper_1.pdf

- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 260–274. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.10.001>
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2012). Comparing life cycle energy and GHG emissions of bio-based PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulose. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(6), 625–639. <https://doi.org/10.1002/bbb.1368>
- Sher, A., Li, H., ullah, A., Hamid, Y., Nasir, B., & Zhang, J. (2024). Importance of regenerative agriculture: climate, soil health, biodiversity and its socioecological impact. In *Discover Sustainability* (Vol. 5, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00662-z>
- Sundström, A., & Mickelsson, K. (2020). Board and top management social sustainability work in cluster organizations. *Sustainability* (Switzerland), 12(19). <https://doi.org/10.3390/su12198115>
- Tang, M., Miri, T., Soltani, F., Onyeaka, H., & Al-Sharif, Z. T. (2024). Life Cycle Assessment of Plant-Based vs. Beef Burgers: A Case Study in the UK. *Sustainability* (Switzerland), 16(11). <https://doi.org/10.3390/su16114417>
- Tellez, L. (2018). BALANCE ENERGÉTICO COLOMBIANO Documento metodológico RESUMEN. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Doc_Hemeroteca/Documento_metodologico_BECO_2018.pdf
- Turker, D., & Ozdemir, G. (2019). Modeling social sustainability: analysis of hospitality e-distributors. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 11(4), 799–824. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-02-2019-0035>
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2025). Ministro de Minas y Energía Asesora de Comunicaciones: Diseño y diagramación. https://www1.upme.gov.co/sipg/Publicaciones_SIPG/Documento_complementario_estudio_tecnico_para_el_Plan_de_Abastecimiento_de_Gas_Natural_2023-2038_Enero_2025.pdf
- United Nations Environment Programme. (2009). Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7912/-Guidelines%20for%20Social%20Life%20Cycle%20Assessment%20of%20Products-20094102.pdf?sequence=3&isAllowed=>

- United Nations Environment Programme. (2020). Guidelines for social life cycle assessment of products and organizations 2020. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1647964/FULLTEXT01.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). Landfill Gas Emissions Model (LandGEM). U.S. EPA. <https://www.epa.gov/land-research/landfill-gas-emissions-model-landgem>
- Universidad de Antioquia. (2019). Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos urbanos en el municipio de Medellín. Biblioteca Digital UdeA. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/4666d5ab-e623-4c01-8b6c-fecfbc67ef8/content>
- Vermeir, I., & Verbeke, W. (2006). Sustainable food consumption: Exploring the consumer “attitude - Behavioral intention” gap. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 19(2), 169–194. <https://doi.org/10.1007/s10806-005-5485-3>
- Wang, Y., Hao, F., & Liu, Y. (2021). Pro-environmental behavior in an aging world: Evidence from 31 countries. 18(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph18041748>
- Weidema, B. P., Bauer, C., Hischier, R., Mutel, C., Nemecek, T., Vadenbo, C. O., & Wernet, G. (2013). Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. The ecoinvent Centre. https://lca-net.com/files/Overview_and_methodology.pdf
- Weidema, B. P., Baur, C., Hischier, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., Vadenbo, O., & Wernet, G. (2015). Swiss Centre for Life Cycle Inventories Overview and methodology (final) Acknowledgements v3. https://lca-net.com/files/Overview_and_methodology.pdf
- Wilfart, A., Gac, A., Salaün, Y., Aubin, J., & Espagnol, S. (2021). Allocation in the LCA of meat products: is agreement possible? *Cleaner Environmental Systems*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100028>
- Wilken, R., Schmitt, J., Dost, F., & Bürgin, D. (2024). Does the presentation of true costs at the point of purchase nudge consumers toward sustainable product options? *Marketing Letters*. <https://doi.org/10.1007/s11002-023-09713-3>
- Woodward, D. G. (1997). Life cycle costing-theory, information acquisition and application. In *International Journal of Project Management* (Vol. 15, Issue 6).
- Zira, S., Rydhmer, L., Ivarsson, E., Hoffmann, R., & Röös, E. (2021). A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 21–38. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.028>

22. Apéndices

22.1. Apéndice A

22.1.1. Encuesta realizada

A continuación, se presenta el cuestionario aplicado a los consumidores como parte del trabajo de grado. El formulario fue administrado digitalmente mediante la plataforma Google Forms y contenía preguntas de opción múltiple y selección única.

