



**Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana**

Solórzano Solano, Nadia Denisse

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de posgrados

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Sistemas De Gestión Ambiental

Ramos Guerrero, Luis Alejandro, Ph.D.

01 de diciembre 2022

## Resultados de la herramienta verificación de similitud de contenidos



### Document Information

Analyzed document	Solorzano Nadia - 02-12-2022.pdf (D151961905)
Submitted	12/4/2022 11:11:00 AM
Submitted by	
Submitter email	cmoreno@ute.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	cmoreno.ute@analysis.urkund.com

### Sources included in the report

#### Entire Document

Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana Solórzano Solano, Nadia Denisse Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología Centro de posgrados Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en: Sistemas De Gestión Ambiental Ramos Guerrero, Luis Alejandro, Ph.D, 01 de diciembre 2022

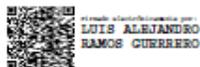
ii Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología Centro de Posgrados Certificación Certifico que el trabajo de titulación: "Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana" fue realizado por Solórzano Solano, Nadia Denisse; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente, Firma: ..... Ramos Guerrero, Luis Alejandro, Ph.D, Director C.C.: 1712923760

iii Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología Centro de Posgrados Responsabilidad de autoría Yo Solórzano Solano, Nadia Denisse, con cédula/cédulas de ciudadanía n° 0931066625 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas, Firma ..... Solórzano Solano, Nadia Denisse C.C.: 0931066625

iv Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología Centro de Posgrados Autorización de Publicación Yo Solórzano Solano, Nadia Denisse, con cédula/cédulas de ciudadanía n° 0931066625 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad, Firma ..... Solórzano Solano, Nadia Denisse C.C.: 0931066625

v Dedicatoria A mis padres, mi principal motivación de nunca rendirme y siempre superarme. Y a mi amado tío Felix.

vi Agradecimientos A mis padres y hermanos, por siempre estar ahí para mí, A mi tutor Dr, Luis Ramos por su paciencia, cordialidad y excelente direccionamiento profesional en cada etapa de este trabajo, Al Dr, José Luis Canga y Abaleo por su apoyo para los cálculos de ACV, A mis compañeros de trabajo y colegas quienes aportaron con información valiosa para el desarrollo de este trabajo,





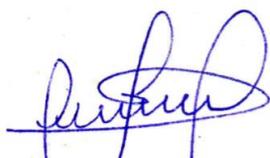
**Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología**  
**Centro de Posgrados**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: “**Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana**” fue realizado por **Solórzano Solano, Nadia Denisse**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 01 de Diciembre de 2022**

**Firma:**



.....  
Ramos Guerrero, Luis Alejandro, Ph.D.

**Director**

C.C.: 1712923760



## Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

### Centro de Posgrados

#### Responsabilidad de Autoría

Yo **Solórzano Solano, Nadia Denisse**, con cédula/cédulas de ciudadanía n° 0931066625 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana** es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 01 de Diciembre de 2022**

Firma

.....  
**Solórzano Solano, Nadia Denisse**

C.C.: 0931066625



**Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología**

**Centro de Posgrados**

**Autorización de Publicación**

Yo Solórzano Solano, Nadia Denisse, con cédula/cédulas de ciudadanía n° 0931066625 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Análisis de Ciclo Vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado en la industria ecuatoriana** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 01 de Diciembre de 2022**

Firma

.....  
**Solórzano Solano, Nadia Denisse**

C.C.: 0931066625

## Dedicatoria

*A mis padres Mariana y Edison, mi principal motivación que me llevaron a nunca rendirme y siempre superarme. Y a mí amado tío Felix.*

## **Agradecimientos**

*A mis padres y hermano Edy, por siempre estar ahí para mí.*

*A mi tutor Dr. Luis Ramos por su paciencia, cordialidad y excelente direccionamiento profesional en cada etapa de este trabajo.*

*Al Dr. José Luis Canga y Abaleo por su apoyo para los cálculos de ACV.*

*A mis compañeros de trabajo y colegas quienes aportaron con información valiosa para el desarrollo de este trabajo.*

## Índice General

Resultados de la herramienta verificación de similitud de contenidos .....	ii
Certificación .....	iii
Responsabilidad de Autoría .....	iv
Autorización de Publicación .....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos .....	vii
Índice General.....	viii
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras .....	xii
Resumen .....	14
Abstract.....	15
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN .....	16
Antecedentes .....	16
Formulación del Problema .....	18
Objetivos de la Investigación.....	20
Objetivo general .....	20
Objetivos específicos .....	20
Hipótesis .....	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO Y LEGAL.....	21
Marco Legal .....	21
Marco Legal aplicable al caso de estudio .....	21
Normativas asociadas al ACV .....	22
Marco Teórico.....	22

Especificación de las fundas de plástico .....	22
Manufactura de las fundas de plástico. ....	23
Manufactura de material post consumo en la industria plástica. ....	24
Análisis del ciclo de vida .....	27
CAPÍTULO III .....	30
METODOLOGÍA .....	30
Objetivo y Alcance .....	30
Objetivo .....	30
Sitio de Estudio .....	30
Alcance .....	30
Limitaciones y consideraciones para el ICV .....	31
Inventario de Ciclo de Vida .....	32
Levantamiento de información. Descripción de procesos .....	33
Levantamiento de inventario de cada escenario.....	38
Escenario base: fundas con 0% material reciclado- 100% material virgen .....	38
Escenario 1: fundas con 70% material reciclado interno y externo .....	40
Escenario 2: fundas con 70% material reciclado externo.....	42
Evaluación del Inventario del Ciclo de Vida.....	43
CAPÍTULO IV .....	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
Resultados Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.....	44
Resultados de ACV por Categoría de Impacto Ambiental .....	47
Cambio Climático .....	47
Agotamiento del Ozono .....	48
Radiación Ionizante para la salud humana.....	49
Formación de Ozono Fotoquímico .....	51
Material Particulado.....	52

Toxicidad Humana (no cancerígena).....	53
Toxicidad Humana (cancerígena).....	54
Acidificación .....	56
Eutrofización de agua dulce y marina.....	57
Eutrofización Terrestre .....	60
Ecotoxicidad de Agua Dulce.....	61
Uso de Suelo.....	62
Uso del Agua.....	63
Uso de Recursos fósiles, minerales y metales .....	64
Resultados Ponderados de ACV - Comparación entre escenarios.....	65
Resultados Ponderados de ACV (EndPoint) agrupados por tipo de afectación.....	68
CAPÍTULO V .....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÉNDICES .....	82

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Recursos naturales utilizados en el proceso de manufactura de fundas plásticas.....	35
<b>Tabla 2</b> Características de maquinaria, vehículos y equipos móviles utilizados en los procesos de manufactura de fundas plásticas.....	36
<b>Tabla 3</b> Detalle de recorridos por concepto de transporte asociados de la materia prima involucrado en los procesos de manufactura de fundas plásticas.....	37
<b>Tabla 4</b> Inventario ACV del escenario base.....	39
<b>Tabla 5</b> Inventario ACV del escenario 1: fundas con 70% material reciclado interno y externo.....	41
<b>Tabla 6</b> Inventario ACV del escenario 2- fundas con 70% material reciclado externo.....	43
<b>Tabla 7</b> Resultados de la evaluación impacto ambiental ACV – Etapa Caracterización en referencia a la unidad funciona.....	45
<b>Tabla 8</b> Evaluación del impacto ambiental ACV de las actividades de producción de fundas de acarreo– Resultados ponderados (en micropuntos y porcentaje) por escenarios.....	66
<b>Tabla 9</b> Grupos de afectación final de cada categoría de impacto por cada escenario.....	70
<b>Tabla 10</b> Evaluación del impacto ambiental ACV de las actividades de producción de fundas de acarreo– Resultados ponderados (en micropuntos y porcentaje) por grupo de afectación.....	72

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Diagrama de elaboración de bolsas plásticas.....	24
<b>Figura 2</b> Esquema de un análisis de ciclo de vida.....	29
<b>Figura 3</b> Diagrama de Flujo de Procesos Escenario Base.....	38
<b>Figura 4</b> Diagrama de Flujo de Procesos Escenario 1.....	40
<b>Figura 5</b> Diagrama de Flujo de Procesos Escenario 2.....	42
<b>Figura 6</b> Resultados ACV (%) de la Etapa de Caracterización de los escenarios de manufactura en fundas plásticas.....	46
<b>Figura 7</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Cambio Climático de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	47
<b>Figura 8</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Agotamiento del Ozono de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	48
<b>Figura 9</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Radiación Ionizante de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	50
<b>Figura 10</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Formación de Ozono Fotoquímico de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	51
<b>Figura 11</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Material Particulado de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	52
<b>Figura 12</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Toxicidad Humana no cancerígena de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	54
<b>Figura 13</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Toxicidad Humana cancerígena de los escenarios de manufacturafundas plásticas de acarreo.....	55
<b>Figura 14</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Acidificación de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	57

<b>Figura 15</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Acidificación de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	58
<b>Figura 16</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Eutrofización Marina de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	59
<b>Figura 17</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Eutrofización Terrestre de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	60
<b>Figura 18</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Ecotoxicidad de Agua Dulce de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	61
<b>Figura 19</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso de Suelo de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	62
<b>Figura 20</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso de Suelo de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	63
<b>Figura 21</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso de Suelo de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	64
<b>Figura 22.</b> Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso de Recursos Minerales y Metales de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.....	65
<b>Figura 23</b> Evaluación del impacto ambiental ACV de las actividades de producción de fundas de acarreo – Resultados ponderados (en puntos, $\mu$ Pt).....	67
<b>Figura 24</b> Evaluación del impacto ambiental ACV por grupos de afectación final de las actividades de producción de fundas de acarreo. Resultados ponderados (en puntos, $\mu$ Pt)....	69

## Resumen

El uso de fundas plásticas de acarreo hoy en día se ha vuelto de mayor consumo a nivel mundial generando un problema ambiental debido a su acumulación y perdurabilidad en el ambiente. Este desperdicio ha llevado a que se convierta en una fuente de uso para otros procesos como lo es el material posconsumo. Esto más las nuevas disposiciones y leyes financieras que regulan el consumo de fundas plásticas, han llevado a la producción de una nueva funda de acarreo posconsumo que ya circula en Ecuador.

