



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Ecodiseño y circularidad para la transición ecológica y
la reducción del impacto ambiental de envases y
embalajes en la cadena alimentaria

Ecodesign and circularity for the ecological transition
and the reduction of the environmental impact of
containers and packaging in the food

Autor/es

Iker Epelde Labayen

Director/es

Aitor San Francisco Lasa
Luis Miguel Calvo Herrero

Máster en economía circular

FACULTAD DE CIENCIAS

2024

RESUMEN

En el presente trabajo fin de máster se aborda la importancia del ecodiseño y la economía circular en la reducción del impacto ambiental de tres tipos de envases utilizados en la industria alimentaria. Este estudio se enmarca en el proyecto EKODIS-FOOD, promovido por el clúster vasco de alimentación BASQUE FOOD CLÚSTER y la Diputación Foral de Gipuzkoa.

El objetivo principal del trabajo es demostrar que los envases alimentarios diseñados según los principios de la economía circular y el ecodiseño son más sostenibles ambientalmente. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis comparativo del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) de tres envases: una bolsa de pan, una envuelta de chocolatinas y un envase de yogur, desarrollados por las empresas Kaiku, Grupo Uvesco y Natra, respectivamente.

En el estado del arte, se aborda la economía circular y el ecodiseño en el contexto europeo y estatal, con énfasis en Euskadi y Gipuzkoa. Se destaca el Pacto Verde Europeo de 2019 y la Ley de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular de 2022 en España, que buscan reducir residuos y fomentar el uso eficiente de recursos, subrayando el uso del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para mejorar los envases alimentarios

La metodología se basa en el "Manual práctico de Ecodiseño" de IHOBE, que define un proceso en siete pasos para la implementación del ecodiseño en las empresas. Este proceso incluye desde el compromiso de la alta dirección hasta el desarrollo de alternativas de ecodiseño y la evaluación de su impacto ambiental.

Los resultados del análisis de ciclo de vida muestran que los envases ecodiseñados presentan una reducción significativa en sus impactos ambientales en comparación con los envases convencionales. Este estudio no solo evidencia la viabilidad de aplicar principios de ecodiseño en la industria alimentaria, sino que también proporciona un marco para futuras investigaciones y mejoras en la sostenibilidad de los envases.

En conclusión, el trabajo reafirma que el ecodiseño y la circularidad son estrategias efectivas para la transición ecológica en la cadena alimentaria, promoviendo prácticas más sostenibles y reduciendo el impacto ambiental de los envases.

ABSTRACT

The present master's thesis addresses the importance of ecodesign and the circular economy in reducing the environmental impact of three types of packaging used in the food industry. This study is part of the EKODIS-FOOD project, promoted by the Basque food cluster BASQUE FOOD CLUSTER and the Provincial Council of Gipuzkoa.

The main objective of the work is to demonstrate that food packaging designed according to the principles of the circular economy and ecodesign is more environmentally sustainable. To this end, a comparative life cycle analysis (LCA) of three packages was carried out: a bread bag, a chocolate wrapper, and a yogurt container, developed by the companies Kaiku, Grupo Uvesco, and Natra, respectively.

The state of the art addresses the circular economy and ecodesign in the European and national context, with an emphasis on Euskadi and Gipuzkoa. The European Green Deal of 2019 and the Waste and Contaminated Soil Law for a Circular Economy of 2022 in Spain are highlighted, aiming to reduce waste and promote efficient use of resources, emphasizing the use of Life Cycle Analysis (LCA) to improve food packaging.

The methodology is based on IHOBE's "Practical Ecodesign Manual," which defines a seven-step process for implementing ecodesign in companies. This process includes everything from top management commitment to the development of ecodesign alternatives and the evaluation of their environmental impact.

The results of the life cycle analysis show that ecodesigned packaging significantly reduces environmental impacts compared to conventional packaging. This study not only demonstrates the feasibility of applying ecodesign principles in the food industry but also provides a framework for future research and improvements in packaging sustainability.

In conclusion, the work reaffirms that ecodesign and circularity are effective strategies for the ecological transition in the food chain, promoting more sustainable practices and reducing the environmental impact of packaging.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
ÍNDICE DE TABLAS	V
SIGLAS UTILIZADAS	VI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 CONTEXTO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.....	1
1.2 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.....	1
2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
3 ESTADO DEL ARTE: APROXIMACIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR Y EL ECODISEÑO	4
3.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR Y ECODISEÑO.....	4
3.2 RETOS DEL SECTOR ALIMENTARIO EN MATERIA DE ECODISEÑO DE ENVASES Y EMBALAJES.....	6
3.3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA EL ECODISEÑO DE LOS ENVASES.....	7
4 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	9
4.1 METODOLOGÍA.....	9
4.2 HERRAMIENTAS.....	10
4.2.1 MANUAL PRÁCTICO DE ECODISEÑO. OPERATIVA DE IMPLANTACIÓN EN 7 PASOS.....	10
4.2.2 GUÍA DE ECODISEÑO DE ENVASES Y EMBALAJES.....	10
4.2.3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (LCA).....	11
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
5.1 CÁLCULO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	17
5.1.1 BOLSA DE PAN.....	17
5.1.2 ENVUELTA DE LAS CHOCOLATINAS.....	30
5.1.3 ENVASE DE YOGUR.....	42
5.2 RESUMEN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	56
6 CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS	59
6.1 CONCLUSIONES.....	59

6.2 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	60
--	-----------

<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>61</u>
----------------------------------	------------------

<u>ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA.....</u>	<u>65</u>
---	------------------

IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL	65
PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL.....	66
IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 01	68
IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 02.....	70
IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 03.....	72
IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ACTUAL.....	75
PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DE LA ENVUELTA ACTUAL.....	76
IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 01	78
IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 02	80
IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 03	82
IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.....	84
PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.....	85
IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 01.....	87
IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 02.....	89
IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 03.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CADENA DE VALOR DE LA ALIMENTACIÓN.....	6
FIGURA 2: DIFERENTES LÍMITES DEL SISTEMA Y OBJETIVOS DE ALCANCE DE LOS LCA (ELABORACIÓN PROPIA).....	12
FIGURA 3: EJEMPLO DE UN SISTEMA DEL PRODUCTO PARA EL LCA (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION 2006).....	12
FIGURA 4: EJEMPLO DE UN CONJUNTO DE PROCESOS UNITARIOS DENTRO DE UN SISTEMA DEL PRODUCTO (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION 2006).....	12
FIGURA 5: CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.	15
FIGURA 6: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES DE LAS FASES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL.....	22
FIGURA 7: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DE LAS FASES DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL...	22
FIGURA 8: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE ORIGEN Y FABRICACIÓN DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL.	23
FIGURA 9: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE FIN DE VIDA DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL.....	23
FIGURA 10: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 01 DE LA BOLSA DE PAN FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	25
FIGURA 11: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 02 DE LA BOLSA DE PAN FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	26
FIGURA 12: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 03 DE LA BOLSA DE PAN FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	28
FIGURA 13: GRÁFICA DEL VALOR MEDIO DE LAS REDUCCIONES DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS ECODISEÑOS DE LA BOLSA DE PAN FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.	29
FIGURA 14: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES DE LAS FASES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL DISEÑO ACTUAL.	34
FIGURA 15: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DE LAS FASES DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL DISEÑO ACTUAL.....	35
FIGURA 16: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE ORIGEN Y FABRICACIÓN DE LA ENVUELTA ACTUAL.	35
FIGURA 17: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE FIN DE VIDA DE LA ENVUELTA ACTUAL.	36
FIGURA 18: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 01 DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.	37
FIGURA 19: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 02 DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.	39
FIGURA 20: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 03 DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.	40
FIGURA 21: GRÁFICA DEL VALOR MEDIO DE LAS REDUCCIONES DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS ECODISEÑOS DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.	42
FIGURA 22: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES DE LAS FASES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.	48
FIGURA 23: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DE LAS FASES DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.	48
FIGURA 24: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE ORIGEN Y FABRICACIÓN DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.	49
FIGURA 25: GRÁFICA DE LOS PORCENTAJES MEDIOS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA FASE DE FIN DE VIDA DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.	49
FIGURA 26: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 01 DEL ENVASE DE YOGUR FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	51
FIGURA 27: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 02 DEL ENVASE DE YOGUR FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	52

FIGURA 28: GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 03 DEL ENVASE DE YOGUR FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	54
FIGURA 29: GRÁFICA DEL VALOR MEDIO DE LAS REDUCCIONES DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES FRENTE DEL ECODISEÑO DEL ENVASE DE YOGUR FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	55
FIGURA 30: GRÁFICA AMPLIADA DE LOS PORCENTAJES DE LAS FASES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL DISEÑO ACTUAL.....	67
FIGURA 31: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 01 DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	69
FIGURA 32: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 02 DE LA BOLSA DE PAN FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	71
FIGURA 33: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 03 DE LA BOLSA DE PAN FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	74
FIGURA 34: GRÁFICA AMPLIADA DE LOS PORCENTAJES DE LAS FASES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL DISEÑO ACTUAL.....	77
FIGURA 35: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 01 DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	79
FIGURA 36: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 02 DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	81
FIGURA 37: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 03 DE LA ENVUELTA FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	83
FIGURA 38: GRÁFICA AMPLIADA DE LOS PORCENTAJES DE LAS FASES SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.....	86
FIGURA 39: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 01 DEL ENVASE DE YOGUR FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	88
FIGURA 40: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 02 DEL ENVASE DE YOGUR FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	92
FIGURA 41: GRÁFICA AMPLIADA DE LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CON LA MEJORA DE ECODISEÑO 03 DEL ENVASE DE YOGUR FRENTE AL DISEÑO ACTUAL.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: IMPACTOS AMBIENTALES DE LA BOLSA DE PAN CON EL DISEÑO ACTUAL.....	21
TABLA 2: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN CON EL ECODISEÑO 01.....	24
TABLA 3: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN CON EL ECODISEÑO 02.....	26
TABLA 4: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN CON EL ECODISEÑO 03.....	28
TABLA 5: COMPARATIVA DE LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN CON DISTINTOS ECODISEÑOS.....	29
TABLA 6: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL DISEÑO ACTUAL.....	34
TABLA 7: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL ECODISEÑO 01.....	37
TABLA 8: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL ECODISEÑO 02.....	38
TABLA 9: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON EL ECODISEÑO 03.....	40
TABLA 10: COMPARATIVA DE LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA CON DISTINTOS ECODISEÑOS.....	41
TABLA 11: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR CON EL DISEÑO ACTUAL.....	47
TABLA 12: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR CON EL ECODISEÑO 01.....	50
TABLA 13: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR CON EL ECODISEÑO 02.....	52
TABLA 14: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR CON EL ECODISEÑO 03.....	53
TABLA 15: COMPARATIVA DE LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR CON DISTINTOS ECODISEÑOS.....	55
TABLA 16: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL.....	65
TABLA 17: PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL.....	66
TABLA 18: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 01.....	68
TABLA 19: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 02.....	70
TABLA 20: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 03 (25% DE CORRECTA SEPARACIÓN).....	72
TABLA 21: IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 03 (40% DE CORRECTA SEPARACIÓN).....	73
TABLA 22: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ACTUAL.....	75
TABLA 23: PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DE LA ENVUELTA ACTUAL.....	76
TABLA 24: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 01.....	78
TABLA 25: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 02.....	80
TABLA 26: IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 03.....	82
TABLA 27: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.....	84
TABLA 28: PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL.....	85
TABLA 29: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 01.....	87
TABLA 30: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 02 (30% RPS).....	89
TABLA 31: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 02 (60% RPS).....	90
TABLA 32: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 02 (90% RPS).....	91
TABLA 33: IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 03.....	93

SIGLAS UTILIZADAS

SIGLAS	INGLÉS	CASTELLANO
CE	Circular Economy	Economía circular
EoL	End of Life	Fin de vida
ISO	International Standards Organization	Organización Internacional de Normalización
LCA	Life Cycle Assessment	Análisis de Ciclo de Vida

1 INTRODUCCIÓN

El trabajo fin de máster “Ecodiseño y circularidad para la transición ecológica y la reducción del impacto ambiental de envases y embalajes en la cadena alimentaria.” ha sido desarrollado en colaboración con la consultora medioambiental y de economía circular Bilibin Circular y la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Pública de Navarra (UPNA). El trabajo fin de máster ha sido parte del proyecto EKODIS-FOOD, proyecto promovido por el clúster vasco de alimentación BASQUE FOOD CLÚSTER y la diputación foral de Gipuzkoa. Dentro del proyecto se ha contado con la ayuda técnica las tres empresas participantes.

1.1 Contexto del trabajo fin de máster

Este trabajo fin de máster se desarrolla dentro del proyecto EKODIS-FOOD, proyecto promovido por el clúster vasco de alimentación BASQUE FOOD CLÚSTER, donde el proyecto aborda los retos del sector alimentario en materia de ecodiseño de envases y embalajes, ya que aproximadamente el 80 % del impacto ambiental de un producto se determina durante su fase de diseño.

El proyecto EKODIS-FOOD tiene como objetivo principal reducir el impacto ambiental de los envases y embalajes en la cadena alimentaria vasca a través del ecodiseño. Para ello, se proporcionará a las empresas del sector alimentario de Gipuzkoa herramientas y conocimientos que les permitan incorporar criterios de circularidad en sus planes de acción y estrategias a corto y medio plazo, adaptándose a los requisitos del Real Decreto de Envases y Residuos de Envases. Además, se espera generar nuevas colaboraciones y redes de intercambio entre los diferentes agentes involucrados en el proyecto.

EKODIS-FOOD también se alinea con el programa promovido por la Diputación de Gipuzkoa centrado en la generación de impactos positivos y la minimización de los negativos en la cadena de suministro, la orientación de modelos de negocio y la integración de la visión en toda la cadena de suministro.

Dentro del proyecto han participado empresas de renombre nacional e internacional en el mundo alimentario como son Kaiku, Grupo Uvesco y Natra. Kaiku se ha centrado en el estudio del envase de su yogur natural, evaluando su impacto ambiental y posibles mejoras ecológicas. Grupo Uvesco, por su parte, ha examinado la bolsa de pan para optimizar su sostenibilidad y reducir residuos. Finalmente, Natra ha analizado la envuelta de napolitanas de chocolate, buscando alternativas más respetuosas con el medio ambiente. Estos análisis contribuyen a la meta común de EKODIS-FOOD de promover prácticas más sostenibles en la industria alimentaria.

De esta manera, en el presente trabajo se estudia el ciclo de vida de los envases alimentarios ecodiseñados. Estas metodologías están focalizadas en el estudio del impacto ambiental de productos o servicios. A su vez, están generadas desde el prisma de la economía lineal, es decir, desde una perspectiva de cradle to grave y es necesario adaptarlas a un producto basado en los principios circulares de cradle to cradle. Para concluir se realiza una comparativa entre diversas mejoras de ecodiseños realizadas a los envases y conocer así su respuesta ambiental.

1.2 Organización del trabajo fin de máster

En el Capítulo 1 se ha descrito el contexto del trabajo fin de máster. En la misma se analiza el interés del tema seleccionado y se justifica su elección e interés tanto a nivel científico, así como su aplicación

futura. Los objetivos y las hipótesis que se establecen en este trabajo fin de máster se resumen en el Capítulo 2.

El Capítulo 3 es el estado del arte. En la misma se realiza una contextualización de la economía circular a nivel europeo, estatal y a nivel de Euskadi y Gipuzkoa. Se continua con los retos actuales del sector alimentario en materia de Ecodiseño de Envases y Embalajes y por último se realiza un breve análisis del uso de análisis de ciclo de vida (a partir de ahora LCA, por sus iniciales en inglés “*Life Cycle Assessment*”) para el ecodiseño de los envases.

En el Capítulo 4 se generan la metodología y las herramientas necesarias que posibiliten el estudio comparativo entre los envases seleccionados y sus respectivas mejoras de ecodiseño. Para ello, se detalla la metodología utilizada para llevar a cabo el proyecto, definida por IHOBE en su “Manual práctico de Ecodiseño”. Tras ello, la herramienta utilizada en el proyecto, una introducción al LCA.

El estudio comparativo del LCA entre los envases analizados y sus mejoras de ecodiseño se expone en el Capítulo 6. En la misma además del estudio, se presentan y discuten los resultados obtenidos en los cálculos realizados.

Las conclusiones más significativas y las posibles líneas futuras de trabajo se resumen en el Capítulo 7.

Una vez analizado las conclusiones y las líneas futuras está la biografía. Posteriormente se encuentra el apartado de los anexos. El Anexo I está compuesto por las tablas y los resultados del análisis del LCA.

2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos relativos a esta investigación pretenden corroborar que un envase alimentario diseñado siguiendo los principios de la economía circular y ecodiseño es desde una perspectiva ambiental más sostenible. Para refutar dicha hipótesis se genera el marco necesario que posibilite realizar una comparativa del impacto ambiental entre los tres envases a estudiar.

Por lo tanto, los objetivos establecidos son los siguientes:

- Evidenciar que un envase alimentario ecodiseñado reduce los impactos ambientales.
- Calcular los impactos ambientales de un ciclo de vida completo de los envases alimentarios, desde el origen y producción de materias primas hasta el fin de vida, y analizar cómo impacta cada fase del ciclo de vida del envase.
- Efectuar un estudio comparativo de LCA entre un envase ecodiseñado y uno sin ecodiseñar, y entre los tres envases a analizar.

3 ESTADO DEL ARTE: APROXIMACIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR Y EL ECODISEÑO

El estado del arte comienza con una introducción a la economía circular y el ecodiseño en el marco europeo y estatal, poniendo en contexto la situación a nivel de Euskadi y Gipuzkoa. En el siguiente punto se abordan los retos del sector alimentario en materia de Ecodiseño de Envases y Embalajes. Para finalizar el estado del arte, se realiza una contextualización del uso del LCA para mejorar los envases.

3.1 Contextualización de la economía circular y ecodiseño

La economía circular (CE) es un modelo económico que tiene como objetivo redefinir la producción y el consumo de bienes y servicios, buscando eliminar el concepto de residuos y promover el uso eficiente de los recursos. En lugar del modelo lineal tradicional de "tomar, hacer, desechar", la CE aboga por un sistema en el que los productos, materiales y recursos se mantienen en uso durante el mayor tiempo posible, se regeneran y se reutilizan al final de su vida útil. Este modelo incluye prácticas como la reparación, la remanufactura y el reciclaje, reduciendo así la necesidad de extraer nuevos recursos y minimizando el impacto ambiental.

En el contexto europeo, en 2019 se presentó el ambicioso Pacto Verde Europeo (Comisión Europea, 2019), con la intención de que Europa lidere la transición verde a nivel mundial. A pesar de ello, la ambición climática, ecológica y circular de la UE se ha visto trastocada por la pandemia mundial de 2020. La COVID-19 ha alterado los emergentes procesos de circularidad en curso a nivel comunitario, y las tendencias son menos favorables para consolidar las fases iniciales de la pretendida transición ecológica.

- El Pacto Verde Europeo es una hoja de ruta para dotar a la UE de una economía sostenible mediante:
- El impulso de un uso eficiente de los recursos y el paso a una economía limpia y circular,
- La restauración de la biodiversidad y la reducción de la contaminación y
- El objetivo de ser climáticamente neutra en 2050.

A nivel estatal, la reciente Ley de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular entró en vigor en abril de 2022 (España, 2022), y es una de las principales piezas legislativas para impulsar la economía circular y baja en carbono en España. Esta ley actualiza la normativa anterior para cumplir con los nuevos objetivos establecidos en las directivas comunitarias. Entre las principales novedades, destaca el objetivo de reducción de peso de los residuos producidos en un 13 % para 2025 respecto al 2010, y en un 15 % para 2030, respecto a los generados en 2010. Además, en dicha ley destaca las tasas de vertido y la legislación de prohibición de vertido que afecta directamente a las empresas participantes.

En cambio, la Ley de Cambio Climático y Transición Energética Española (España, 2021) establecerá, además del cálculo de la huella de carbono de las empresas, tener un plan de reducción de las emisiones clave. La herramienta de análisis de ciclo de vida que se va a utilizar amplía la medición del impacto ambiental, complementándola con la huella de carbono.

Además, en 2022 en el Estado español se aprobó el 7/2022 la ley de residuos y suelos contaminados para una economía circular (España, 2022) y a fin de año el Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases. Estas dos leyes afectan directamente a las empresas y en

el seno de esa realidad se presenta este proyecto. Entre otras obligaciones, a través de la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados, se ha establecido el nuevo impuesto especial a los envases de plástico no reutilizables, que está ligada con la Ley de envases y residuos de envases.

Euskadi y la economía circular

En el ámbito más local, en Euskadi el 12 de mayo de 2021 el Gobierno Vasco presentó una hoja de ruta para lograr un futuro más sostenible, sumándose así al Pacto Verde Europeo. Esta hoja de ruta es el Basque Green Deal (BGD) que recoge los objetivos de reducción de emisiones y de generación de energía renovable, complementándolo con la industria y la tecnología como principales palancas de cambio. Para ello se pretende alinear el desarrollo justo y sostenible en ciencia, tecnología, economía circular, industria, transición energética y la cadena de alimentación.

El nuevo modelo competitivo requiere un nuevo contexto normativo para lo que se está trabajando en una Ley de Transición Energética y Cambio Climático alineada con las directivas e indicadores europeos.

Para continuar trabajando la economía circular en el territorio, Ihobe ha desarrollado y publicado el documento de “La estrategia de economía circular de Euskadi 2030” (Gobierno Vasco, 2020). Además, el Plan de prevención y gestión de residuos de Euskadi 2030 aprobado en octubre de 2021 (Gobierno Vasco, 2021), se enmarca en la Estrategia de Economía Circular de Euskadi 2030, y en los principios del Nuevo Plan de Acción de la UE para la Economía Circular. Los objetivos previstos para el año 2030 que más afectan a las empresas del clúster son la reconversión de un 85 % de los residuos no peligrosos en recursos secundarios y la reducción a menos del 15 % los residuos que van a vertederos. Para conseguirlo, entre otras acciones, se contemplan impuestos al vertido y la incineración.

La economía circular en Gipuzkoa

Más específicamente, en Gipuzkoa, la economía circular se ha integrado en las políticas de desarrollo sostenible y competitividad económica. La Diputación Foral de Gipuzkoa ha demostrado su compromiso con la economía circular y realizar una transición activa a la misma en el territorio. Es por ello por lo que la situación en Gipuzkoa es mejor que la Estatal.

Los datos de reciclaje de Gipuzkoa son punteros en toda España, y Europa, y superan el objetivo establecido en el 50 % para el año 2020. Esto se ha conseguido gracias a la implantación de recogidas personalizadas de la fracción resto y de biorresiduos, mayoritariamente contenedorizadas, en la gran mayoría de los municipios del territorio. Este modelo de recogida, que tan buenos resultados está dando y que tanto está inspirando a otros territorios, sería conveniente extenderlo a la totalidad de municipios de Gipuzkoa y, en especial, a los municipios más poblados del territorio.

El Plan Integral de Gestión de Residuos Urbanos de Gipuzkoa (PIGRUG) para el periodo 2019-2030 tiene como compromiso maximizar la prevención de la generación de los residuos urbanos. Entre los principios estratégicos para una gestión sostenible de los residuos, define:

- Principio de ciclo de vida sostenible y economía circular de los recursos.
- Principio de jerarquía comunitaria de gestión.
- Principio de prevención de residuos urbanos.
- Principio de maximización de la valorización de residuos urbanos.
- Principio de vertido cero de plásticos en el medioambiente.

- Principio de minimización del vertido de residuos urbanos.

Entre los nuevos objetivos propuestos de reducción de generación de los residuos previstos (13 % en 2025 con respecto al año 2010) se va a tener que hacer un esfuerzo adicional en la prevención de residuos del territorio. En las bases de las ayudas de economía circular, esto se demuestra priorizando la prevención en la generación de residuos respecto al resto de las acciones.

3.2 Retos del sector alimentario en materia de Ecodiseño de Envases y Embalajes

Solo el embalaje de alimentos supone el 40 % de la demanda de plástico en Europa, aproximadamente 20 millones de toneladas al año. Las empresas de este sector se enfrentan a la dicotomía de que, por un lado, los envases y elementos plásticos son a fecha la alternativa más eficiente para atender las exigencias de las normativas de seguridad alimentaria, así como los requerimientos comerciales de los grandes *retailers*. Sin embargo, y, por otro lado, se encuentran con la demanda creciente de las personas consumidoras que les instan a ser parte activa de la solución climática, minorando su impacto ambiental, dándose el caso, de que estas empresas más responsables generan mayor preferencia y mayores ventas en el mercado.

Aproximadamente el 80 % del impacto ambiental de un producto se determina durante su fase de diseño. Por tanto, cada elección realizada en el diseño tiene consecuencias relevantes en el medioambiente. El ecodiseño es una forma diferente de idear los productos, que requiere de un cambio de mentalidad en las empresas, además de herramientas y metodologías adecuadas para ello. En la actualidad, los cambios normativos han situado al ecodiseño en el foco de las empresas alimentarias, y aunque Gipuzkoa es un territorio avanzado en esta materia, todavía muchas de ellas, sobre todo pymes, no disponen de la información ni de los recursos necesarios para acometer un proyecto de tal envergadura.

El estudio realizado se centra en las pequeñas y medianas empresas (pyme) pertenecientes a los eslabones de transformación y la distribución de la cadena de valor alimentaria de Gipuzkoa (Ver Figura 1). Es en estos eslabones donde se concentran las empresas para las que el impacto ambiental de sus envases y embalajes supone un mayor reto.

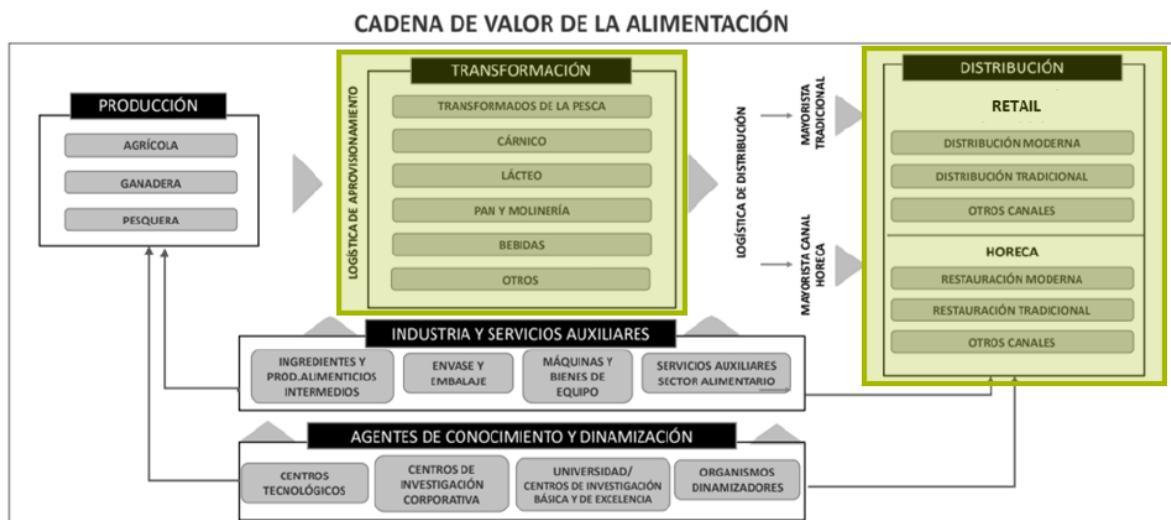


Figura 1: Cadena de valor de la alimentación.

El sector de la alimentación es un sector diverso que puede resultar muy adecuado para desarrollar un estudio de estas características, en el que se pueden encontrar realidades muy diversas según el posicionamiento en la cadena de valor sectorial, por tamaño y actividad, y, por tanto, diversidad de realidades de negocios y tipologías de organizaciones, a la vez que gran diversidad de necesidades. Esta riqueza abre las puertas a extrapolar los aprendizajes y los recursos generados a otros sectores y empresas del territorio.

3.3 Análisis de ciclo de vida para el ecodiseño de los envases

En el contexto de la creciente preocupación por la contaminación plástica y la sostenibilidad, varios estudios recientes han evaluado las limitaciones y oportunidades de las evaluaciones del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) en la formulación de políticas de envases alimentarios.

En el estudio realizado por Zero Waste Europe "Justifying Plastic Pollution: The Shortcomings of Life Cycle Assessments in Food Packaging Policy" (Zero Waste Europe, 2018) examina las limitaciones del uso de evaluaciones del ciclo de vida (LCA) para informar las políticas de envases alimentarios. Este estudio resume una revisión no exhaustiva de 21 LCA sobre envases de alimentos y bebidas, tanto con cómo sin consideraciones de desperdicio de alimentos (nueve estudios consideran el desperdicio de alimentos). Se extraen hallazgos clave de cada uno de estos estudios para identificar las metodologías empleadas y reflexionar sobre las conclusiones y recomendaciones de los autores.

El documento concluye que, aunque las LCA son herramientas útiles para informar las discusiones sobre envases alimentarios, presentan desafíos significativos. Las LCA revisadas demuestran la complejidad inherente de capturar todos los impactos ambientales en una sola metodología. Para desarrollar políticas comprensivas sobre envases y desperdicio de alimentos, se necesita una adaptación de los estudios actuales para futuras discusiones políticas, considerando una gama más amplia de impactos ambientales y soluciones sistémicas.

El informe "Single-use supermarket food packaging and its alternatives: Recommendations from life cycle Assessments" de UNEP (United Nations Environment Programme, 2023) evalúa el impacto ambiental del empaquetado de alimentos en supermercados, centrándose en alternativas al empaquetado de un solo uso a través de Análisis del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés). Este documento proporciona recomendaciones basadas en estudios de LCA y revisiones literarias.

El informe subraya la necesidad de enfoques más holísticos y sistémicos para abordar el impacto ambiental del empaquetado de alimentos en supermercados. Las recomendaciones incluyen una mayor consideración del impacto del empaquetado en el desperdicio de alimentos, la promoción de materiales de empaquetado más sostenibles y la creación de un entorno legislativo que favorezca sistemas de empaquetado reutilizables. Estos pasos son esenciales para reducir el impacto ambiental y avanzar hacia sistemas de empaquetado más sostenibles y circulares.

Por último, "Exploring the Environmental Performance of Alternative Packaging" (Join Research Centre, 2021) es un estudio llevado a cabo por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea con el objetivo de evaluar el rendimiento ambiental de diferentes alternativas de envases, tanto de un solo uso (SU) como de múltiples usos (MU). Esta investigación se enmarca en el contexto del Reglamento de Envases y Residuos de Envases (PPWR) propuesto en 2022, que busca reducir la generación de residuos y promover la reutilización y reciclaje de envases.

El estudio se llevó a cabo utilizando el método de Huella Ambiental, el cual evalúa 16 categorías de impacto, incluyendo el cambio climático y el uso del agua, además de considerar un índice de puntaje único agregado. Se definieron varios escenarios para evaluar el rendimiento ambiental de envases en diferentes contextos de uso, como bebidas para llevar, comidas preparadas para llevar, y el uso de envases en restaurantes.

El estudio se destaca por combinar datos de diversas fuentes y una consulta con partes interesadas para modelar los escenarios representativos de la UE. Sin embargo, se enfrentó a limitaciones debido a la falta de modelos de negocio establecidos para los envases de uso múltiple y la escasa información sobre prácticas de lavado. Los datos obtenidos durante la consulta con partes interesadas fueron cruciales para el modelado preciso de estas prácticas y los requerimientos asociados de energía, agua y detergentes.

En resumen, el estudio proporciona evidencia científica relevante para la formulación de políticas dentro del PPWR, destacando la importancia de optimizar ciertos parámetros y transitar hacia fuentes de energía más limpias para mejorar el rendimiento ambiental de los envases de uso múltiple.

4 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

En este capítulo se detallará la metodología utilizada para el proceso de ecodiseño de los envases seleccionados, así como la estrategia adoptada. A su vez se realizará una introducción de las herramientas utilizadas en la metodología para calcular los impactos ambientales.