1. ¿Cuál es su género?
2. ¿Cuál es su rango de edad?
3. ¿Cuál es su nivel de escolaridad?
4. ¿Cuál es su rango de ingreso mensual aproximado?
5. ¿Cuántas personas conforman su grupo familiar?
6. ¿Qué tan importante es para usted que un producto sea respetuoso con el medio ambiente o socialmente responsable al momento de comprarlo?
7. Cuando un producto tiene un precio más alto que otros similares, ¿usted cree que es más sostenible (es decir, que cuida el medio ambiente o contribuye a la sociedad)?
8. ¿En los últimos 6 meses, ha comprado productos alimenticios que se promocionan como sostenibles?
9. ¿Qué señales o características le hacen pensar que un producto puede ser sostenible? (Elija dos opciones)
10. ¿Qué aspecto considera no negociable al comprar un producto alimenticio que se anuncia como sostenible?

11. Si un producto demostrara de forma clara que es sostenible, ¿usted estaría dispuesto(a) a pagar más por él?

Este cuestionario fue aplicado a través de la plataforma Google Forms. Link de referencia: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd_izkUPUI4nhzyKnx6SPBLO4hAdSqtnAtw8lajvYpQLC-Bfg/viewform?usp=preview. El formulario no se encuentra disponible públicamente por motivos de confidencialidad y protección de los datos recolectados.

22.1.2. Resultados gráficos de la encuesta a consumidores

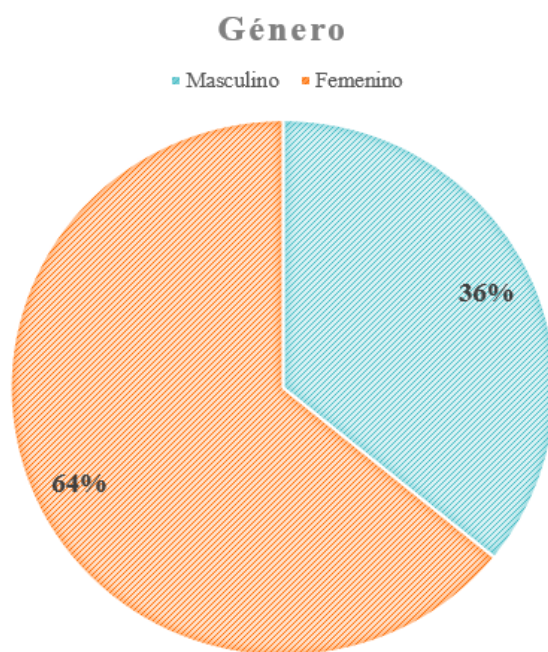


Figura A 1. Distribución en género de los encuestados.

Fuente: Encuesta propia.

¿Cuál es su rango de edad?

■ 40 - 49 años ■ 30 - 39 años ■ 20 - 29 años ■ 50 años o más

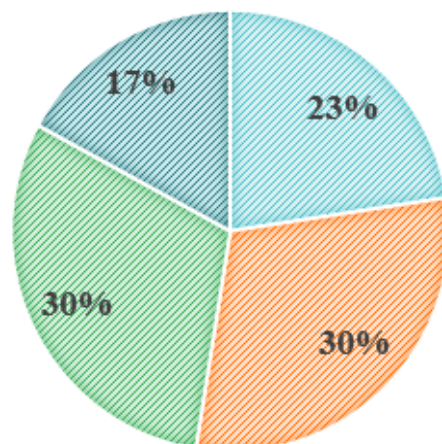


Figura A 2. Distribución por edades de los encuestados.

Fuente: Encuesta propia.

¿Cuál es su nivel de escolaridad?