Debido a lo anteriormente expuesto, se propuso evaluar el impacto ambiental de las fundas plásticas de acarreo posconsumo frente a las fundas convencionales planteando los siguientes escenarios: escenario base para las fundas convencionales con 0% material reciclado, escenario 1 para fundas con 70% material reciclado interno y externo y escenario 2 para fundas con 70% solo material reciclado externo.

Como metodología se usó la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con recolección de datos de registros, observación de campo y la información disponible en la base de datos del software Ecoinvent con el método EF 3.0 (adaptado) V1.03.

Se determinó que el escenario de mayor impacto ambiental con 344.19  $\mu$ pt es el escenario base, en el que se utiliza material virgen para la elaboración de fundas de acarreo. Entre los escenarios 1 y 2, en los que se utiliza material reciclado, la diferencia de puntos no es demasiado alta (12.56  $\mu$ pt). Así mismo, entre el escenario 1 y el escenario base la diferencia de impactos corresponde al 40.23%, consecuentemente resultó el escenario 1 el de menor potencial impacto ambiental.

*Palabras Claves:* Funda, acarreo, ACV, posconsumo, material reciclado.

### Abstract

Nowadays, the use of plastic supermarket bags, has become more widely and consumed worldwide, generating an environmental problem due to its accumulation and durability in the environment. This waste has led to become a source of use for other processes such as post-consume material. This, plus the new dispositions and financial laws that regulate the consumption of plastic bags, has led to the production of a new product *post-consumer bag* that is already circulating in Ecuador.

In this regard, it was proposed to evaluate the environmental impact of post-consumer bags compared to conventional bags, considering the following scenarios: base scenario for conventional bags with 0% recycled material, scenario 1 for bags with 70% internal and external recycled material and scenario 2 for bags with 70% only external recycled material.

Life Cycle Analysis (LCA) tool methodology was applied, with data collection from records, field observations and the information available in the Ecoinvent database and EF 3.0 method (adapted) V1.03.

It will be extended that the scenario with the greatest environmental impact with 344.19  $\mu\text{pt}$  is the base one, in which virgin material is used to produce supermarket bags. Between scenarios 1 and 2, where recycled material is used the point difference is not too high (12.56  $\mu\text{pt}$ ). Likewise, between scenario 1 and the base scenario, the difference in impacts corresponds to 40.23%, consequently scenario 1 was the one with the lowest potential environmental impact.

*Key Words:* Bags, carriage, ACV, post-consume, recycled material.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### **Antecedentes**

La producción excesiva de desechos crea problemas ambientales como la contaminación de sus recursos naturales, agua, suelo y aire, todo porque son arrojados a las fuentes de agua o en lugares inadecuados, lo que genera enormes cantidades de desechos que afectan la salud de la población y por ende empeoran los recursos naturales, disminuyendo la calidad de vida (López, 2009).

El manejo y disposición de los residuos sólidos es un problema grave en América Latina. La recolección insuficiente de residuos y la disposición final inadecuada pueden conducir a la contaminación ambiental y representar un alto riesgo para la salud humana. La gran mayoría de las ciudades de América Latina no recolectan completamente estos residuos generados y solo una pequeña fracción recibe una disposición final adecuada. El reciclaje es una opción más adecuada que la eliminación de residuos en grandes cantidades en los vertederos. Aunque existen pocos programas oficiales de reciclaje en estos países, el nivel de eliminación varía de una región a otra, aunque generalmente es bajo. En los últimos años, la cantidad de residuos per cápita ha ido en aumento, y actualmente la generación de residuos per cápita en América Latina ha pasado de 0,2-0,5 kg/día a 0,5-1,00 kg/día (Naciones Unidas, 2015).

En España, siendo uno de los países pioneros, se creó desde el 2013 una ley para la erradicación de residuos proveniente de las bolsas de plástico de un solo uso, con un estimado de acciones a tomar: 60% de las bolsas de plástico deben ser reemplazadas para 2013, 70% para 2015 y 80% para 2016 % Para 2018, el propósito se centra en reponer el 100% de las bolsas plásticas (Benavides, 2013).

Los materiales plásticos en general y su relación con el medio ambiente es un tema de años de discusión dentro del ámbito educativo, industrial y legislativo. En particular, las bolsas plásticas el cual ha tenido un crecimiento considerable de su consumo. Y en particular para este último caso, han habido intentos legislativos de prohibir bolsas plásticas y que en la práctica lograría reducir la contaminación ambiental pero que aun así esta hipótesis carece de sustentación técnica y científica (Choque, 2016).

En este contexto, Ecuador aprobó y publicó en diciembre de 2020 la Ley Orgánica de Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo uso, cuyo principal objetivo es prohibir el uso de bolsas plásticas y popotes de un solo uso en áreas protegidas. Transcurridos 12 meses con respecto a la restricción de bolsas plásticas de un solo uso, las maletas plásticas deberán estar fabricadas con al menos un 50% de material reciclado para poder ser comercializadas dentro de los 18 meses siguientes a la fecha de entrada en vigencia de esta ley. A partir de los 36 meses, el porcentaje subió al 55% y de 48 meses al 60%. También busca concientizar y educar a los consumidores para que todos los establecimientos comerciales dejen de ofrecer bolsas de plástico gratis y en su lugar consulten a los clientes sobre sus costos (Alarcón, 2020).

Actualmente el empaque es considerado una carta de presentación para productos y marcas, sin embargo, el uso de materiales contaminantes como el plástico ha abierto el camino para el desarrollo de empaques eco-amigables por lo que, en una encuesta realizada por la Universidad Técnica de Ambato, se detallaron las tapas de plástico daños al medio ambiente (envases utilizados en los supermercados para el transporte de productos). El proyecto se enfocó en definir la forma y función necesaria para desarrollar empaques amigables con el medio ambiente y los materiales disponibles dentro de Ambato. (Sailema, 2019).

Con el objetivo de aportar al fomento de prácticas amigables con el medio ambiente por parte de la industria textil local, a través de la experimentación con el reciclaje de fundas

plásticas para la obtención de accesorios textiles, fue realizado un estudio por Alvarado (2016) en la misma ciudad de Cuenca, a partir del reciclaje de fundas plásticas y con la modificación de técnicas textiles y para para generar bases textiles y posteriormente objetos y accesorios que contribuyan al fomento de prácticas amigables con el planeta.

### **Formulación del Problema**

El consumo mundial anual de bolsas de plástico está aumentando. Según Senga et al. (2015), los desechos de plásticos son persistentes por su alta durabilidad y abundante generación, por lo que son considerados un problema ambiental global. El papel se degrada en un corto período de tiempo, mientras que el plástico tarda años en descomponerse en partículas más pequeñas. Según Téllez (2012) los plásticos tardan entre 100 y 1.000 años en degradarse, por lo que no se reintegran fácilmente a los ciclos naturales, afectando de diversas formas a sus áreas de tratamiento.

Desde la etapa de preparación hasta la de descomposición, los impactos de contaminación ambiental de estos materiales son enormes, algunos de los cuales se describen a continuación:

- De acuerdo a Clapp y Swanston (2009), la contaminación del aire por el manejo de los millones de barriles de petróleo utilizados para producir bolsas de plástico de un solo uso cada año tiene un impacto directo en el cambio climático.
- Salud humana y ecosistémica y cuestiones animales y vegetales.
- Los envases desechables, ya sean de plástico o de cualquier otro material, tienden a acumularse como basura en el ambiente, ocupando mucho espacio en las áreas de manejo de residuos sólidos y acortando así su vida útil.

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (2015) en el Ecuador cada año se utilizan 1.500 millones de bolsas de plástico para transportar artículos comprados o diferentes y luego se desechan. Según el Programa Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos del

Ministerio del Ambiente, los ecuatorianos utilizan 253 bolsas plásticas tipo camiseta per cápita al año. Bustos (2015) da a entender que solo se recicla el 5%, lo cual es indiscutible, de los cuales el 95% se tira a la basura y sucesivamente va a parar a vertederos, a la intemperie o enterrados en vertederos, dependiendo de su densidad o situaciones de fabricación, seguirán degradarse, lo que representa un problema que conduce a un desequilibrio en el ecosistema.

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta que evalúa las cargas ambientales asociadas a un producto, con el objetivo de estudiar el impacto ambiental para proponer la reducción de este impacto. Por ejemplo, una de las categorías de impacto son las emisiones al ambiente y con el análisis de la carga ambiental se podría entender cómo mejorar procesos industriales de dicho producto. El alcance del estudio del ACV de un producto incluye todo ciclo completo “desde la cuna a la tumba” y abarca todo proceso o actividad relacionada a las etapas como los de extracción y transformación de materias primas, producción/manufactura, transporte y distribución, uso del consumidor, reutilización y reciclaje, disposición final (Rieznik, 2005).

Todas estas cargas ambientales se identifican y cuantifican, incluido el uso de materiales y energía y las emisiones al medio ambiente, para determinar el impacto del uso de recursos y las emisiones resultantes con el fin de evaluar e implementar mejoras en la estrategia ambiental. La función principal del ACV es brindar apoyo para la toma de decisiones relacionadas con un producto o servicio; más específicamente, para comprender las posibles consecuencias ambientales relacionadas con la configuración y uso del producto o servicio

En este caso, el mal manejo de las bolsas de transporte crea problemas ambientales en la población, altera el equilibrio ecológico y dinámico del medio ambiente, porque estos residuos no se aprovechan, no hay actividades de reducción de residuos, falta organización y

planificación de actividades de reciclaje y falta de cultura ambiental (Alvear y Palomeque, 2017).

## **Objetivos de la Investigación**

### ***Objetivo general***

Desarrollar el análisis de ciclo vida de fundas de acarreo de polietileno fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado, en la industria ecuatoriana.

### ***Objetivos específicos***

- Recopilar información para levantar el inventario de ciclo de vida de fundas de acarreo fabricadas con diferentes porcentajes de material reciclado elaboradas en Ecuador.
- Identificar los principales impactos ambientales mediante el análisis de ciclo vida de cada escenario de producción de fundas de acarreo.
- Identificar las etapas que aportan con el mayor impacto ambiental en la elaboración de las fundas de acarreo en Ecuador.
- Determinar el mejor escenario ambiental considerando el Ciclo de Vida de una funda de acarreo fabricada en Ecuador.