4.1 Metodología

La metodología empleada en este estudio ha sido basada en la definida por IHOBE en su “Manual práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos” (Ihobe, 2000) y en la “Guía de ecodiseño de envases y embalajes” (Ihobe, 2017) elaborada por IHOBE y Ecoembes.

El primer paso se centra en obtener el compromiso de la alta dirección, lo cual es crucial para asegurar que la política de ecodiseño se implemente efectivamente. Esto implica definir una política clara, establecer objetivos ambientales específicos, asignar los recursos necesarios y comunicar el compromiso a toda la organización para integrarlo en la cultura empresarial.

El segundo paso es realizar un diagnóstico ambiental del producto actual, utilizando un análisis del ciclo de vida (LCA) para evaluar su impacto ambiental. Este diagnóstico permite identificar los puntos críticos de impacto y detectar oportunidades de mejora ambiental.

A continuación, en el tercer paso, se procede a la planificación detallada del proyecto de ecodiseño. Esto incluye definir el alcance del proyecto, asignar responsabilidades a los miembros del equipo, establecer un cronograma detallado con hitos y plazos, y asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios.

En el cuarto paso, se desarrollan alternativas de ecodiseño utilizando herramientas de creatividad y metodologías específicas para generar ideas innovadoras. Se realiza una evaluación preliminar de estas ideas para seleccionar las más prometedoras.

El quinto paso implica la evaluación ambiental de las alternativas desarrolladas, comparando su impacto mediante un análisis detallado del ciclo de vida. Se utilizan herramientas de evaluación ambiental para seleccionar la alternativa que ofrece el mejor balance entre sostenibilidad y viabilidad económica.

Una vez seleccionada la mejor alternativa, el sexto paso es integrar estas soluciones de ecodiseño en el desarrollo del producto final. Esto puede requerir adaptaciones en los procesos de diseño y producción, así como la capacitación del personal involucrado y la realización de pruebas y validaciones para asegurar que el producto cumple con los estándares de calidad y sostenibilidad.

Finalmente, el séptimo paso se centra en la comunicación y el marketing verde, destacando los beneficios ambientales del producto tanto internamente como en el mercado. Esto incluye desarrollar estrategias de marketing verde, preparar materiales de comunicación efectivos y promocionar el producto como una opción sostenible, resaltando las mejoras logradas mediante el ecodiseño.

4.2 Herramientas

Las herramientas empleadas para llevar a cabo esta metodología se basan en el "Manual práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos" de IHOBE, que proporciona una estructura detallada para implementar prácticas de ecodiseño en distintos ámbitos empresariales. Además, se utiliza la "Guía de ecodiseño de envases y embalajes" elaborada por IHOBE en colaboración con Ecoembes, que ofrece directrices específicas para abordar el ecodiseño en el contexto de los envases y embalajes, un área crucial para reducir el impacto ambiental de los productos.

Junto con estas guías, se emplea la herramienta de cálculo de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para evaluar exhaustivamente los impactos ambientales de los envases durante la fase de diagnóstico. Este análisis permite identificar áreas críticas de mejora y oportunidades para optimizar la sostenibilidad de los productos. En conjunto, estas herramientas proporcionan un marco integral para el desarrollo e implementación efectiva de estrategias de ecodiseño, garantizando que las decisiones empresariales estén respaldadas por datos sólidos y orientadas hacia la reducción del impacto ambiental.

4.2.1 Manual práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos

En el "Manual práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos" elaborado por IHOBE, se detalla un proceso sistemático para integrar el ecodiseño en las empresas. Este manual ofrece un enfoque estructurado y sistemático para la implementación del ecodiseño, proporcionando herramientas y metodologías prácticas para cada etapa del proceso, incluyendo el análisis del ciclo de vida (LCA) y herramientas de evaluación ambiental. También incluye ejemplos y casos prácticos de empresas que han aplicado con éxito el ecodiseño, demostrando los beneficios concretos y resultados obtenidos, facilitando a las empresas la integración del ecodiseño en sus procesos de desarrollo de productos, promoviendo una reducción significativa del impacto ambiental y mejorando su competitividad en el mercado.

4.2.2 Guía de ecodiseño de envases y embalajes

La "Guía de ecodiseño de envases y embalajes" elaborada por IHOBE y Ecoembes proporciona una metodología integral para la creación y optimización de envases y embalajes con criterios de sostenibilidad. Esta guía tiene como objetivo principal reducir el impacto ambiental de los envases a lo largo de su ciclo de vida, promoviendo prácticas de economía circular. La guía se estructura en varias fases clave, comenzando con el análisis del ciclo de vida (LCA), una herramienta fundamental para evaluar el impacto ambiental de los envases desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. El LCA permite identificar los puntos críticos y las áreas con mayor potencial de mejora ambiental.

En la fase de diseño para la sostenibilidad, se aplican principios de ecodiseño para desarrollar envases que minimicen el uso de recursos, faciliten la reutilización y el reciclaje, y reduzcan las emisiones y residuos. Se promueve el uso de materiales reciclados y reciclables, así como la optimización del diseño para reducir el volumen y peso de los envases. La evaluación y selección de materiales es otra fase clave, donde se ofrecen criterios para la selección de materiales más sostenibles, evaluando su disponibilidad, reciclabilidad y el impacto ambiental asociado a su producción y uso. Se destacan los beneficios de utilizar materiales biodegradables y compostables.

La guía también incluye recomendaciones para la optimización de procesos productivos, mejorando la eficiencia de los procesos de fabricación de envases, minimizando el consumo de energía y agua, y reduciendo las emisiones y residuos generados. Además, fomenta la innovación y creatividad en el diseño de envases, alentando a las empresas a explorar nuevas soluciones y tecnologías que puedan mejorar la sostenibilidad de sus productos. Se presentan casos de éxito y ejemplos prácticos de empresas que han implementado con éxito estrategias de ecodiseño en sus envases.

Para garantizar el cumplimiento normativo y obtener certificaciones, la guía proporciona información sobre las normativas y certificaciones ambientales relevantes para los envases, ayudando a las empresas a cumplir con los requisitos legales y a obtener certificaciones que respalden sus esfuerzos de sostenibilidad. La comunicación y el marketing verde también son enfatizados, destacando la importancia de comunicar los beneficios ambientales de los envases a los consumidores y otros interesados. Se ofrecen estrategias de marketing verde para promover los envases ecológicos y aumentar la conciencia sobre la sostenibilidad.

4.2.3 Análisis de ciclo de vida (LCA)

La incorporación del pensamiento de ciclo de vida (o *life cycle thinking* en inglés) dentro de una organización implica: integrar las perspectivas de ciclo de vida en la estrategia general, la planificación y los procesos de la organización; y tener en cuenta las consideraciones ambientales, sociales y económicas (Toniolo, y otros 2020). Esto conlleva que una organización centrada en el ciclo de vida piensa más allá de la componente puramente económica (D. C. Pigosso, y otros 2010). Esta perspectiva conlleva tener una visión mucho más amplia del producto. Al contemplar el ciclo de vida de todo el producto (desde *cradle to grave* o desde *cradle to cradle*) se tiene una conciencia, conocimiento y un contacto mayor con toda la cadena, además de conocer el impacto ambiental en cada una de las fases del producto.

Cradle to grave es un modelo configurado desde el sistema industrial, focalizado en un diseño lineal. Esto significa que el ciclo de vida de un producto se basa en la extracción de los recursos, estos se transforman para fabricar los productos que se venderán y una vez finalizada su vida útil, son retirados a algún tipo de “tumba”. Dicha tumba normalmente suele ser o un vertedero o una planta de incineración (McDonought y Braungart, 2002). Según la definición de la ISO 14040 (International Standard Organization, 2006), el LCA se estudia a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto *cradle to grave*, es decir, desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final.

En cambio, el concepto de *cradle to cradle* plantea que todo producto esté pensado desde el origen de sí mismo para que todos sus componentes puedan volver a ser utilizados. Es por ello, que en el concepto de *cradle to cradle* se plantean estrategias que contengan los cierres circulares; de tal forma, que todo material incorporado a un producto puede volver a utilizarse reincorporándolo a la economía.

El LCA es un enfoque de contabilidad y gestión ambiental que considera todos los aspectos del uso de recursos y las emisiones ambientales asociadas en un sistema, ya sea analizado desde *cradle to grave* o desde *cradle to door* (Curran 2008) (Ver Figura 2). La metodología LCA es una de las más utilizadas en el ecodiseño para realizar evaluaciones ambientales de productos y servicios.

El procedimiento del LCA viene definido ampliamente por la norma ISO 14040 (International Standard Organization, 2006). Este procedimiento proporciona información cuantitativa para permitir mejores elecciones que conduzcan a un planeta y una sociedad más sostenible.

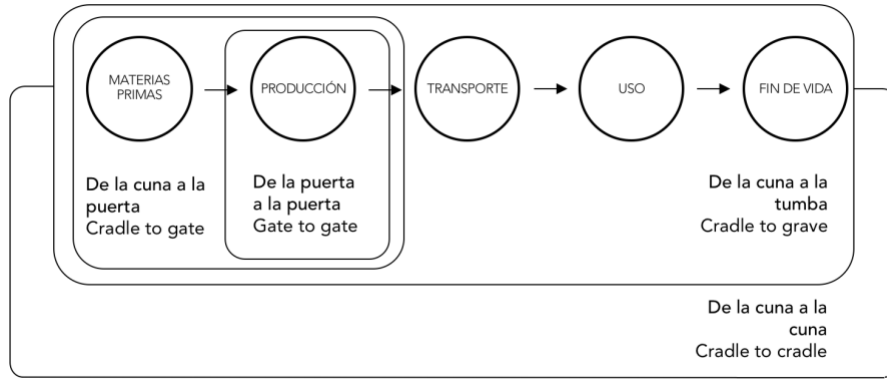


Figura 2: Diferentes límites del sistema y objetivos de alcance de los LCA (elaboración propia).

El LCA modela el ciclo de vida de un producto como su sistema del producto, el cual desempeña una o más funciones definidas. En la Figura 3 se ve el ejemplo de un sistema del producto caracterizado debido a su función.

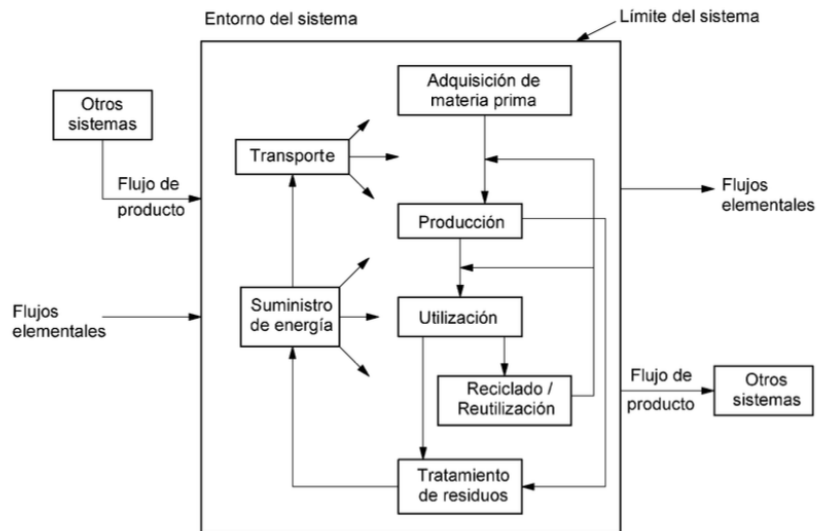


Figura 3: Ejemplo de un sistema del producto para el LCA (International Standard Organization 2006).

A su vez, el sistema de producto está subdividido en un conjunto de procesos unitarios, como se puede observar en la Figura 4.

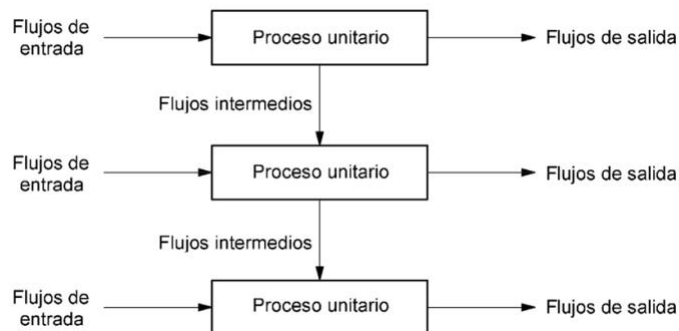


Figura 4: Ejemplo de un conjunto de procesos unitarios dentro de un sistema del producto (International Standard Organization 2006).

Tal como se ha definido, habitualmente el LCA considera el ciclo de vida completo de un producto: extracción de la materia prima, producción de energía y materia, la fabricación, el uso y el tratamiento al final de la vida útil. Eso no quiere decir que no puedan realizarse LCAs más acotados, como puede ser el caso de *gate to gate*, el cual analiza el proceso de fabricación. Hay que tener claro que el LCA trata los aspectos e impactos ambientales de un sistema del producto. Los aspectos e impactos económicos y sociales generalmente están fuera del alcance de los estudios.

A la hora de realizar el estudio, el LCA se basa en el enfoque relativo, estructurado alrededor de una unidad funcional. Esa unidad funcional es la unidad de referencia para todos los análisis subsecuentes. El alcance de un LCA delimita la profundidad de esta, en la cual se debe definir la amplitud, la profundidad y el nivel de detalle del estudio, siendo estos suficientes para alcanzar el objetivo establecido (Roßmann, y otros, 2020). Los puntos que suele incluir el alcance son los siguientes:

- El sistema del producto a estudiar.
- Las funciones del sistema de producto o, en el caso de estudios comparativos, los sistemas.
- La unidad funcional.
- Los límites del sistema.
- Los procedimientos de asignación.
- Las categorías de impacto seleccionadas.
- Requisitos relativos a los datos, suposiciones, limitaciones y requisitos iniciales de la calidad de los datos.

El propósito fundamental de una unidad funcional es proporcionar una referencia a la cual se relacionan las entradas y salidas. Se necesita esta referencia para asegurar que los resultados del LCA son comparables. El carácter comparativo de los resultados de los LCA es particularmente crítico cuando se están evaluando sistemas diferentes, dado que hay que asegurar que estas comparaciones se hacen sobre una base común.

El LCA se realiza definiendo los sistemas de producto como modelos que describen los elementos clave de los sistemas físicos. Los límites del sistema definen los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema. Idealmente, el sistema del producto se debería modelar de tal manera que las entradas y las salidas, en sus límites, sean flujos elementales; a no ser, que dichas entradas y salidas no produzcan cambios significativos en las conclusiones generales del estudio. A la hora de realizar un estudio se deben definir los criterios a utilizar para establecer los límites del sistema. Estos criterios son importantes para el grado de confianza en los resultados y la posibilidad de alcanzar su objetivo.

La calidad de los datos también tiene que ver con el grado de confianza del estudio, estos deben especificar en términos generales, las características de los datos necesarios para el estudio. Asimismo, el tipo de asignación define cómo se distribuyen los flujos de entrada o de salida de un proceso o un sistema de producto entre diferentes sistemas.

Para el desarrollo de las acciones concretas se tomarán como referencia normas internacionales ISO:

- ISO14040:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework
- ISO14044:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines
- ISO14006:2011. Environmental management systems. Guidelines for incorporating ecodesign.

4.2.3.1 Objetivo y alcance del inventario del LCA

A la hora de realizar un LCA es imprescindible definir los impactos ambientales que se vayan a analizar junto con la calidad de los datos con la que se va a trabajar.

4.2.3.1.1 Requisitos de calidad de los datos

El cálculo de LCA requiere principalmente dos tipos diferentes de datos:

- Datos relacionados con los aspectos ambientales del sistema, esto es, materiales o flujos de energía que ingresan en el sistema de producción. Este dato los proporciona el fabricante del producto a estudio.
- Datos relacionados con los impactos del ciclo de vida de los flujos de los materiales o energía que ingresan en el sistema de producción. Este dato suele ser de una base de datos de carácter oficial y contrastados, como puede ser Ecoinvent.

En la medida de lo posible los datos relacionados con los aspectos ambientales serán datos específicos. Los datos específicos son aquellos datos recopilados en la planta de fabricación donde se construye el producto y datos de otras partes del ciclo de vida rastreados hasta el sistema de producto.

En caso de no tener acceso a algún dato específico se utilizarán datos genéricos seleccionados, es decir, datos de fuentes de datos o bases de datos que cumplen las características prescritas del componente. Para parametrizar el LCI se ha utilizado la base de datos “Ecoinvent 3.6. en formato Cut Off”.

4.2.3.1.2 Impactos ambientales

Los indicadores de impacto ambiental seleccionados deben representar diversos aspectos ambientales para obtener así una perspectiva completa del impacto generado por el producto (Ver Figura 5). Estos indicadores abarcan una variedad de categorías ambientales, que permiten evaluar de manera integral los efectos del producto sobre el entorno. Al seleccionar los indicadores, se debe considerar la inclusión de múltiples categorías para cubrir diferentes aspectos del impacto ambiental, tales como el agotamiento de recursos, la contaminación del aire y del agua, y los efectos sobre la biodiversidad.

En este caso, para el factor de caracterización de los impactos se ha seleccionado el método de evaluación de impacto “CML-IA baseline”. Este método es reconocido por su robustez y su capacidad para proporcionar una evaluación detallada de los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto. El método “CML-IA baseline” incluye diversas categorías de impacto, cada una con su correspondiente unidad de referencia, lo que permite cuantificar de manera precisa los distintos tipos de impacto ambiental.

La selección de indicadores de impacto ambiental y el uso del método CML-IA baseline permiten realizar una evaluación exhaustiva y precisa de los efectos ambientales de un producto. La inclusión de diversas categorías ambientales asegura que se cubran todos los aspectos relevantes, proporcionando una perspectiva completa del impacto generado. Esta evaluación integral es fundamental para promover la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental de los productos a lo largo de su ciclo de vida.

Las categorías de impacto de del método “CML-IA baseline” se pueden observar en la Figura 5 con su correspondiente unidad de referencia.

Categoría de Impacto	Impact category	Unida de Referencia
Agotamiento abiótico	Abiotic depletion	kg Sb eq.
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ
Acidificación	Acidification	kg SO ₂ eq.
Eutrofización	Eutrophication	kg PO ₄ ... eq.
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.
Potencial de calentamiento global (GWP 100a)	Global warming potential(GWP100a)	kg CO ₂ eq
Toxicidad humana	Human toxicity	kg 1,4-DB eq.
Ecotoxicidad acuática marino	Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.
Agotamiento de la capa de Ozono (ODP)	Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq.
Oxidación fotoquímica	Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq.
Ecotoxicidad terrestre	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.

Figura 5: Categorías de impacto ambiental utilizados en el estudio.

En las siguientes líneas se realizará una breve explicación de cada una de las categorías de impacto utilizadas por el método de evaluación CML-IA baseline:

AGOTAMIENTO DE RECURSOS ABIÓTICOS: el conjunto de los bienes materiales del ser humano procede de los recursos naturales, es decir, a partir de la materia y la que proporciona el medio ambiente en general. El crecimiento de la población, el aumento del consumo individual o la mala gestión han llevado de forma notable a constatar la evidencia del agotamiento de los recursos naturales. La unidad de referencia se expresa en kg de antimonio equivalente.

AGOTAMIENTO DE RECURSOS ABIÓTICOS (COMBUSTIBLES FÓSILES): este indicador está relacionado con la extracción de minerales y combustibles fósiles, debido a las entradas en el sistema. Los recursos en la categoría de impacto de los combustibles fósiles son combustibles como el petróleo, el gas natural y el carbón, que son todos portadores de energía y se supone que son mutuamente sustituibles. Como consecuencia, el stock de combustibles fósiles está formado por la cantidad total de combustibles fósiles. La unidad de referencia se expresa en Mega julios.

ACIDIFICACIÓN: la acidificación atmosférica se define como la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua. Esto se produce como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. El efecto más común de este impacto es la deforestación en los bosques, por la denominada 'lluvia ácida'. El resultado se expresa en la unidad de kg de SO₂ equivalente.

EUTROFIZACIÓN: el término eutrofización, designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema acuático, el cual se produce por la acumulación de materia orgánica y mineral. Esto produce un incremento del crecimiento de plantas y agotamiento de los niveles de oxígeno. Debido a que los principales nutrientes en los medios terrestre y acuático son N y P, el potencial de una sustancia para generar eutrofización se calcula a partir de la cantidad de estos.

CALENTAMIENTO GLOBAL: el calentamiento global, cambio climático o emisión de gases de efecto invernadero se define como el impacto de las emisiones antropogénicas en la absorción de la radiación térmica por la atmósfera terrestre, causando un incremento en la temperatura de la superficie

de la corteza terrestre. Esto se conoce popularmente como ‘efecto invernadero’. La Tierra absorbe la radiación solar. Esta energía es redistribuida por la atmósfera y los océanos y retornada en forma de radiación de infrarrojo térmico. Parte de esta radiación es absorbida por los gases existentes en la atmósfera provocando el calentamiento del planeta y es lo que se conoce con el nombre de efecto invernadero. Estos gases (en buena parte subproductos del consumo de combustibles fósiles) son vapor de agua, CO₂ y otros gases como CH₄, N₂O y CFC (clorofluorocarbonos).

El indicador que sirve para evaluar este impacto se expresará como Impacto del Cambio Climático (a partir de ahora CCI, por sus siglas en inglés de “Climate Change Impact”). Su medida se hará relativa respecto al efecto producido por un kg de CO₂ y se mide en kg de CO₂ equivalente.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático ha compilado una lista de los mejores cálculos estimados provisionales para los PCG con un horizonte temporal de 20, 100 y 500 años, basado en el juicio experto de científicos de todo el planeta. Los PCG sobre 100 años (PCG100) son los más recomendados generalmente.

AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO: las capas altas de la atmósfera (estratosfera) contienen ozono (de fórmula química O₃), que absorbe la mayor parte de las peligrosas radiaciones ultravioletas del sol. La mayoría de los cloruros y bromuros procedentes de CFC y otras fuentes, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares emitiendo cloruros y bromuros activos que, bajo la acción catalizadora de los rayos ultravioleta, causan la descomposición del ozono. Esto puede suponer un aumento del índice de cáncer de piel y puede perjudicar a los sistemas naturales y artificiales. El indicador del agotamiento de ozono se calcula como la suma de los potenciales de agotamiento de ozono. El impacto se expresa en unidades relativas al efecto que produce 1 kg de CFC-11.

OXIDACIÓN FOTOQUÍMICA: la contaminación fotoquímica se produce como consecuencia de la aparición en la atmósfera de oxidantes, originados al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta de los rayos del sol. La formación de los oxidantes se ve favorecida en situaciones estacionarias de altas presiones (anticiclones) asociados a una fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes primarios. Se mide respecto al efecto producido por 1 Kg de etileno, esto es en kg C₂H₄ equivalente.

TOXICIDAD HUMANA, ACUÁTICA Y TERRESTRE: en la categoría de toxicidad se contemplan los efectos sobre los humanos y los ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente. La toxicidad de una sustancia dependerá de la propia sustancia, pero también de la vía de administración o exposición, la dosis, cómo se administra, etc. La toxicidad afecta a las áreas de la salud humana, entorno y recursos naturales. También hay que recalcar que un contaminante no permanece en el medio, en que es emitido, sino que puede desplazarse y alcanzar otros comportamientos que serán a su vez contaminados. La unidad de referencia se expresa en kg de 1,4-diclorobenceno equivalentes.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se detallará los envases a analizar, los límites y la unidad funcional establecidos en cada caso. Se analizarán los impactos ambientales de los envases seleccionados y se realizará una comparativa completa entre los diseños actuales de los envases y las propuestas de ecodiseño planteadas.

5.1 Cálculo de impacto ambiental

A la hora de calcular los impactos ambientales, es necesario definir la unidad funcional y los límites del sistema. A continuación, entraremos en detalle del proceso de LCA de cada envase y sus resultados y el proceso de ecodiseño llevado a cabo.

5.1.1 Bolsa de pan

En este apartado, detallaremos el producto a analizar, la bolsa de pan, especificando la unidad funcional utilizada y los límites del sistema establecidos. Se presentarán los resultados del análisis de ciclo de vida (LCA) del diseño actual y las propuestas de ecodiseño realizadas. Esto permitirá comparar los resultados y evaluar la viabilidad ambiental de cada propuesta.

5.1.1.1 Descripción del envase y embalaje

La bolsa de pan analizada en este trabajo combina papel Kraft y una ventana de plástico BOPP (polipropileno biorientado). Este envase está diseñado para proporcionar protección adecuada al pan, permitir su visibilidad parcial, y ser atractivo para los consumidores.

Los materiales utilizados en la fabricación son los siguientes:

Envase primario: bolsa de pan.

- Papel Kraft:
 - Gramaje: 32 g/m²
 - Peso total: 3,917 gramos
- Plástico BOPP:
 - Espesor: 15 micras (0.015 mm)
 - Peso total: 1,722 gramos

Envase secundario: caja de cartón.

- Cartón:
 - Peso total: 500 gramos

Embalaje: Film de embalaje y palet europeo.

- Film de polietileno de baja densidad (LDPE)
 - Peso: 200 gramos
- Palet europeo de madera
 - Peso: 25 kilogramos

Los aspectos más importantes de funcionalidad del diseño, protección del producto, atractivo visual, ventilación y frescura.

- **Protección del Producto:**
 - El papel Kraft proporciona una barrera física eficaz contra impactos y abrasiones.
 - El BOPP ofrece una excelente barrera contra la humedad, manteniendo el pan fresco por más tiempo.
- **Atractivo Visual:**
 - La combinación de papel Kraft y BOPP ofrece un aspecto visualmente atractivo que puede diferenciar el producto en el mercado.
 - La ventana transparente permite a los consumidores ver el producto, lo cual es un factor decisivo en la compra de alimentos frescos como el pan.
- **Funcionalidad:**
 - El diseño del envase facilita la manipulación y apertura por parte del consumidor.
 - La ventana de BOPP no compromete la integridad estructural del envase gracias a su combinación con el papel Kraft.
- **Ventilación y Frescura:**
 - El papel Kraft permite cierta transpiración, esencial para evitar la acumulación de humedad que puede hacer que el pan se ponga blando o desarrolle moho.

A continuación, se detallan las varias limitaciones y problemas del envase y embalaje:

- **Impacto Ambiental**
 - Dificultades en el reciclaje: La combinación de papel Kraft y BOPP en un solo envase puede complicar el proceso de reciclaje. A menudo, los materiales compuestos requieren ser separados antes de ser reciclados, lo cual no siempre es práctico o posible en las instalaciones de reciclaje convencionales.
- **Percepción del Consumidor**
 - Imagen de marca: Los consumidores cada vez más prefieren envases completamente sostenibles. La inclusión de BOPP podría afectar negativamente la percepción de la marca entre consumidores conscientes del medio ambiente.
- **Problemas durabilidad**
 - Vida útil del envase: La combinación de materiales puede no ser suficiente para extender significativamente la vida útil del envase de la bolsa de pan y poder reutilizarlo.
- **Desventajas Operativas**
 - Complejidad en la fabricación: Integrar una ventana de BOPP en un envase de papel Kraft requiere procesos de fabricación adicionales y precisos, lo que puede aumentar el costo y la complejidad de producción.
- **Regulaciones y Cumplimiento**
 - Normativas de envases: Las regulaciones crecientes sobre el uso de plásticos y la necesidad de etiquetado claro de los materiales pueden restringir el uso de BOPP en envases. Además, las empresas pueden enfrentar desafíos para cumplir con normativas que promueven envases totalmente reciclables o compostables.
 - Etiquetado de reciclabilidad: Los envases compuestos a menudo requieren un etiquetado específico para instruir a los consumidores sobre la forma correcta de deshacerse del producto, lo que puede ser confuso y llevar a prácticas de reciclaje incorrectas.

5.1.1.2 Unidad funcional

La unidad funcional para el producto seleccionado es una caja de cartón que contiene 1000 bolsas de pan, junto con la parte proporcional del peso del palet y el film para embalaje necesario (en cada palet se mandan 12 cajas).

La unidad funcional equivale a:

- 1.722 kg de BOPP
- 3.917 kg de papel Kraft
- 500 gr de la caja de cartón
- 2.1 kg del palet
- 0.02 gr del film

5.1.1.3 Límites del sistema

Este primer apartado se delimita con un sistema cradle to grave. El ciclo de vida a estudiar se delimita en seis etapas:

- Materia Prima y Producción (Materias primas).
- Transporte al fabricante (Transporte Fabrica).
- Embalaje del envase (Embalaje).
- Transporte al centro de distribución del retailer (Transporte Retailer).
- Transporte a tiendas (Transporte Tiendas).
- Fin de vida del envase y embalaje (EoL).

Las consideraciones para la etapa de materia prima y producción son las siguientes:

- Los materiales y la producción se analizarán desde el punto de procedencia del proveedor.
- El transporte de los componentes al punto de fabricación.
- Residuos generados durante la fabricación.
- Impactos asociados al uso de electricidad y combustibles en la fabricación.

La consideración de la etapa de transporte al fabricante es la siguiente:

- Transporte desde el punto de proveedor hasta la fábrica del fabricante.
 - Para el caso de BOPP, transporte de 950 kilómetros
 - Para el caso del papel Kraft, transporte de 530 kilómetros
- Transporte en camión de >32 t, EURO 6

La consideración de la etapa de embalaje del envase es la siguiente:

- Se añaden los embalajes de caja de cartón, filme de paletización y palet europeo para el transporte de las bolsas de pan.
- Los materiales y la producción de los embalajes utilizados se analizarán desde el punto de procedencia del proveedor.

La consideración de la etapa de transporte desde fabricante a centro de distribución del retailer es la siguiente:

- Transporte desde la fábrica del fabricante hasta un punto medio de los centros de distribución.
 - Transporte de 795 kilómetros
- Transporte en camión de >32 t, EURO 6

La consideración de la etapa de transporte desde centro de distribución del retailer a las tiendas es la siguiente:

- Transporte desde el punto de proveedor hasta un punto medio de las tiendas de venta.
 - Transporte de 80 kilómetros
- Transporte en camión de 7.5-16 t, EURO 6

Finalmente, para la etapa de fin de vida del envase y embalaje se contempla la siguiente consideración:

- Los procesos de fin de vida útil de cualquier parte desperdiciada del producto y del embalaje.
- Transporte hasta las plantas de reciclado (100 kilómetros).
- Tasa de reciclajes de Euskadi:
 - BOPP y film → 25,4%
 - Papel Kraft → 78,4%
 - Caja de cartón → 98,52%
 - Palet de madera → 97,64%

5.1.1.4 Impactos ambientales

Como ya se ha dicho, el límite del sistema y las fases que se van a tener en cuenta en este estudio son: materia prima y producción, transporte a fabricante, embalaje del envase, transporte a centro de distribución del retailer, transporte a tiendas y fin de vida.

Para obtener los datos del LCI se ha partido de la información proporcionada por la empresa y sus proveedores, donde se ha analizado la procedencia de los materiales y la distancia hasta la planta.

Para el caso del transporte a tiendas, partimos de la información proporcionada por la empresa sobre sus puntos de venta y la logística de distribución empleada.

Finalmente, en el escenario de fin de vida se han diferenciado los productos reciclables, sobre aquellos que no lo son y acaban o en vertederos y en plantas de incineración. A falta de tener datos concretos de los productos no reciclados, se parte de la base de datos de Ecoinvent.

El desglose de todo el LCI se puede ver en el ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA. En este apartado se analizarán directamente los resultados del impacto ambiental para la bolsa de pan actual.

En el programa Open LCA se ha generado una estructura acorde a las necesidades de cálculo. Una vez introducidos todos los datos en el Open LCA se han obtenido los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan actual (Véase Tabla 1)

En el análisis de los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan, se puede observar claramente en la Tabla 1 y en las Figura 6 y Figura 7 que la fase de origen y fabricación de las materias primas es la que mayor impacto genera, representando el 49,6% del impacto total. Esta fase incluye la producción de papel Kraft y polipropileno (PP), cuyos procesos de manufactura son altamente demandantes en términos de recursos y emisiones, lo que contribuye significativamente al impacto global.