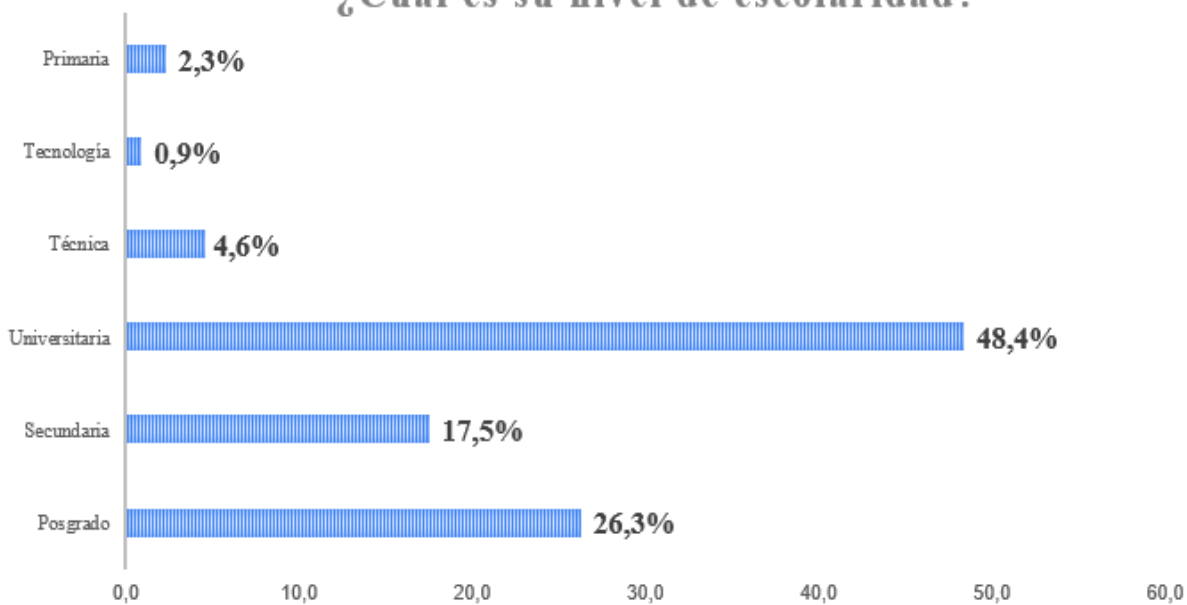


Figura A 3. Porcentajes por nivel de escolaridad de los encuestados.

Fuente: Encuesta propia.

¿Cuál es su rango de ingreso mensual aproximado?

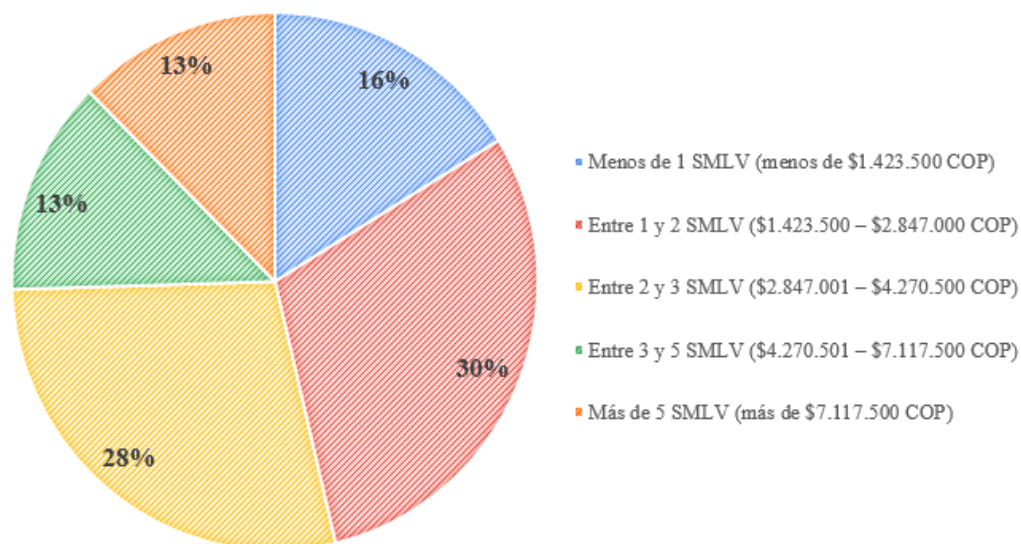


Figura A 4. Porcentajes por rango de ingresos mensual de los encuestados.

Fuente: Encuesta propia.

¿Cuántas personas conforman su grupo familiar?

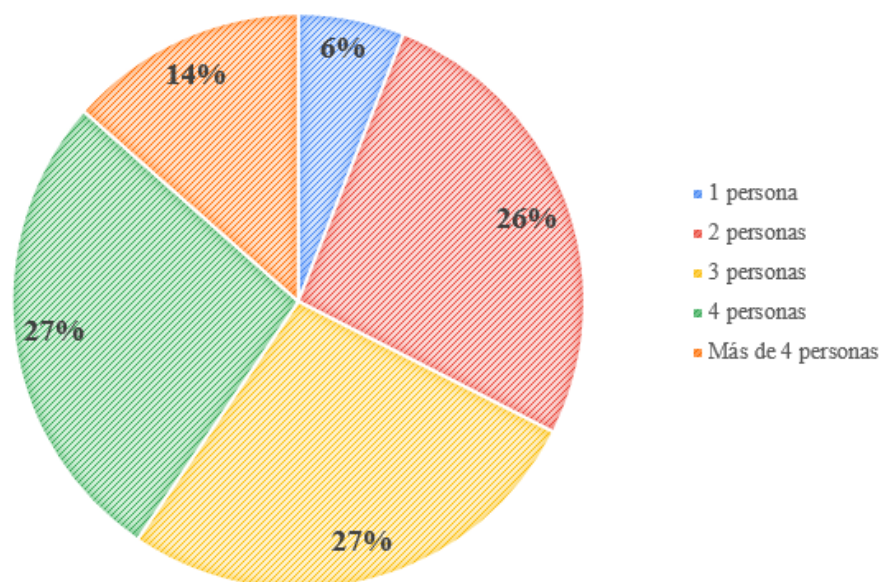


Figura A 5. Porcentajes por rango de ingresos mensual de los encuestados.