## **Hipótesis**

Existe una correlación directa entre la cantidad de material reciclado utilizado en la elaboración de fundas de acarreo y su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. Para aceptar o rechazar la hipótesis planteada se utilizará la herramienta de ACV en el proceso de fabricación de fundas de acarreo fabricadas con distintas proporciones de material reciclado y virgen y se determinará si el porcentaje dentro de su composición influye en la disminución de los impactos ambientales durante su ciclo de vida.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO Y LEGAL

#### Marco Legal

##### *Marco Legal aplicable al caso de estudio*

- Constitución de la República Del Ecuador (2008): Art. 14, Art. 15, Art. 66, numeral 27, Art. 71, 3er inciso, Art. 264, numeral 4, Art. 408, último inciso, Art. 415.
- Código Orgánico del Ambiente: Libro preliminar, Título II De los derechos, deberes y principios ambientales: Art. 5 - Núm. 1 y Núm. 8; Art. 9.- Núm. 2 y Núm. 3.
- Código Orgánico De Organización Territorial, Autonomía Y Descentralización. Título I Principios Generales- Art. 4, Art. 136, Art. 140. Capítulo II. La Planificación del Desarrollo y del Ordenamiento Territorial. Art. 295, Art. 431, Art. 498.
- Ley De Gestión Ambiental. Título I Ámbito Y Principios De La Gestión Ambiental. Art. 2; Título II Del Régimen Institucional De La Gestión Ambiental.
- Capítulo IV De La Participación De Las Instituciones Del Estado. Art. 13.-
- Capítulo V Instrumentos De Aplicación De Normas Ambientales. Art. 34, Art. 35.
- Acuerdo Ministerial No. 061 De La Calidad Ambiental. Título I. Disposiciones Preliminares. Art. 1, Art. 2; Título III Del Sistema Único De Manejo Ambiental. Capítulo I. Régimen Institucional. Art. 6, Art. 8, Art. 49, Art. 52, Art. 53, Art. 55, Art. 57, Art. 60, Art. 77; Capítulo IX. Producción Limpia, Consumo Sustentable Y Buenas Prácticas Ambientales. Art. 232, Art. 234, Art. 236, Art. 237, Art. 238, Art. 242; Título V - Gestión Integral de Residuos y Desechos, Capítulo II Gestión Integral Residuos y Desecho No Peligrosos. Art. 231, Art.- 233; Título VI - Art. 245

### **Normativas asociadas al ACV**

- ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- ISO 14044:2006. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.
- ISO 14047:2003. Ejemplos de aplicación de Inventario de Ciclo de Vida.
- ISO 14048:2002. Formato de datos del Inventario de un ACV.
- ISO 14049:2000. Ejemplos de aplicación de objetivos, alcance y análisis de inventario.

### **Marco Teórico**

#### ***Especificación de las fundas de plástico***

##### ***Materias primas para la elaboración de fundas de plástico.***

Las bolsas plásticas son de material semisintético o sintético, elaborado con polímeros orgánicos, también contiene productos petroquímicos. Su costo de fabricación es relativamente bajo. Son elaboradas comúnmente de polietileno que es un material hecho a base de gas natural o petróleo, existiendo desde 1961 y utilizadas por todas las personas desde entonces. Se promedia que al año suelen fabricarse cerca de 500 billones a un trillón de materiales plásticos en todo el mundo. Las bolsas de polietileno se obtienen gracias a la polimerización del etileno, que es un derivado del petróleo. El etileno es un compuesto químico orgánico, un hidrocarburo (enlaces de hidrógeno y carbono) formado por 2 átomos de carbono y 4 de hidrógeno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) o CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub> (Cádiz, 2014).

Al respecto el polietileno de baja densidad o *low-density polyethylene* (LDPE) por sus siglas en inglés, representa entre el 15-25% del total de residuos sólidos generados a nivel mundial y es de especial importancia por su persistencia en el ambiente e impacto negativo para los organismos y ecosistemas (Moreno, 2018).

Por el contrario, el polietileno de alta densidad (PEAD) también conocido por sus siglas en inglés HDPE (High Density Polyethylene) es un polímero termoplástico formado por adición de múltiples unidades de etileno. Sus moléculas apenas presentan ramificaciones, lo que le confiere una densidad molecular considerable, que se traduce en una gran resistencia y dureza, así como una mayor tolerancia a las altas temperaturas. Esta característica es, a su vez, la principal diferencia entre el polietileno de alta densidad y el de baja densidad (Envaselia, 2018).

### ***Manufactura de las fundas de plástico.***

Este proceso industrial consta de varias etapas: extrusión, impresión (opcional) y finalmente corte. La materia prima el polietileno que viene en presentación de granza y se comercializa en sacos. En la etapa de extrusión, dependiendo del tipo de polietileno utilizado le dan a las bolsas de plástico distintas características como brillo, textura y resistencia. Dependiendo del requerimiento del usuario, se programan las máquinas extrusoras con las especificaciones finales (Avilés, 2019).

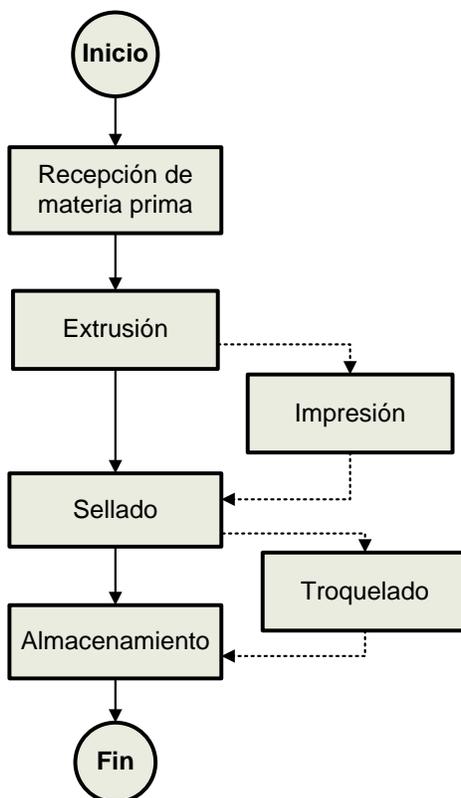
Previo a la extrusión, se debe comprobar las mezclas a alimentar en las tolvas de las máquinas extrusoras. Dado que el polietileno es transparente, se deben añadir pigmentos y materiales auxiliares. Esta mezcla se calienta casi hasta el punto de fusión y luego pasan a la hilera circular, que da forma de tubo al material. Aquí es el proceso de soplado se da de forma transversal y en el tiraje vertical, que lo transforman en un globo. Finalmente, el material en forma tubular se enfría y se recoge en una bobina. En caso de que el material se requiera impresión, entonces se puede aplicar una descarga eléctrica que sirve para abrir poros en la superficie y facilitar la penetración de tintas (Avilés, 2019).

Las bolsas de plástico son utilizadas a nivel mundial debido a sus variadas presentaciones en cuanto a tamaños, colores y resistencia. La mayoría de las bosas son

fabricadas a partir de polietileno Lineal (LBD), polietileno de alta densidad (AD) y polietileno de baja densidad (BD), carbonato y pigmentos (Anáhuac, 2022). En la figura 1 se muestra el proceso de elaboración de las bolsas plásticas.

**Figura 1.**

*Diagrama de elaboración de bolsas plásticas.*



*Nota.* La figura muestra los procesos básicos para la elaboración de bolsas de acarreo plásticas. Elaboración propia a partir de lo descrito por Avilés (2019) y Anáhuac (2022).

### ***Manufactura de material post consumo en la industria plástica.***

De acuerdo con BBVA (2019) el plástico está compuesto por polímeros de resinas y demás materiales derivados del petróleo que toman forma y se moldean con las debidas condiciones de presión y calor. También existen resinas de origen vegetal sin embargo, las mundialmente utilizadas son las resinas plásticas derivados ya sea del petróleo, gas natural o carbón. Los

principales tipos de plásticos que actualmente existen y donde mayormente están presentes son:

- Polietileno (PE): fundas plásticas, láminas y películas de plástico, envases, productos abrasivos, esferas y microesferas de cosméticos, entre otros.
- Polyester (PET): botellas, envases y ciertas partes de la ropa.
- Polipropileno (PP): presente en los electrodomésticos o en piezas de automóviles.
- Cloruro de polivinilo (PVC). Tuberías y accesorios de construcción.

Las principales etapas consideradas para la reutilización y recuperación de materiales plásticos son: (BBVA, 2019):

- **Depósito de envases por clasificación:** reciclar envases por tipo de material ya sea plástico como por ejemplo botellas de bebidas, detergentes, etc.; envases metálicos como las latas de conservas; envases de cartón como los tetrapack de leche o zumo de jugos.
- **Recolección y traslado:** al punto de acopio donde se selecciona los materiales y se clasifica por colores y tipo.
- **Trituración y lavado:** una vez clasificado, los envases se Trituran y se lavan para eliminar impurezas superficiales. Luego pasa a etapa de secado y centrifugado para eliminar restos. Finalmente se homogeneiza mediante un proceso mecánico hasta obtener un color y textura uniforme.
- **Generación de un nuevo envase o producto:** en esta etapa el producto está listo para ser usado como materia prima de otras etapas de producción, pasando previamente por los controles de calidad adecuados.

### ***Propiedades físicas de las fundas plásticas.***

Se estima que el LDPE puede persistir en el ambiente desde cientos a miles de años, a excepción de los materiales que han sido incinerados la mayor parte del plástico convencional que ha sido introducido al ambiente permanece sin ser mineralizado y se encuentra en fragmentos o entero. Estos residuos plásticos representan una gran amenaza para el ambiente ya que causan asfixia o desnutrición en animales, transportan organismos no nativos o potencialmente peligrosos, absorben compuestos químicos o son transformados a microplásticos que posteriormente pueden ser ingeridos (Moreno, 2018).