La producción de papel Kraft requiere grandes cantidades de madera, agua y energía, ya que estos procesos incluyen la extracción de la madera, su procesamiento químico para convertirla en pulpa de papel, y el secado y prensado de la pulpa para formar el papel. Durante estos procesos, se generan emisiones significativas de CO₂ y otros gases contaminantes debido al uso intensivo de energía, especialmente si esta proviene de fuentes no renovables. Por su parte, la producción de polipropileno es un proceso petroquímico que involucra el uso de petróleo y gas natural como materias primas.

Además, la fase de fin de vida de la bolsa también contribuye de manera considerable, con un 31,9% del impacto total. Esta etapa comprende la gestión de residuos y el tratamiento del PP, que implica procesos como el reciclaje, la incineración y la disposición final en vertederos. La combinación de estas dos fases, origen y fabricación de materias primas y fin de vida acumula un 81,5% de los impactos totales generados por la bolsa de pan.

El alto impacto asociado a estas fases se debe principalmente a los procesos intensivos en energía y recursos involucrados en la producción de materiales como el papel Kraft y el PP, así como a los desafíos ambientales relacionados con la gestión de residuos del PP al final de su vida útil. Por lo tanto, estos procesos determinan en gran medida el resultado final del LCA, destacando la necesidad de considerar mejoras en estas áreas para reducir el impacto ambiental global de la bolsa de pan.

Los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan actual se pueden observar en la Tabla 1 (Véase tabla ampliada en Tabla 16 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 1: Impactos ambientales de la bolsa de pan con el diseño actual.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Fabricación materias primas	Transporte fábrica	Embalaje	Transporte retailer	Transporte tiendas	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	6,96E-08	3,65E-10	1,08E-08	6,62E-10	2,38E-10	5,86E-10
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	152,68	5,15	32,62	9,34	2,11	20,00
Acidificación	kg SO2 eq	2,89E-02	8,44E-04	7,33E-03	1,53E-03	3,44E-04	7,21E-03
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,40E-02	1,83E-04	3,24E-03	3,33E-04	7,97E-05	2,30E-02
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	2,75	0,05	1,22	0,08	0,03	9,66
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	6,27	0,32	1,74	0,58	0,14	6,81
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	3,66	0,16	1,61	0,29	0,06	4,25
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	5702,40	100,41	4052,15	182,20	52,34	11135,54
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	4,48E-07	6,33E-08	1,43E-07	1,15E-07	2,57E-08	2,52E-07
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	1,75E-03	4,02E-05	7,32E-04	7,29E-05	1,81E-05	1,31E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5,66E-02	5,19E-04	5,13E-03	9,41E-04	2,14E-04	2,72E-03

En la siguiente Figura 6 podemos observar el porcentaje de los impactos ambientales para poder comprender el peso de cada uno de los impactos en cada fase analizado de la bolsa de pan actual (Véase gráfica ampliada en Figura 30 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

Porcentaje de Impacto de las fases de la bolsa de pan actual

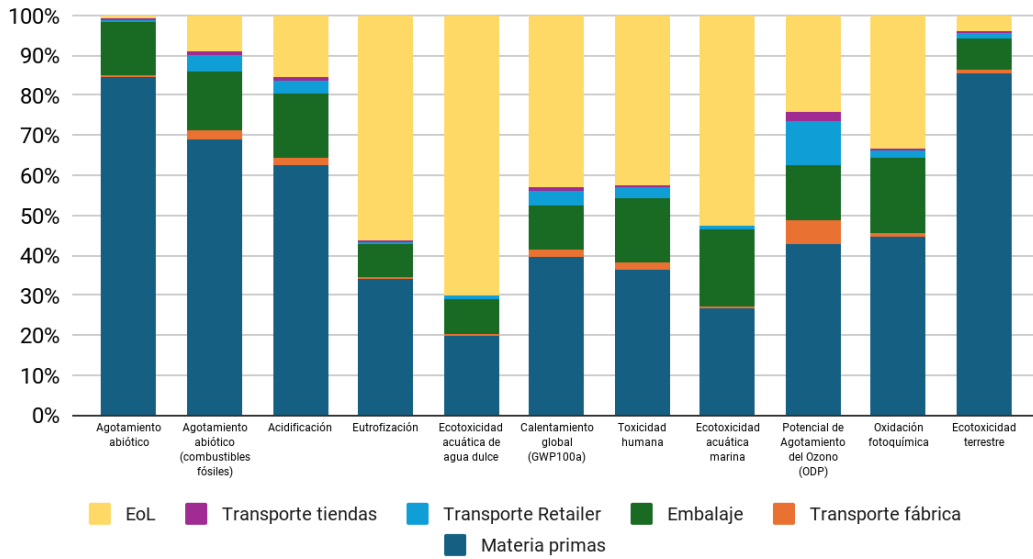


Figura 6: Gráfica de los porcentajes de las fases sobre el impacto ambiental de la bolsa de pan actual.

En esta Figura 7 podemos observar el porcentaje medio de cada una de las fases en el impacto ambiental total de la bolsa de pan actual.

Porcentaje medio del impacto por fase del LCA de la bolsa de pan actual

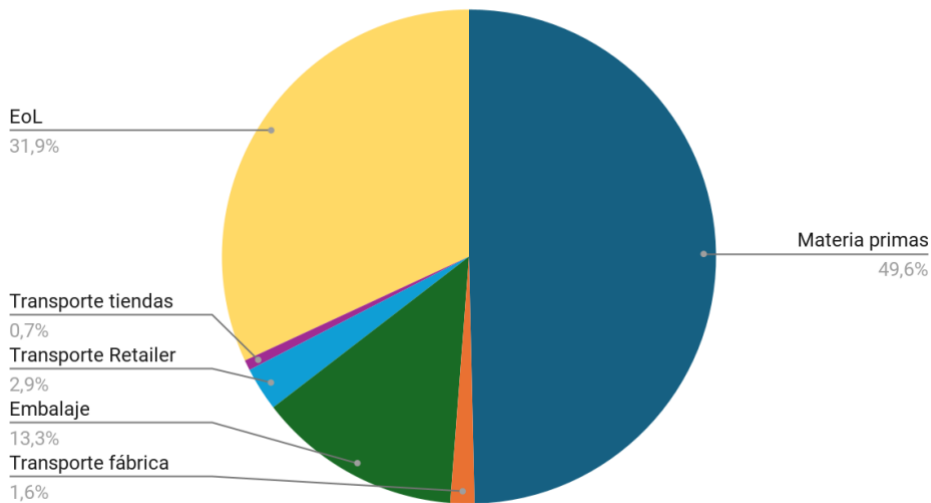


Figura 7: Gráfica de los porcentajes medios de las fases del impacto ambiental de la bolsa de pan actual.

En la siguiente Figura 8 se muestra el peso que tiene la fabricación del papel Kraft respecto a la ventana de BOPP, donde la fabricación del papel Kraft representa el 64,8% de los impactos de la fase de origen y fabricación. Aun así, hay que tener en cuenta que el peso de papel Kraft que se utiliza representa casi el 70% del peso de la bolsa de pan. Por lo que la ventana de BOPP, siendo solamente el 30% del peso, tiene un impacto considerable.

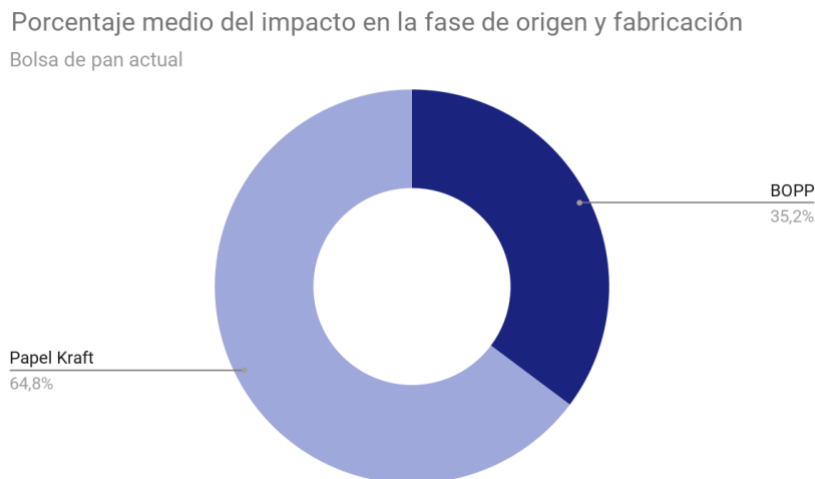


Figura 8: Gráfica de los porcentajes medios del impacto ambiental en la fase de origen y fabricación de la bolsa de pan actual.

En la Figura 9 se observa el caso del fin de vida, la bolsa de pan representa el 80,6% de los impactos de la fase de fin de vida, donde el proceso de vertedero o incineración representa el 63,2%. Se observa cómo se distribuye el impacto de la fase de fin de vida por tipo de envase y su proceso, donde REC hace referencia al proceso de reciclado y el otro al proceso de vertedero o incineración.

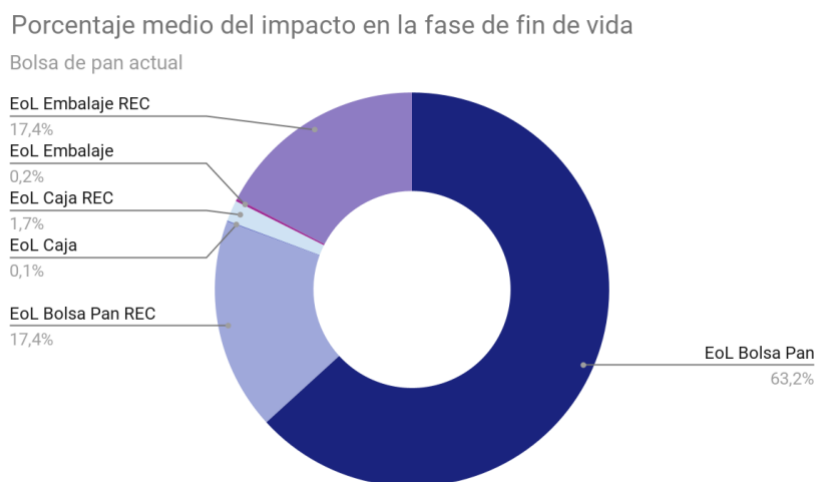


Figura 9: Gráfica de los porcentajes medios del impacto ambiental en la fase de fin de vida de la bolsa de pan actual.

5.1.1.5 Impactos ambientales del ecodiseño

Para el estudio comparativo del envase ecodiseñado, se han propuesto tres mejoras de ecodiseño que la empresa tiene en fase de desarrollo o están analizando su implementación.

5.1.1.5.1 Mejora ecodiseño 01

La mejora en ecodiseño que se ha analizado se centra en la fabricación de la ventana del envase utilizando material de papel en lugar de BOPP (polipropileno biorientado). Este cambio no solo permite que el pan sea visible para los consumidores, sino que también simplifica significativamente el proceso de reciclado al ser un envase monomaterial.

Para lograr la transparencia necesaria, se ha optado por usar papel Kraft blanco con un gramaje menor. Este papel más delgado mantiene la funcionalidad de la ventana, permitiendo a los consumidores ver el producto y evaluar su frescura, sin comprometer la visibilidad.

En el análisis de los resultados de la mejora de ecodiseño 01, en la Tabla 2 y Figura 10 se puede observar que la implementación del ecodiseño ha resultado en una reducción total del 18,85% en los impactos ambientales. Este logro se ha obtenido principalmente al eliminar la ventana de BOPP (polipropileno biorientado) y sustituirla por una ventana de papel Kraft. Este cambio ha tenido un efecto positivo en todos los indicadores ambientales considerados.

La eliminación de la ventana de BOPP contribuye a la reducción de los impactos generados tanto en la fase de producción y origen de la bolsa de pan como en su fin de vida. Dado que estas dos fases representan el 80,6% del impacto ambiental total, la sustitución del BOPP por papel Kraft resulta en una mejora significativa en los indicadores de ecotoxicidad acuática de agua dulce, agotamiento abiótico (combustibles fósiles), toxicidad humana y ecotoxicidad acuática marina. Este cambio destaca la importancia de materiales más sostenibles en el diseño de productos para minimizar su huella ambiental.

Sin embargo, es importante mencionar que el aumento de la cantidad de papel Kraft también tiene sus propias implicaciones ambientales. Específicamente, se observa un aumento en el impacto del Potencial de agotamiento del Ozono, debido a que el proceso de fabricación del papel Kraft contribuye con un 53,1% a este indicador. Asimismo, la ecotoxicidad terrestre se ve afectada, con un 84,19% del impacto asociado también al proceso de fabricación del papel Kraft.

Los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan con el ecodiseño 01 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 18 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 2: Impacto ambiental de la bolsa de pan con el ecodiseño 01

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	ECO1	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	8,23E-08	8,04E-08	2,26%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	221,90	139,70	37,05%
Acidificación	kg SO2 eq	4,62E-02	4,78E-02	-3,52%
Eutrofización	kg PO4--- eq	4,08E-02	2,93E-02	28,15%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	13,79	4,90	64,47%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	15,87	12,15	23,44%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	10,04	6,40	36,29%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	21225,05	12973,61	38,88%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,05E-06	1,35E-06	-29,02%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	3,92E-03	3,36E-03	14,35%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	6,61E-02	6,94E-02	-5,03%
Reducción total				18,85%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la siguiente Figura 10 (Véase gráfica ampliada en Figura 31 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

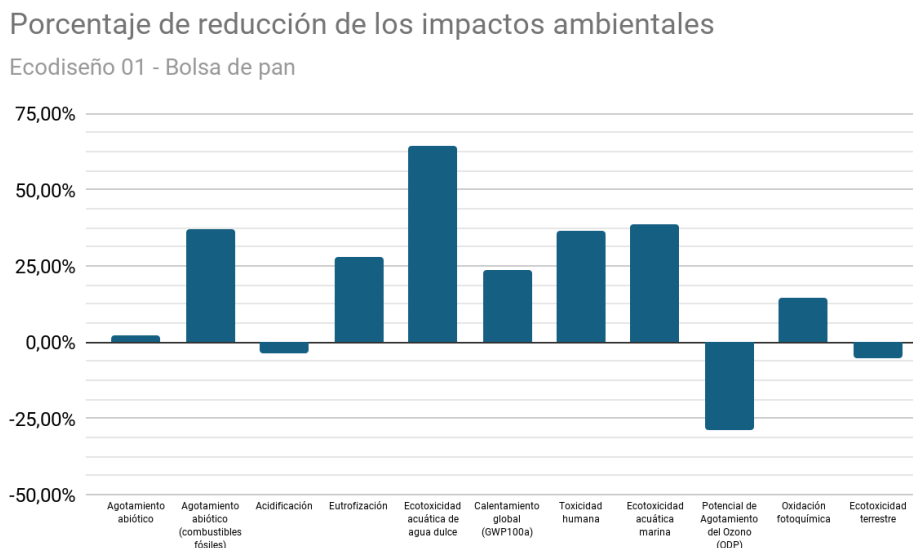


Figura 10: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 01 de la bolsa de pan frente al diseño actual.

5.1.1.5.2 Mejora ecodiseño 02

La mejora en ecodiseño que se ha analizado se centra en fabricar la bolsa de pan utilizando papel Kraft reciclado para la parte de papel del envase.

Para el estudio se ha basado en el estudio realizado por la consultora Partners for Innovation donde realizan el estudio “LCA QUICK-SCAN FLOWER AND PLANT SLEEVES” para realizar una comparativa de conos de flores fabricados en diferentes materiales, entre ellos papel Kraft y papel Kraft reciclado. En el estudio, para el análisis del caso de papel Kraft reciclado utilizan el proceso de papel gráfico 100% reciclado, por lo que nos encontramos en la misma tesitura en este caso.

Analizando los resultados del ecodiseño 02, presentados en la Los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan con el ecodiseño 02 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 19 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 3 y Figura 11, se observa una reducción total del 5,03% en los impactos ambientales. Este ecodiseño destaca por una mejora sustancial en los indicadores de ecotoxicidad terrestre y agotamiento abiótico. Sin embargo, se registra un aumento notable en los indicadores de calentamiento global y ecotoxicidad acuática.

A pesar de estos incrementos, al promediar cada indicador, se aprecia una reducción significativa en el impacto global. Este resultado sugiere que, en términos generales, el ecodiseño 02 representa un avance positivo, aunque no exento de áreas que requieren mejoras.

Para reforzar el estudio y aportar fiabilidad a los datos obtenidos y contrastar que el uso de fibra reciclada reduce el impacto ambiental del producto, se ha realizado un estudio sobre diversos análisis de ciclo de vida que comparan el uso de fibra virgen y reciclada en diversos productos de papel. En los resultados de los diversos estudios resalta la mejora que se da en los impactos ambientales con el uso de fibra reciclada.

Por lo que, se puede asumir que el resultado de este cálculo está bien encaminado, aunque el porcentaje de reducción total puede que cambie en cuanto se actualice el cálculo con datos actualizados del proceso de producción de papel Kraft reciclado

Los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan con el ecodiseño 02 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 19 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 3: Impacto ambiental de la bolsa de pan con el ecodiseño 02.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	ECO2	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	8,23E-08	6,75E-08	18,00%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	221,90	235,14	-5,96%
Acidificación	kg SO2 eq	4,62E-02	4,80E-02	-4,98%
Eutrofización	kg PO4--- eq	4,08E-02	4,10E-02	0,43%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	13,79	14,07	-1,99%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	15,87	17,31	-9,10%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	10,04	9,94	0,99%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	21225,05	23913,56	-12,67%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,05E-06	9,27E-07	11,45%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	3,92E-03	4,00E-03	4,45%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	6,61E-02	3,00E-02	54,68%
Reducción total				5,03%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 11 (Véase gráfica ampliada en Figura 32 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

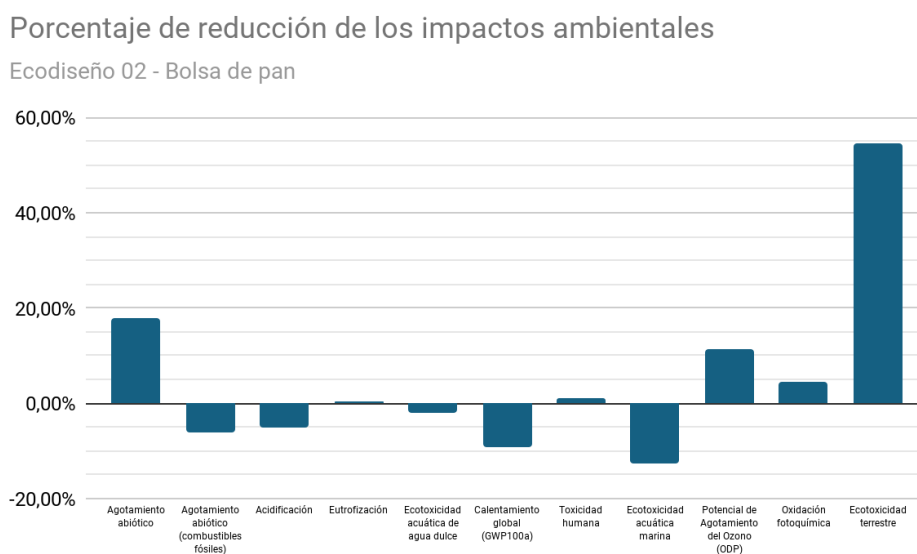


Figura 11: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 02 de la bolsa de pan frente al diseño actual.

Los estudios analizados son los siguientes:

- Partners for Innovation. (2023, February). *LCA quick-scan flower and plant sleeves*. Retrieved from <https://partnersforinnovation.com/wp-content/uploads/2023/05/PFI-RFH-LCA-Flower-and-Plant-Sleeves-2023.pdf>
- Sustana fiber. (). *EnviroLife Life Cycle Assessment*. Retrieved from https://sustanasolutions.com/wp-content/uploads/2023/11/Sustana_Fiber_EnviroLife_Life_Cycle_Assessment.pdf
- German Environment Agency (2022). *Update life-cycle assessment of graphic and tissue paper*. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_123-2022_updated_life-cycle_assessment_of_graphic_and_tissue_paper_-_spotlight_report.pdf
- Masternak-Janus, A., & Rybaczewska-Błażejowska, M. (2015). Life Cycle Analysis of Tissue Paper Manufacturing From Virgin Pulp or Recycled Waste Paper. *Management and Production Engineering Review*, 6. <https://doi.org/10.1515/mper-2015-0025>
- Simamora, J., & Yani, M. (2023). Life cycle assessment of paper products based on recycled and virgin fiber. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9, 89-106. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2023.09.SI.07>
- Holmen. (2022). *Environmental benefits of fresh fibre-based paper production*. Retrieved from https://cdn2.hubspot.net/hubfs/5077682/LCA%20and%20sustainability%20material/en-%20White%20paper_LCA_200206%20Low.pdf

5.1.1.5.3 Mejora ecodiseño 03

La mejora en ecodiseño que se ha analizado incluye añadir indicaciones claras sobre cómo desechar adecuadamente la bolsa de pan. Esta mejora estaría diseñada para educar a los consumidores y aumentar las tasas de reciclaje del envase, contribuyendo a una gestión de residuos más eficiente y sostenible.

Se decide crear dos escenarios de porcentaje de separación de componentes gracias a los indicadores:

1. Optimista: 20% Papel, 20% Envases, 20% Resto, 40% Separado a papel y envase
2. Menos optimista: 25% Papel, 25% Envases, 25% Resto, 25% Separado a papel y envase

Analizando los resultados presentados en la Tabla 4 y Figura 12, la reducción total lograda con este ecodiseño varía entre el 7,08% en el escenario menos optimista y el 8,42% en el escenario más optimista. Cabe destacar que, incluso en el escenario menos optimista, la mejora alcanzada es significativa. La clave de esta reducción radica en la mejora de la reciclabilidad del envase. Dado que la etapa de fin de vida representa un 31,9% del impacto ambiental total, optimizar esta fase resulta en una disminución considerable del impacto global.

Los indicadores que más se benefician de esta mejora son la eutrofización y el calentamiento global, seguidos por la ecotoxicidad acuática marina y de agua dulce. Este efecto positivo se debe al incremento en el reciclado de las ventanas de BOPP. Anteriormente, estas ventanas tenían como destino final el vertedero o la incineración, procesos que generan mayores impactos ambientales. Con la mejora en el diseño, aproximadamente una cuarta parte de las ventanas de BOPP se destinaría al reciclaje, reduciendo así significativamente el impacto ambiental asociado a su fin de vida.

La reducción en los indicadores de eutrofización y calentamiento global se debe principalmente a que el reciclaje del BOPP reduce la cantidad de desechos que se envían a vertederos o se incineran, procesos

que son conocidos por liberar gases de efecto invernadero y otros contaminantes. La incineración, en particular, contribuye significativamente al calentamiento global debido a la liberación de dióxido de carbono y otros gases. Al redirigir una porción considerable del BOPP hacia el reciclaje, se disminuye la necesidad de estos procesos, lo cual se refleja en la reducción de los impactos ambientales.

Los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan con el ecodiseño 03 son los siguientes (Véase tablas ampliadas en Tabla 20 y Tabla 21 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 4: Impacto ambiental de la bolsa de pan con el ecodiseño 03.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	EC03 25%	Reducción	EC03 40%	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	8,23E-08	7,68E-08	6,63%	7,68E-08	6,64%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	221,90	2,01E+02	9,28%	202,00	9,08%
Acidificación	kg SO2 eq	4,62E-02	4,20E-02	9,06%	4,21E-02	8,81%
Eutrofización	kg PO4--- eq	4,08E-02	3,80E-02	6,46%	3,67E-02	9,96%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	13,79	1,32E+01	4,04%	12,90	6,40%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	15,87	1,43E+01	9,60%	13,90	12,71%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	10,04	9,51E+00	5,30%	9,36E+00	6,74%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	21225,05	2,02E+04	4,96%	19.700,00	7,23%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,05E-06	9,54E-07	8,87%	9,60E-07	8,30%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	3,92E-03	3,00E-03	11,95%	3,34E-03	14,81%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	6,61E-02	6,50E-02	1,68%	6,48E-02	1,97%
Reducción total				7,08%		8,42%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 12 (Véase gráfica ampliada en Figura 33 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 03 - Bolsa de pan

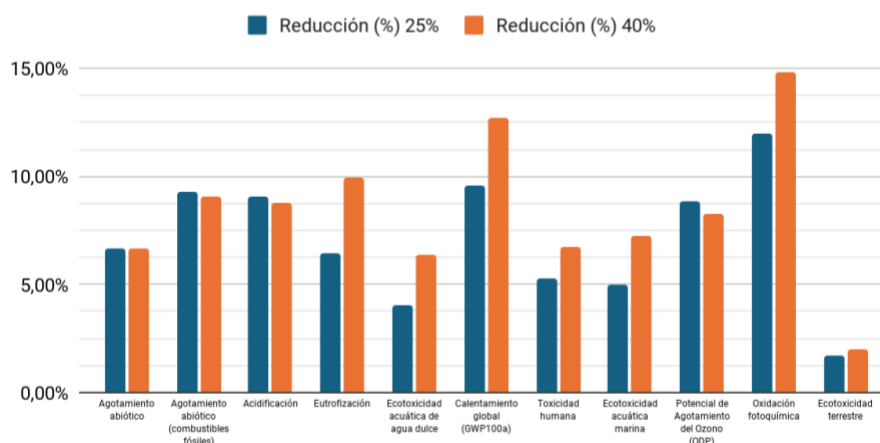


Figura 12: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 03 de la bolsa de pan frente al diseño actual.

5.1.1.6 Comparativa

En este apartado se realiza la comparativa respecto al impacto ambiental entre el diseño actual y las tres mejoras de ecodiseño analizadas. El resultado expuesto es una comparativa porcentual, analizando la reducción/aumento del impacto ambiental del diseño actual respecto a las propuestas de ecodiseño.

Como se puede observar en la Tabla 5 y la Figura 13, la propuesta 01 de ecodiseño sería la que mayores impactos generaría a nivel global. La propuesta 02, por otro lado, presenta una reducción importante en los indicadores de agotamiento abiótico y Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP). Sin embargo, a pesar de las mejoras en algunos indicadores, el indicador de ecotoxicidad terrestre aumenta significativamente, lo que resulta en una reducción prácticamente nula en la media de cada indicador. En cuanto a la propuesta de ecodiseño 03, destaca la significativa reducción que supondría una mejora en el proceso de reciclaje. Los resultados de la comparativa de la reducción del impacto ambiental de la bolsa de pan aplicando los distintos procesos de ecodiseño son los siguientes:

Tabla 5: Comparativa de la reducción del impacto ambiental de la bolsa de pan con distintos ecodiseños.

Impacto ambiental	ECO1	ECO2	ECO3
Agotamiento abiótico	2,26%	18,00%	0,20%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	37,05%	-5,96%	1,79%
Acidificación	-3,52%	-4,98%	3,35%
Eutrofización	28,15%	0,43%	18,53%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	64,47%	-1,99%	11,64%
Calentamiento global (GWP100a)	23,44%	-9,10%	18,40%
Toxicidad humana	36,29%	0,99%	8,02%
Ecotoxicidad acuática marina	38,88%	-12,67%	11,39%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	-29,02%	11,45%	4,69%
Oxidación fotoquímica	14,35%	4,45%	16,12%
Ecotoxicidad terrestre	-5,03%	54,68%	1,71%
Reducción total	18,85%	5,03%	8,71%

La reducción de cada propuesta de ecodiseño frente a la actual se puede observar de manera más clara en la Figura 13.

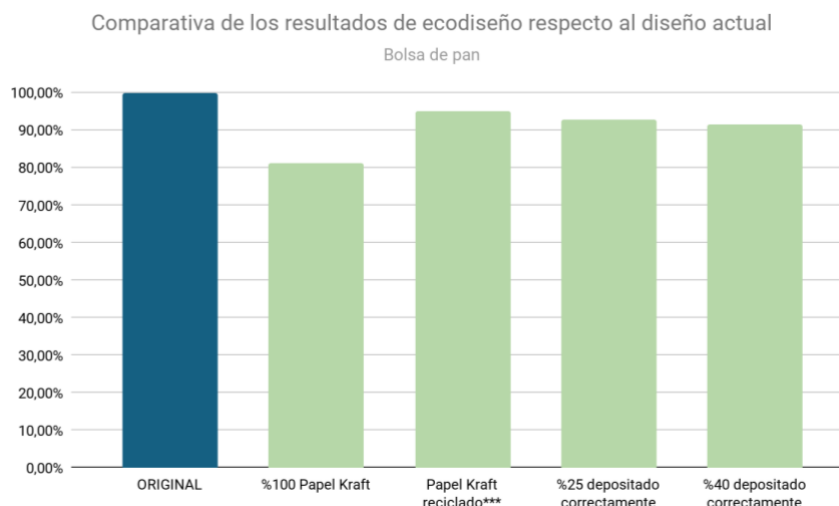


Figura 13: Gráfica del valor medio de las reducciones de los impactos ambientales de los ecodiseños de la bolsa de pan frente al diseño actual.

5.1.2 Envuelta de las chocolatinas

En este apartado, detallaremos el producto a analizar, la envuelta de las chocolatinas, especificando la unidad funcional utilizada y los límites del sistema establecidos. Se presentarán los resultados del análisis de ciclo de vida (LCA) del diseño actual y las propuestas de ecodiseño realizadas. Esto permitirá comparar los resultados y evaluar la viabilidad ambiental de cada propuesta.

5.1.2.1 Descripción del envase y embalaje

El estudio de la envuelta de chocolatina presenta un sistema de empaque diseñado para la comercialización y transporte de chocolatinas hacia Estados Unidos. El sistema utiliza un enfoque de empaque escalonado que incluye envueltas individuales de BOPP, bolsas de papel Kraft blanco con film PPL exterior y cajas de cartón Kraft blanco.

Los materiales utilizados en la fabricación son los siguientes:

Envase primario: Envueltas Individuales de BOPP

- Material: BOPP (polipropileno biorientado)
 - Peso unitario: 0,0026 kilogramos

Envase secundario: Bolsas de Papel Kraft Blanco con Film PPL Exterior

- Cada bolsa puede contener hasta 16 envueltas individuales de chocolatinas.
- Material:
 - Bolsa de papel Kraft blanco
 - Film PPL exterior
 - Peso unitario: 0,0093 kilogramos

Envase terciario: Cajas de Cartón Kraft Blanco

- Cada caja puede contener hasta 14 bolsas de papel Kraft blanco con film PPL exterior.
- Material: Cartón Kraft blanco
 - Peso unitario: 0,0218 kilogramos

Embalaje: Film de embalaje y palet americano

- Film de polietileno de baja densidad (LDPE)
 - Peso: 200 gramos
- Palet americano de madera
 - Peso: 25 kilogramos

El diseño del sistema de empaque descrito tiene varias funcionalidades clave que contribuyen a la protección del producto, la presentación atractiva y la eficiencia logística:

- Protección del Producto:
 - Protección Individual: Las envueltas individuales de BOPP aseguran que cada chocolatina esté protegida de la humedad y el deterioro durante el almacenamiento y transporte. El adhesivo del cierre asegura un cierre seguro y hermético
 - Protección Adicional: El film PPL exterior de las bolsas de papel Kraft y las cajas de cartón brindan una capa adicional de protección contra daños mecánicos y ambientales.

- **Presentación Atractiva:**
 - **Impresión de Textos:** Los detalles del producto, la información nutricional y otros textos se imprimen en el film PPL exterior de las bolsas de papel, proporcionando una presentación clara y atractiva en el punto de venta.
- **Eficiencia Logística:**
 - **Empaque Escalonado:** El sistema de empaque escalonado optimiza el espacio en los contenedores marítimos al agrupar múltiples envueltas en bolsas de papel y múltiples bolsas en cajas de cartón, lo que facilita el manejo y el transporte.
 - **Protección durante el transporte:** Las cajas de cartón protegen las bolsas de papel y su contenido de daños durante el transporte a larga distancia.
 - **Eficiencia logística:** Las cajas de cartón facilitan el manejo y apilamiento en contenedores marítimos para un transporte eficiente y seguro.