Fuente: Encuesta propia.

Cuando un producto tiene un precio más alto que otros similares, ¿usted cree que es más sostenible (es decir, que cuida el medio ambiente o contribuye a la sociedad)?

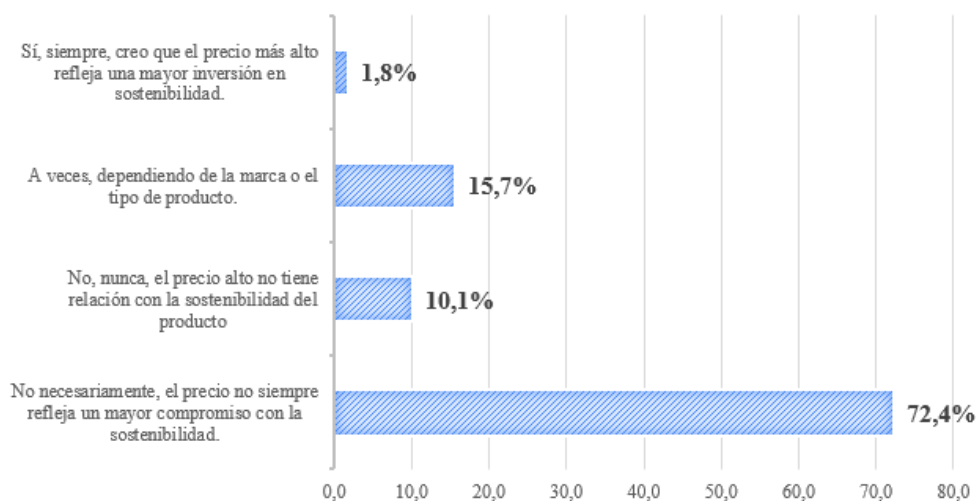


Figura A 6. Percepción de los consumidores sobre la relación entre el precio y la sostenibilidad de productos alimenticios.

Fuente: Encuesta propia.

¿Qué tan importante es para usted que un producto sea respetuoso con el medio ambiente o socialmente responsable al momento de comprarlo?

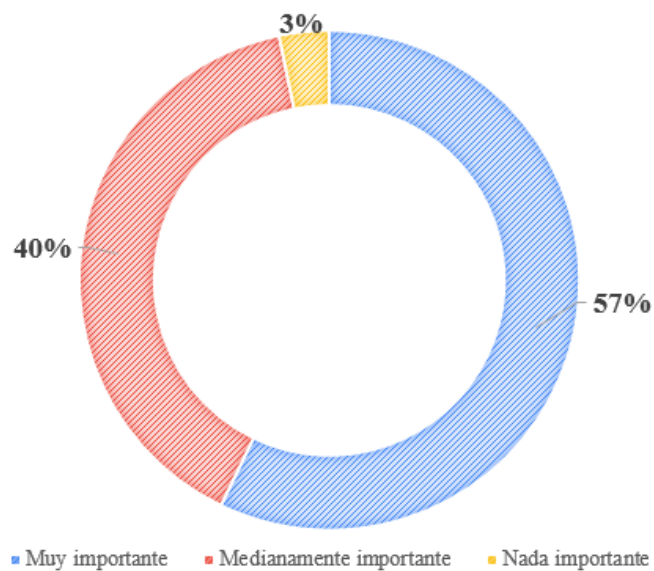


Figura A 7. Importancia atribuida por los consumidores a la sostenibilidad ambiental y social en decisiones de compra de alimentos.

Fuente: Encuesta propia.

¿En los últimos 6 meses, ha comprado productos alimenticios que se promocionan como sostenibles?

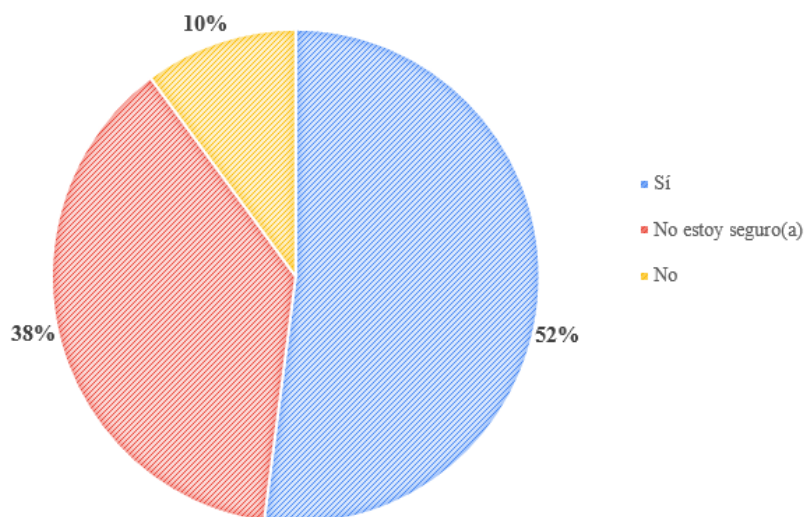


Figura A 8. Frecuencia de compra de productos alimenticios promocionados como sostenibles en los últimos seis meses.