El polietileno de baja densidad PEBD o LDPE por sus siglas en inglés (Low Density Polyethylene) es un polímero termoplástico constituido por cadenas consecutivas de etileno muy ramificadas. Debido a su facilidad de procesamiento y costos competitivos relativamente bajos, el PEBD es aprovechada por la industria en una amplia variedad de aplicaciones utilizada en su mayoría como película. Por ejemplo en fundas para compras o para empaques laminados. Esta última representa más del 60% de la producción mundial del PEBD ya que se utiliza como material para laminar otros materiales (Imagia Global, 2018).

Por el contrario, en cuanto al Polietileno de alta densidad (PEAD) presenta moléculas con muy escasas ramificaciones lo que le da la propiedad de tener una considerable densidad molecular lo cual se traduce en propiedades como gran resistencia y dureza y resistencia a altas temperaturas (Envaselia, 2018). Esta última característica es muy aprovechada sobre todo en los procesos de extrusión, incluso es lo que diferencia el PEBD del PEAD. Como ya se mencionó, debido a la rigidez y resistencia del PE le confiere la característica de ser resistente a impactos incluso es resistente a la tracción debido a bajas y altas temperaturas. Esta propiedad de rigidez y resistencia no solo es física sino también química ya que es difícilmente afectado por ácidos/disolventes. En cuanto a las características físicas, el PEAD es un material incoloro ligeramente opaco por lo que es muy aprovechado en la industria por su versatilidad

de personalización en cuanto a impresiones, colores y pegamentos en su capa. (Envaselia, 2018).

### **Análisis del ciclo de vida**

De acuerdo con el Servicio Ecuatoriano de Normalización (2014) a través de la normativa NTE INEN-ISO 14040 estableció que el ACV permite abordar aspectos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un determinado producto, el cual inicia desde la adquisición de la materia prima, producción, tratamiento, reciclaje y disposición final. Al respecto, se consideran cuatro fases fundamentales para el estudio de ACV, la fase de definir el objetivo y el campo, análisis de inventario, evaluación ambiental e interpretación.

Al respecto, las normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), comparten estructura e información de forma casi idéntica, en vista que a las dos se encuentran relacionadas con el ciclo de vida; sin embargo, cada una trata sus enunciados con un análisis más o menos profundo y con la amplitud y detalle que le corresponde. El objeto y campo de aplicación, es un enunciado común entre ambas normas y comprenden los estudios del Análisis tanto del ciclo de vida (ACV) así como los del Inventario del ciclo de vida (ICV). Por otro lado, dentro de las normas para consulta, cada norma cita a la otra como fuente de consulta, es decir, en ISO 14040 se sugiere se consulte a la norma ISO 14044 y viceversa (Carrión, 2020).

Para la realización del análisis del ciclo de vida (ACV) – ISO 14040, se debe tomar en consideración (ISO 14040, 2006):

- **Apreciación general del ciclo de vida.** Se considera como ciclo de vida completo desde la extracción hasta su disposición final, dependiendo del alcance y objetivos del ACV.
- **Enfoque ambiental.** Trata los aspectos e impactos ambientales de un sistema de producto.

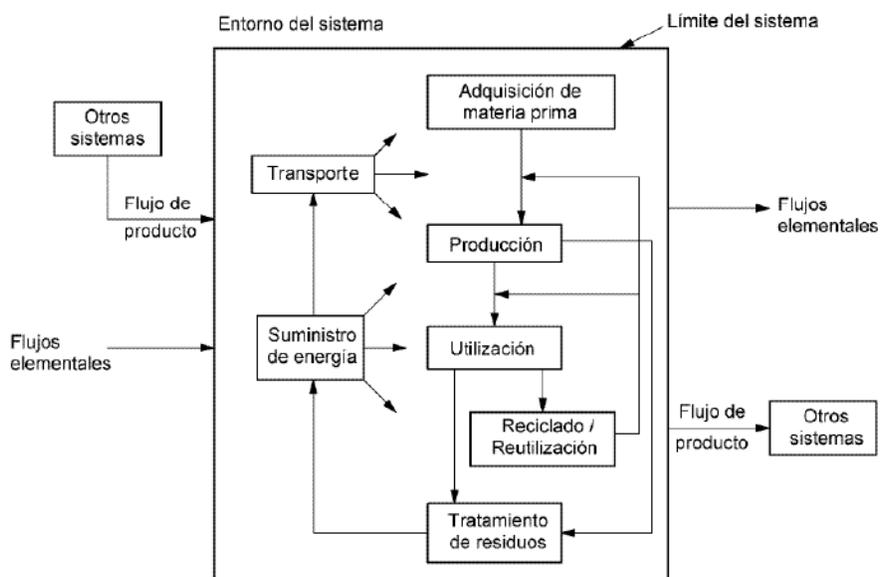
- **Enfoque y unidad funcional.** El ACV es un enfoque relativo que se estructura alrededor de una unidad funcional. Unidad funcional es el desempeño cuantificado, es la unidad de referencia.
- **Transparencia e integridad.** Perspectiva transversal que toma en cuenta todos los aspectos del entorno natural, la salud humana y de los recursos.
- **Prioridad del enfoque científico.** Las decisiones en un ACV se basan preferentemente en las ciencias naturales, de no ser posible se tomarán en cuenta otros enfoques científicos, convenciones internacionales o juicios de valor.

De acuerdo a lo establecido en la Norma UNE-EN ISO 14040:2006, un estudio de ACV consta de cuatro fases (ISO 14040:2006):

- a) Definición del objetivo y el alcance,
  - b) Análisis de inventario,
  - c) Evaluación del impacto ambiental,
  - d) Interpretación de resultados.
- **Alcance de un ACV.** Incluye los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso previsto del estudio. La profundidad y amplitud del ACV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ACV en particular.
  - **Análisis de inventario.** El inventario del ciclo de vida (ICV) recopila los datos de entrada y salida en relación con el sistema bajo estudio para cumplir los objetivos del estudio definido. En la Figura 2 se esquematiza el ACV, determinándose sus límites, flujos elementales e interacción con otros sistemas.

**Figura 2.**

*Esquema de un análisis de ciclo de vida.*



Nota: Fuente de imagen: (Lobo, 2013)

- **Evaluación del ACV.** La evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV) es la tercera fase del ACV. En esta etapa se seleccionan las categorías de impacto relevantes del sistema bajo estudio, los indicadores para esas categorías y los modelos de caracterización a emplear.
- **Interpretación de un ACV.** La interpretación del ciclo de vida es la fase final del procedimiento de ACV, en la cual se resumen y discuten los resultados del ICV y de la EICV como base para las conclusiones y recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### Objetivo y Alcance

##### **Objetivo**

El objetivo de este ACV es determinar el mejor escenario ambiental para la elaboración de fundas plásticas de acarreo en un caso particular de una industria ecuatoriana.

##### **Sitio de Estudio**

Por temas de confidencialidad no se puede mencionar el nombre de la empresa de la cual se obtuvo la información preliminar para la elaboración de esta investigación. La empresa cuenta con más de 40 años en el mercado ecuatoriano, con principal sede en la ciudad de Guayaquil, su sector principal es el sector de Agroplasticultura.

##### **Alcance**

El alcance comprende el análisis ambiental de diferentes escenarios de producción de fundas plásticas de acarreo, focalizado en una industria ecuatoriana en la ciudad de Guayaquil. Los escenarios que se evaluaron para verificar la hipótesis fueron los siguientes:

**Escenario Base:** proceso de producción de fundas plásticas de acarreo con 0% material reciclado, es decir, con materia prima *virgen*.

**Escenario 1:** proceso de producción de fundas plásticas de acarreo con 70% material reciclado. En este escenario se integra solo el 30% de materia prima *virgen* y material reciclado proviene de dos fuentes: material reciclado posconsumo y material reprocesado (desechos internos de la empresa).

**Escenario 2:** proceso de producción de fundas plásticas de acarreo con 70% material reciclado externo es decir el material reciclado posconsumo y 30% de materia prima *virgen*.

La unidad funcional para este estudio es 1 kg de producto terminado equivalente a 15.000 unidades de fundas en tamaño estándar *jumbo*. En las figuras a continuación se detalla el diagrama de proceso de cada escenario.

### ***Limitaciones y consideraciones para el ICV***

Los límites del sistema se visualizan en las figuras 3, 4, y 5 que corresponden a los procesos desarrollados en la producción de fundas plásticas de acarreo.

Las limitaciones del estudio fueron la no disponibilidad de datos específicos asociados al consumo de recursos y energía durante el proceso de obtención de las materias primas. En este caso, se utilizó la información disponible en la base de datos del software Ecoinvent método EF 3.0 (adaptado) V1.03.

Otras de las suposiciones o limitaciones consideradas para el levantamiento del ACV fueron:

- No se considera el consumo de energía de las maquinas durante el proceso de calibración para el ajuste de los parámetros previo al proceso.
- En este ICV no se considera los procesos de almacenamiento y distribución en cuanto a mano de obra, maquinarias o equipos involucrados.
- No se consideran los consumos debido a mantenimientos preventivos a las maquinarias, el cual se realiza 1 vez al año en una para de producción de 24 horas consecutivas. Aquí se utilizan productos para las respectivas limpiezas y ajustes tales como grasa de grado alimenticio o grasa a base de cobre.
- Se omite todos los valores de energía consumida en cada proceso de cada escenario por actividades como cosido y traslado en coches manuales.

- No se considera la calidad de las fundas producidas en cada escenario. Si el tamaño y peso lo que define la similitud en el uso.
- Hemos levantado todo el inventario para fundas de acarreo pigmentadas, sin embargo, las que mayormente se comercializan en el mercado ecuatoriano son fundas pigmentadas impresas. Los impactos asociados a las tintas se esperan no deberían afectar en gran medida a los resultados de las diferentes categorías de impacto ambiental evaluadas debido a las ínfimas actividades que se usan.
- La disposición final de las fundas no se consideró en esta evaluación.