Aunque el sistema de empaque descrito ofrece varias ventajas, también puede presentar algunas limitaciones y problemas potenciales:

- **Costo:**
 - **Costo de Materiales:** El uso de materiales de alta calidad como el BOPP, papel Kraft, film PPL y cartón Kraft puede resultar en un costo más alto de producción en comparación con opciones más simples o menos duraderas.
 - **Costo de Transporte:** El diseño escalonado del empaque puede aumentar el costo de transporte debido al mayor volumen y peso total del producto embalado.
- **Sostenibilidad:**
 - **Plástico en el empaque:** Aunque se utiliza en cantidades mínimas, la inclusión de plástico (film PPL) en el empaque puede generar preocupaciones ambientales y afectar la percepción de sostenibilidad del producto.
 - **Reciclaje y Eliminación:** La combinación de varios materiales puede dificultar el proceso de reciclaje y disposición final del empaque, especialmente si no se separan adecuadamente.
- **Logística y Almacenamiento:**
 - **Espacio de Almacenamiento:** El diseño escalonado puede requerir más espacio de almacenamiento en almacenes y estanterías debido a la necesidad de mantener inventarios de múltiples componentes de empaque.
 - **Manipulación y Manejo:** La necesidad de ensamblar y manipular múltiples niveles de empaque durante el proceso de embalaje y transporte puede aumentar la complejidad y el riesgo de errores.
- **Transporte y Manipulación:**
 - **Vulnerabilidad a Condiciones Ambientales:** El papel Kraft y el BOPP pueden ser susceptibles a la humedad y otros factores ambientales, lo que podría comprometer la integridad del empaque y la calidad del producto.
- **Percepción del Consumidor:**
 - **Preocupaciones Ambientales:** Los consumidores cada vez más conscientes del medio ambiente pueden tener reservas sobre el uso de plástico en el empaque, incluso en cantidades mínimas.
- **Regulaciones y Normativas:**
 - **Normativas de Reciclaje y Residuos:** Los requisitos y regulaciones cambiantes en materia de reciclaje y gestión de residuos pueden influir en la viabilidad y aceptación del diseño de empaque, especialmente en regiones con normativas más estrictas.

5.1.2.2 Unidad funcional

La unidad funcional definida para el producto seleccionado es un palé que contiene 132 cajas. Cada caja contiene 14 bolsas, y cada bolsa a su vez alberga 16 envueltas individuales de napolitanas. Todo este conjunto se encuentra cuidadosamente embalado con film dentro del palé.

La unidad funcional equivale a:

- 132 cajas (2,88 kg de cartón)
- 1.848 bolsas (15,37 kg de papel Kraft y 3,09 kg del PP)
- 29.568 envueltas (57,66 kg de BOPP)
- 200 gramos de film
- Un palet americano

5.1.2.3 Límites del sistema

Este primer apartado se delimita con un sistema cradle to grave. El ciclo de vida a estudiar se delimita en seis etapas:

- Materia Prima y Producción.
- Transporte a fábrica.
- Embalaje del producto.
- Transporte a Puerto Bilbao.
- Transporte a Estados Unidos.
- EoL.

Las consideraciones para la etapa de materia prima y producción son las siguientes:

- Los materiales y la producción se analizarán desde el punto de procedencia del proveedor.
- Residuos generados durante la fabricación.
- Impactos asociados al uso de electricidad y combustibles en la fabricación.

La consideración de la etapa de transporte a fábrica es la siguiente:

- Transporte desde el punto de proveedor hasta la fábrica.
- Transporte en camión >30tN.
- Para el caso de la envuelta, transporte de 703 kilómetros.
- Para el caso de la bolsa, transporte de 1625 kilómetros.
- Para el caso de la caja, transporte de 380 kilómetros.

La consideración de la etapa de embalaje del producto es la siguiente:

- Se añaden los embalajes de film de paletización y palet americano.
- Los materiales y la producción de los embalajes utilizados se analizarán desde el punto de procedencia del proveedor.

La consideración de la etapa de transporte desde fábrica a Puerto de Bilbao es la siguiente:

- Transporte en camión >30tN, transporte de 78 kilómetros

La consideración de la etapa de transporte desde Puerto de Bilbao hasta EE. UU. (New York) es la siguiente:

- Transporte en barco mercante, transporte de 5800 kilómetros.

Finalmente, para la etapa de EoL se contempla la siguiente consideración:

- Los procesos de fin de vida útil de cualquier parte desperdiciada del producto y del embalaje.
- Transporte hasta las plantas de reciclado (100 kilómetros).
- Tasa de reciclajes de Estados Unidos:
 - Envueltas → 8,7%
 - Bolsa → 67,9%
 - Caja de cartón → 93,5%
 - Film paletización → 8,7%
 - Palet de madera → 95,0%

5.1.2.4 Impactos ambientales

Como ya se ha dicho, el límite del sistema y las fases que se van a tener en cuenta en este estudio son: materia prima y producción, transporte a fábrica, embalaje del producto, transporte a Puerto de Bilbao, transporte a Estados Unidos y fin de vida.

Para obtener los datos del LCI se ha partido de la información proporcionada por la empresa y sus proveedores, donde se ha analizado la procedencia de los materiales y la distancia hasta la planta.

En el caso del transporte, la empresa nos ha proporcionado información acerca de su logística de transporte para el envase y embalaje analizado.

En este caso no se ha estudiado la fase de venta y uso en Estados Unidos por falta de datos, por lo que desde la fase de transporte pasaremos a la fase de fin de vida.

Finalmente, en el escenario de fin de vida se han diferenciado los productos reciclables, sobre aquellos que no lo son y acaban o en vertederos y en plantas de incineración. A falta de tener datos concretos de los productos no reciclados, se parte de la base de datos de Ecoinvent. En este caso, las tasas de reciclaje se han usado las de Estados Unidos.

El desglose de todo el LCI se puede ver en el ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA. En este apartado se analizarán directamente los resultados del impacto ambiental para la envuelta de chocolatinas actual.

En el programa Open LCA se ha generado una estructura acorde a las necesidades de cálculo. Una vez introducidos todos los datos en el Open LCA se han obtenido los resultados del impacto ambiental de la envuelta con el diseño actual (Véase Tabla 6).

En los resultados representados en la Tabla 6 y Figura 14 y Figura 15 se puede observar claramente que la fase de origen y fabricación es la que mayor impacto genera, representando el 53,8% del impacto total. Esta fase incluye todos los procesos relacionados con la producción de polipropileno (PP), desde la extracción de materias primas hasta la manufactura del material. El alto impacto de esta fase se debe a la intensidad de los procesos industriales involucrados, que requieren grandes cantidades de energía y generan emisiones significativas.

La fase de fin de vida sigue en términos de impacto, con un 36,2% del total. Esta fase abarca el tratamiento de los residuos del PP, que puede incluir la recolección, transporte, reciclaje, incineración y disposición en vertederos.

Los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan actual se pueden observar en la Tabla 6 (Véase tabla ampliada en Tabla 22 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

Tabla 6: Impacto ambiental de la envuelta con el diseño actual.

Indicador ambiental	Unidad ref.	Fabricación	Transporte planta chocolate	Embalaje	Transporte Puerto Bilbao	Transporte EE. UU.	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,30E-06	9,53E-09	3,60E-08	9,30E-10	2,37E-09	5,21E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	6.100,20	115,23	141,12	13,21	83,83	102,71
Acidificación	kg SO ₂ eq	7,36E-01	1,89E-02	4,04E-02	2,16E-03	1,72E-01	5,09E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	2,09E-01	4,10E-03	1,41E-02	4,70E-04	1,92E-02	9,31E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	68,15	1,01	4,42	0,12	0,75	305,20
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	205,06	7,18	8,17	0,82	6,56	67,33
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	96,03	3,61	11,93	0,41	3,03	139,33
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	148.448,91	2.245,55	8.359,65	256,89	1.771,88	318.401,10
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,56E-06	1,42E-06	8,07E-07	1,62E-07	1,05E-06	1,26E-06
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	4,23E-02	8,99E-04	4,07E-03	1,03E-04	4,48E-03	2,28E-02
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,43E-01	1,16E-02	2,59E-02	1,33E-03	1,09E-02	2,37E-01

En la Figura 14 podemos observar el porcentaje de los impactos ambientales para poder comprender el peso de cada uno de los impactos en cada fase analizado de la envuelta actual (Véase gráfica ampliada en Figura 34 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

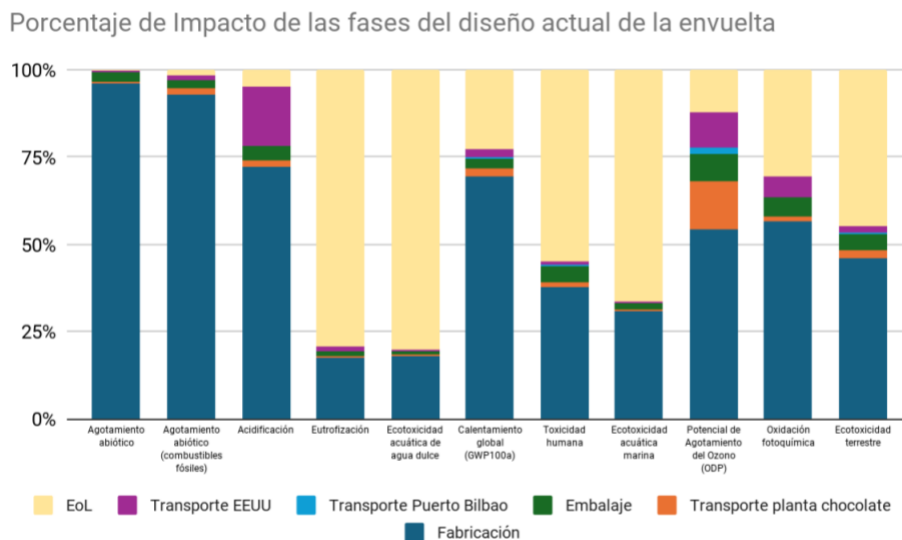


Figura 14: Gráfica de los porcentajes de las fases sobre el impacto ambiental de la envuelta con el diseño actual.

En la Figura 15 podemos observar el porcentaje medio de cada una de las fases en el impacto ambiental total de la envuelta actual.

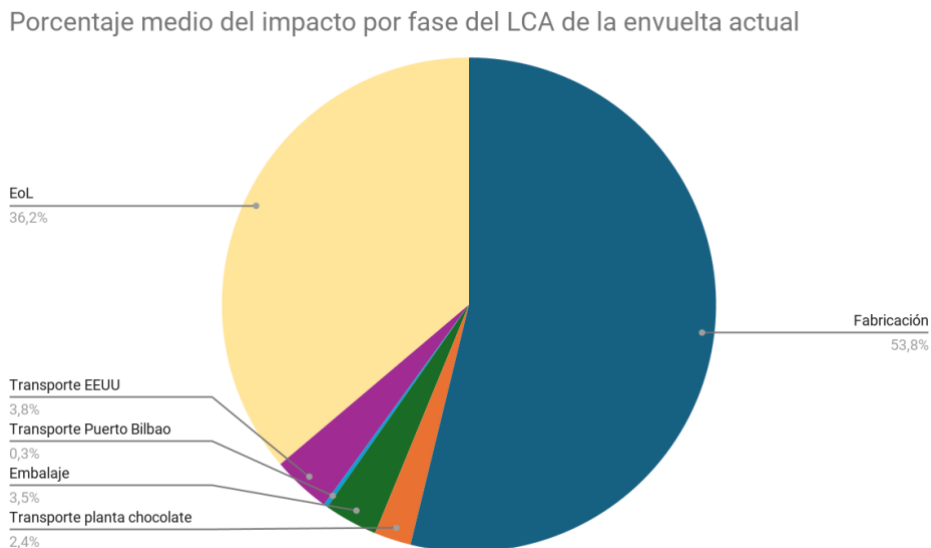


Figura 15: Gráfica de los porcentajes medios de las fases del impacto ambiental de la envuelta con el diseño actual.

En la Figura 16 se muestra el peso que tiene la fabricación de la envuelta respecto a las bolsas y la caja, donde la fabricación de la envuelta representa el 78,4% de los impactos de la fase de origen y fabricación.

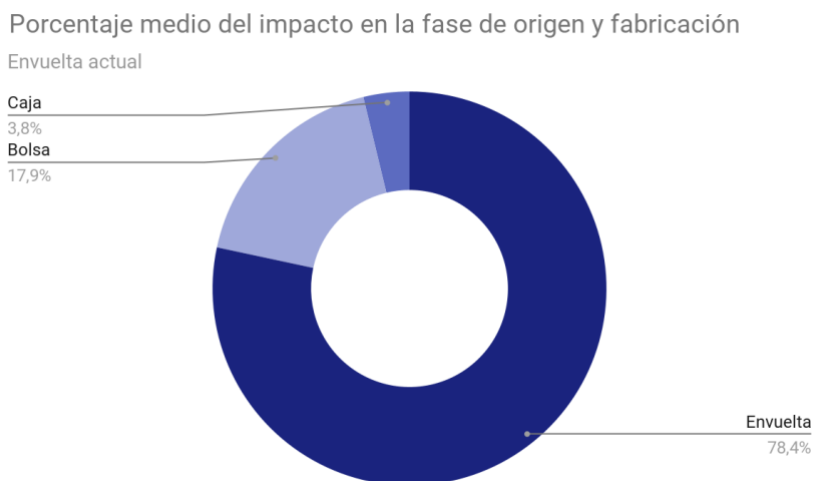


Figura 16: Gráfica de los porcentajes medios del impacto ambiental en la fase de origen y fabricación de la envuelta actual.

Lo mismo en el caso del fin de vida, donde el fin de vida de la envuelta representa el 86,5% de los impactos de la fase de fin de vida. En la Figura 17 se observa cómo se distribuye el impacto de la fase de fin de vida por tipo de envase y su proceso (REC de reciclado y sin nada sería incineración o vertedero).

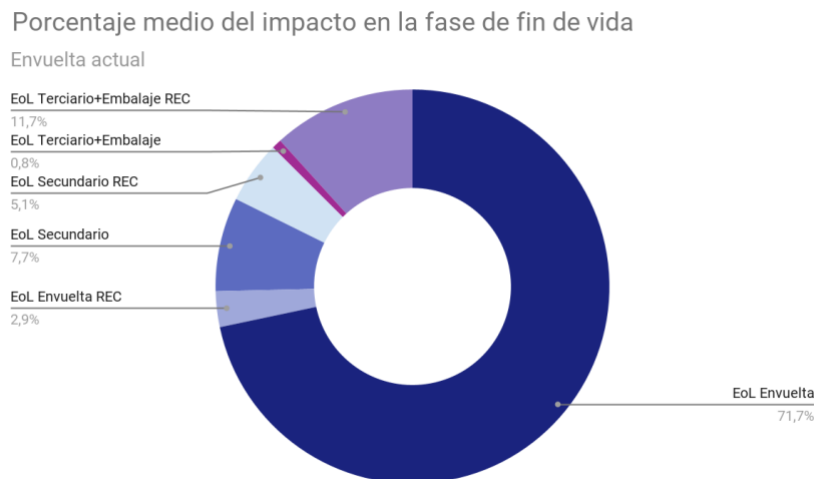


Figura 17: Gráfica de los porcentajes medios del impacto ambiental en la fase de fin de vida de la envuelta actual.

5.1.2.5 Impactos ambientales del ecodiseño

Para el estudio comparativo del envase ecodiseñado, se han propuesto tres mejoras de ecodiseño que la empresa tiene en fase de desarrollo o están analizando su implementación.

5.1.2.5.1 Mejora ecodiseño 01

La mejora en ecodiseño que se ha propuesta se centra en reducir la cantidad de material utilizado en la envoltura del producto, disminuyendo el espesor del material de 40 micras a 30 micras, lo que supone una reducción del 25% en la cantidad de material empleado en la envoltura.

Esta reducción en el espesor del material disminuye la cantidad de recursos necesarios para producir cada unidad de envoltura, lo que resulta en un ahorro de materiales y una reducción del impacto ambiental asociado con la extracción y procesamiento de materias primas.

Además, al utilizar menos material, también se reduce el peso total del envase. Esto puede tener un efecto positivo en la logística y el transporte, ya que envases más ligeros requieren menos energía para su transporte. La reducción del espesor del material también implica menos residuos al final de la vida útil del envase.

En el análisis de los resultados de la mejora de ecodiseño 01, en la Tabla 7 y Figura 18 se observa una reducción total del 21,46% en el impacto ambiental. Esta notable reducción se debe a la disminución de la cantidad de polipropileno (PP) utilizado en la fabricación de la envuelta. Al reducir la cantidad del PP, se mejora significativamente todos los indicadores ambientales evaluados.

La disminución en el uso del PP tiene un efecto positivo tanto en la fase de producción y origen de la envuelta como en su fase de fin de vida. Estas dos fases representan el 70% del impacto total, por lo que cualquier mejora relacionada con la reducción del PP tendrá un impacto directo en el perfil ambiental del producto.

Específicamente, la mejora en los indicadores ambientales se manifiesta en la reducción de la eutrofización, disminución del calentamiento global y mejora en la ecotoxicidad acuática y terrestre.

Menos PP en vertederos o incinerado significa menos sustancias tóxicas filtradas al suelo y al agua, lo que mejora la salud de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Los resultados del impacto ambiental de la envuelta con el ecodiseño 01 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 24 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 7: Impacto ambiental de la envuelta con el ecodiseño 01.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	ECO1	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,36E-06	1,07E-06	21,45%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	6576,54	5110,61	22,29%
Acidificación	kg SO2 eq	1,03	0,83	19,47%
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,18	0,91	23,14%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	379,72	283,14	25,43%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	296,60	236,29	20,33%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	254,65	196,81	22,71%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	479644,88	366982,90	23,49%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,05E-05	8,83E-06	16,04%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	7,48E-02	6,02E-02	19,55%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5,30E-01	4,40E-01	17,03%
Reducción total				20,99%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 18 (Véase gráfica ampliada en Figura 35 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

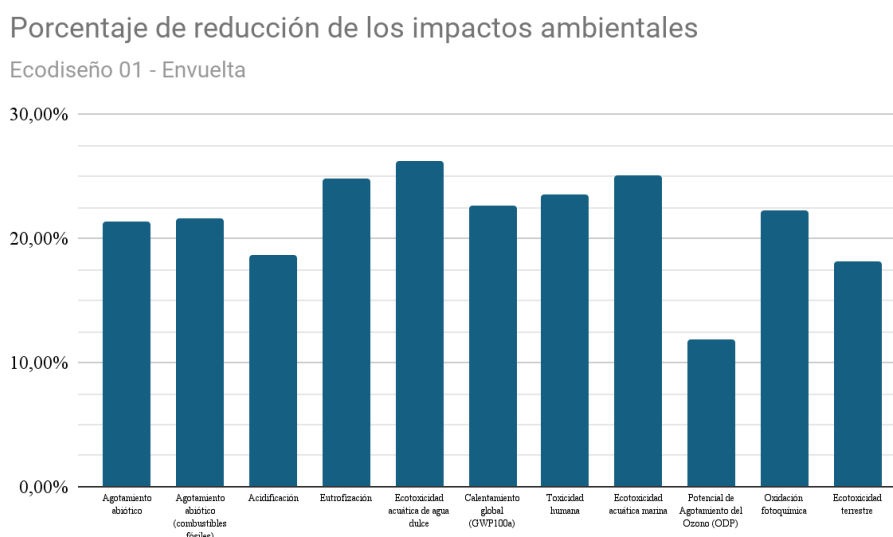


Figura 18: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 01 de la envuelta frente al diseño actual.

5.1.2.5.2 Mejora ecodiseño 02

La mejora en ecodiseño que se ha implementado se centra en dos aspectos clave: la creación de una bolsa monomaterial de papel Kraft y la reducción del 10% en la cantidad de material utilizado para su fabricación.

El uso de un único material, en este caso, papel Kraft, simplifica significativamente el proceso de reciclaje. Las bolsas monomateriales son más fáciles de reciclar porque no requieren la separación de diferentes tipos de materiales, lo que reduce la complejidad del reciclaje y aumenta la eficiencia del proceso.

En los resultados mostrados en la Tabla 8 y Figura 19, se observa una mejora en el ecodiseño, donde una reducción del 10% en la cantidad de material utilizado no solo reduce la demanda de recursos naturales necesarios para la producción de las bolsas, sino que también disminuye la cantidad de residuos generados. Esta reducción también tiene un impacto positivo en la logística y el transporte, ya que las bolsas más ligeras requieren menos energía para su transporte.

La reducción total obtenida con este ecodiseño es del 2,26%. Las mayores reducciones se observan en los indicadores de calentamiento global y oxidación fotoquímica, con un 4,89% y 4,65% respectivamente. Sin embargo, se registra un aumento del 1,65% en el indicador del Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP).

La mejora de ecodiseño planteada afecta directamente las fases de producción de la bolsa y su fin de vida, aumentando la cantidad de papel Kraft utilizado y eliminando el uso del PP. Estas dos fases representan el 13% del impacto total. El aumento en el indicador de ODP se debe a que la fabricación del papel Kraft genera el 21% de los impactos de ODP, por lo que al aumentar la cantidad de papel se generan mayores impactos en este indicador.

En cuanto a la reducción de los demás indicadores, la utilización de una bolsa monomaterial sin PP contribuye a la disminución de impactos producidos por la fabricación del PP y su fin de vida. No obstante, la cantidad del PP utilizada en la bolsa original era muy pequeña, lo que explica por qué la reducción global en el impacto ambiental no es más significativa.

Los resultados del impacto ambiental de la envuelta con el ecodiseño 02 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 25 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 8: Impacto ambiental de la envuelta con el ecodiseño 02.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	ECO2	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,36E-06	1,32E-06	2,96%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	6576,54	6349,19	3,46%
Acidificación	kg SO2 eq	1,03	1,00	2,62%
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,18	1,15	2,18%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	379,72	375,73	1,05%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	296,60	280,69	5,36%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	254,65	249,50	2,02%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	479644,88	468457,84	2,33%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,05E-05	1,04E-05	0,84%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	7,48E-02	7,11E-02	4,94%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5,30E-01	5,21E-01	1,67%
Reducción total				2,67%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 19 (Véase gráfica ampliada en Figura 36 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

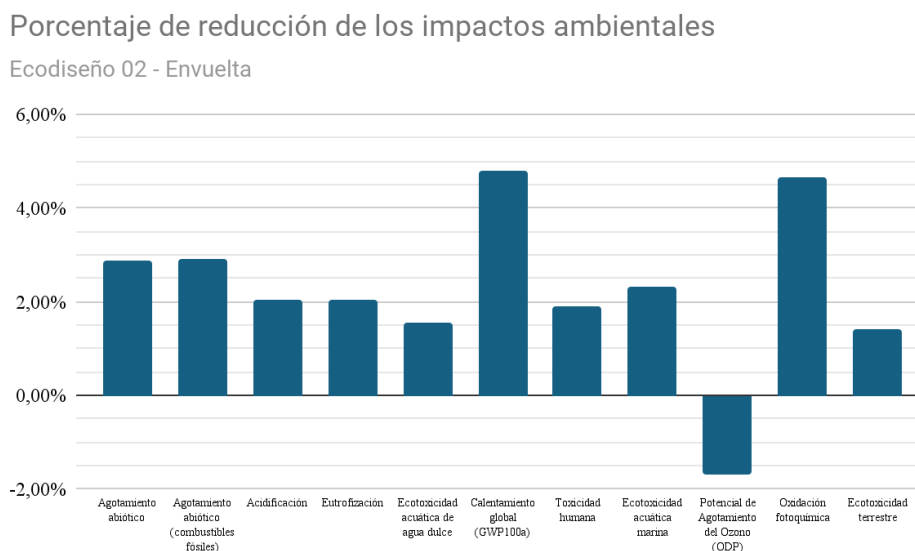


Figura 19: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 02 de la envuelta frente al diseño actual.

5.1.2.5.3 Mejora ecodiseño 03

La mejora en ecodiseño que se ha implementado se centra en aumentar la cantidad de bolsas que se transportan en una caja, pasando de 14 bolsas a 24 bolsas por caja.

Actualmente, se ha estimado que se transportan 3,84 palets para mover una cantidad específica de bolsas desde Oñati hasta Bilbao y posteriormente desde Bilbao hasta Estados Unidos. Con la implementación de la mejora, esta cantidad se reduciría a 2,24 palets para transportar la misma cantidad de bolsas. Esto representa una reducción aproximada del 40% en el transporte necesario.

En el análisis de los resultados de la mejora de ecodiseño 01, en la Tabla 9 y Figura 20 se puede observar que la implementación del ecodiseño ha resultado en una reducción del 2,26%. Las mayores reducciones se observan en los indicadores de acidificación y oxidación fotoquímica, con disminuciones del 6,36% y 5,29%, respectivamente.

La mejora de ecodiseño se centra específicamente en la fase de transporte desde la fábrica de Oñati hasta Estados Unidos. Aunque estas dos fases representan solo el 4,1% del impacto total, las mejoras implementadas en esta etapa tienen un efecto significativo en los indicadores mencionados.

En el caso de la acidificación, la fase de transporte marítimo representa el 17% del impacto de este indicador. La acidificación está relacionada con la emisión de gases como el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), que se generan en grandes cantidades durante el transporte marítimo. Al mejorar la eficiencia del transporte o reducir la distancia recorrida, se disminuyen las emisiones de estos gases, resultando en una mejora significativa del indicador de acidificación.

De manera similar, el transporte marítimo también tiene un impacto considerable en la oxidación fotoquímica, que se refiere a la formación de ozono troposférico y otros contaminantes fotoquímicos.

En este caso, el transporte marítimo representa el 7% del impacto del indicador de oxidación fotoquímica. Las emisiones de NOx y compuestos orgánicos volátiles (COV) durante el transporte contribuyen a la formación de smog fotoquímico. Por lo tanto, mejorar la fase de transporte reduce estas emisiones, mejorando así el indicador de oxidación fotoquímica.

Los resultados del impacto ambiental de la envuelta con el ecodiseño 03 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 26 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 9: Impacto ambiental de la envuelta con el ecodiseño 03.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	ECO3	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,36E-06	1,36E-06	0,12%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	6576,54	6538,72	0,58%
Acidificación	kg SO2 eq	1,03	0,96	6,99%
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,18	1,15	2,52%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	379,72	377,07	0,70%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	296,60	284,45	4,10%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	254,65	250,94	1,46%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	479644,88	470544,35	1,90%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,05E-05	1,00E-05	4,47%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	7,48E-02	7,07E-02	5,58%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5,30E-01	5,18E-01	2,22%
Reducción total				2,78%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 20 (Véase gráfica ampliada en Figura 37 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

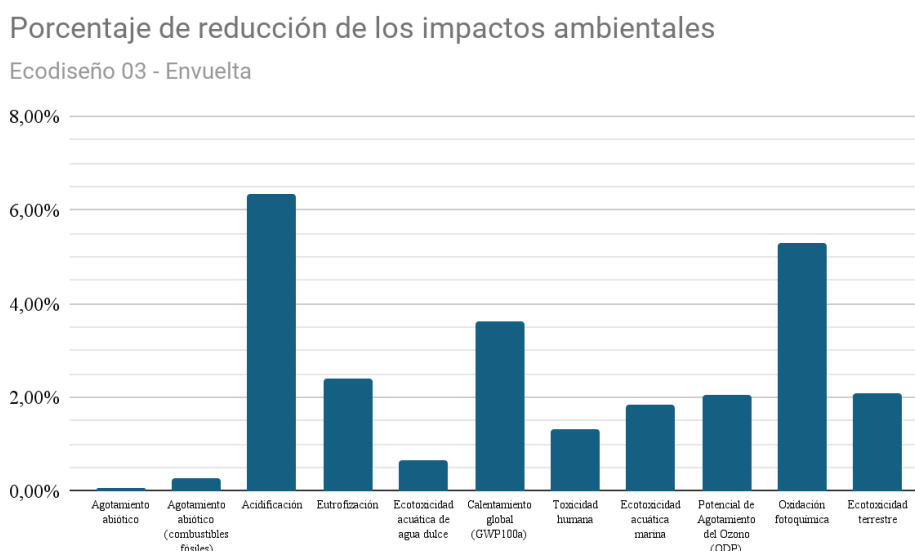


Figura 20: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 03 de la envuelta frente al diseño actual.

5.1.2.6 Comparativa

En este apartado se realiza la comparativa respecto al impacto ambiental entre el diseño actual y las tres mejoras de ecodiseño analizadas. El resultado expuesto es una comparativa porcentual, analizando la reducción del impacto ambiental del diseño actual respecto a las propuestas de ecodiseño.

Observando la Tabla 10 y la Figura 21, al comparar las tres propuestas de ecodiseño respecto al diseño actual, podemos observar en la siguiente gráfica como la propuesta de reducción del gramaje de la envuelta en un 25% es la más acertada ya que la mejora incide en la fase de fabricación de la envuelta, que es la más crítica de todo el ACV.

Las otras dos propuestas presentan mejoras, pero su impacto no es tan destacable. El uso de una bolsa monomaterial de papel Kraft y la optimización en el transporte no inciden directamente en la fase crítica del ciclo de vida del producto, que es la fabricación de la envuelta. Como resultado, su relevancia en términos de mejora ambiental se ve reducida.

Como resultado, la relevancia de estas dos últimas propuestas en términos de mejora ambiental se ve reducida, ya que no abordan el aspecto más crucial del ACV del producto. Sin embargo, es importante reconocer que ambas propuestas aún contribuyen a la sostenibilidad global del producto, mejorando aspectos como la reciclabilidad y la eficiencia logística, que también son importantes en un enfoque integral de ecodiseño.

La propuesta de reducción del gramaje de la envuelta en un 25% se destaca porque se centra en mejorar la fase crítica del ciclo de vida del producto. Al centrarse en mejorar la fase crítica del ciclo de vida del producto, esta propuesta demuestra una comprensión profunda de los puntos clave que influyen en su impacto ambiental. Esto subraya la importancia de identificar y priorizar las áreas de mejora que tienen el mayor potencial para reducir la huella ambiental de un producto.

Los resultados de la comparativa de la reducción del impacto ambiental de la envuelta aplicando los distintos procesos de ecodiseño son los siguientes:

Tabla 10: Comparativa de la reducción del impacto ambiental de la envuelta con distintos ecodiseños.

Impacto ambiental	ECO1	ECO2	ECO3
Agotamiento abiótico	21,45%	2,96%	0,12%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	22,29%	3,46%	0,58%
Acidificación	19,47%	2,62%	6,99%
Eutrofización	23,14%	2,18%	2,52%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	25,43%	1,05%	0,70%
Calentamiento global (GWP100a)	20,33%	5,36%	4,10%
Toxicidad humana	22,71%	2,02%	1,46%
Ecotoxicidad acuática marina	23,49%	2,33%	1,90%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	16,04%	0,84%	4,47%
Oxidación fotoquímica	19,55%	4,94%	5,58%
Ecotoxicidad terrestre	17,03%	1,67%	2,22%
Reducción total	20,99%	2,67%	2,78%

La reducción de cada propuesta de ecodiseño frente a la actual se puede observar de manera más clara en la Figura 21.