Fuente: Encuesta propia.

¿Qué aspecto considera no negociable al comprar un producto alimenticio que se anuncia como sostenible?

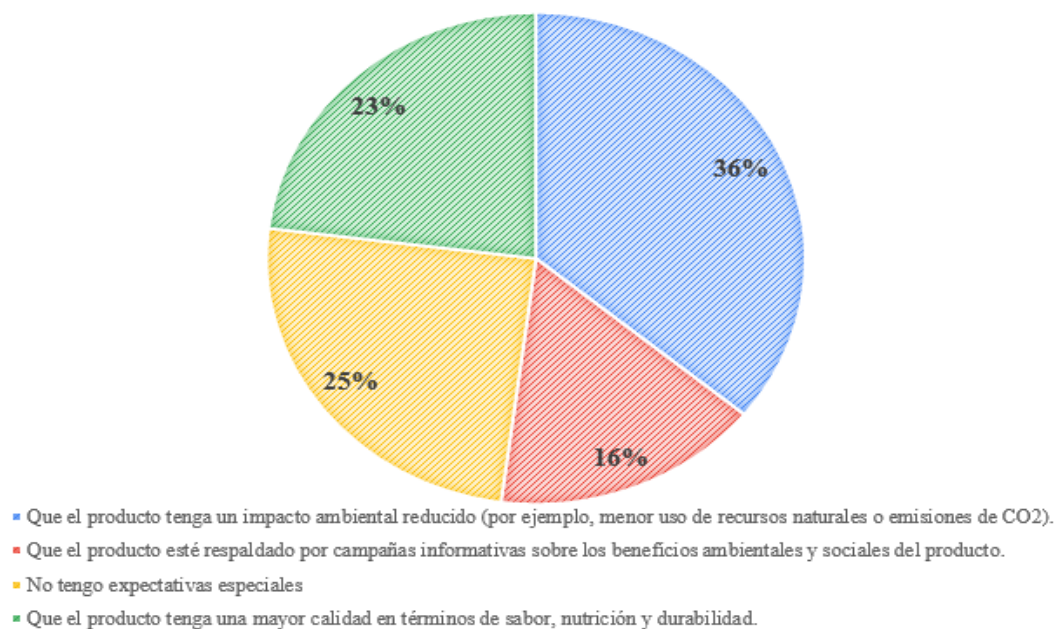


Figura A 9. Aspectos no negociables identificados por los consumidores al adquirir productos alimenticios sostenibles.

Fuente: Encuesta propia.

¿Qué señales o características le hacen pensar que un producto puede ser sostenible? (Elija dos opciones)

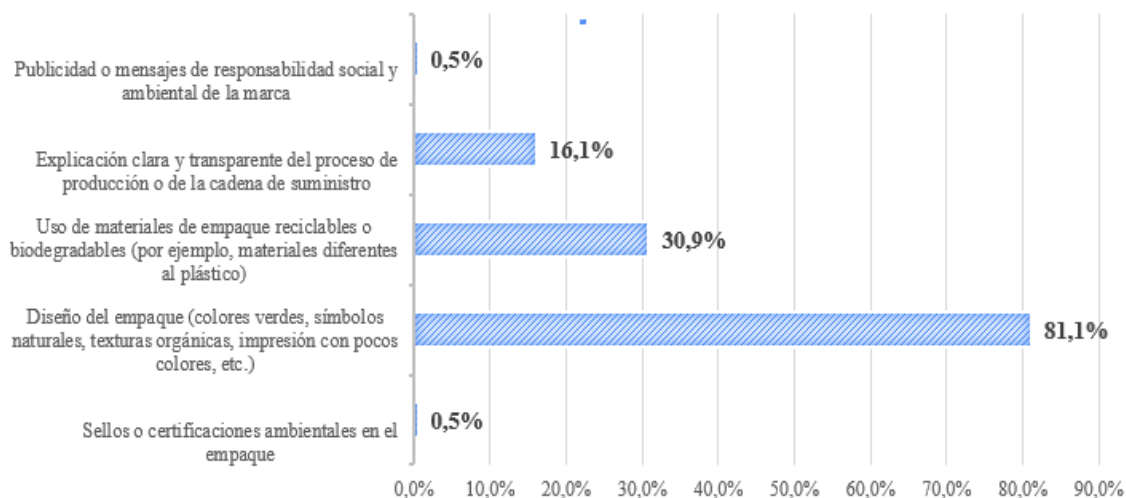


Figura A 10. Señales o características que los consumidores asocian con la sostenibilidad de un producto alimenticio.