### **Inventario de Ciclo de Vida**

Para este estudio se evaluaron todas las categorías de impacto disponibles para ACV, según la (European Commission Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, 2010) que son:

1. Cambio climático
2. Agotamiento del ozono
3. Formación de ozono fotoquímico
4. Material particulado
5. Toxicidad humana cancerígena
6. Toxicidad humana no cancerígena
7. Acidificación
8. Eutrofización de agua dulce
9. Eutrofización marina
10. Eutrofización terrestre
11. Ecotoxicidad de agua dulce
12. Uso de suelo
13. Uso del agua

14. Uso de recursos fósiles
15. Uso de recursos minerales y metales
16. Radiación ionizante para la salud humana
17. Radiación ionizante para los ecosistemas

### ***Levantamiento de información. Descripción de procesos***

Se realizó la cuantificación de las entradas y salidas del sistema de estudio tomando como referencia la unidad funcional (1 kg de producto terminado). Para esto, se tomó información básica de todos los procesos llevados a cabo en cada escenario dentro de los límites establecidos para una empresa de producción de empaques flexibles. Se evaluaron registros de producción, registros de importación y registros de control de calidad; de aquí se obtuvo información de maquinarias pesada y vehículos, composición de los productos utilizados, detalle de producción y desperdicios. Aquella información de la cual no se disponía mayor detalle de su proceso de obtención como el caso de las materias primas importadas, se complementó con el uso de datos especializados del software Ecoinvent método EF 3.0 (adaptado) V1.03.

Los datos aquí presentados corresponden a una empresa con experiencia de más de 50 años en el mercado ecuatoriano en la producción y venta de empaques flexibles, y para este estudio, nos enfocamos en la línea de producción de las fundas plásticas de acarreo. Se tomó como referencia un escenario base la producción de fundas con 0% material reciclado material totalmente virgen y luego a esto se varió la composición de las fundas incluyendo ahora un 70% de material reciclado conformando los escenarios 1 material reciclado interno y externo (material post consumo) y escenario 2 solo material reciclado externo.

El valor porcentual de material reciclado posconsumo que se utilizó para este estudio se lo tomó como referencia de lo impuesto según Ley Orgánica de Simplificación y Progresividad

Tributaria de 2019, en donde menciona que la persona natural o jurídica para no pagar impuesto ICE a las fundas plásticas de acarreo deberá comercializar fundas con *...mínimo la adición del cincuenta por ciento (50%) de materia prima reciclada post consumo según la definición de la norma técnica emitida por el ente rector respectivo y siempre que cuenten con la certificación del organismo público competente.*, caso contrario este impuesto deberá ser asumido por el consumidor adquiriente.

De aquí, es que las fundas post consumo fueron altamente demandadas desde el 2020 por clientes entre ellos principales cadenas de consumo masivo y subdistribuidores, por lo que las empresas de empaques se vieron obligados a cambiar sus recetas para adaptarse a este nuevo requerimiento sin comprometer las propiedades mecánicas y físicas de las muy comunes fundas *jumbo*.

Para la integración de los inventarios ICV de este estudio, se incluyeron las principales etapas del ciclo de vida de una funda plástica:

- Fabricación de las materias primas: incluye los procesos de extracción de los recursos, energía necesaria para la transformación de estos recursos y los transportes asociados a cada proceso.
- Manufactura de las fundas: incluye la necesidad de energía eléctrica de todos los equipos y maquinarias involucrados.
- Uso: no se considera esta etapa en este estudio.
- Transportes asociados: incluye los transportes desde la entrega de la materia prima hasta la fábrica donde se elaborará las fundas. No incluye el transporte de distribución de las fundas desde la fábrica hasta el consumidor final.
- Disposición final: incluye los materiales llevados a reciclaje (solo fundas post consumo).

Se cuantificaron los recursos y maquinarias de acuerdo con el detalle de las Tablas 1, 2 y

3.

**Tabla 1.**

*Recursos naturales utilizados en el proceso de manufactura de fundas plásticas*

<b>Recurso Natural</b>	<b>Función</b>	<b>Característica</b>	<b>Escenario implicado</b>
Polietileno de baja densidad	Principal componente de la funda ( <i>materia prima virgen</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nombre comercial:</b> Dowlex PE 2685G</li> <li>• <b>Proveedor:</b> ENTEC International</li> <li>• <b>Procedencia:</b> Reino Unido</li> </ul>	Escenario base Escenario 1 Escenario 2
Polietileno de alta densidad reciclado	Compone el % de material reciclado externo (post consumo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nombre comercial:</b> HDF3 GR</li> <li>• <b>Proveedor:</b> NUTEC</li> <li>• <b>Procedencia:</b> Ecuador, ciudades Cuenca, Quito y Guayaquil</li> </ul>	Escenario 1 Escenario 2
Mix de polietileno de baja densidad y polietileno de alta densidad	Compone el % de material reciclado interno, es el desperdicio de la empresa y que luego es reprocesado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Procedencia:</b> Ecuador ciudad Guayaquil</li> </ul>	Solo en el Escenario 2
Resina de uso lineal	Otorga elongación a la funda para resistencia al peso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nombre comercial:</b> SABIC 118WJ-PEBD Lineal</li> <li>• <b>Proveedor:</b> SABIC</li> <li>• <b>Procedencia:</b> Arabia Saudita</li> </ul>	Escenario base Escenario 1 Escenario 2
Carbonato de Calcio	Componente de relleno, para abaratar costos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nombre comercial:</b> Plasper E-31S</li> <li>• <b>Proveedor:</b> IMAGOR</li> <li>• <b>Procedencia:</b> Brasil</li> </ul>	Solo en el Escenario base
Pigmento	Color	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nombre comercial:</b> AMPACET 110020CX-TiO2</li> <li>• <b>Proveedor:</b> AMPACET</li> <li>• <b>Procedencia:</b> Brasil</li> </ul>	Escenario base Escenario 1 Escenario 2

Tabla 2.

Características de maquinaria, vehículos y equipos móviles utilizados en los procesos de manufactura de fundas plásticas.

Etapa	Escenario	Equipo/Maquinaria	Datos de producción
Extrusión	Escenario base Escenario 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> Maquina Extrusora Monocapa de Alta velocidad PEAD/PEBD</li> <li>• <b>Modelo:</b> CT-SLE45/800</li> <li>• <b>Año:</b> 2002</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Temperatura de trabajo:</b> 180-200 °C</li> <li>• <b>Tiempo de trabajo:</b> 30 min</li> <li>• <b>Consumo de energía:</b> 40-50 Kw-h</li> </ul>
	Solo en el Escenario 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fabricante:</b> MATILA</li> <li>• <b>Procedencia:</b> Taiwán</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Temperatura de trabajo:</b> 180-200 °C</li> <li>• <b>Tiempo de trabajo:</b> 45 min</li> <li>• <b>Consumo de energía:</b> 40-50 Kw-h</li> </ul>
	Solo en el Escenario 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> Maquina Extrusora</li> <li>• <b>Modelo:</b> Gloscenter Strech</li> <li>• <b>Año:</b> 1980</li> <li>• <b>Fabricante:</b> Battenfeld Gloscester Engineering</li> <li>• <b>Procedencia:</b> España</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Temperatura de trabajo:</b> 270-300 °C</li> <li>• <b>Tiempo de trabajo:</b> 24 horas</li> <li>• <b>Consumo de energía:</b> 70 Kw-h</li> </ul>
Sellado	Escenario base Escenario 1 Escenario 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> Maquina Selladora <i>camisetera</i></li> <li>• <b>Modelo:</b> QTC-1000S2</li> <li>• <b>Año:</b> 2012</li> <li>• <b>Fabricante:</b> Queen Machinery Group</li> <li>• <b>Procedencia:</b> Taiwan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Temperatura de trabajo:</b> 180-200 °C</li> <li>• <b>Tiempo de trabajo:</b> 150 min</li> <li>• <b>Consumo de energía:</b> 15-20 Kw-h</li> </ul>
Empacado y Empaquetizado	Escenario base Escenario 1 Escenario 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> Paletizadora manual</li> <li>• <b>Modelo:</b> Bohman 3115</li> <li>• <b>Año:</b> 2015</li> <li>• <b>Fabricante:</b> Ivan Bohman</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> Cosedora manual portátil</li> <li>• <b>Modelo:</b> 2018226145</li> <li>• <b>Año:</b> 2018</li> <li>• <b>Fabricante:</b> Jontex</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tiempo de trabajo:</b> 5 min</li> <li>• <b>Consumo de energía:</b> 0.2 Kw-h</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> Montacarga CAT</li> <li>• <b>Modelo:</b> CAT-lasa GP25S/ SN CT54-50399</li> <li>• <b>Año:</b> 2012</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tiempo de trabajo:</b> 60 min</li> <li>• <b>Consumo de energía:</b> 51.2 Kw-h</li> </ul>
--	--	---	--

**Tabla 3.**

*Detalle de recorridos por concepto de transporte asociados de la materia prima involucrado en los procesos de manufactura de fundas plásticas.*