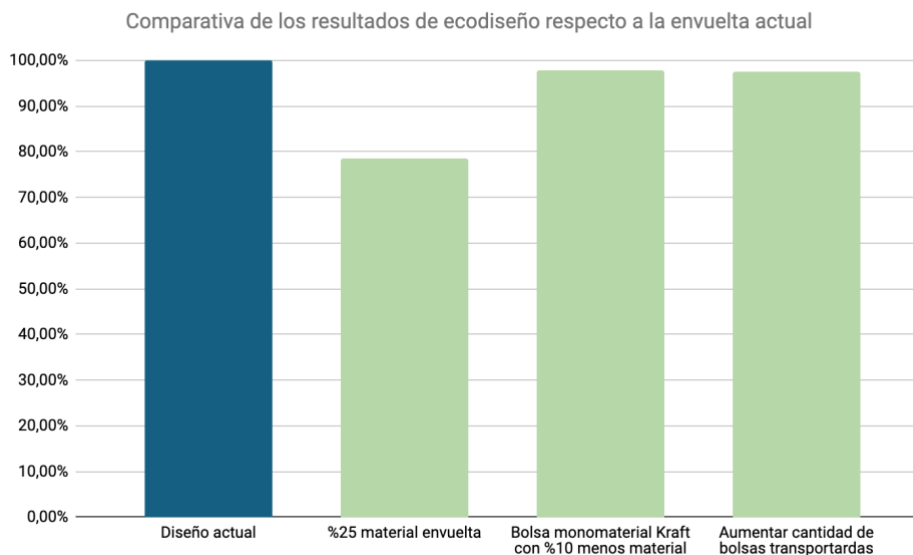


Figura 21: Gráfica del valor medio de las reducciones de los impactos ambientales de los ecodiseños de la envuelta frente al diseño actual.

5.1.3 Envase de yogur

En este apartado, detallaremos el producto a analizar, el envase de yogur, especificando la unidad funcional utilizada y los límites del sistema establecidos. Se presentarán los resultados del análisis de ciclo de vida (LCA) del diseño actual y las propuestas de ecodiseño realizadas. Esto permitirá comparar los resultados y evaluar la viabilidad ambiental de cada propuesta.

5.1.3.1 Descripción del envase y embalaje

Este trabajo presenta el diseño de un envase para yogur natural que consta de un recipiente de poliestireno (PS), una banderola de papel con adhesivo hot-melt y una tapa de papel y poliéster. Se agrupan seis packs de cuatro yogures cada uno en una bandeja de cartón reciclado. Este diseño se centra en la funcionalidad, la protección del producto y la sostenibilidad.

Los materiales utilizados en la fabricación son las siguientes:

Envase primario: Recipiente de PS, banderola de papel y tapa de papel y poliéster.

- Recipiente de PS
 - Material: Poliestireno (PS)
 - Peso por unidad: 0,012 kilogramos
- Banderola de Papel
 - Material: Papel, tintas, barniz de sobreimpresión y hot-melt.
 - Peso por unidad: 4,27 gramos
- Tapa de Papel y Poliéster
 - Material: Papel y poliéster, adhesivo, laca termo soldable, tintas y barniz de sobreimpresión.
 - Peso por unidad: 1,09 gramos

Envase secundario: Bandeja de Cartón

- Material: Cartón
 - Peso por unidad: 0,071 kilogramos

Embalaje: Film de embalaje, cartón y palet europeo.

- Film de polietileno de baja densidad (LDPE)
 - Peso: 0,2 kilogramos
- Cartón paletización
 - Peso: 0,28 kilogramos
- Palet europeo
 - Peso: 15 kilogramos

El diseño del envase para el yogur natural presenta varias funcionalidades importantes que contribuyen a su eficacia y utilidad:

- Protección del Producto:
 - Resguardo del Yogur: El recipiente de PS, junto con la tapa de papel y poliéster, aseguran que el yogur esté protegido contra contaminantes externos y daños físicos durante el transporte y almacenamiento.
- Información y Comunicación:
 - Información del Producto: La banderola de papel y la tapa permiten imprimir detalles esenciales sobre el producto, como la fecha de vencimiento, ingredientes y valor nutricional, facilitando que los consumidores tomen decisiones informadas.
- Sellado Seguro:
 - Preservación de la Frescura: El adhesivo hot-melt en la banderola y el adhesivo junto con la laca termo soldable en la tapa aseguran un sellado hermético, manteniendo la frescura del yogur y evitando derrames.
- Facilidad de Manipulación:
 - Apertura y Cierre Fácil: La tapa de papel y poliéster se puede quitar y volver a colocar fácilmente, lo que permite a los consumidores acceder al yogur sin complicaciones y cerrar el envase para su almacenamiento posterior.
- Agrupación y Transporte Eficiente:
 - Organización de los Productos: La bandeja de cartón agrupa los packs de yogur de manera organizada, facilitando su transporte y manejo tanto en el lugar de producción como en el punto de venta.

A pesar de sus numerosas funcionalidades, el diseño del envase para el yogur natural también puede presentar algunas limitaciones o desafíos potenciales:

- Costo:
 - Costo de Producción: El uso de materiales de alta calidad, como el poliestireno para el recipiente, el papel para la banderola y la tapa de papel y poliéster, junto con los adhesivos y acabados especiales, puede aumentar los costos de producción del envase.
- Sostenibilidad:
 - Reciclabilidad Limitada: A pesar del uso de materiales reciclados en la bandeja de cartón reciclado, la reciclabilidad del poliestireno y el papel con poliéster puede ser limitada en algunos sistemas de reciclaje, lo que podría afectar la sostenibilidad del envase.

- Impacto Ambiental del Transporte: El transporte de los materiales y componentes del envase puede generar emisiones de carbono y otros impactos ambientales negativos, especialmente si se transportan largas distancias.
- Manipulación y Almacenamiento:
 - Fragilidad: El poliestireno y el papel pueden ser más propensos a dañarse durante la manipulación y el transporte, lo que podría resultar en pérdidas de producto y costos adicionales.
 - Espacio de Almacenamiento: La agrupación de múltiples packs de yogur en bandejas de cartón puede requerir espacio adicional de almacenamiento en los supermercados y otros puntos de venta.
- Percepción del Consumidor:
 - Preocupaciones Ambientales: Los consumidores cada vez más conscientes del medio ambiente pueden preferir envases más sostenibles, lo que podría afectar la aceptación del envase de poliestireno y otros materiales no reciclables.
 - Dificultad de Apertura: Si la tapa de papel y poliéster no se diseña adecuadamente, podría ser difícil de abrir para algunos consumidores, lo que podría generar frustración y afectar la experiencia del usuario.
- Regulaciones y Normativas:
 - Normativas de Seguridad Alimentaria: El uso de ciertos materiales y aditivos en el envase, como los adhesivos y acabados, puede estar sujeto a regulaciones y normativas estrictas de seguridad alimentaria, lo que podría aumentar los costos de cumplimiento y limitar la flexibilidad del diseño.
- Competencia y Mercado:
 - Competencia de Envases Alternativos: En un mercado cada vez más competitivo, la disponibilidad de alternativas de envases más innovadoras y sostenibles podría afectar la demanda y la aceptación del envase de yogur descrito.

5.1.3.2 Unidad funcional

La unidad funcional para el producto seleccionado es un pallet que incluye 1188 packs de yogures naturales de 4x125g de KAIKU Natural. Agrupados en bandejas de cartón de 6 packs cada una, el conjunto se embala con planchas de cartón y film en el pallet.

La unidad funcional equivale a:

- 4.752 yogures (1188 packs de 4)
 - 14,25 kilogramos de PS
 - 5,36 kilogramos de banderola
 - 1,29 kilogramos de tapa
- 198 bandejas de cartón
 - 14,05 kilogramos
- 3,56 unidades de cartón de paletización
 - 0,99 kilogramos
- 0,2 kilogramos de film de paletización
- Un palet europeo (15 kilogramos)

5.1.3.3 Límites del sistema

Este primer apartado se delimita con un sistema cradle to grave. El ciclo de vida a estudiar se delimita en diez etapas:

- Materia Prima y Producción.
- Transporte a fábrica.
- Proceso de fabricación.
- Envase secundario.
- Envase terciario.
- Cámara frigorífica de fábrica.
- Transporte centro de distribución
- Cámara frigorífica de centro de distribución.
- Venta y uso
- Finde vida (EoL).

Las consideraciones para la etapa de materia prima y producción son las siguientes:

- Los materiales y la producción se analizarán desde el punto de procedencia del proveedor.
- El transporte de los componentes al punto de fabricación.
- Residuos generados durante la fabricación.
- Impactos asociados al uso de electricidad y combustibles en la fabricación.

La consideración de la etapa de transporte a proveedor es la siguiente:

- Transporte desde el punto de proveedor hasta la fábrica.
- Transporte en camión >30tN
- Para el caso de la lámina PS, transporte de 370 kilómetros
- Para el caso de la banderola, transporte de 88,5 kilómetros
- Para el caso de la tapa, transporte de 88,5 kilómetros

La consideración de la etapa de fabricación es la siguiente:

- Consumo eléctrico de origen 100% renovable

La consideración de las etapas de envase secundario y terciario son las siguiente:

- Se añaden las bandejas de cartón
- Se añaden los embalajes de caja de cartón, film de paletización y palet europeo.
- Los materiales y la producción de los embalajes utilizados se analizarán desde el punto de procedencia del proveedor.

La consideración de las etapas de cámara frigorífica de fábrica y centro de distribución son las siguiente:

- Consumo eléctrico de origen 100% renovable en la cámara

La consideración de la etapa de transporte desde fábrica a centro de distribución es la siguiente:

- Transporte en camión >30tN, transporte de 103 kilómetros

La consideración de la etapa de venta y uso es la siguiente:

- Consumo eléctrico del mix energético español en el año 2023
- Consumo de las cámaras frigoríficas de los supermercados y hogares domésticos.
- Tiempo estimado en supermercado del yogur de 15 días.

- Tiempo estimado en hogar del yogur de 7 días.

Finalmente, para la etapa de EoL se contempla la siguiente consideración:

- Los procesos de EoL útil de cualquier parte desperdiciada del producto.
- Transporte hasta las plantas de reciclado (100 kilómetros).
- Tasa de reciclajes de Euskadi:
 - Envase yogur con la banderola → 25,4%
 - Tapa → 25,4%
 - Bandeja de cartón → 98,52%
 - Film de paletización → 93,51%
 - Plancha de cartón → 98,52%
 - Palet de madera → 97,64%

5.1.3.4 Impactos ambientales

Como ya se ha dicho, el límite del sistema y las fases que se van a tener en cuenta en este estudio son: materia prima y producción, transporte a fabricante, envase secundario y terciario, cámara frigorífica de fábrica y centro de distribución, transporte a centro de distribución, venta y uso y fin de vida.

Para obtener los datos del LCI se ha partido de la información proporcionada por la empresa y sus proveedores, donde se ha analizado la procedencia de los materiales y la distancia hasta la planta de fábrica.

Para el caso de venta y uso, se ha estimado el consumo eléctrico de las cámaras frigoríficas de los supermercados y domésticos, así como el transporte desde el centro de distribución a los supermercados.

Finalmente, en el escenario de fin de vida se han diferenciado los productos reciclables, sobre aquellos que no lo son y acaban o en vertederos y en plantas de incineración. A falta de tener datos concretos de los productos no reciclados, se parte de la base de datos de Ecoinvent.

El desglose de todo el LCI se puede ver en el ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA. En este apartado se analizarán directamente los resultados del impacto ambiental para el envase de yogur actual.

En el programa Open LCA se ha generado una estructura acorde a las necesidades de cálculo. Una vez introducidos todos los datos en el Open LCA se han obtenido los resultados del impacto ambiental del envase de yogur con el diseño actual (Véase Tabla 11).

En los resultados representados en la Tabla 11 y Figura 23 y Figura 24 se puede observar claramente que la fase de origen y fabricación es la que mayor impacto genera, representando el 53,7% del impacto total, seguida de la fase de venta/uso con un 20,2% y la fase de fin de vida con un 15,5%. Estas tres fases en conjunto constituyen el 89,4% de los impactos totales producidos.

La predominancia de la fase de origen y fabricación se explica por los procesos asociados a la producción de poliestireno (PS) y el tratamiento de los residuos de PS, los cuales generan los mayores impactos ambientales. Estos procesos, al ser intensivos en recursos y energía, ejercen una influencia significativa en el resultado del Análisis del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés).

El impacto de la fase de venta/uso se atribuye principalmente al consumo eléctrico de las cámaras frigoríficas de los supermercados. Es importante destacar que, a diferencia de las cámaras de la fábrica

y el centro de distribución, las cámaras de los supermercados se estiman que consumen el mix eléctrico español, que incluye fuentes de energía convencionales y renovables. En contraste, las cámaras de la empresa utilizan electricidad proveniente exclusivamente de fuentes renovables.

Esta diferencia en la procedencia de la electricidad tiene un impacto significativo en el cálculo de los impactos ambientales asociados al consumo eléctrico. Por lo tanto, la fase de venta/uso, a pesar de su menor peso relativo en comparación con la fase de origen y fabricación, sigue siendo un factor relevante.

Los resultados del impacto ambiental de la bolsa de pan actual se pueden observar en la Tabla 11 (Véase tabla ampliada en Tabla 27 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

Tabla 11: Impacto ambiental del envase de yogur con el diseño actual.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/ Uso	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	9,02E-07	5,76E-10	2,66E-08	4,73E-08	2,67E-08	3,22E-09	1,39E-09	3,22E-09	4,97E-07	1,06E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1.406,80	8,14	14,55	27,68	38,25	1,76	15,34	1,76	197,29	26,86
Acidificación	kg SO ₂ eq	2,56E-01	1,33E-03	7,04E-03	1,53E-02	1,15E-02	8,53E-04	2,60E-03	8,53E-04	1,23E-01	1,05E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	6,21E-02	2,90E-04	2,08E-03	7,96E-03	5,07E-03	2,52E-04	6,27E-04	2,52E-04	2,81E-02	1,18E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	14,70	0,07	3,50	1,21	1,10	0,42	0,36	0,42	7,84	24,02
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	70,69	0,51	1,39	2,22	2,16	0,17	1,13	0,17	17,24	10,85
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	20,13	0,26	3,39	1,58	2,04	0,41	0,48	0,41	8,66	10,35
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	45.805,45	158,64	3.052,27	2.797,04	2.385,15	370,11	476,68	370,11	27.277,12	22.936,93
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	3,00E-06	1,00E-07	1,22E-07	2,94E-07	2,01E-07	1,48E-08	2,31E-07	1,48E-08	2,54E-06	3,36E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	1,06E-01	6,35E-05	3,83E-04	8,15E-04	9,82E-04	4,64E-05	1,35E-04	4,64E-05	4,51E-03	9,67E-04
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	1,24E-01	8,20E-04	3,15E-02	1,17E-02	7,61E-03	3,82E-03	1,44E-03	3,82E-03	5,76E-02	2,75E-02

En la Figura 22 podemos observar el porcentaje de los impactos ambientales para poder comprender el peso de cada uno de los impactos en cada fase analizado de la envuelta actual (Véase gráfica ampliada en Figura 38 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

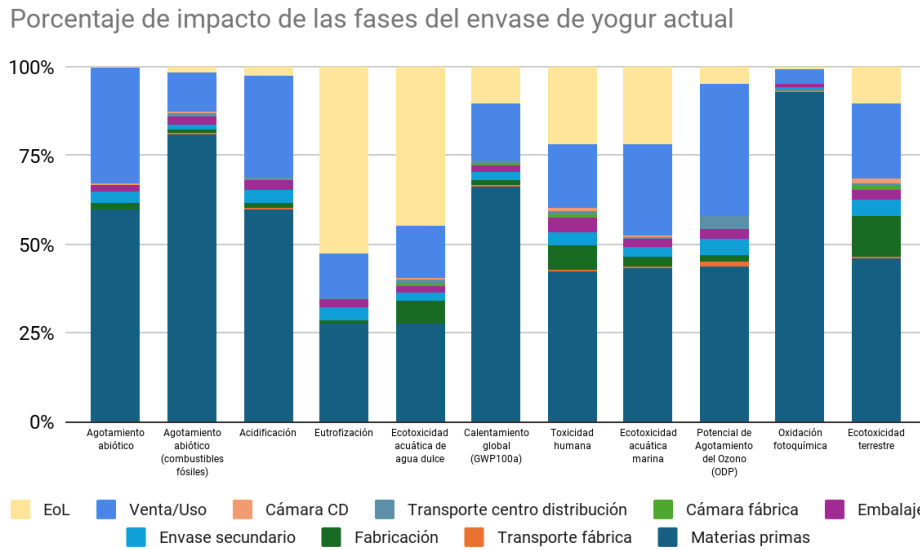


Figura 22: Gráfica de los porcentajes de las fases sobre el impacto ambiental del envase de yogur actual.

En la Figura 23 podemos observar el porcentaje medio de cada una de las fases en el impacto ambiental total de la envuelta actual.

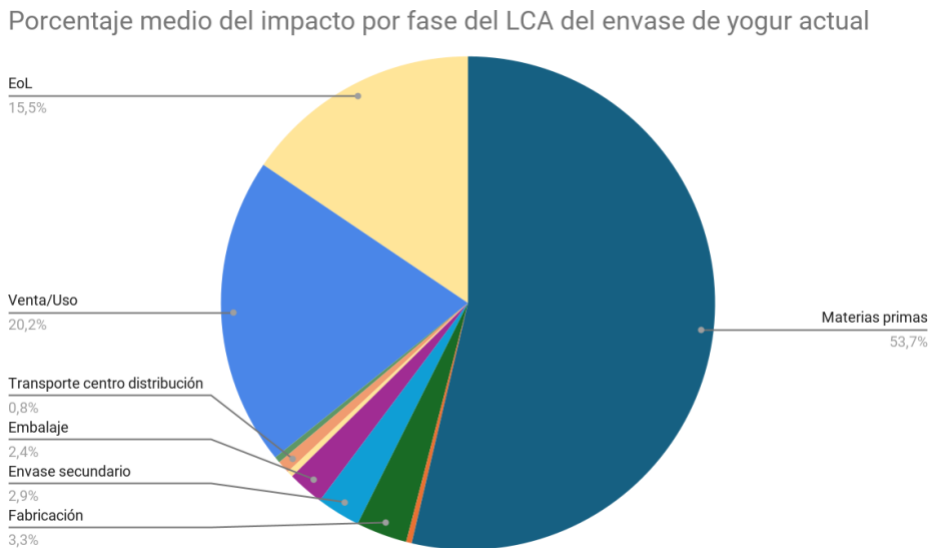


Figura 23: Gráfica de los porcentajes medios de las fases del impacto ambiental del envase de yogur actual.

En la Figura 24 se muestra el peso que tiene la fabricación de la lámina de PS a diferencia de la tapa y la banderola, donde la fabricación de la lámina PS representa el 69,2% de los impactos de la fase de origen y fabricación.

Porcentaje medio del impacto en la fase de origen y fabricación

Envase de yogur actual

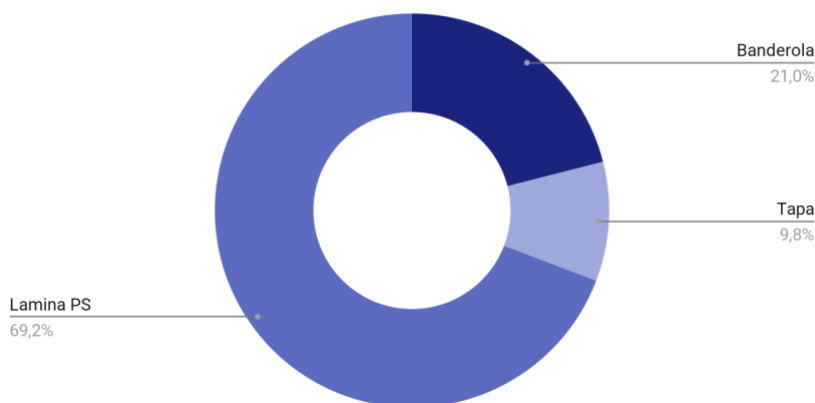


Figura 24: Gráfica de los porcentajes medios del impacto ambiental en la fase de origen y fabricación del envase de yogur actual.

Lo mismo en el caso del fin de vida, donde el fin de vida de la lámina PS representa el 84,9% de los impactos de la fase de fin de vida (72,5% representa los impactos de la lámina que se deposita en el vertedero o es incinerado). En la Figura 25 se observa cómo se distribuye el impacto de la fase de fin de vida por tipo de envase y su proceso (REC de reciclado e incineración o vertedero).

Porcentaje medio del impacto en la fase de fin de vida

Envase de yogur actual

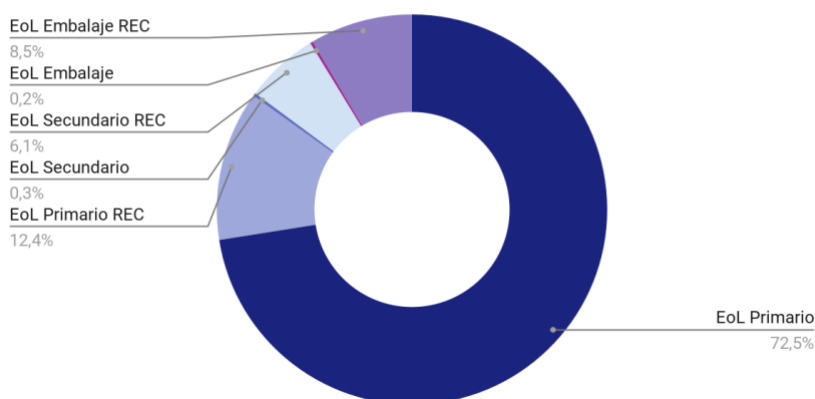


Figura 25: Gráfica de los porcentajes medios del impacto ambiental en la fase de fin de vida del envase de yogur actual.

5.1.3.5 Impactos ambientales del ecodiseño

Para el estudio comparativo del envase ecodiseñado, se han propuesto tres mejoras de ecodiseño que la empresa tiene en fase de desarrollo o están analizando su implementación.

5.1.3.5.1 Mejora ecodiseño 01

La mejora en ecodiseño implementada en el proceso de fabricación de la tapa del envase de yogur, mediante el uso de papel reciclado como material principal, representa un paso significativo hacia la sostenibilidad ambiental. Se ha asegurado que el papel reciclado utilizado cumple con los mismos

estándares de calidad y funcionalidad que el papel virgen, garantizando así un producto final que cumple con las expectativas de los consumidores.

En el análisis de los resultados de la mejora de ecodiseño 01, en la Tabla 12 y Figura 26 se observa una reducción total que se logra con este ecodiseño es del 0,04%. El uso de papel reciclado en la fabricación de la tapa no genera grandes reducciones debido a varios factores. En primer lugar, el peso de la tapa representa solo el 9,8% en la fase de origen y fabricación del producto. Además, dentro de la tapa, el papel reciclado constituye aproximadamente el 60% del peso total. Por lo tanto, aunque se implemente esta mejora, su impacto resulta relativamente limitado en términos de reducción del impacto ambiental.

Es importante destacar que, a pesar de que en la mayoría de los indicadores se observa una reducción de los impactos ambientales, existe un aumento significativo en el indicador de ecotoxicidad terrestre. Este aumento contrarresta en gran medida las mejoras en otros indicadores, lo que resulta en una reducción prácticamente nula en la media de cada indicador.

Este fenómeno puede atribuirse a varios factores, como las características específicas de los materiales utilizados en la tapa o los procesos de fabricación involucrados. Es posible que la introducción de papel reciclado pueda aumentar la presencia de ciertas sustancias o compuestos en el medio ambiente terrestre, lo que contribuye al aumento en el indicador de ecotoxicidad terrestre.

Los resultados del impacto ambiental del envase de yogur con el ecodiseño 01 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 29 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 12: Impacto ambiental del envase de yogur con el ecodiseño 01.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	ECO1	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,51E-06	1,51E-06	0,21%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1738,44	1733,43	0,29%
Acidificación	kg SO2 eq	4,29E-01	4,28E-01	0,11%
Eutrofización	kg PO4--- eq	2,25E-01	2,24E-01	0,21%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	53,65	53,46	0,35%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	106,53	106,33	0,19%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	47,71	47,57	0,30%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	105629,51	104913,10	0,68%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	6,86E-06	6,81E-06	0,79%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	1,14E-01	1,14E-01	0,04%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,70E-01	2,78E-01	-2,77%
Reducción total				0,04%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 26 (Véase gráfica ampliada en Figura 39 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

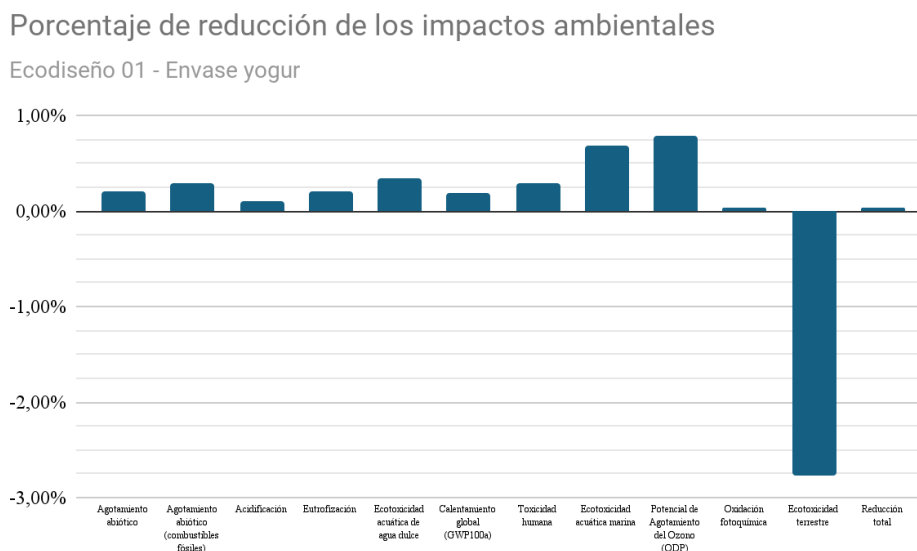


Figura 26: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 01 del envase de yogur frente al diseño actual.

5.1.3.5.2 Mejora ecodiseño 02

La mejora en ecodiseño que se ha implementado consiste en utilizar poliestireno reciclado (rPS) en la fabricación de los recipientes de yogur. Para evaluar el impacto de esta mejora, se han realizado estudios con tres diferentes proporciones de rPS: 30%, 60% y 90%. Esta variación en el porcentaje de rPS permite analizar cómo la cantidad de material reciclado afecta al impacto ambiental del producto final.

Analizando los resultados del ecodiseño 02, presentados en la Tabla 13 y Figura 27, la implementación de este ecodiseño ha resultado en reducciones significativas en el impacto ambiental total del producto. La reducción total varía según el porcentaje de PS reciclado utilizado: del 10,17% para un 30% de rPS, del 20,35% para un 60% de rPS y del 30,53% para un 90% de rPS. Estas reducciones son especialmente notables ya que reflejan un enfoque efectivo hacia la sostenibilidad ambiental en el proceso de fabricación del envase.

El uso de PS reciclado ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir los impactos ambientales, particularmente en la fase de origen y fabricación de la lámina de PS. Dado que esta fase representa el 37% del impacto total, las mejoras realizadas en ella tienen un efecto directo y significativo en la reducción del impacto ambiental global del producto.

Los indicadores que experimentan las mayores reducciones son el agotamiento abiótico y abiótico de combustibles fósiles, así como la acidificación, el calentamiento global y la oxidación fotoquímica. Estos indicadores son críticos ya que tienen una influencia significativa en el impacto ambiental total, como se evidencia en la Tabla 28.

Los resultados del impacto ambiental del envase de yogur con el ecodiseño 02 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 13: Impacto ambiental del envase de yogur con el ecodiseño 02.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	rPS 30%	Reducción	rPS 60%	Reducción	rPS 90%	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,51E-06	1,27E-06	15,83%	1,03E-06	31,68%	7,92E-07	47,53%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1738,44	1396,42	19,67%	1054,40	39,35%	712,39	59,02%
Acidificación	kg SO2 eq	4,29E-01	3,73E-01	12,90%	3,18E-01	25,80%	2,63E-01	38,71%
Eutrofización	kg PO4-- eq	2,25E-01	2,15E-01	4,15%	2,06E-01	8,30%	1,97E-01	12,45%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	53,65	52,08	2,91%	50,52	5,83%	48,96	8,74%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	106,53	90,99	14,59%	75,45	29,17%	59,91	43,76%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	47,71	45,70	4,22%	43,68	8,44%	41,67	12,65%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	105629,51	98717,96	6,54%	91806,41	13,09%	84894,86	19,63%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	6,86E-06	6,60E-06	3,81%	6,34E-06	7,62%	6,08E-06	11,42%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	1,14E-01	8,57E-02	25,00%	5,71E-02	50,01%	2,86E-02	75,01%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,70E-01	2,64E-01	2,29%	2,58E-01	4,57%	2,52E-01	6,86%
Reducción total				10,17%		20,35%		30,53%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 27 (Véase gráfica ampliada en Figura 40 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 02 - Envase yogur

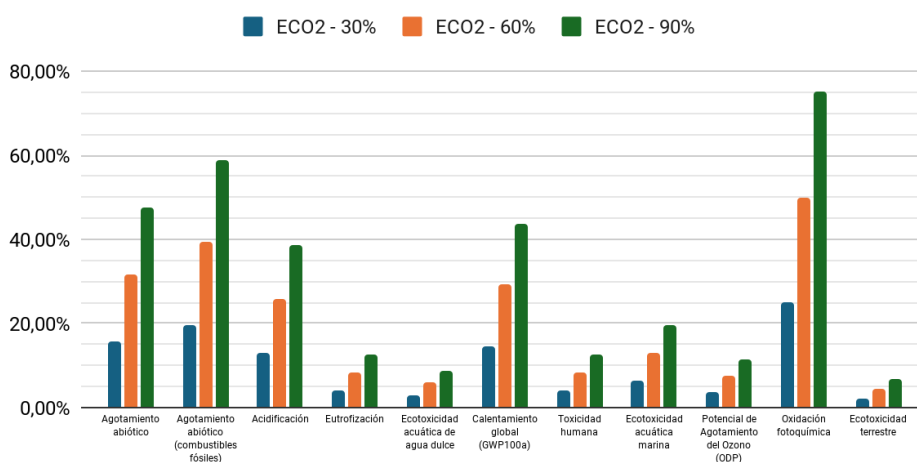


Figura 27: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 02 del envase de yogur frente al diseño actual.

5.1.3.5.3 Mejora ecodiseño 03

La mejora en ecodiseño se enfoca en la implementación de un tipo específico de adhesivo conocido como "hot-melt", que presenta la particularidad de facilitar la separación de la banderola del recipiente de yogur. Esta característica es clave, ya que simplifica considerablemente el proceso de reciclaje al permitir que la banderola y el recipiente se reciclen por separado.

Analizando los resultados del ecodiseño 03 en la Tabla 14 y Figura 28, la reducción total lograda con este ecodiseño es del 5,27%, lo que representa un avance significativo hacia la sostenibilidad ambiental del envase de yogur. Las mayores reducciones se observan en los indicadores de eutrofización y ecotoxicidad acuática de agua dulce, con un impresionante 15,25% y 15,40% respectivamente.

La mejora propuesta se centra en la fase de fin de vida del envase de yogur, donde se ha diseñado un sistema que permite separar la parte de poliestireno (PS) del envase y la banderola de papel, facilitando así su reciclado. Esta medida representa un avance importante, ya que permite que la parte de papel entre directamente en el ciclo de reciclado, contribuyendo a la reducción de residuos y al uso más eficiente de los recursos.

Al dirigir la mejora hacia la fase de fin de vida, se aborda un punto crítico en el ciclo de vida del producto, lo que demuestra un enfoque estratégico y efectivo en la reducción del impacto ambiental. Esta iniciativa no solo promueve la economía circular, sino que también puede tener beneficios adicionales, como la reducción de la contaminación y la conservación de los recursos naturales.