Fuente: Encuesta propia.

Si un producto demostrara de forma clara que es sostenible, ¿usted estaría dispuesto(a) a pagar más por él?

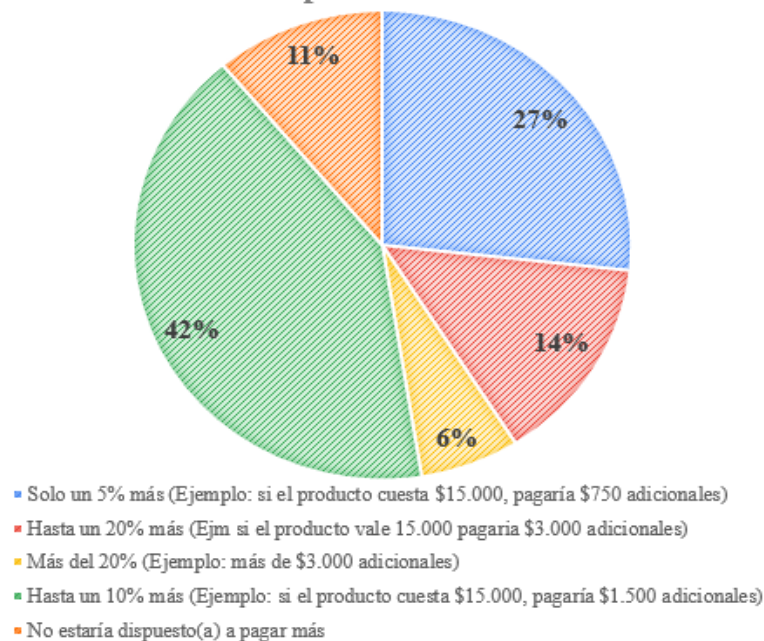


Figura A 11. Disposición de los consumidores a pagar un sobreprecio por productos sostenibles con evidencia verificable.

Fuente: Encuesta propia.

22.2. Apéndice B

Supuestos del Modelo - Impacto al desarrollo sostenible

1. Aumento en los ingresos por la preferencia de productos sostenibles.

Se calcula con el incremento en venta por preferencia de consumo de productos sostenibles, el cual se obtiene restando el valor promedio de ventas entre productos sostenibles y convencionales.

Datos de insumo:

- Ventas promedio al año de una gran empresa de derivados cárnicos al año.

Multiplicador o proxy:

- Según un informe de PwC, el 50% de los consumidores identifica el bienestar percibido de adquirir productos sostenibles como un motivador clave. Estos consumidores están dispuestos a pagar un 9.7% adicional incluso en contextos de presión económica (PWC, 2024).

Supuestos:

- Se estima que el 60% de las ventas promedio anuales corresponden a las referencias evaluadas en este estudio.

Atribución o peso muerto

- Inflación promedio del 6.59% (IPC en Colombia, últimos 5 años) y gestión de marketing y promociones, estimada en un 5% de las ventas.

2. Aumento en la satisfacción personal y percepción positiva por optar por opciones sostenibles.

Se calcula con el número de consumidores jóvenes que reportan satisfacción al consumir productos sostenibles, dado como el valor monetario promedio que los consumidores jóvenes atribuyen a la mejora de su bienestar y satisfacción personal al optar por una unidad de producto derivado cárnico sostenible.

Datos de insumo:

- Población de jóvenes entre 15 y 29 años, estimada en 12.53 millones según el DANE (2024), con alta preferencia por derivados cárnicos (Rodríguez, 2025).

Multiplicador o proxy:

- Según un informe de PwC, el 50% de los consumidores identifica el bienestar percibido de adquirir productos sostenibles como un motivador clave. Estos consumidores están dispuestos a pagar un 9.7% adicional pues con esto sienten que adquieren dicho beneficio de bienestar, donde se focalizó en la población joven que es la de mayor consumo de embutidos según estudio (PWC, 2024).

Supuestos:

- El costo promedio de un paquete de 500 g de derivado cárnico es de \$12,500 COP (Precio visto en el mercado).
- Se atribuye el 50% de las ventas al bienestar percibido (PWC, 2024).
- El consumo anual promedio de embutidos en Antioquia es de 3.2 kg/persona, ajustado a un estimado de 2 kg para este análisis, es decir, 4 productos de 500 g (Rodríguez, 2015; DANE, 2024).