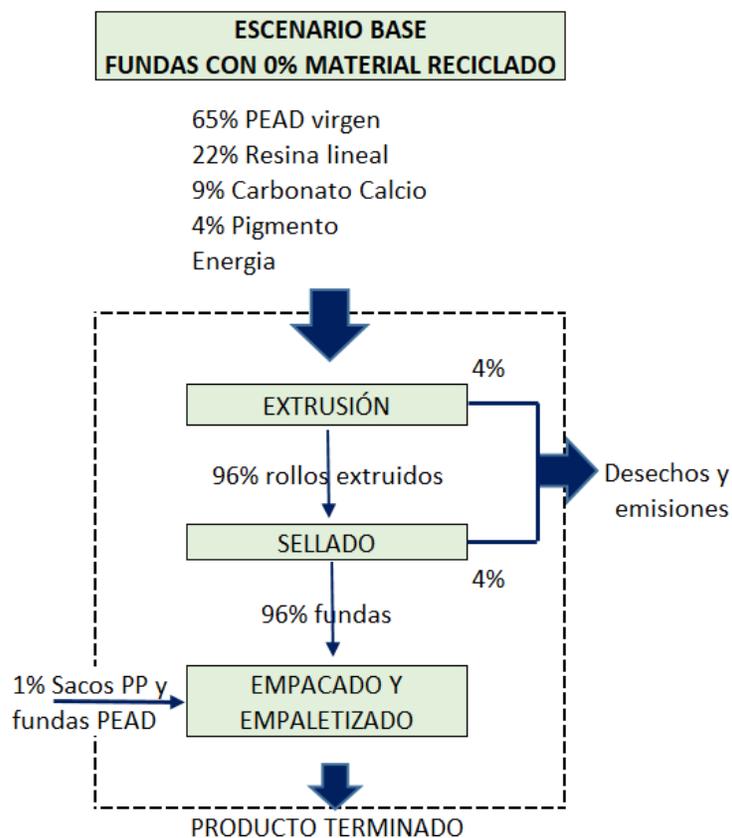
<b>Actividad</b>	<b>Cantidad (Km)</b>	<b>Recorrido- Destino</b>	<b>Descripción</b>
Traslado de materias primas desde el país del PROVEEDOR hasta fabrica (material virgen)	9 387,68	Reino Unido - Ecuador	Traslado desde Reino Unido hasta Ecuador de PEAD "virgen"
	13 024,04	Arabia Saudita - Ecuador	Traslado desde Arabia Saudita hasta Ecuador de resina lineal
	4 336,87	Brasil - Ecuador	Traslado desde Brasil hasta Ecuador de pigmentos y carbonato
Traslado de materias primas desde el país del PROVEEDOR hasta fabrica para la elaboración de material reciclado (externo)	305,86	Cuenca - Quito	Traslado desde la ciudad de Cuenca a la planta Nutec - Quito (20% de la MP reciclada)
	271,50	Guayaquil-Quito	Traslado desde la ciudad de Guayaquil a la planta Nutec - Quito (65% de la MP reciclada)
	12,70	Quito-Quito	Traslado desde la ciudad de Quito a la planta Nutec -Quito (15% de la MP reciclada)
	271,50	Quito-Guayaquil	Traslado toda la MP (pellet reciclado) desde planta NUTEC a planta Guayaquil donde procesan las fundas de acarreo

### Levantamiento de inventario de cada escenario

#### Escenario base: fundas con 0% material reciclado- 100% material virgen

Figura 3.

Diagrama de Flujo de Procesos Escenario Base.



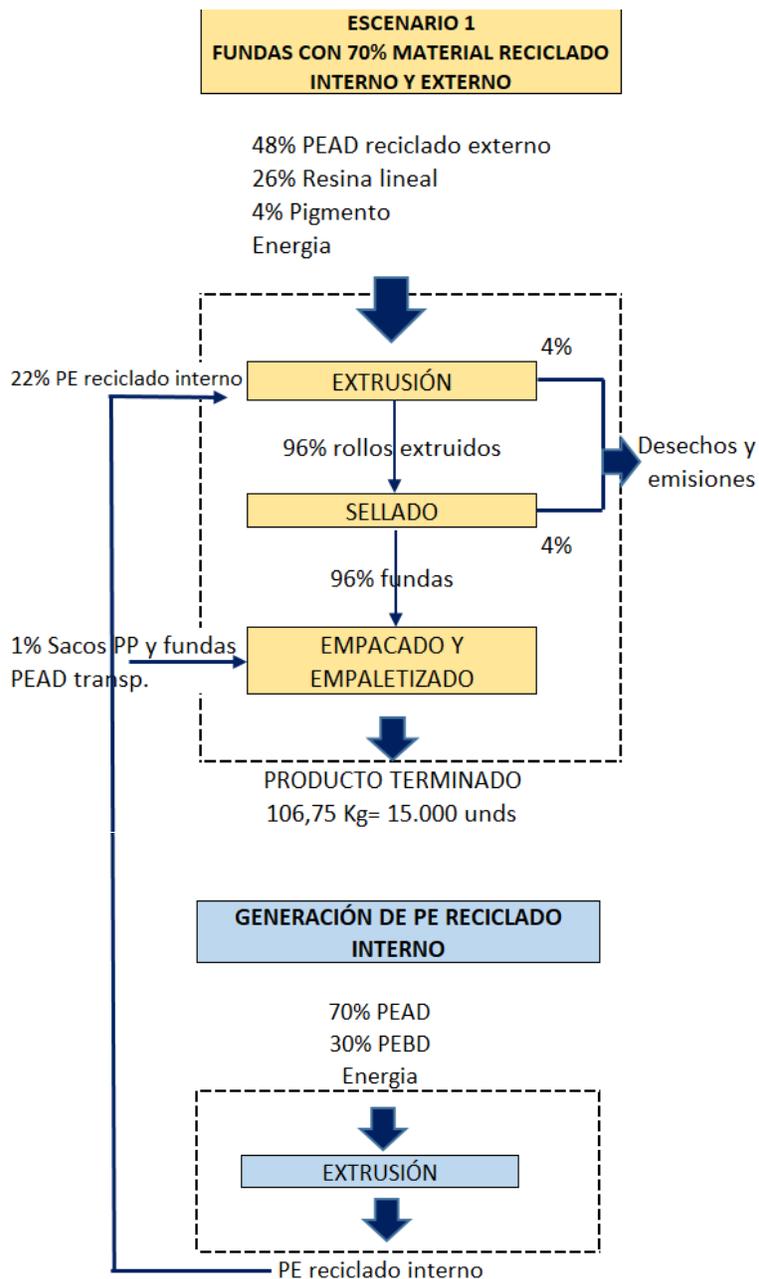
**Tabla 4.***Inventario ACV del escenario base.*

<b>Etapas</b>	<b>Fuente</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Uso Final</b>
EXTRUSION	Materia prima	75 kg de polietileno virgen	115 kg mezcla	Mezclado
		25 kg resina lineal	4.6 kg desperdicio	
		10 kg carbonato calcio		
		5 kg Pigmentos		
	Uso de vehículos	737280 KJ	737280 KJ	Emisión al ambiente
	Uso de maquinarias	22.4 kW	22.4 kW	Emisión al ambiente
SELLADO	Materia prima	110.4 kg rollos extruidos	5.4 kg desperdicio	Reciclaje interno
	Uso de maquinarias	43.75 kW	43.75 kW	Emisión al ambiente
EMPACADO Y EMPALETIZADO	Materia prima	105 kg fundas	106.75 kg	Producto terminado empacado
		1.5 kg empaque secundario		
		0.25 kg empaque terciario		
	Uso de maquinarias	0.017 kW	0.017 kW	Emisión al ambiente

**Escenario 1: fundas con 70% material reciclado interno y externo**

**Figura 4.**

*Diagrama de Flujo de Procesos Escenario 1.*



**Tabla 5.**

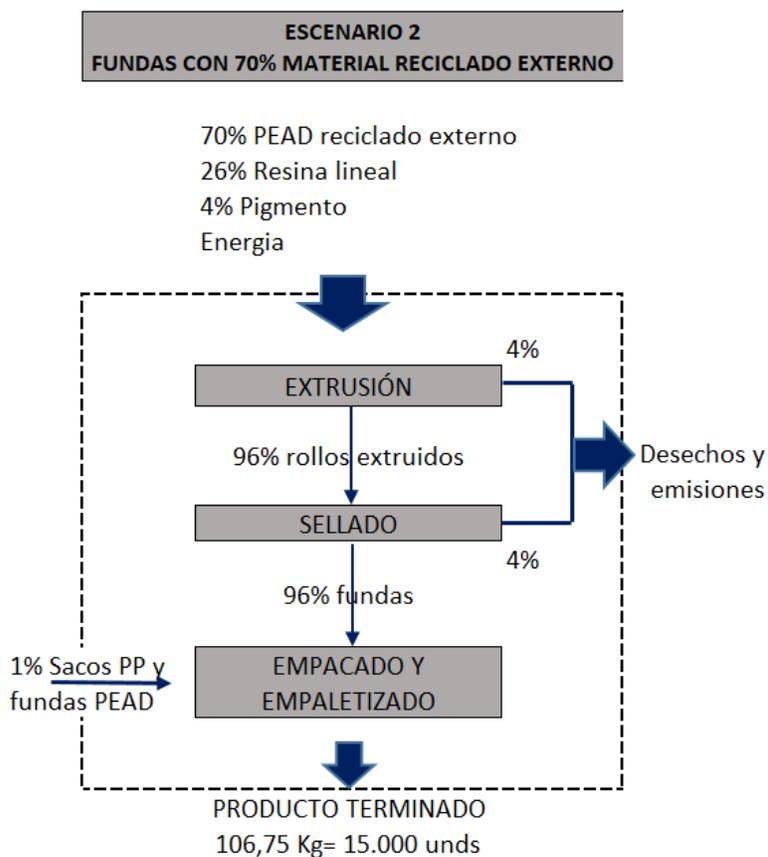
*Inventario ACV del escenario 1: fundas con 70% material reciclado interno y externo.*

<b>Etapa</b>	<b>Fuente</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Uso Final</b>
EXTRUSION	Materia prima	55 kg de polietileno reciclado externo	115 kg mezcla	Mezclado
		25 kg polietileno reciclado interno	4.6 kg desperdicio	
		30 kg resina lineal 5 kg Pigmentos		
	Uso de vehículos	737280 KJ	737280 KJ	Emisión al ambiente
	Uso de maquinarias	22.5 kW	22.5 kW	Emisión al ambiente
SELLADO	Materia prima	110.4 kg rollos extruidos	5.4 kg desperdicio	Reciclaje interno
	Uso de maquinarias	43.75 kW	43.75 kW	Emisión al ambiente
EMPACADO Y EMPALETIZADO	Materia prima	105 kg fundas	106.75 kg	Producto terminado empacado
		1.5 kg empaque secundario 0.25 kg empaque terciario		
	Uso de maquinarias	0.017 kW	0.017 kW	Emisión al ambiente
EXTRUSION DEL MATERIAL RECICLADO INTERNO	Materia prima	17.5 kg de polietileno alta densidad	25 kg mezcla	Mezclado
		7.5 kg polietileno baja densidad		
	Uso de vehículos	36864 KJ	368.64 KJ	Emisión al ambiente
	Uso de maquinarias	1680 kW 0.017 kW	1680 kW 0.017 kW	