Los resultados del impacto ambiental del envase de yogur con el ecodiseño 03 son los siguientes (Véase tabla ampliada en Tabla 33 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA):

Tabla 14: Impacto ambiental del envase de yogur con el ecodiseño 03.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Actual	ECO3	Reducción
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,51E-06	1,50E-06	0,91%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1738,44	1723,47	0,86%
Acidificación	kg SO2 eq	4,29E-01	4,25E-01	0,79%
Eutrofización	kg PO4--- eq	2,25E-01	1,90E-01	15,25%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	53,65	45,39	15,40%
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	106,53	104,58	1,83%
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	47,71	42,85	10,18%
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	105629,51	97995,48	7,23%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	6,86E-06	6,74E-06	1,77%
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	1,14E-01	1,14E-01	0,23%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,70E-01	2,61E-01	3,48%
Reducción total				5,27%

La reducción de cada categoría de impacto se puede observar de manera más clara en la Figura 28 (Véase gráfica ampliada en Figura 41 en ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA).

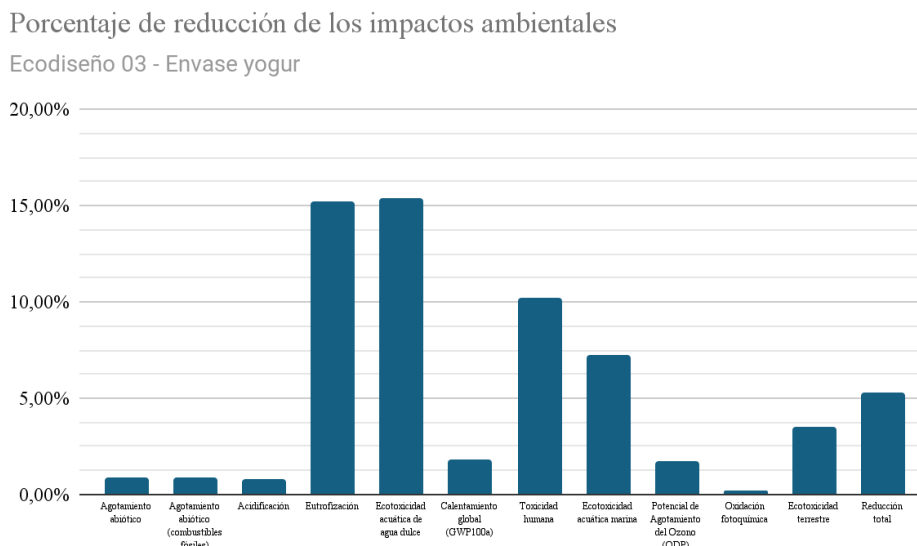


Figura 28: Gráfica de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 03 del envase de yogur frente al diseño actual.

5.1.3.6 Comparativa

En este apartado se realiza la comparativa respecto al impacto ambiental entre el diseño actual y las tres mejoras de ecodiseño analizadas. El resultado expuesto es una comparativa porcentual, analizando la reducción del impacto ambiental del diseño actual respecto a las propuestas de ecodiseño.

Observando la Tabla 15 y la Figura 29, al comparar las tres propuestas de ecodiseño respecto al diseño actual, queda claro que la utilización de poliestireno reciclado en la fase de fabricación es la que genera las mayores reducciones en el impacto del envase, como se muestra en la siguiente gráfica.

Por otro lado, la mejora de ecodiseño relacionada con la separación de la banderola, aunque representa una mejora del 5,27%, se centra en el final de la vida útil del envase. Si bien es importante optimizar la reciclabilidad y el destino final de los envases, este enfoque puede no abordar completamente los impactos ambientales generados durante otras etapas del ciclo de vida del producto.

En cuanto al uso de papel reciclado en la tapa, aunque es una medida positiva, su impacto en la reducción total del impacto ambiental del envase es menos significativo en comparación con la propuesta de poliestireno reciclado. Esto puede deberse a varias razones, como la proporción de papel en el peso total del envase o las características específicas de los materiales y procesos involucrados.

Estos hallazgos destacan la importancia de enfocarse en las etapas críticas del ciclo de vida del producto al implementar mejoras en ecodiseño. En este caso, la fase de fabricación del envase, que involucra el uso de poliestireno reciclado, emerge como el punto clave para lograr reducciones significativas en el impacto ambiental. Por otro lado, aunque la separación de la banderola y el uso de papel reciclado en la tapa son medidas positivas, su impacto en la reducción total del impacto ambiental del envase es limitado en comparación con la propuesta centrada en el poliestireno reciclado.

Los resultados de la comparativa de la reducción del impacto ambiental del envase de yogur aplicando los distintos procesos de ecodiseño son los siguientes:

Tabla 15: Comparativa de la reducción del Impacto ambiental del envase de yogur con distintos ecodiseños.

Impacto ambiental	ECO1	ECO2 - 30%	ECO2 - 60%	ECO2 - 90%	ECO3
Agotamiento abiótico	0,21%	15,83%	31,68%	47,53%	0,91%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	0,29%	19,67%	39,35%	59,02%	0,86%
Acidificación	0,11%	12,90%	25,80%	38,71%	0,79%
Eutrofización	0,21%	4,15%	8,30%	12,45%	15,25%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	0,35%	2,91%	5,83%	8,74%	15,40%
Calentamiento global (GWP100a)	0,19%	14,59%	29,17%	43,76%	1,83%
Toxicidad humana	0,30%	4,22%	8,44%	12,65%	10,18%
Ecotoxicidad acuática marina	0,68%	6,54%	13,09%	19,63%	7,23%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	0,79%	3,81%	7,62%	11,42%	1,77%
Oxidación fotoquímica	0,04%	25,00%	50,01%	75,01%	0,23%
Ecotoxicidad terrestre	-2,77%	2,29%	4,57%	6,86%	3,48%
Reducción total	0,04%	10,17%	20,35%	30,53%	5,27%

La reducción de cada propuesta de ecodiseño frente a la actual se puede observar de manera más clara en la Figura 29.

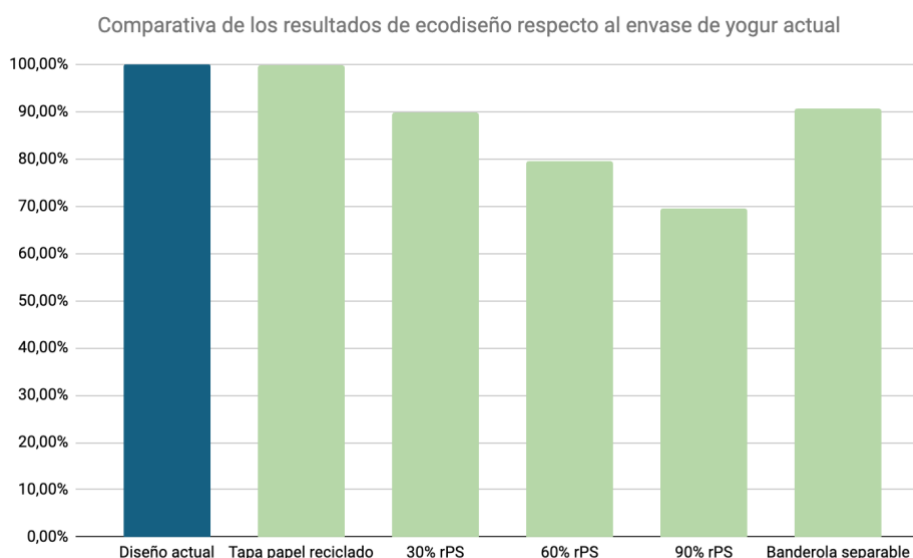


Figura 29: Gráfica del valor medio de las reducciones de los impactos ambientales frente del ecodiseño del envase de yogur frente al diseño actual.

5.2 Resumen y discusión de los resultados

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en el estudio realizado. Dichos resultados se han dividido en dos diferentes apartados, el primero respecto a los impactos ambientales de cada envase y los impactos de las propuestas de ecodiseño, donde cada envase se analiza de manera independiente. El segundo apartado es la comparativa entre los diferentes envases analizados en este estudio.

Observando detalladamente los impactos ambientales correspondientes a la bolsa de pan con el diseño actual se obtienen las siguientes conclusiones:

- La fase de origen y fabricación del papel Kraft es la que mayor impacto ambiental tiene, con el 49,64% del peso. El indicador con menor impacto ambiental es el de ecotoxicidad de agua dulce con un impacto de 2,75 kg 1,4-DB eq. En cambio, el indicador de mayor impacto es el de ecotoxicidad terrestre con un impacto del $5,66E^{-02}$ kg 1,4 DB eq. Analizándolo porcentualmente, la fase de origen y fabricación de la ecotoxicidad de agua dulce tendría el 19,96% del peso de dicho indicador ambiental y la ecotoxicidad terrestre el 85,59%.
- La siguiente fase con mayor impacto es la fase de fin de vida, con el 31,91% del peso. El indicador con mayor impacto ambiental es el de ecotoxicidad de agua dulce con un impacto de 9,66 kg 1,4-DB eq, con 70,06% del peso de dicho indicador ambiental.
- Toda fase del ciclo de vida que contenga algún proceso de extracción y extracción de materias primas tiene impactos relevantes, como la fase embalaje. Por el contrario, el impacto de la fase de transporte es muy pequeño.

En cambio, para las propuestas de ecodiseño analizadas para el caso de la bolsa de pan obtenemos las siguientes conclusiones:

- La bolsa de pan 100% fabricado con papel Kraft es la mejora de ecodiseño que más reduce el impacto ambiental, con una reducción del 18,85%. Esto se debe porque la mejora se realiza en la fase más crítica de la bolsa de pan, eliminando la ventana del PP.
- La mejora de implementar indicadores sobre como desechar adecuadamente la bolsa de pan consigue una reducción de 7,08% en la hipótesis más desfavorable, donde solamente el 25% de las bolsas de pan se desechan correctamente.
- La posible implementación de papel Kraft reciclado tendría una hipotética reducción de 5,03%, pero su resultado estaría a falta de realizar un estudio con datos más específicos sobre el proceso de papel Kraft reciclado.

En el caso de los impactos ambientales a la envuelta con el diseño actual se obtienen las siguientes conclusiones:

- La fase de origen y fabricación de la envuelta es la que mayor impacto ambiental tiene, con el 53,55% del peso. El indicador con menor impacto ambiental es la eutrofización con un impacto de $2,09E^{-01}$ kg PO_4 eq. En cambio, el indicador de mayor impacto es el de agotamiento abiótico con un impacto del $1,06E^{-06}$ kg Sb eq. Analizándolo porcentualmente, la fase de origen y fabricación de la eutrofización tendría el 17,69% del peso de dicho indicador ambiental y el agotamiento abiótico el 95,99%.
- La siguiente fase con mayor impacto es la fase de fin de vida, con el 36,53% del peso. El indicador con mayor impacto ambiental es el de ecotoxicidad de agua dulce con un impacto de 305,20 kg 1,4-DB eq, con 80,39% del peso de dicho indicador ambiental.

- Toda fase del ciclo de vida que contenga algún proceso de extracción y extracción de materias primas tiene impactos relevantes, como la fase embalaje. Por el contrario, el impacto de la fase de transporte es muy pequeño.

En cambio, para las propuestas de ecodiseño analizadas para el caso de la envuelta obtenemos las siguientes conclusiones:

- La envuelta con una reducción del 25% en el gramaje es la mejora de ecodiseño que más reduce el impacto ambiental, con una reducción del 20,99%. Esto se debe porque la mejora se realiza en la fase más crítica de la envuelta, reduciendo la cantidad del PP de la envuelta.
- Las mejoras de fabricar una bolsa monomaterial y la mejora en el transporte tienen una reducción similar, del 2,67% y del 2,78% respectivamente. Esto se debe por un lado porque la fabricación de la bolsa no está crítica como la envuelta, y por otro lado la fase de transporte no tiene un gran peso.

Por último, los impactos ambientales correspondientes al envase de yogur con el diseño actual se obtienen las siguientes conclusiones:

- La fase de origen y fabricación del papel Kraft es la que mayor impacto ambiental tiene, con el 53,66% del peso. El indicador con menor impacto ambiental es el de ecotoxicidad de agua dulce con un impacto de 14,70 kg 1,4-DB eq. En cambio, el indicador de mayor impacto es el de oxidación fotoquímica con un impacto del $1,06E^{-01}$ kg C_2H_4 eq. Analizándolo porcentualmente, la fase de origen y fabricación de la ecotoxicidad de agua dulce tendría el 27,39% del peso de dicho indicador ambiental y la ecotoxicidad terrestre el 93,05%.
- La siguiente fase con mayor impacto es la venta y uso, con el 20,23% del peso. El indicador con mayor impacto ambiental es el potencial de agotamiento del ozono con un impacto de $3,36E^{-07}$ kg CFC-11 eq, con 37,08% del peso de dicho indicador ambiental.
- Toda fase del ciclo de vida que contenga algún proceso de extracción y extracción de materias primas tiene impactos relevantes, como la fase embalaje. Por el contrario, el impacto de la fase de transporte y las cámaras son muy pequeños.

Donde para las propuestas de ecodiseño analizadas para el caso del envase de yogur obtenemos las siguientes conclusiones:

- El envase de yogur fabricado a partir de PS reciclado es la mejora de ecodiseño que más reduce el impacto ambiental, con una reducción mínima del 10,27% en el caso de utilizar un 30 de rPS y una reducción máxima del 30,53% al utilizar un 90% de rPS. Esto se debe porque la fase de origen y fabricación de la lámina de PS es la más crítica del todo el ciclo de vida, por lo que al mejorarla conseguimos reducciones considerables.
- La mejora en el hot-melt y poder separar la banderola del recipiente del yogur consigue reducciones del 5,27%. Esta mejora tiene un impacto directo en el fin de vida de la banderola, donde esta etapa tienen un peso considerable.
- La mejora de utilizar papel reciclado en la fabricación de la tapa tiene una reducción casi nula del 0,04%, ya que por un lado el proceso de fabricación de la tapa representa el 9,8% del peso de la fase de origen y fabricación. Por otro lado, al usar papel reciclado, el impacto de ecotoxicidad terrestre aumenta de manera que, al realizar la media, aunque los demás indicadores se hayan reducido, la media sea del 0,04%.

Finalmente, analizando la comparativa del impacto ambiental total entre los diferentes envases analizados en este estudio, las conclusiones que se obtienen son las siguientes:

- La fase de origen y fabricación es la que mayores impactos genera, en los tres casos más de la mitad de los impactos son generados en esta fase. Es la fase que más energía y materias consume de manera intensiva, de ahí que los impactos sean los mayores.
- La fase de fin de vida es la segunda fase que más impactos genera, por los impactos generados en los productos y materiales que se destinan al vertedero o incineración.
- En los tres envases, las mejoras de ecodiseño relacionadas con reducir la cantidad de materia primas a utilizar, diseños monomateriales y eliminar partes del producto fabricados con plásticos reduce los impactos de manera considerable. Por una parte, porque incides en la fase crítica de origen y fabricación de materiales, y por otro, con la mejora de diseños monomateriales y eliminación del plástico, mejoras la fase de fin de vida.

6 CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones

El presente trabajo fin de máster ofrece un análisis exhaustivo sobre el ecodiseño de envases alimentarios y su impacto en la sostenibilidad medioambiental. A través de un enfoque metodológico riguroso basado en el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), se han obtenido conclusiones significativas que refuerzan la importancia y la eficacia del ecodiseño como estrategia para mitigar los impactos ambientales.

Reducción de impacto Ambiental

Una de las principales conclusiones es que los envases alimentarios ecodiseñados presentan una considerable reducción en el impacto ambiental en comparación con los envases convencionales. Este hallazgo se sustenta en datos cuantitativos obtenidos a través del LCA, que muestra reducciones significativas en varias categorías de impacto ambiental, tales como la huella de carbono, el consumo de recursos naturales y la generación de residuos. En particular, se observó que la implementación de estrategias de ecodiseño, como la reducción del uso de materiales y el diseño de envases monomateriales, contribuye de manera directa a disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente.

Eficiencia en el uso de materiales

Otra conclusión clave es la eficiencia en el uso de materiales lograda mediante el ecodiseño. Al optar por materiales más sostenibles y diseñar envases que requieren menos cantidad de materia prima, se consigue no solo una disminución de los impactos ambientales, sino también una optimización en términos de costos de producción y manejo de residuos. Este aspecto es crucial para la industria alimentaria, que busca constantemente mejorar sus prácticas de sostenibilidad sin comprometer la viabilidad económica.

Identificación de fases críticas

El análisis detallado de cada fase del ciclo de vida de los envases ha permitido identificar las etapas críticas donde se generan mayores impactos ambientales. Se ha demostrado que las fases de producción de materias primas y fin de vida son las más significativas en términos de impactos negativos. Este conocimiento es esencial para enfocar los esfuerzos de mejora en las áreas que más lo requieren, potenciando así la eficacia de las estrategias de ecodiseño implementadas.

Comparación de envases

El estudio comparativo entre envases ecodiseñados y no ecodiseñados ha confirmado la hipótesis de que los primeros son más sostenibles. Este hallazgo es consistente a lo largo de diferentes tipos de envases analizados, lo que refuerza la generalizabilidad de los resultados. La comparación detallada no solo aporta evidencia empírica sobre los beneficios del ecodiseño, sino que también proporciona un marco de referencia para futuras investigaciones y desarrollos en la materia.

En el Capítulo 2 del presente trabajo fin de máster se han descrito los objetivos de la investigación. En este apartado se analiza el nivel de cumplimiento de los objetivos descritos.

Con el primer objetivo se pretende “demostrar que un producto alimentario ecodiseñado es más sostenible que uno sin ecodiseñado”. Este objetivo se ha cumplido, al menos, para el estudio de LCA realizado en los tres envases y las respectivas mejoras de ecodiseño. En dicho caso se ha demostrado que el impacto de los envases ecodiseñados es menor que para uno sin ecodiseñar.

Mediante el segundo objetivo de la investigación se pretendía “calcular los impactos ambientales de un ciclo de vida completo de los envases alimentarios, desde el origen y producción de materias primas hasta el fin de vida, y analizar cómo impacta cada fase del ciclo de vida del envase”. Este objetivo se ha cumplido realizando el estudio de LCA de los tres envases, desglosando los resultados por cada fase del LCA analizado y viendo el peso que tiene cada indicador en cada una de las fases.

El objetivo final era el de “Efectuar un estudio comparativo de LCA entre un envase ecodiseñado y uno sin ecodiseñar y entre los tres envases a analizar.”. Y se ha cumplido realizando el estudio de LCA de cada envase y sus respectivas mejoras de ecodiseño y comparándolas entre ellas, obteniendo puntos en común en los tres envases analizados.

En resumen, el trabajo realizado no solo cumple con los objetivos planteados, sino que también establece una base sólida para la adopción y desarrollo de prácticas de ecodiseño en la industria alimentaria. Los resultados obtenidos demuestran de manera contundente que el ecodiseño es una herramienta efectiva para reducir el impacto ambiental de los envases alimentarios, promoviendo así una economía más sostenible y responsable.

6.2 Líneas futuras de investigación

Las principales líneas de investigación que han quedado abiertas tras el desarrollo del presente trabajo fin de máster son las siguientes:

- **Profundización en el impacto de envases reutilizables:** Explorar el LCA de envases reutilizables y su comparación con envases de un solo uso, para determinar su viabilidad ambiental y económica.
- **Investigación sobre materiales alternativos:** Analizar el impacto de materiales alternativos, como el papel Kraft reciclado, en la fabricación de envases alimentarios, para identificar opciones aún más sostenibles.
- **Ampliación de indicadores ambientales:** Realizar de una cantidad mayor de estudios comparativos, asignar otras metodologías de análisis del ciclo de vida para obtener datos más ajustados en cada indicador ambiental y ampliar la cantidad de indicadores ambientales a calcular (tales como la cantidad de agua utilizado, cantidad de energía renovable y no renovables utilizada, ...)

BIBLIOGRAFÍA

Comisión Europea. (2015). Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular. Bruselas.

Comisión Europea. (2019). El Pacto Verde Europeo. Bruselas.

Comisión Europea. (2020). Nuevo plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y competitiva. Bruselas.

Comisión Europea. (2003). Política integrada de producto. Bruselas.

Comisión Europea. (2013). Recomendación de la Comisión sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida. Bruselas.

Curran, M. A. (2008). Encyclopedia of Ecology (Vol. 4, pp. 359-366). Academic Press.

Diputación Foral de Gipuzkoa. (2019). Plan integral de gestión de residuos urbanos de Gipuzkoa 2019-2030 [Documento PDF]. Recuperado de <https://www.gipuzkoa.eus/documents/3767975/3809103/Texto+%C3%ADntegro+PIGRUG+2019-2030/bda2e0c5-13ca-8417-326b-ad791e53ccb9>

Ecoinvent. (2017). Ecoinvent. Retrieved from <http://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/apos-system-model/allocation-at-the-point-of-substitution.html>.

Ecoinvent. (2017). Ecoinvent. Retrieved February 14, 2020, from <http://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/system-models-in-ecoinvent-3.html>.

Ecoinvent. (2017). Ecoinvent. Retrieved February 14, 2020, from <http://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/consequential-system-model/substitution-consequential-long-term.html>.

Ecoinvent. (2017). Ecoinvent. Retrieved February 14, 2020, from <http://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/cut-off-system-model/allocation-cut-off-by-classification.html>.

Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation.

Ellen MacArthur Foundation. (2012). Towards the circular economy (Vol. 1). Ellen MacArthur Foundation.

Environdec. (2008). EPD supporting annexes for environmental product declarations (Version 1.0). Stockholm: EPD.

Environdec. (2020). Retrieved June 9, 2020, from <https://www.environdec.com/es/>.

España. (2022). Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases. Boletín Oficial del Estado, 310, 108723-108759. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-2394>.

España. (2022). Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Boletín Oficial del Estado, 89, 33656-33682. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>.

España. (2021). Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Boletín Oficial del Estado, 124, 49449-49477. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-8371>.

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. (2010). ILCD Handbook, International Reference Life Cycle Data System. Luxembourg: European Union.

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. (2014). Workshop on End of Life (EoL) formulas in the context of the Environmental Footprint pilot phase: The Environmental Footprint baseline formula for End of life.

Eurostat. Eurostat Databrowser: Waste statistics. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm020/default/table?lang=en&category=cei.cei_wm.

Euskadi. Estadística de residuos no peligrosos. Retrieved from <https://www.euskadi.eus/informacion/estadistica-de-residuos-no-peligrosos-090211/web01-a2inguru/es/>.

Fernandez Alcalá, J. M. (2016). El ecodiseño en el marco de la economía circular. *Experimenta*, 71, 106-112.

Gobierno Vasco. (2020). Estrategia de Economía Circular de Euskadi 2030. Recuperado de <https://www.euskadi.eus/documentacion/2020/estrategia-de-economia-circular-de-euskadi-2030/web01-a2ingut/es/>.

Gobierno Vasco. (2021). Plan de prevención y gestión de residuos de Euskadi 2030. Recuperado de <https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/documentacion/2021/plan-de-prevencion-y-gestion-de-residuos-de-euskadi-2030/>.

Holmen. (2022). Environmental benefits of fresh fibre-based paper production. Retrieved from https://cdn2.hubspot.net/hubfs/5077682/LCA%20and%20sustainability%20material/en-%20White%20paper_LCA_200206%20Low.pdf

Ihobe (2017). Guía de ecodiseño de envases y embalajes. Gobierno Vasco.

Ihobe. (2007). Ingeniería del diseño ecológico de productos industriales. Gobierno Vasco.

Ihobe. (2000). Manual práctico de ecodiseño: Operativa de implantación en 7 pasos. Bilbao: Gobierno Vasco.

- International Standard Organization. (2006). ISO 14006:2011 - Environmental management systems. Guidelines for incorporating ecodesign.
- International Standard Organization. (2006). ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- International Standard Organization. (2006). ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.
- Joint Research Centre. (2021). Insights into food loss and waste reduction in the European Union: A systematic review of literature and initiatives. European Commission. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC136771>.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle*. Farra, Straus and Giroux.
- Partners for Innovation. (2023). *LCA Flower and Plant Sleeves 2023*. Retrieved from <https://partnersforinnovation.com/wp-content/uploads/2023/05/PfI-RFH-LCA-Flower-and-Plant-Sleeves-2023.pdf>.
- Pigosso, D. C. A., Zanette, E. T., Guelere Filho, A., Ometto, A. R., & Rozenfeld, H. (2010). Ecodesign methods focused on remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 18, 21-31.
- Roßmann, M., Stratmann, M., Rötzer, N., Schäfer, P., & Schmidt, M. (2020). Comparability of LCAs — Review and Discussion of the Application Purpose. *En Progress in Life Cycle Assessment 2019* (pp. 213-225).
- Simamora, J., & Yani, M. (2023). Life cycle assessment of paper products based on recycled and virgin fiber. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9, 89-106. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2023.09.SI.07>.
- Sustana Solutions. (2023). *EnviroLife Life Cycle Assessment*. Retrieved from https://sustanasolutions.com/wp-content/uploads/2023/11/Sustana_Fiber_EnviroLife_Life_Cycle_Assessment.pdf.
- Toniolo, S., Tosato, R. C., Gambaro, F., & Ren, J. (2020). Chapter 3 - Life cycle thinking tools: Life cycle assessment, life cycle costing and social life cycle assessment. En J. Ren & S. Toniolo (Eds.), *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making* (pp. 39-56). Elsevier.
- United Nations Environment Programme. (2023). *Food packaging: The environmental impacts and opportunities for sustainable packaging solutions*. Retrieved from <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2023/03/UNEP-D010-Food-Packaging-Report.pdf>.
- Umweltbundesamt. (2022). *Updated life cycle assessment of graphic and tissue paper - Spotlight report*. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_123-2022_updated_life-cycle_assessment_of_graphic_and_tissue_paper_-_spotlight_report.pdf.

Zero Waste Europe. (2018). Justifying plastic pollution: The shortcomings of LCAs in food packaging policy. Retrieved from https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2018/04/Justifying-plastic-pollution_The-shortcomings-of-LCAs-in-food-packaging-policy_FoEE-ZWE-April-2018.pdf.

ANEXOS I: RESULTADOS DEL LCA

IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL

Tabla 16: Impacto ambiental de la bolsa de pan actual.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Fabricación materias primas	Transporte fábrica	Embalaje	Transporte retailer	Transporte tiendas	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	6,96E-08	3,65E-10	1,08E-08	6,62E-10	2,38E-10	5,86E-10
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	152,68	5,15	32,62	9,34	2,11	20,00
Acidificación	kg SO ₂ eq	2,89E-02	8,44E-04	7,33E-03	1,53E-03	3,44E-04	7,21E-03
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	1,40E-02	1,83E-04	3,24E-03	3,33E-04	7,97E-05	2,30E-02
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	2,75	0,05	1,22	0,08	0,03	9,66
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	6,27	0,32	1,74	0,58	0,14	6,81
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	3,66	0,16	1,61	0,29	0,06	4,25
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	5702,40	100,41	4052,15	182,20	52,34	11135,54
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	4,48E-07	6,33E-08	1,43E-07	1,15E-07	2,57E-08	2,52E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	1,75E-03	4,02E-05	7,32E-04	7,29E-05	1,81E-05	1,31E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5,66E-02	5,19E-04	5,13E-03	9,41E-04	2,14E-04	2,72E-03

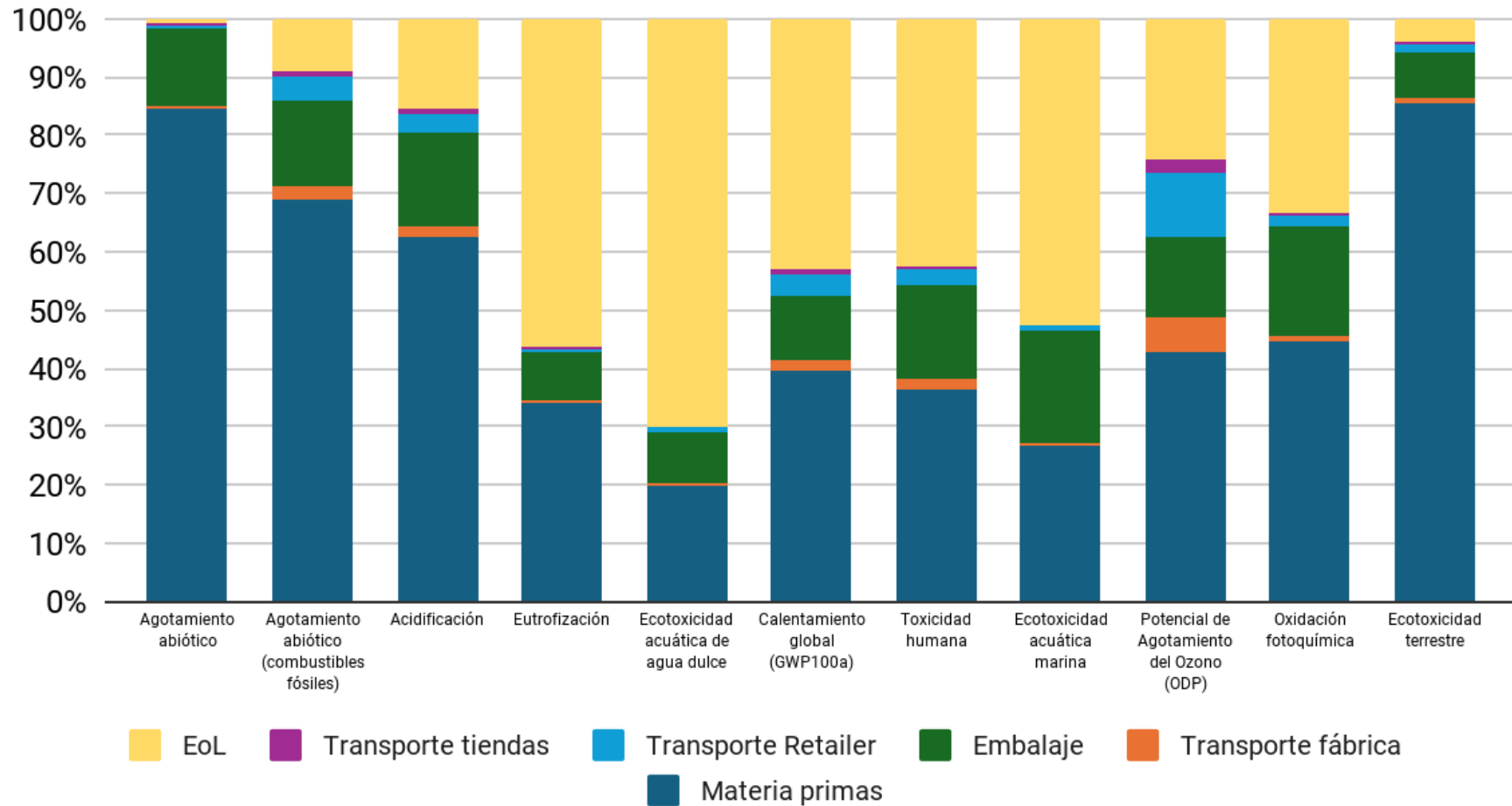
PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DE LA BOLSA DE PAN ACTUAL

Tabla 17: Porcentaje de cada impacto ambiental en cada fase del LCA de la bolsa de pan actual.

Impacto ambiental	Fabricación materias primas	Transporte fábrica	Embalaje	Transporte retailer	Transporte tiendas	EoL
Agotamiento abiótico	84,62%	0,44%	13,13%	0,80%	0,29%	0,71%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	68,80%	2,32%	14,70%	4,21%	0,95%	9,01%
Acidificación	62,63%	1,83%	15,87%	3,31%	0,74%	15,61%
Eutrofización	34,20%	0,45%	7,94%	0,81%	0,20%	56,39%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	19,96%	0,33%	8,85%	0,60%	0,20%	70,06%
Calentamiento global (GWP100a)	39,53%	2,02%	10,98%	3,67%	0,91%	42,89%
Toxicidad humana	36,44%	1,61%	16,08%	2,92%	0,65%	42,32%
Ecotoxicidad acuática marina	26,87%	0,47%	19,09%	0,86%	0,25%	52,46%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	42,76%	6,05%	13,70%	10,97%	2,46%	24,07%
Oxidación fotoquímica	44,64%	1,02%	18,65%	1,86%	0,46%	33,36%
Ecotoxicidad terrestre	85,59%	0,79%	7,76%	1,42%	0,32%	4,12%
Media	49,64%	1,57%	13,34%	2,86%	0,68%	31,91%

Figura 30: Gráfica ampliada de los porcentajes de las fases sobre el impacto ambiental de la envuelta con el diseño actual.