Atribución o peso muerto

- Inflación promedio del 6.59% y gestión de marketing y promociones estimada en un 5% de las ventas.

3. Reducción de costos asociados al SCC (Costo Social del Carbono).

Se calcula como el % de reducción estimada en emisiones de CO₂eq y el Costo Social del Carbono (SCC) por tonelada de CO₂eq.

Datos de insumo:

- Cantidad de emisiones de CO₂ generadas por la referencia con mayor impacto.
- Producción de embutidos en Antioquia de 55.000 toneladas año (Botero, 2006).

Multiplicador o proxy:

El precio social del carbono en Colombia es de \$32,000 COP/tonelada de CO₂, basado en estudios de CEPAL (2021).

- Las estimaciones globales del SCC oscilan entre \$50 y \$150 USD por tonelada (Resources for the Future RFF, 2023).

Supuestos:

- Lograr una reducción del 2% en las emisiones totales generadas en el proceso.
- Generación de la referencia A de 1,72075 kg de CO₂ por 500 g de producto.

Atribución o peso muerto

- Metas de la Ley de Acción Climática de Colombia, alcanzar el carbono neutro en 2050, eliminar la deforestación y reducir las emisiones de GEI en un 51% para 2030, destacando su compromiso con la sostenibilidad ambiental.

22.3. Apéndice C

Tabla 1

Detalles del modelado del sistema de producto en OpenLCA

Modelado en openLCA	Descripción de la acción
Selección del software y bases de datos	<p>Para la construcción del modelo, se empleó el software OpenLCA versión 2.4.1- Se integraron distintas bases de datos según la naturaleza del flujo modelado:</p> <p>AGRIBALYSE 3.2 se usó para representar materias primas cárnicas y no cárnicas. Se accedió mediante su archivo oficial en Excel, extrayendo perfiles de impacto por kilogramo de producto alimentario (Entrepôt Recherche Data Gouv. 2024).</p> <p>ELCD 3.2 proporcionó inventarios estandarizados para procesos energéticos, agua, electricidad, gas natural y relleno sanitario, en el contexto europeo y es compatible con openLCA.</p> <p>Fuel LCA Model (ECCC – Canadá) se utilizó exclusivamente para representar energía hidroeléctrica, por ser una fuente reconocida que permite adaptar el análisis al contexto colombiano con mayor precisión (Environment and Climate Change Canada, 2024).</p>

<p>Limitaciones identificadas y estrategias de adaptación</p>	<p>Se usó AGRIBALYSE 3.2, base especializada en alimentos. Se eligieron tres indicadores clave por su relevancia y claridad, además de estar relacionados con los impactos encontrados en la revisión bibliográfica:</p> <p>CO₂ fósil (kg), por su vínculo con el cambio climático.</p> <p>Consumo energético (MJ), como reflejo de eficiencia.</p> <p>Uso de agua con deprivación (m³), por su sensibilidad a la escasez hídrica.</p> <p>Los datos se ajustaron a 500 g y se integraron como flujos elementales manuales en OpenLCA. Para proteger la fórmula del producto, las materias primas fueron clasificadas en dos grupos generales:</p> <p>MPC: cerdo, ave, grasa animal tipo 1 y tipo 2.</p> <p>MPnC: aditivos funcionales, condimentos y saborizantes secos, salsas y mezclas líquidas.</p> <p>Cada grupo fue modelado como un proceso proxy unitario, construido a partir de los perfiles de impacto de AGRIBALYSE y ponderado según su proporción estimada en la mezcla final. Esta estrategia permitió representar los impactos ambientales sin revelar la composición exacta del producto, aunque limita el análisis desagregado de contribuciones individuales y puede influir en los resultados agregados.</p>
---	--

	<p>Durante la integración, se identificó que el valor energético (MJ) tomado directamente de AGRIBALYSE podía generar una sobreestimación en la categoría de escasez de recursos fósiles del método ReCiPe 2016 Endpoint (H), debido al solapamiento con los consumos energéticos ya modelados explícitamente en planta (como gas natural y electricidad). Para mitigar este efecto y evitar duplicidades, se aplicó un ajuste conservador reduciendo en un 50 % el valor energético reportado, siguiendo criterios metodológicos respaldados por literatura especializada (Weidema et al., 2013). En cambio, los indicadores de CO₂ fósil y agua con deprivación se conservaron sin modificación, al no presentar riesgo de duplicación dentro del sistema puerta a puerta modelado.</p>
--	--