**Escenario 2: fundas con 70% material reciclado externo**

**Figura 5.**

*Diagrama de Flujo de Procesos Escenario 2.*



**Tabla 6.**

*Inventario ACV del escenario 2- fundas con 70% material reciclado externo.*

<b>Etapa</b>	<b>Fuente</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Uso Final</b>
<b>EXTRUSION</b>	Materia prima	80 kg de polietileno virgen	115 kg mezcla	Mezclado
		30 kg resina lineal 5 kg Pigmentos	4.6 kg desperdicio	
	Uso de vehículos	737280 KJ	737280 KJ	Emisión al ambiente
	Uso de maquinarias	34 kW	34 kW	
<b>SELLADO</b>	Materia prima	110.4 kg rollos extruidos	5.4 kg desperdicio	Reciclaje interno
	Uso de maquinarias	43.75 kW	43.75 kW	Emisión al ambiente
<b>EMPACADO Y EMPALETIZADO</b>	Materia prima	105 kg fundas 1.5 kg empaque secundario	106.75 kg	Producto terminado empacado
		0.25 kg empaque terciario		
	Uso de maquinarias	0.017 kW	0.017 kW	Emisión al ambiente

### **Evaluación del Inventario del Ciclo de Vida**

Se realizó la modelación del flujo de materiales y los cálculos de impactos ambientales con la asistencia técnica del Instituto Superior del Medio Ambiente (ISM) de Madrid. Para la evaluación del ciclo de vida se utilizó el software Simapro 9.4.0.2 método EF 3.0 (adaptado) V1.03. La integración de los Inventarios de Ciclo de Vida (ICV) se realizó con la base de datos Ecoinvent e información primaria mediante el levantamiento de entradas y salidas durante todo el proceso de producción de fundas plásticas de acarreo.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Resultados Análisis de Inventario de Ciclo de Vida

A continuación, se presenta y discuten los resultados obtenidos en el ACV para evaluar las actividades involucradas en el proceso de obtención de fundas de acarreo con material reciclado versus un escenario de obtención de fundas de acarreo con material virgen. En el gráfico a continuación, se presenta cada categoría ambiental agrupada por escenarios y en % al mayor efecto ambiental.

Los resultados en cada categoría se relacionan al escenario de mayor efecto ambiental siendo beneficioso si es signo negativo o si representa una carga ambiental si es signo positivo.

Vemos así entonces que el escenario base siempre resultó el de mayor impacto ambiental en cada categoría a excepción de la categoría de toxicidad humana cancerígena en la que el escenario 2 es el de mayor impacto negativo con afectación a la salud humana.

Como segundo lugar tenemos al escenario 2 en la que se incorpora dentro de la formulación de las fundas un material post consumo y material reciclado interno. Se observa que el impacto es mayor comparado con escenario 1 en cuyo proceso solo se utiliza material post consumo (reciclado externo). No es mucha la diferencia entre escenario 1 y 2 con un promedio del 5% superior. Pero, el escenario 2 no deja de aportar más del 50% de impactos en todas sus categorías.

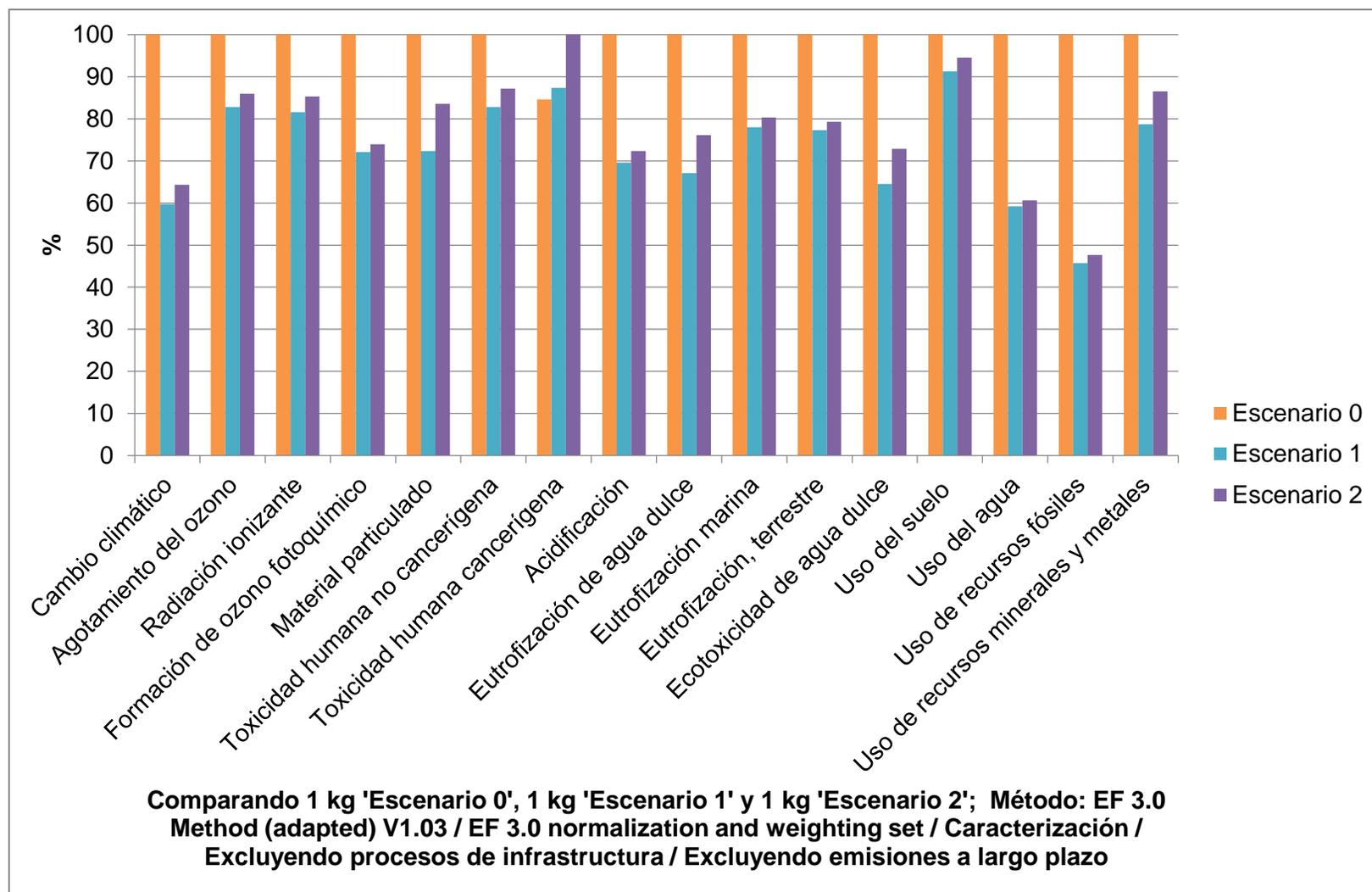
**Tabla 7.**

*Resultados de la evaluación del impacto ambiental ACV – Etapa Caracterización en referencia a la unidad funcional.*

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Escenario base 100% material virgen</b>	<b>Escenario 1 70% material reciclado interno y externo</b>	<b>Escenario 2 70% material reciclado externo</b>
Cambio climático	kg CO <sub>2</sub> eq.	3,73	2,23	2,40
Agotamiento del ozono	kg CFC <sup>-11</sup> eq.	3,69x10 <sup>-07</sup>	3,06x10 <sup>-07</sup>	3,18 x10 <sup>-07</sup>
Radiación ionizante	kBq U <sub>235</sub> eq.	0,10	0,08	0,09
Formación de ozono fotoquímico	kg NMVOC eq.	2,37x10 <sup>-02</sup>	1,71x10 <sup>-02</sup>	1,76x10 <sup>-02</sup>
Material particulado	kg PM <sub>2.5</sub> eq.	1,23x10 <sup>-07</sup>	0,89x10 <sup>-07</sup>	1,03x10 <sup>-07</sup>
Toxicidad humana no cancerígena	CTUh	4,02x10 <sup>-08</sup>	3,33x10 <sup>-08</sup>	3,51x10 <sup>-08</sup>
Toxicidad humana cancerígena	CTUh	8,41x10 <sup>-10</sup>	8,68x10 <sup>-10</sup>	9,93x10 <sup>-10</sup>
Acidificación	mol H <sup>+</sup> eq.	2,44x10 <sup>-02</sup>	1,69x10 <sup>-02</sup>	1,76x10 <sup>-02</sup>
Eutrofización de agua dulce	kg P eq.	5,33x10 <sup>-05</sup>	3,58x10 <sup>-05</sup>	4,06x10 <sup>-05</sup>
Eutrofización marina	kg N eq.	7,17x10 <sup>-03</sup>	5,59 x10 <sup>-03</sup>	5,76 x10 <sup>-03</sup>
Eutrofización, terrestre	mol N eq.	7,85x10 <sup>-02</sup>	6,07x10 <sup>-02</sup>	6,23x10 <sup>-02</sup>
Ecotoxicidad de agua dulce	CTUe	32,81	21,17	23,91
Uso del suelo	kg de déficit de C	4,63	4,23	4,38
Uso del agua	m <sup>3</sup> eq. Agua	1,30	0,77	0,79
Uso de recursos fósiles	kg Sb eq.	88,50	40,48	42,19
Uso de recursos minerales y metales	kg Sb eq.	9,94x10 <sup>-07</sup>	7,82x10 <sup>-07</sup>	8,61x10 <sup>-07</sup>

Figura 6.

Resultados ACV (%) de la Etapa de Caracterización de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.