Porcentaje de Impacto de las fases de la bolsa de pan actual



IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 01

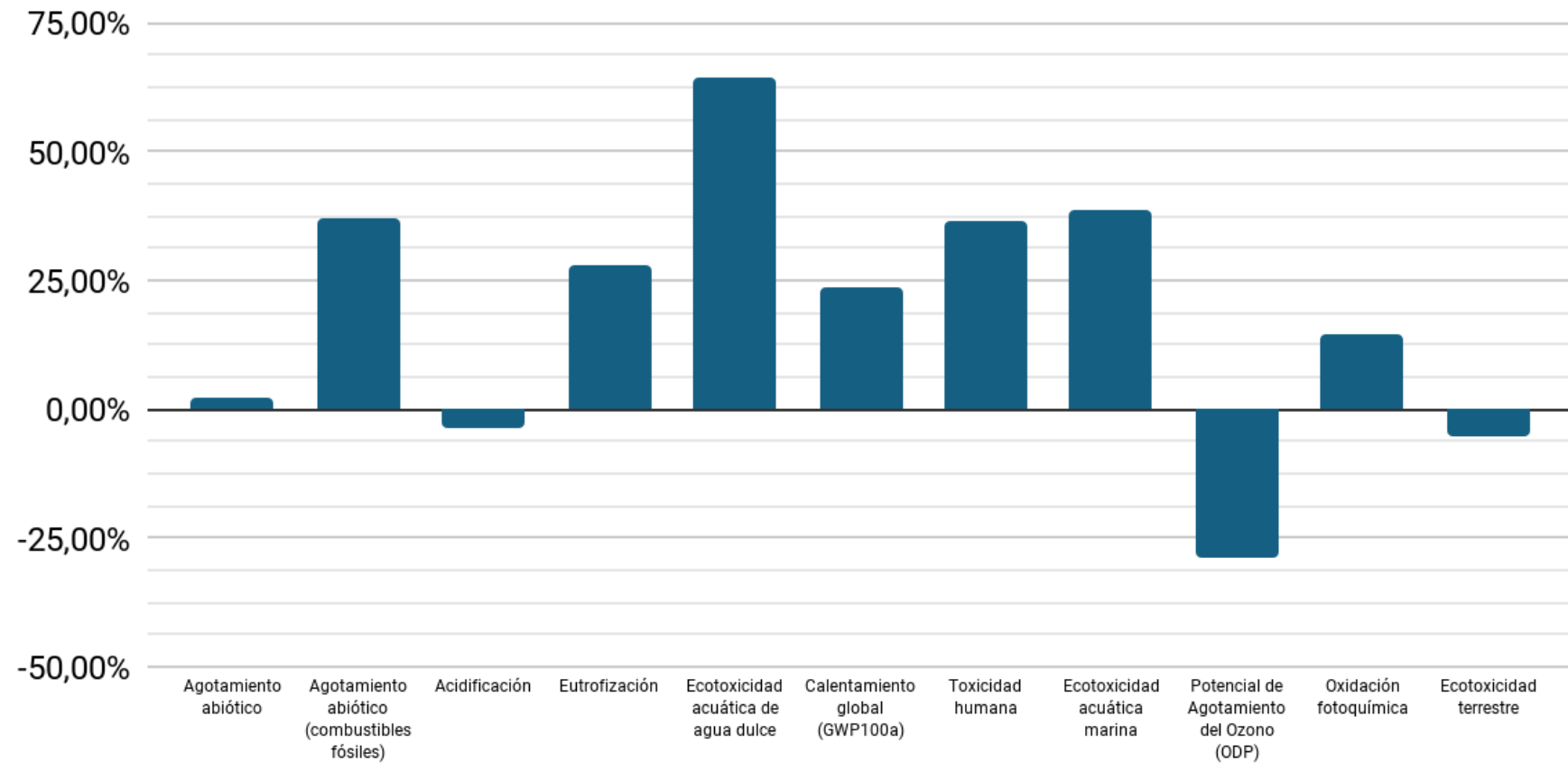
Tabla 18: Impacto ambiental de la bolsa de pan ecodiseñado 01.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Fabricación materias primas	Transporte fábrica	Embalaje	Transporte retailer	Transporte tiendas	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	6,74E-08	3,00E-10	1,12E-08	7,00E-10	3,00E-10	5,00E-10
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	71,85	4,63	32,19	10,07	2,28	18,67
Acidificación	kg SO2 eq	3,13E-02	7,58E-04	7,16E-03	1,65E-03	3,71E-04	6,55E-03
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,90E-02	1,65E-04	3,20E-03	3,59E-04	8,59E-05	6,55E-03
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	3,16	0,04	1,21	0,09	0,03	0,37
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	5,76	0,29	1,71	0,63	0,16	3,61
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	3,75	0,15	1,60	0,32	0,07	0,52
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	7452,12	90,22	4015,59	196,46	56,44	1162,77
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	7,63E-07	5,69E-08	1,42E-07	1,24E-07	2,78E-08	2,37E-07
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	1,77E-03	3,61E-05	7,24E-04	7,86E-05	1,95E-05	7,30E-04
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	6,12E-02	4,66E-04	5,08E-03	1,01E-03	2,31E-04	1,45E-03

Figura 31: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 01 de la envuelta frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 01 - Bolsa de pan



IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 02

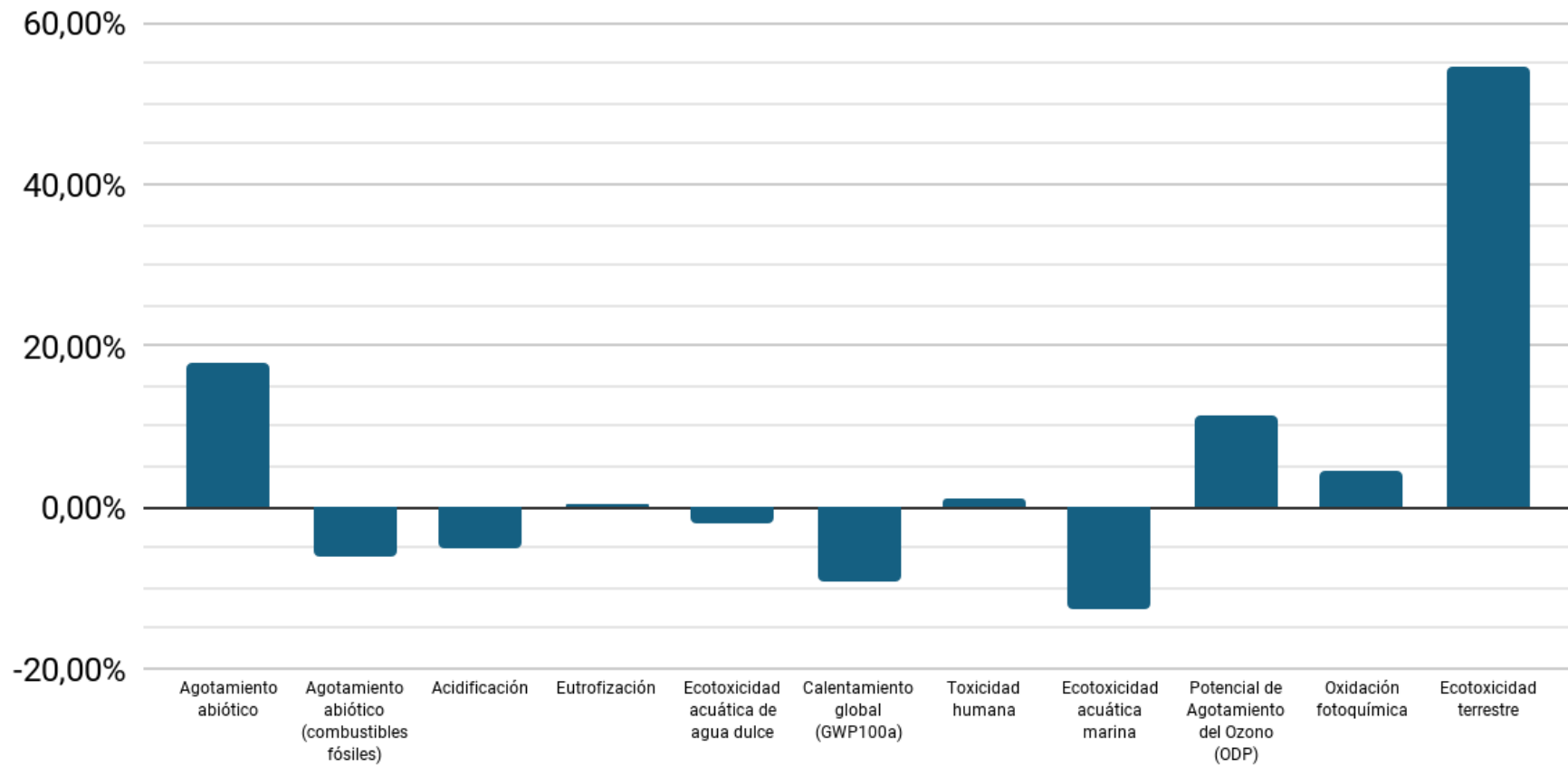
Tabla 19: Impacto ambiental de la bolsa de pan ecodiseñado 02.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Fabricación materias primas	Transporte fábrica	Embalaje	Transporte retailer	Transporte tiendas	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	5,48E-08	4,00E-10	1,08E-08	7,00E-10	2,00E-10	6,00E-10
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	165,91	5,15	32,62	9,34	2,11	20,00
Acidificación	kg SO2 eq	3,12E-02	8,44E-04	7,33E-03	1,53E-03	3,44E-04	7,21E-03
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,38E-02	1,83E-04	3,24E-03	3,33E-04	7,97E-05	2,30E-02
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	3,03	0,05	1,22	0,08	0,03	9,66
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	7,72	0,32	1,74	0,58	0,14	6,81
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	3,56	0,16	1,61	0,29	0,06	4,25
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	8390,92	100,41	4052,15	182,20	52,34	11135,54
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	3,28E-07	6,33E-08	1,43E-07	1,15E-07	2,57E-08	2,52E-07
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	1,58E-03	4,02E-05	7,32E-04	7,29E-05	1,81E-05	1,31E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,04E-02	5,19E-04	5,13E-03	9,41E-04	2,14E-04	2,72E-03

Figura 32: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 02 de la bolsa de pan frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 02 - Bolsa de pan



IMPACTO AMBIENTAL DE LA BOLSA DE PAN ECODISEÑADO 03

Tabla 20: Impacto ambiental de la bolsa de pan ecodiseñado 03 (25% de correcta separación).

Impacto ambiental	Unidad ref.	Fabricación materias primas	Transporte fábrica	Embalaje	Transporte retailer	Transporte tiendas	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	6,96E-08	3,65E-10	1,08E-08	6,62E-10	2,38E-10	5,00E-10
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	152,68	5,15	32,62	9,34	2,11	14,22
Acidificación	kg SO2 eq	2,89E-02	8,44E-04	7,33E-03	1,53E-03	3,44E-04	5,20E-03
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,40E-02	1,83E-04	3,24E-03	3,33E-04	7,97E-05	2,11E-02
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	2,75	0,05	1,22	0,08	0,03	9,33
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	6,27	0,32	1,74	0,58	0,14	5,86
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	3,66	0,16	1,61	0,29	0,06	4,01
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	5702,40	100,41	4052,15	182,20	52,34	10612,22
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	4,48E-07	6,33E-08	1,43E-07	1,15E-07	2,57E-08	1,79E-07
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	1,75E-03	4,02E-05	7,32E-04	7,29E-05	1,81E-05	1,13E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5,66E-02	5,19E-04	5,13E-03	9,41E-04	2,14E-04	2,34E-03

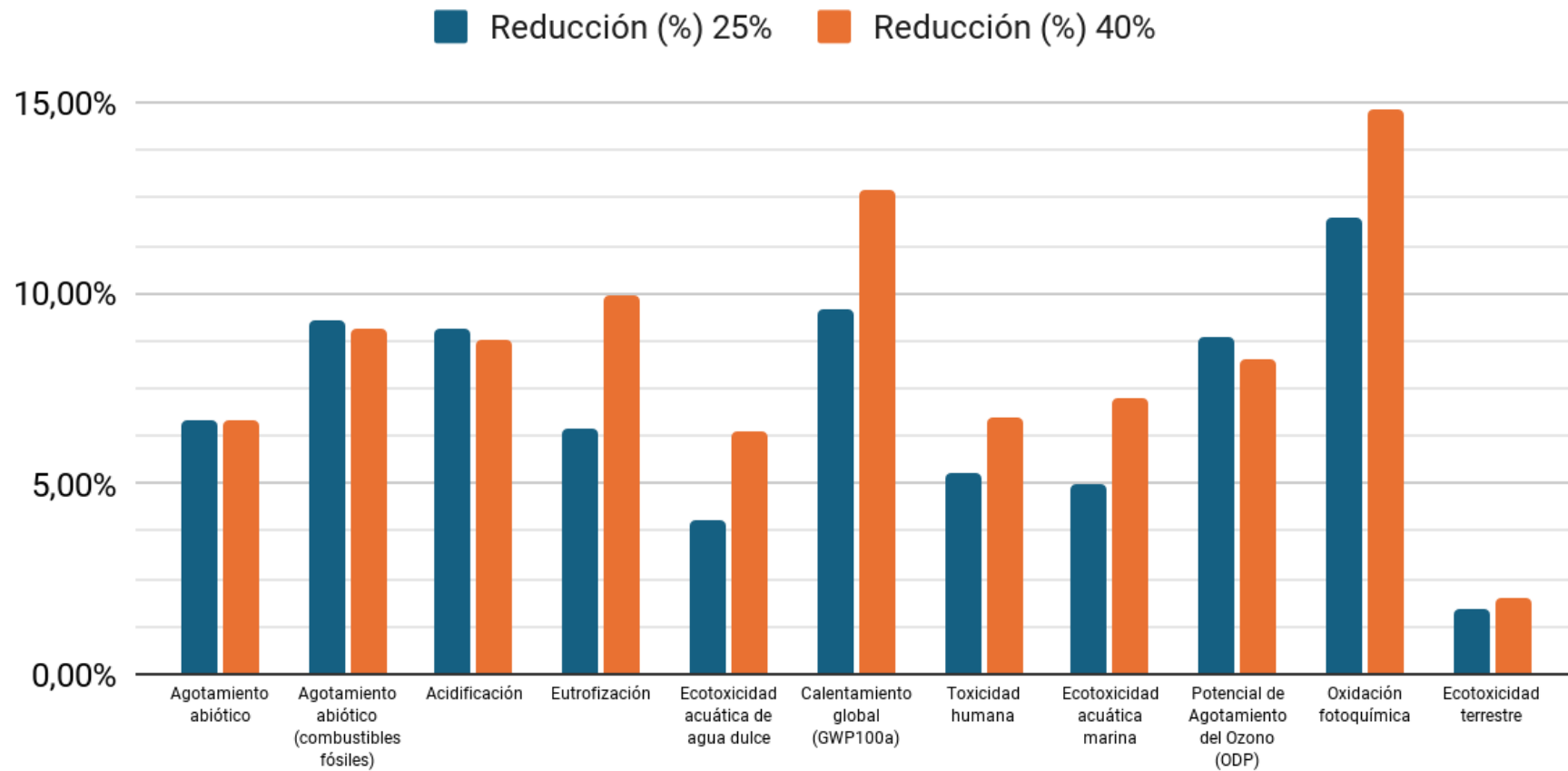
Tabla 21: Impacto ambiental de la bolsa de pan ecodiseñado 03 (40% de correcta separación).

Impacto ambiental	Unidad ref.	Fabricación materias primas	Transporte fábrica	Embalaje	Transporte retailer	Transporte tiendas	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	6,96E-08	3,65E-10	1,08E-08	6,62E-10	2,38E-10	5,00E-10
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	152,68	5,15	32,62	9,34	2,11	14,67
Acidificación	kg SO ₂ eq	2,89E-02	8,44E-04	7,33E-03	1,53E-03	3,44E-04	5,31E-03
Eutrofización	kg PO ₄ ---eq	1,40E-02	1,83E-04	3,24E-03	3,33E-04	7,97E-05	1,97E-02
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	2,75	0,05	1,22	0,08	0,03	9,00
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	6,27	0,32	1,74	0,58	0,14	5,36
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	3,66	0,16	1,61	0,29	0,06	3,87
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	5702,40	100,41	4052,15	182,20	52,34	10130,47
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	4,48E-07	6,33E-08	1,43E-07	1,15E-07	2,57E-08	1,85E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	1,75E-03	4,02E-05	7,32E-04	7,29E-05	1,81E-05	1,01E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	5,66E-02	5,19E-04	5,13E-03	9,41E-04	2,14E-04	2,16E-03

Figura 33: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 03 de la bolsa de pan frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 03 - Bolsa de pan



IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ACTUAL

Tabla 22: Impacto ambiental de la envuelta actual.

Indicador ambiental	Unidad ref.	Fabricación	Transporte planta chocolate	Embalaje	Transporte Puerto Bilbao	Transporte EE. UU.	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,30E-06	9,53E-09	3,60E-08	9,30E-10	2,37E-09	5,21E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	6.100,20	115,23	141,12	13,21	83,83	102,71
Acidificación	kg SO2 eq	7,36E-01	1,89E-02	4,04E-02	2,16E-03	1,72E-01	5,09E-02
Eutrofización	kg PO4 ⁻⁻⁻ eq	2,09E-01	4,10E-03	1,41E-02	4,70E-04	1,92E-02	9,31E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	68,15	1,01	4,42	0,12	0,75	305,20
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	205,06	7,18	8,17	0,82	6,56	67,33
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	96,03	3,61	11,93	0,41	3,03	139,33
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	148.448,91	2.245,55	8.359,65	256,89	1.771,88	318.401,10
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,56E-06	1,42E-06	8,07E-07	1,62E-07	1,05E-06	1,26E-06
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	4,23E-02	8,99E-04	4,07E-03	1,03E-04	4,48E-03	2,28E-02
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,43E-01	1,16E-02	2,59E-02	1,33E-03	1,09E-02	2,37E-01

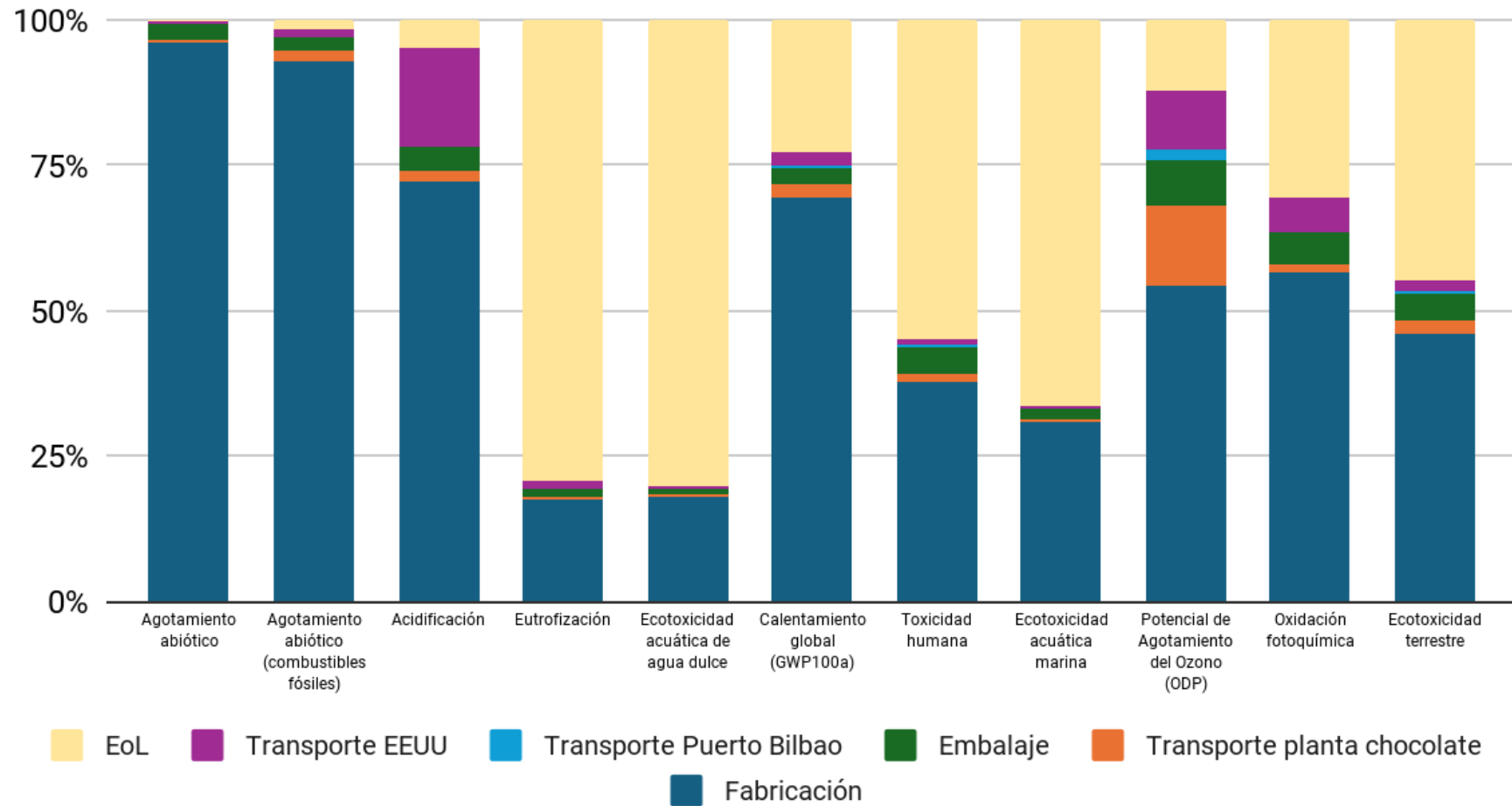
PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DE LA ENVUELTA ACTUAL

Tabla 23: Porcentaje de cada impacto ambiental en cada fase del LCA de la envuelta actual.

Indicador ambiental	Fabricación	Transporte planta chocolate	Embalaje	Transporte Puerto Bilbao	Transporte EE. UU.	EoL
Agotamiento abiótico	95,99%	0,70%	2,65%	0,07%	0,17%	0,41%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	92,76%	1,75%	2,15%	0,20%	1,27%	1,87%
Acidificación	71,67%	1,84%	3,93%	0,21%	16,73%	5,63%
Eutrofización	17,69%	0,35%	1,20%	0,04%	1,63%	79,09%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	17,95%	0,27%	1,16%	0,03%	0,20%	80,39%
Calentamiento global (GWP100a)	69,14%	2,42%	2,75%	0,28%	2,21%	23,20%
Toxicidad humana	37,71%	1,42%	4,68%	0,16%	1,19%	54,83%
Ecotoxicidad acuática marina	30,95%	0,47%	1,74%	0,05%	0,37%	66,42%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	52,90%	13,48%	7,67%	1,55%	10,00%	14,39%
Oxidación fotoquímica	56,46%	1,20%	5,43%	0,14%	5,98%	30,78%
Ecotoxicidad terrestre	45,83%	2,19%	4,89%	0,25%	2,05%	44,78%
Media	53,55%	2,37%	3,48%	0,27%	3,80%	36,53%

Figura 34: Gráfica ampliada de los porcentajes de las fases sobre el impacto ambiental de la envuelta con el diseño actual.

Porcentaje de Impacto de las fases del diseño actual de la envuelta



IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 01

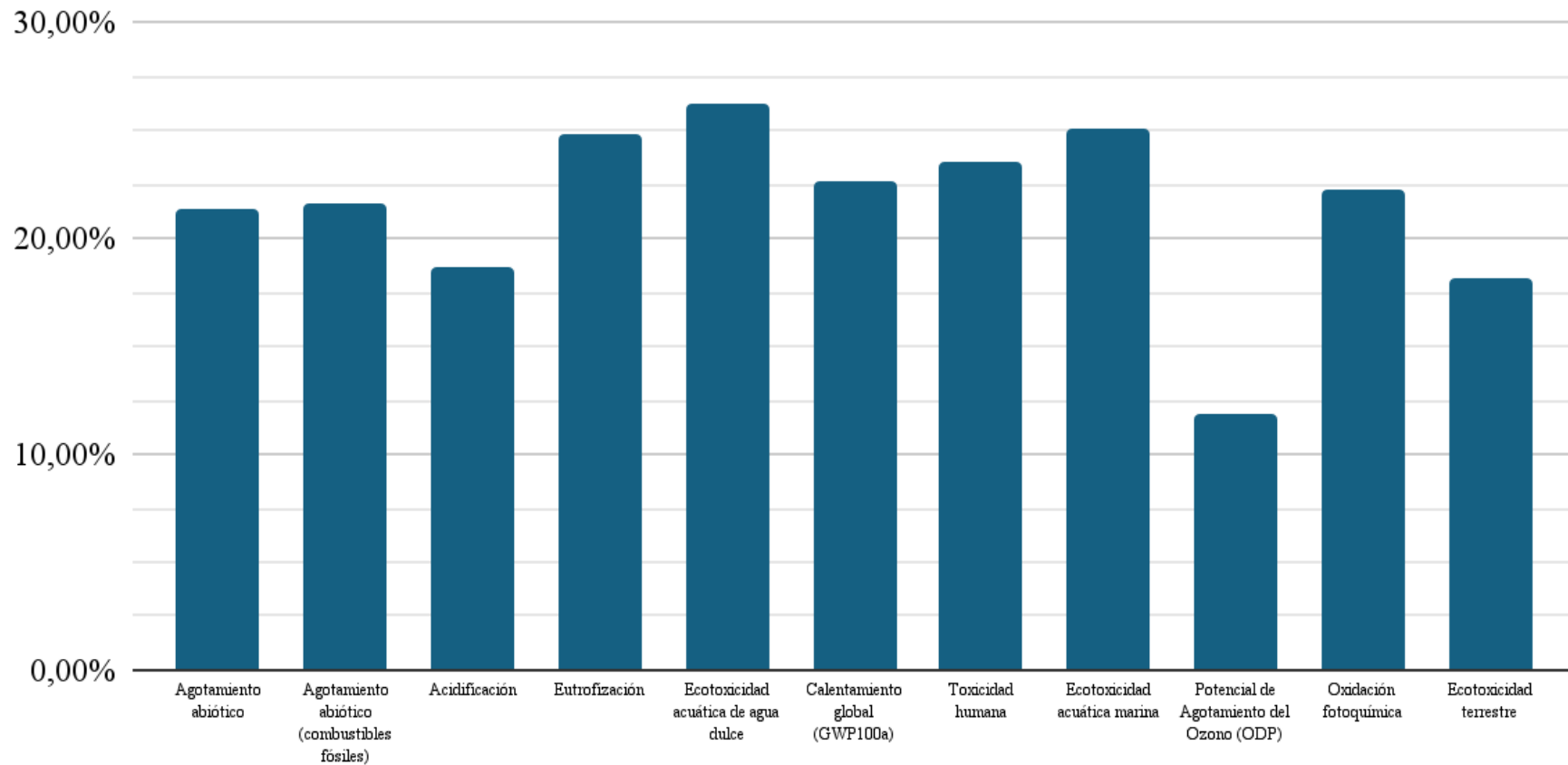
Tabla 24: Impacto ambiental de la envuelta ecodiseñado 01.

Indicador ambiental	Unidad ref.	Fabricación	Transporte planta chocolate	Embalaje	Transporte Puerto Bilbao	Transporte EE. UU.	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,02E-06	6,80E-09	3,74E-08	8,00E-10	2,00E-09	4,30E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	4.702,57	96,49	141,12	10,95	69,46	90,03
Acidificación	kg SO2 eq	5,84E-01	1,58E-02	4,04E-02	1,79E-03	1,42E-01	4,33E-02
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,70E-01	3,43E-03	1,41E-02	3,90E-04	1,59E-02	7,03E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	54,15	0,85	4,42	0,10	0,62	223,01
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	161,16	6,01	8,17	0,68	5,44	54,83
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	75,84	3,03	11,93	0,34	2,51	103,17
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	119.677,79	1.881,86	8.357,81	213,56	1.468,14	235.383,75
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	4,72E-06	1,19E-06	8,08E-07	1,35E-07	8,71E-07	1,11E-06
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	3,34E-02	7,53E-04	4,07E-03	8,54E-05	3,71E-03	1,82E-02
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,12E-01	9,72E-03	2,59E-02	1,10E-03	9,01E-03	1,82E-01

Figura 35: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 01 de la envuelta frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 01 - Envuelta



IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 02

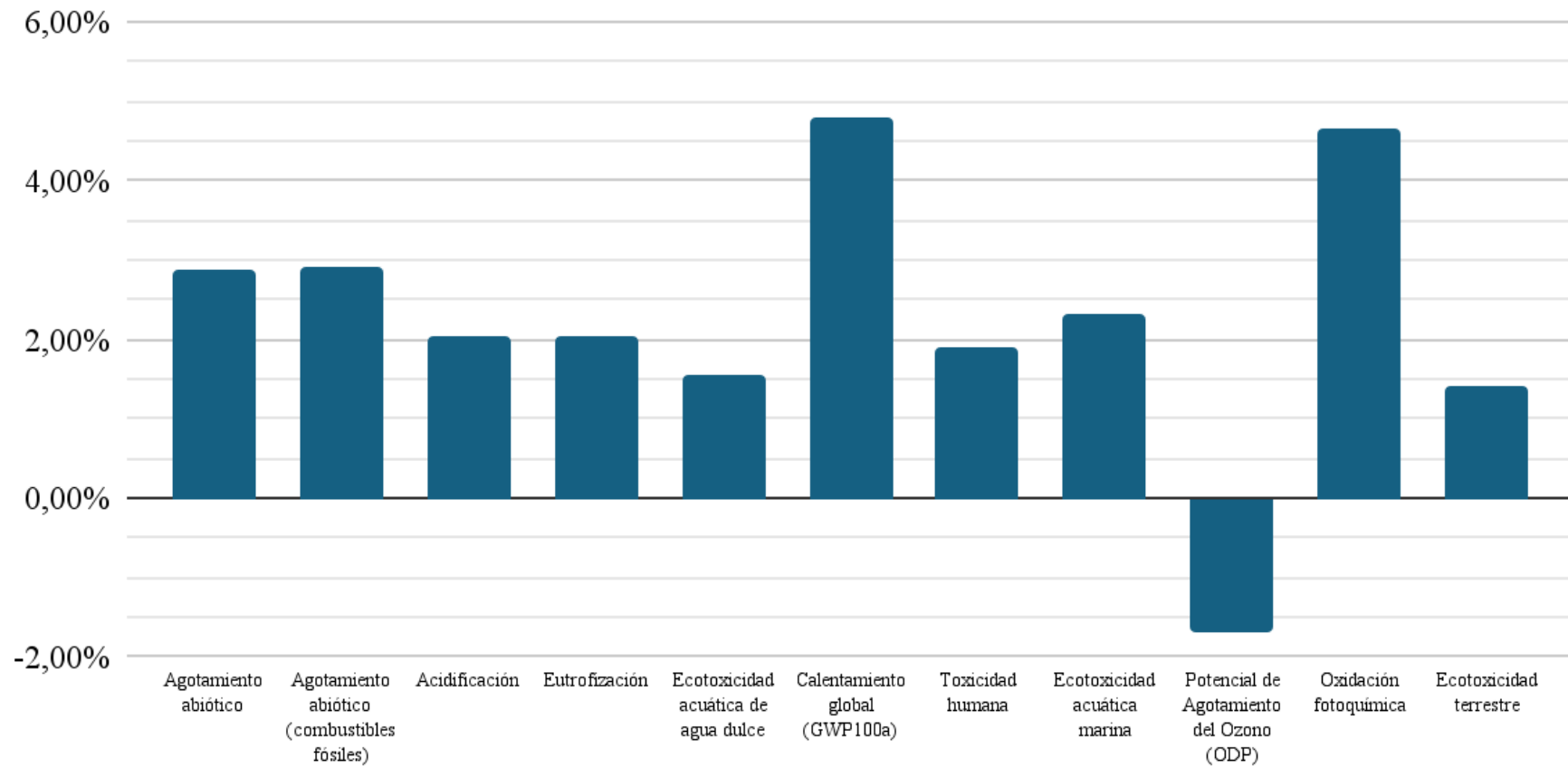
Tabla 25: Impacto ambiental de la envuelta ecodiseñado 02.