Modelado de insumos especiales	<p>Ante la ausencia de inventarios específicos en AGRIBALYSE y ELCD, se construyó un proceso proxy cerrado, lo que es coherente con los criterios aplicados a otras materias primas y preserva la trazabilidad metodológica, estos fueron:</p> <ol style="list-style-type: none">1. La tripa de celulosa, integrando directamente los impactos como <i>elementary flows</i>. Se utilizaron datos de ACV provenientes de literatura científica (Shen et al., 2010; Shen & Paten, 2010; Sandin & Peters, 2018; Shen et al., 2012; Geopelie, 2023), que estiman los siguientes valores por kilogramo de tripa: 10 kg CO₂-eq, 100 MJ de energía y 3 m³ de agua.2. Los preparados líquidos se representaron como flujos elementales sin proveedores intermedios, descompuestos en agua y principio activo. Se integraron como insumos sin divulgar cantidades ni composiciones, respetando la confidencialidad.3. En una de las referencias se modeló el zíper de polietileno de baja densidad (PE-LD) usando el proceso “Polyethylene low density granulate, production mix” de la base ELCD 3.2. Se ajustó según la cantidad utilizada por unidad funcional, con base en datos del proveedor, y se integró como entrada en la etapa de empaque.
--------------------------------	--

Consideración de pérdidas y mermas	<p>Aunque durante el proceso existen mermas naturales (por cocción, manipulación o recortes), se asumió un balance entre entradas y salidas, ya que dichas pérdidas fueron contempladas al estimar los consumos reales de materiales y energía. Esta decisión evita la doble contabilización de impactos y mantiene coherencia con la unidad funcional neta definida (500 g de producto final empaçado).</p>
Tratamiento de materiales de empaque	<p>Los empaques se modelaron como procesos individuales en OpenLCA, con emisiones de CO₂ fósil como flujos, usando datos de un estudio previo de la empresa con método ReCiPe 2016 Endpoint (H), se integraron luego en el análisis comparativo, según su aporte por unidad funcional.</p>

<p>Gestión de residuos fuera del sistema</p>	<p>Aunque el enfoque fue <i>puerta a puerta</i>, los residuos generados se modelaron como salidas conectadas a procesos dummy, sin contribuir a los impactos, ya que residuos como plásticos y orgánicos son aprovechados por terceros. Los residuos peligrosos se despreciaron por su baja generación.</p> <p>Para los residuos ordinarios no peligrosos, como la tripa descartada, se utilizó un proceso de disposición en relleno sanitario tomado de la base ELCD y ajustado al contexto colombiano, considerando características como la composición típica de los residuos municipales (Universidad de Antioquia, 2019), la generación esperada de metano en condiciones locales (Clean Air Task Force, 2024) y la eficiencia parcial en su captura (Acimedellín & EPM, 2021; EPA, 2023).</p>
<p>Modelado de energía hidroeléctrica</p>	<p>La electricidad se representó como energía hidroeléctrica colombiana mediante el flujo base de ECCC y un proceso complementario de ELCD, reflejando fielmente su origen renovable y las condiciones técnicas del suministro en planta (Environment and Climate Change Canada, 2024).</p>

<p>Modela de gas natural</p>	<p>El consumo de gas natural en planta se representó con el flujo “Natural gas, consumption” de la base ELCD 3.2, el cual refleja el suministro real a través de la red pública. Este activa automáticamente el flujo “Energy, from gas, natural”, capturando el impacto ambiental por extracción del recurso fósil. Así, aunque el enfoque es puerta a puerta, se reconoce la responsabilidad ambiental por el agotamiento del gas. Para ajustar los balances energéticos a la operación real, se utilizó un poder calorífico de 44,56 MJ/kg, derivado de un valor volumétrico de 35,65 MJ/m³, diferenciando entre la energía ideal del gas y el calor útil disponible para procesos térmicos como la cocción (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2025; Tellez, 2018; Moreira, 2025; Weidema, 2015).</p>
<p>Uso de datos primarios en el modelado</p>	<p>Se integraron datos primarios suministrados por áreas expertas de la empresa para reflejar fielmente la operación real. Por confidencialidad, estos fueron agrupados y representados mediante proxies. El consumo eléctrico se estimó con base en la potencia de los equipos y tiempos de operación, incluyendo refrigeración en TR. El vapor se modeló como energía térmica derivada del gas natural, aplicando factores técnicos. El uso de agua provino de formulaciones internas agrupadas y de lecturas de medidores por etapa. Los residuos se modelaron según la última caracterización, excluyendo peligrosos por su bajo volumen y conectándolos a procesos dummy por el enfoque puerta a puerta. No se incluyeron impactos por fugas de refrigerantes, al no registrarse pérdidas durante el año evaluado. Este tratamiento aseguró coherencia, trazabilidad y rigor en la interpretación de resultados.</p>

Fuente: Elaboración propia. Véase referencias.