Indicador ambiental	Unidad ref.	Fabricación	Transporte planta chocolate	Embalaje	Transporte Puerto Bilbao	Transporte EE. UU.	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,27E-06	9,30E-09	3,60E-08	9,00E-10	2,30E-09	4,90E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	5.886,90	111,36	141,12	12,72	80,67	116,43
Acidificación	kg SO2 eq	7,21E-01	1,82E-02	4,04E-02	2,08E-03	1,65E-01	5,38E-02
Eutrofización	kg PO4--- eq	2,07E-01	3,96E-03	1,41E-02	4,53E-04	1,85E-02	9,10E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	66,69	0,98	4,42	0,11	0,72	302,81
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	199,80	6,94	8,17	0,79	6,31	58,69
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	93,78	3,49	11,93	0,40	2,91	136,99
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	146.218,33	2.169,83	8.359,09	248,03	1.705,16	309.757,40
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,64E-06	1,37E-06	8,07E-07	1,56E-07	1,01E-06	1,44E-06
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	4,13E-02	8,69E-04	4,07E-03	9,92E-05	4,31E-03	2,05E-02
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,43E-01	1,12E-02	2,59E-02	1,28E-03	1,05E-02	2,30E-01

Figura 36: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 02 de la envuelta frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 02 - Envuelta



IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENVUELTA ECODISEÑADO 03

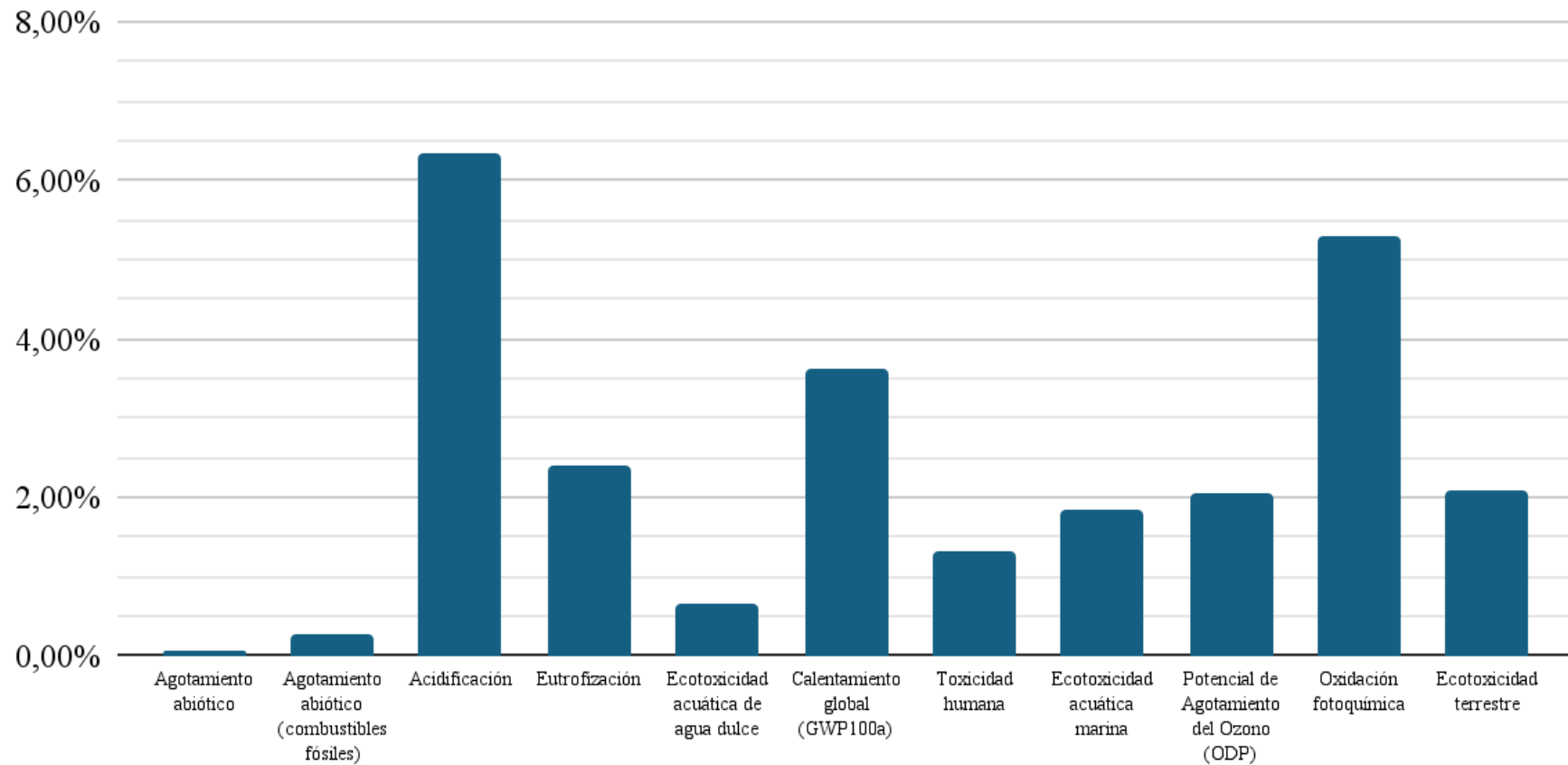
Tabla 26: Impacto ambiental de la envuelta ecodiseñado 03.

Indicador ambiental	Unidad ref.	Fabricación	Transporte planta chocolate	Embalaje	Transporte Puerto Bilbao	Transporte EE. UU.	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,30E-06	9,50E-09	3,60E-08	6,00E-10	1,80E-09	5,00E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	6.100,20	115,23	141,12	7,93	55,58	118,66
Acidificación	kg SO2 eq	7,36E-01	1,89E-02	4,04E-02	1,30E-03	1,04E-01	5,47E-02
Eutrofización	kg PO4 ⁻⁻⁻ eq	2,09E-01	4,10E-03	1,41E-02	2,82E-04	1,17E-02	9,11E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	68,15	1,01	4,42	0,07	0,50	302,92
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	205,06	7,18	8,17	0,49	4,27	59,29
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	96,03	3,61	11,93	0,25	1,98	137,14
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	148.448,91	2.245,55	8.359,65	153,79	1.166,22	310.170,23
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,56E-06	1,42E-06	8,07E-07	9,75E-08	6,96E-07	1,46E-06
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	4,23E-02	8,99E-04	4,07E-03	6,18E-05	2,73E-03	2,07E-02
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,43E-01	1,16E-02	2,59E-02	7,97E-04	7,06E-03	2,30E-01

Figura 37: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 03 de la envuelta frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 03 - Envuelta



IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL

Tabla 27: Impacto ambiental del envase de yogur actual.

Impacto ambiental	Unidad ref.	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/Usó	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	9,02E-07	5,76E-10	2,66E-08	4,73E-08	2,67E-08	3,22E-09	1,39E-09	3,22E-09	4,97E-07	1,06E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1.406,80	8,14	14,55	27,68	38,25	1,76	15,34	1,76	197,29	26,86
Acidificación	kg SO ₂ eq	2,56E-01	1,33E-03	7,04E-03	1,53E-02	1,15E-02	8,53E-04	2,60E-03	8,53E-04	1,23E-01	1,05E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	6,21E-02	2,90E-04	2,08E-03	7,96E-03	5,07E-03	2,52E-04	6,27E-04	2,52E-04	2,81E-02	1,18E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	14,70	0,07	3,50	1,21	1,10	0,42	0,36	0,42	7,84	24,02
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	70,69	0,51	1,39	2,22	2,16	0,17	1,13	0,17	17,24	10,85
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	20,13	0,26	3,39	1,58	2,04	0,41	0,48	0,41	8,66	10,35
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	45.805,45	158,64	3.052,27	2.797,04	2.385,15	370,11	476,68	370,11	27.277,12	22.936,93
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	3,00E-06	1,00E-07	1,22E-07	2,94E-07	2,01E-07	1,48E-08	2,31E-07	1,48E-08	2,54E-06	3,36E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	1,06E-01	6,35E-05	3,83E-04	8,15E-04	9,82E-04	4,64E-05	1,35E-04	4,64E-05	4,51E-03	9,67E-04
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	1,24E-01	8,20E-04	3,15E-02	1,17E-02	7,61E-03	3,82E-03	1,44E-03	3,82E-03	5,76E-02	2,75E-02

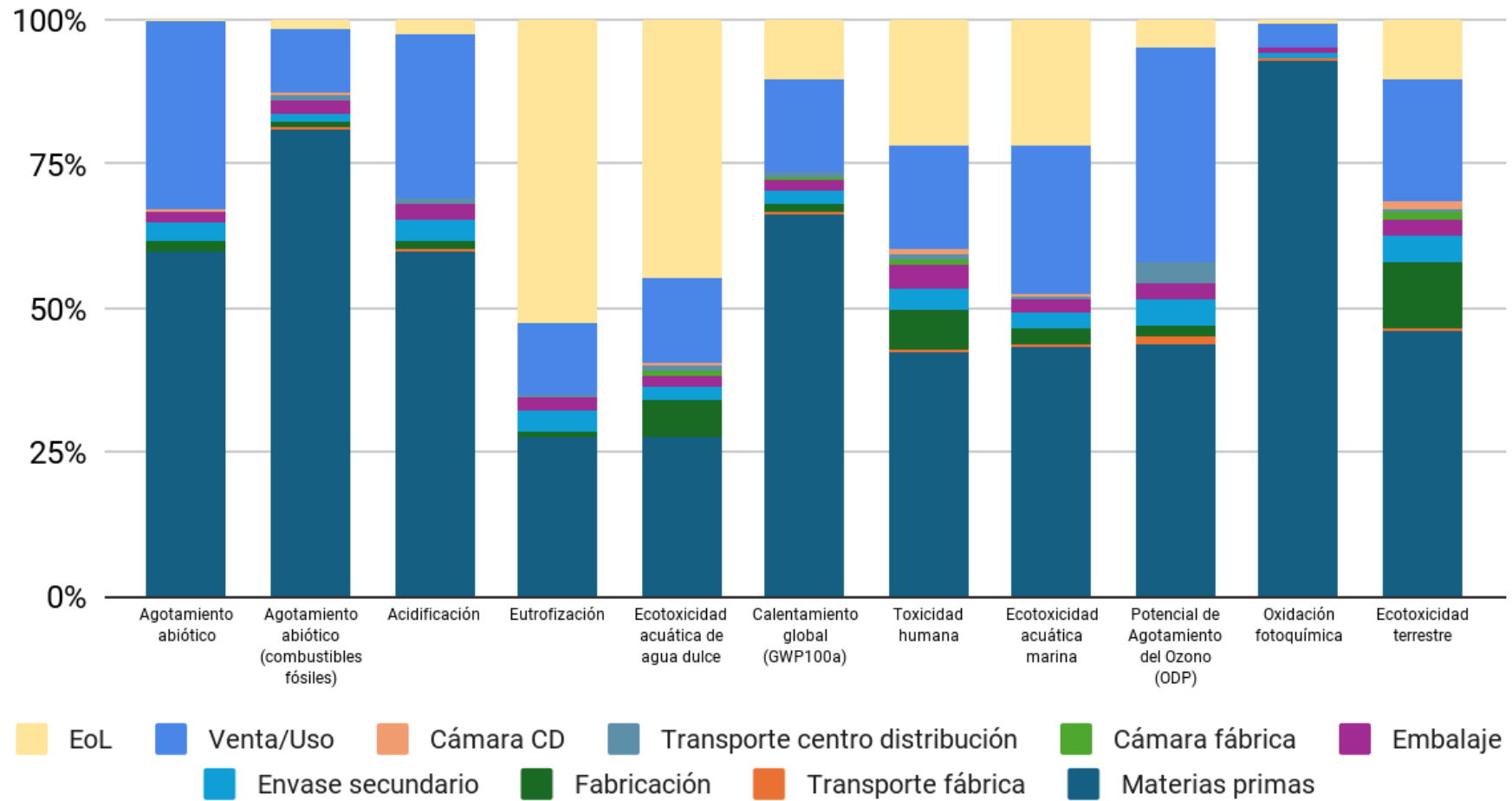
PORCENTAJE DE CADA IMPACTO AMBIENTAL EN CADA FASE DEL LCA DEL ENVASE DE YOGUR ACTUAL

Tabla 28: Porcentaje de cada impacto ambiental en cada fase del LCA del envase de yogur actual.

Impacto ambiental	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/Usó	EoL
Agotamiento abiótico	59,76%	0,04%	1,76%	3,13%	1,77%	0,21%	0,09%	0,21%	32,95%	0,07%
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	80,92%	0,47%	0,84%	1,59%	2,20%	0,10%	0,88%	0,10%	11,35%	1,55%
Acidificación	59,74%	0,31%	1,64%	3,56%	2,68%	0,20%	0,61%	0,20%	28,61%	2,45%
Eutrofización	27,65%	0,13%	0,93%	3,54%	2,26%	0,11%	0,28%	0,11%	12,51%	52,49%
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	27,39%	0,13%	6,53%	2,26%	2,05%	0,79%	0,66%	0,79%	14,61%	44,77%
Calentamiento global (GWP100a)	66,36%	0,48%	1,31%	2,08%	2,03%	0,16%	1,06%	0,16%	16,18%	10,19%
Toxicidad humana	42,19%	0,53%	7,11%	3,30%	4,29%	0,86%	1,01%	0,86%	18,15%	21,69%
Ecotoxicidad acuática marina	43,36%	0,15%	2,89%	2,65%	2,26%	0,35%	0,45%	0,35%	25,82%	21,71%
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	43,77%	1,46%	1,78%	4,29%	2,93%	0,22%	3,37%	0,22%	37,08%	4,89%
Oxidación fotoquímica	93,05%	0,06%	0,34%	0,71%	0,86%	0,04%	0,12%	0,04%	3,94%	0,85%
Ecotoxicidad terrestre	46,05%	0,30%	11,65%	4,32%	2,82%	1,41%	0,53%	1,41%	21,31%	10,19%
Media	53,66%	0,37%	3,34%	2,86%	2,38%	0,41%	0,82%	0,41%	20,23%	15,53%

Figura 38: Gráfica ampliada de los porcentajes de las fases sobre el impacto ambiental del envase de yogur actual.

Porcentaje de impacto de las fases del envase de yogur actual



IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 01

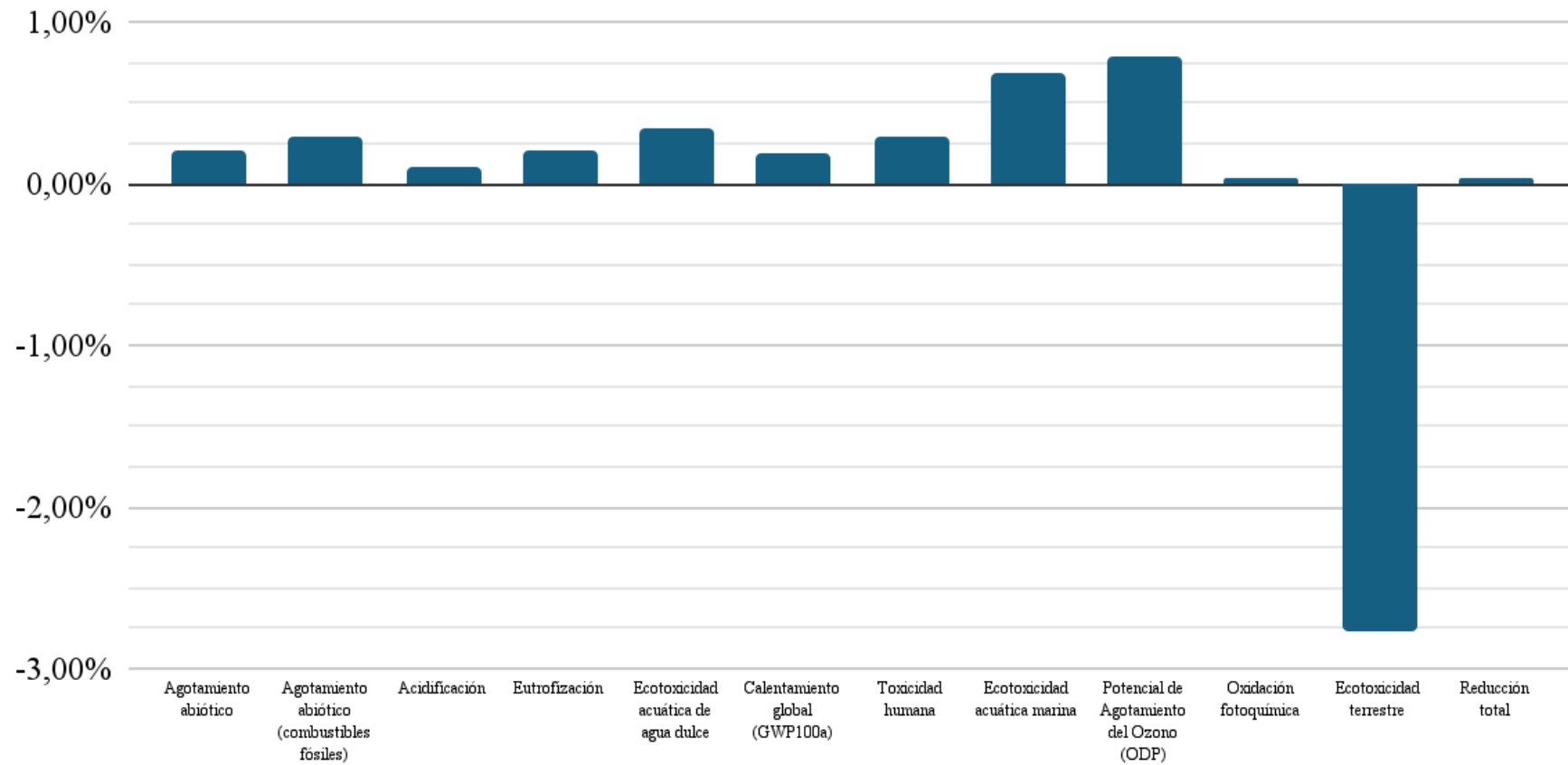
Tabla 29: Impacto ambiental del envase de yogur ecodiseñado 01

Impacto ambiental	Unidad ref.	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/Usos	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	8,99E-07	6,00E-10	2,66E-08	4,73E-08	2,67E-08	3,20E-09	1,40E-09	3,20E-09	4,97E-07	1,10E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1.401,79	8,14	14,55	27,68	38,25	1,76	15,34	1,76	197,29	26,86
Acidificación	kg SO ₂ eq	2,56E-01	1,33E-03	7,04E-03	1,53E-02	1,15E-02	8,53E-04	2,60E-03	8,53E-04	1,23E-01	1,05E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	6,16E-02	2,90E-04	2,08E-03	7,96E-03	5,07E-03	2,52E-04	6,27E-04	2,52E-04	2,81E-02	1,18E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	14,51	0,07	3,50	1,21	1,10	0,42	0,36	0,42	7,84	24,02
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	70,49	0,51	1,39	2,22	2,16	0,17	1,13	0,17	17,24	10,85
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	19,99	0,26	3,39	1,58	2,04	0,41	0,48	0,41	8,66	10,35
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	45.089,04	158,64	3.052,27	2.797,04	2.385,15	370,11	476,68	370,11	27.277,12	22.936,93
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,95E-06	1,00E-07	1,22E-07	2,94E-07	2,01E-07	1,48E-08	2,31E-07	1,48E-08	2,54E-06	3,36E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	1,06E-01	6,35E-05	3,83E-04	8,15E-04	9,82E-04	4,64E-05	1,35E-04	4,64E-05	4,51E-03	9,67E-04
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	1,32E-01	8,20E-04	3,15E-02	1,17E-02	7,61E-03	3,82E-03	1,44E-03	3,82E-03	5,76E-02	2,75E-02

Figura 39: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 01 del envase de yogur frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 01 - Envase yogur



IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 02

Tabla 30: Impacto ambiental del envase de yogur ecodiseñado 02 (30% rPS)

Impacto ambiental	Unidad ref.	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/Usos	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	6,63E-07	6,00E-10	2,66E-08	4,73E-08	2,67E-08	3,20E-09	1,40E-09	3,20E-09	4,97E-07	1,10E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1.064,78	8,14	14,55	27,68	38,25	1,76	15,34	1,76	197,29	26,86
Acidificación	kg SO ₂ eq	2,01E-01	1,33E-03	7,04E-03	1,53E-02	1,15E-02	8,53E-04	2,60E-03	8,53E-04	1,23E-01	1,05E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	5,28E-02	2,90E-04	2,08E-03	7,96E-03	5,07E-03	2,52E-04	6,27E-04	2,52E-04	2,81E-02	1,18E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	13,13	0,07	3,50	1,21	1,10	0,42	0,36	0,42	7,84	24,02
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	55,15	0,51	1,39	2,22	2,16	0,17	1,13	0,17	17,24	10,85
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	18,12	0,26	3,39	1,58	2,04	0,41	0,48	0,41	8,66	10,35
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	38.893,90	158,64	3.052,27	2.797,04	2.385,15	370,11	476,68	370,11	27.277,12	22.936,93
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,74E-06	1,00E-07	1,22E-07	2,94E-07	2,01E-07	1,48E-08	2,31E-07	1,48E-08	2,54E-06	3,36E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	7,78E-02	6,35E-05	3,83E-04	8,15E-04	9,82E-04	4,64E-05	1,35E-04	4,64E-05	4,51E-03	9,67E-04
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	1,18E-01	8,20E-04	3,15E-02	1,17E-02	7,61E-03	3,82E-03	1,44E-03	3,82E-03	5,76E-02	2,75E-02

ANEXOS

Tabla 31: Impacto ambiental del envase de yogur ecodiseñado 02 (60% rPS)

Impacto ambiental	Unidad ref.	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/Usos	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	4,24E-07	6,00E-10	2,66E-08	4,73E-08	2,67E-08	3,20E-09	1,40E-09	3,20E-09	4,97E-07	1,10E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	722,76	8,14	14,55	27,68	38,25	1,76	15,34	1,76	197,29	26,86
Acidificación	kg SO ₂ eq	1,45E-01	1,33E-03	7,04E-03	1,53E-02	1,15E-02	8,53E-04	2,60E-03	8,53E-04	1,23E-01	1,05E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	4,35E-02	2,90E-04	2,08E-03	7,96E-03	5,07E-03	2,52E-04	6,27E-04	2,52E-04	2,81E-02	1,18E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	11,57	0,07	3,50	1,21	1,10	0,42	0,36	0,42	7,84	24,02
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	39,61	0,51	1,39	2,22	2,16	0,17	1,13	0,17	17,24	10,85
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	16,10	0,26	3,39	1,58	2,04	0,41	0,48	0,41	8,66	10,35
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	31.982,35	158,64	3.052,27	2.797,04	2.385,15	370,11	476,68	370,11	27.277,12	22.936,93
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,48E-06	1,00E-07	1,22E-07	2,94E-07	2,01E-07	1,48E-08	2,31E-07	1,48E-08	2,54E-06	3,36E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	4,92E-02	6,35E-05	3,83E-04	8,15E-04	9,82E-04	4,64E-05	1,35E-04	4,64E-05	4,51E-03	9,67E-04
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	1,12E-01	8,20E-04	3,15E-02	1,17E-02	7,61E-03	3,82E-03	1,44E-03	3,82E-03	5,76E-02	2,75E-02

ANEXOS

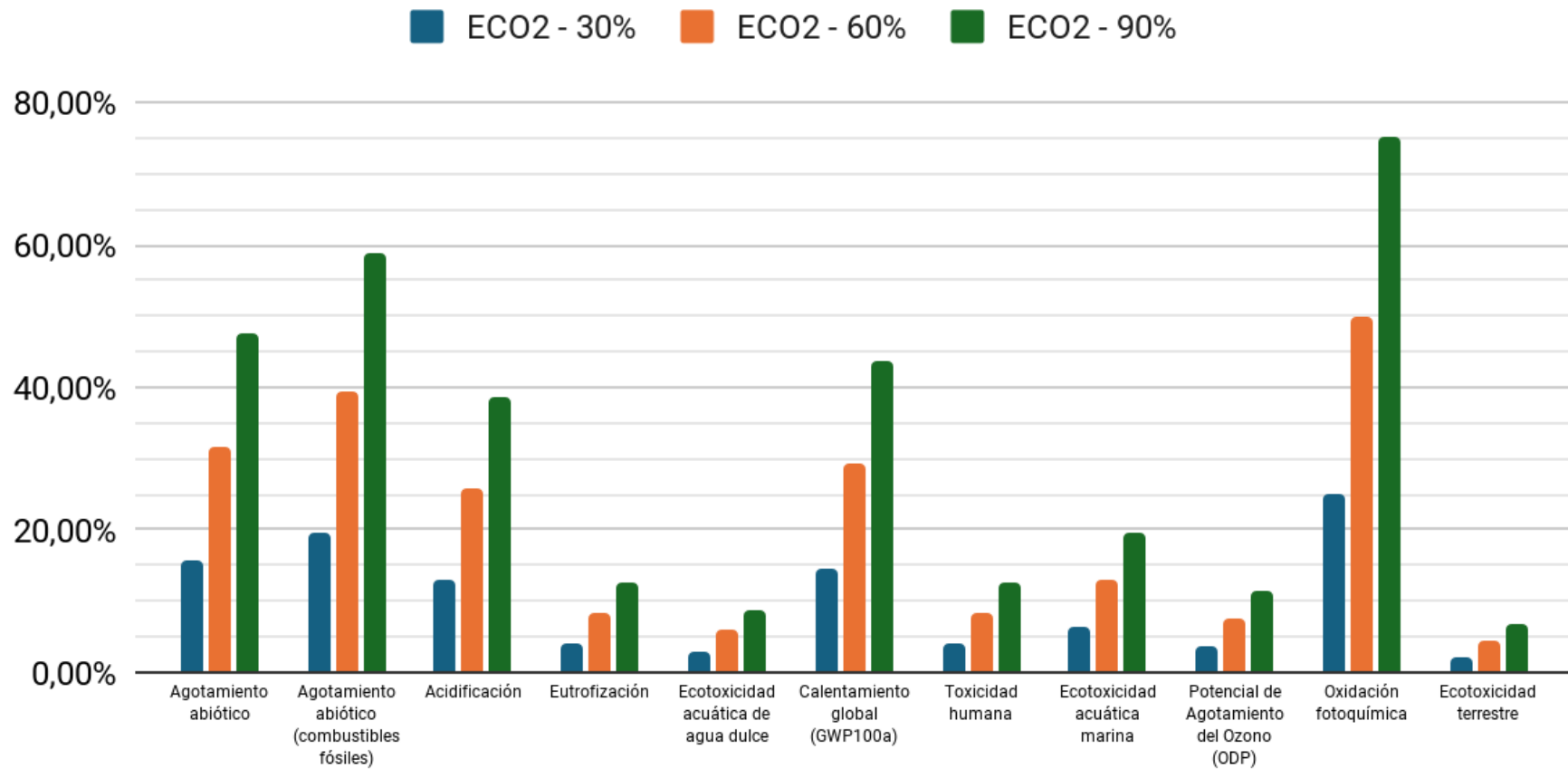
Tabla 32: Impacto ambiental del envase de yogur ecodiseñado 02 (90% rPS)

Impacto ambiental	Unidad ref.	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/Usos	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	1,85E-07	6,00E-10	2,66E-08	4,73E-08	2,67E-08	3,20E-09	1,40E-09	3,20E-09	4,97E-07	1,10E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	380,75	8,14	14,55	27,68	38,25	1,76	15,34	1,76	197,29	26,86
Acidificación	kg SO ₂ eq	9,02E-02	1,33E-03	7,04E-03	1,53E-02	1,15E-02	8,53E-04	2,60E-03	8,53E-04	1,23E-01	1,05E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	3,41E-02	2,90E-04	2,08E-03	7,96E-03	5,07E-03	2,52E-04	6,27E-04	2,52E-04	2,81E-02	1,18E-01
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	10,01	0,07	3,50	1,21	1,10	0,42	0,36	0,42	7,84	24,02
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	24,07	0,51	1,39	2,22	2,16	0,17	1,13	0,17	17,24	10,85
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	14,09	0,26	3,39	1,58	2,04	0,41	0,48	0,41	8,66	10,35
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	25.070,80	158,64	3.052,27	2.797,04	2.385,15	370,11	476,68	370,11	27.277,12	22.936,93
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,22E-06	1,00E-07	1,22E-07	2,94E-07	2,01E-07	1,48E-08	2,31E-07	1,48E-08	2,54E-06	3,36E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	2,06E-02	6,35E-05	3,83E-04	8,15E-04	9,82E-04	4,64E-05	1,35E-04	4,64E-05	4,51E-03	9,67E-04
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	1,06E-01	8,20E-04	3,15E-02	1,17E-02	7,61E-03	3,82E-03	1,44E-03	3,82E-03	5,76E-02	2,75E-02

Figura 40: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 02 del envase de yogur frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 02 - Envase yogur



IMPACTO AMBIENTAL DEL ENVASE DE YOGUR ECODISEÑADO 03

Tabla 33: Impacto ambiental del envase de yogur ecodiseñado 03

Impacto ambiental	Unidad ref.	Materias primas	Transporte fábrica	Fabricación	Envase secundario	Embalaje	Cámara fábrica	Transporte centro distribución	Cámara CD	Venta/Usos	EoL
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	8,72E-07	6,00E-10	2,66E-08	4,73E-08	2,67E-08	3,20E-09	1,40E-09	3,20E-09	4,97E-07	1,00E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	1.364,04	8,14	14,55	27,68	38,25	1,76	15,34	1,76	197,29	28,87
Acidificación	kg SO ₂ eq	2,42E-01	1,33E-03	7,04E-03	1,53E-02	1,15E-02	8,53E-04	2,60E-03	8,53E-04	1,23E-01	1,09E-02
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	5,50E-02	2,90E-04	2,08E-03	7,96E-03	5,07E-03	2,52E-04	6,27E-04	2,52E-04	2,81E-02	8,52E-02
Ecotoxicidad acuática de agua dulce	kg 1,4-DB eq	12,44	0,07	3,50	1,21	1,10	0,42	0,36	0,42	7,84	16,63
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	67,71	0,51	1,39	2,22	2,16	0,17	1,13	0,17	17,24	9,91
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	16,90	0,26	3,39	1,58	2,04	0,41	0,48	0,41	8,66	7,39
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	40.526,62	158,64	3.052,27	2.797,04	2.385,15	370,11	476,68	370,11	27.277,12	16.493,47
Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,59E-06	1,00E-07	1,22E-07	2,94E-07	2,01E-07	1,48E-08	2,31E-07	1,48E-08	2,54E-06	3,63E-07
Oxidación fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	1,05E-01	6,35E-05	3,83E-04	8,15E-04	9,82E-04	4,64E-05	1,35E-04	4,64E-05	4,51E-03	1,18E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	1,05E-01	8,20E-04	3,15E-02	1,17E-02	7,61E-03	3,82E-03	1,44E-03	3,82E-03	5,76E-02	1,98E-02

Figura 41: Gráfica ampliada de la reducción de los impactos ambientales con la mejora de ecodiseño 03 del envase de yogur frente al diseño actual.

Porcentaje de reducción de los impactos ambientales

Ecodiseño 03 - Envase yogur