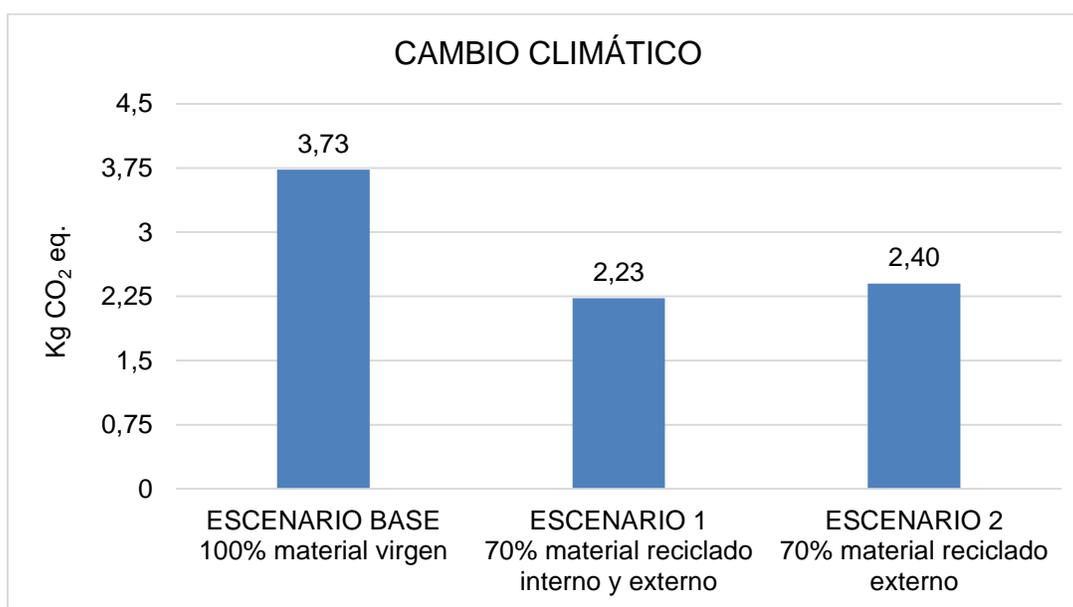
## Resultados de ACV por Categoría de Impacto Ambiental

### Cambio Climático

En la categoría de cambio climático, se observa un potencial de generación de 3.73 kg CO<sub>2</sub> eq. para el escenario base, 2.23 kg CO<sub>2</sub> eq. para el escenario 1 y de 2.4 kg CO<sub>2</sub> eq. para el escenario 2 (Figura 7) por cada 1 kg de producto terminado.

#### Figura 7.

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Cambio Climático de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



Al analizar el escenario base se determina que este impacto puede estar relacionado a los gases de efecto invernadero producidos por la producción de la materia prima, aunque el proceso de manufactura también influye en la emisión de gases. Otros estudios han demostrado que la etapa que más contribuye en la categoría de cambio climático al menos en un valor  $\leq 90\%$  es la etapa de producción de la materia prima, y la diferencia en el aporte es atribuido a otras etapas como producción de la funda, transporte, uso y disposición final. Si comparamos entre PEAD y PEBD se tiene el PEBD tiene un impacto al cambio climático 19

veces mayor que las fundas de PEAD. (Dirección de Investigación en Residuos, 2009). Por lo que, este estudio al realizarse solo con polietileno de alta densidad de cierto modo también aporta al bajo impacto esperado.

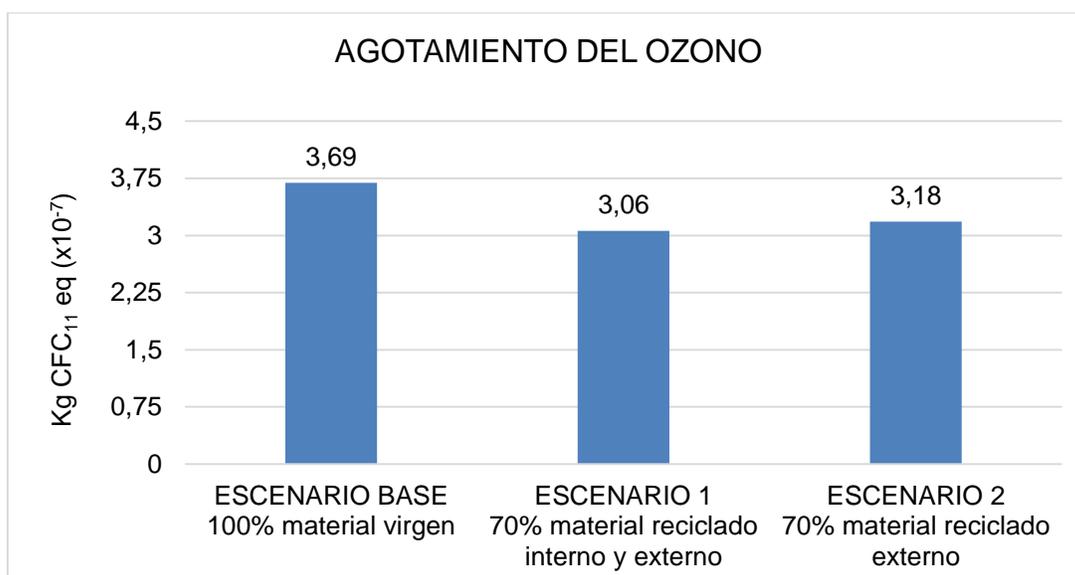
**Entre el escenario 1 y 2 no hay diferencia significativa de generación con apenas 0.17 kg CO<sub>2</sub> eq por cada 1 kg de producto terminado. Cabe recalcar que en el escenario 1 se utiliza un 30% de PEBD como parte del material reciclado interno, pero que no influye en la carga ambiental aportada a pesar de ya conocer que es el que mayor impacto aporta en los tipos de polietilenos comerciales.**

### **Agotamiento del Ozono**

En la categoría de agotamiento del ozono, se calcularon  $3.69 \times 10^{-7}$  kg CFC<sub>11</sub> eq. para el escenario base,  $3.06 \times 10^{-7}$  kg CFC<sub>11</sub> eq. para el escenario 1 y de  $3.18 \times 10^{-7}$  kg CFC<sub>11</sub> eq. para el escenario 2 (Figura 8) por cada 1 kg de producto terminado.

### **Figura 8.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Agotamiento del Ozono de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



Al analizar el escenario base con los otros 2 escenarios, tenemos que todos están por encima de los 3 kg CFC11 eq por cada 1 kg de producto terminado por lo que, no se considera una disminución relevante en el impacto aun utilizando diferentes porcentajes de material reciclado.

Un estudio en particular del ACV en las etapas de producción de fundas plásticas arrojó que 80% del agotamiento de la capa de ozono se atribuye a la producción de polímeros en general. Y al igual que el punto anterior, el PEBD es polímero principal protagonista. Mientras que para el PEAD por el contrario el 70% del agotamiento de la capa de ozono se atribuye a la energía requerida para la producción de fundas con este material exclusivo. Las fundas de PEBD tiene un impacto al agotamiento de la capa de ozono 6 veces mayor que las fundas de PEAD (Dirección de Investigación en Residuos, 2009).

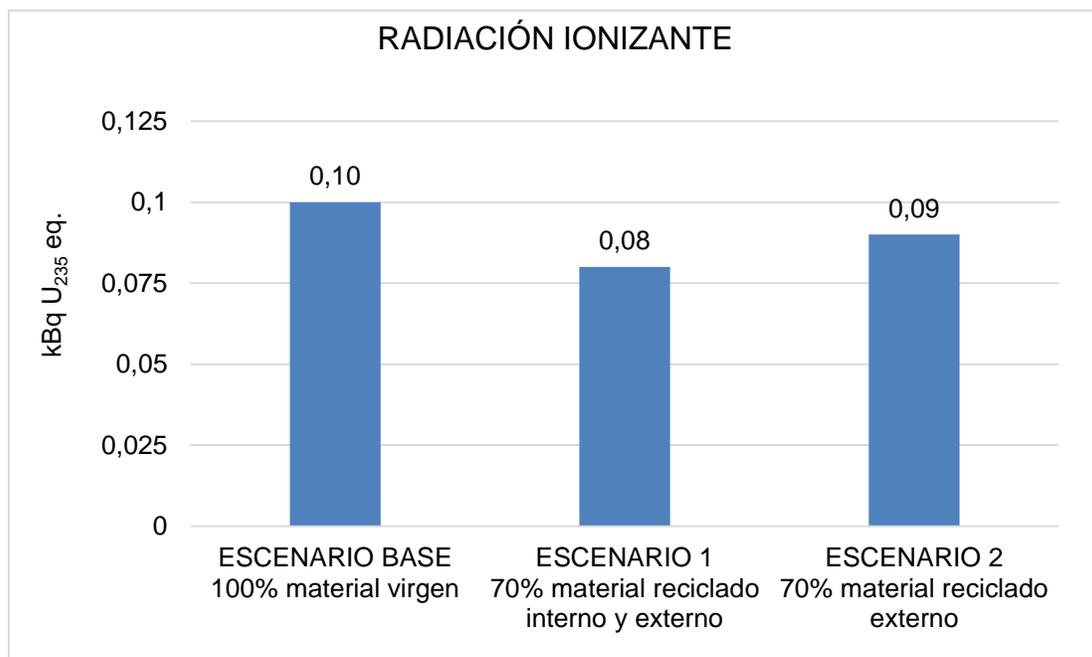
Con esto, se justifica que la actividad que mayormente aporta en esta categoría se atribuye a el uso de combustibles fósiles y para este estudio en particular, todas las maquinarias y vehículos (sin excepción) utilizan GLP y se conoce que de la combustión de este gas se desprende gas metano.

### ***Radiación Ionizante para la salud humana***

En la categoría de agotamiento del ozono, se calcularon 0.1  $kBq U_{235}$  eq. para el escenario base, 0.08  $kBq U_{235}$  eq. para el escenario 1 y de 0.09  $kBq U_{235}$  eq. para el escenario 2 (Figura 9) por cada 1 kg de producto terminado.

**Figura 9.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Radiación Ionizante de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



En esta categoría no se tiene mayor diferencia de impactos entre los 3 escenarios y a pesar de que las cantidades reportadas son muy pequeñas, hay que considerar que las actividades que principalmente aportan a la radiación ionizante, por un lado, es el proceso de producción de la materia prima los polímeros en general, y por otro lado la utilización de pigmentos en las fundas.

En la industria de producción de polímeros se aplica energía ionizante para la polimerización y reticulación de los polímeros mediante la reducción extrema en condiciones de temperatura y presión para producir la reacción de polimerización (Machi, 1994). Todo esto aportaría a la radiación ionizante para la salud humana y ecosistemas debido a su exposición en su disposición final. Mientras que, por otro lado, también se tiene la presencia de elementos radioactivos que se encuentran en las formaciones geológicas destinadas a la extracción de

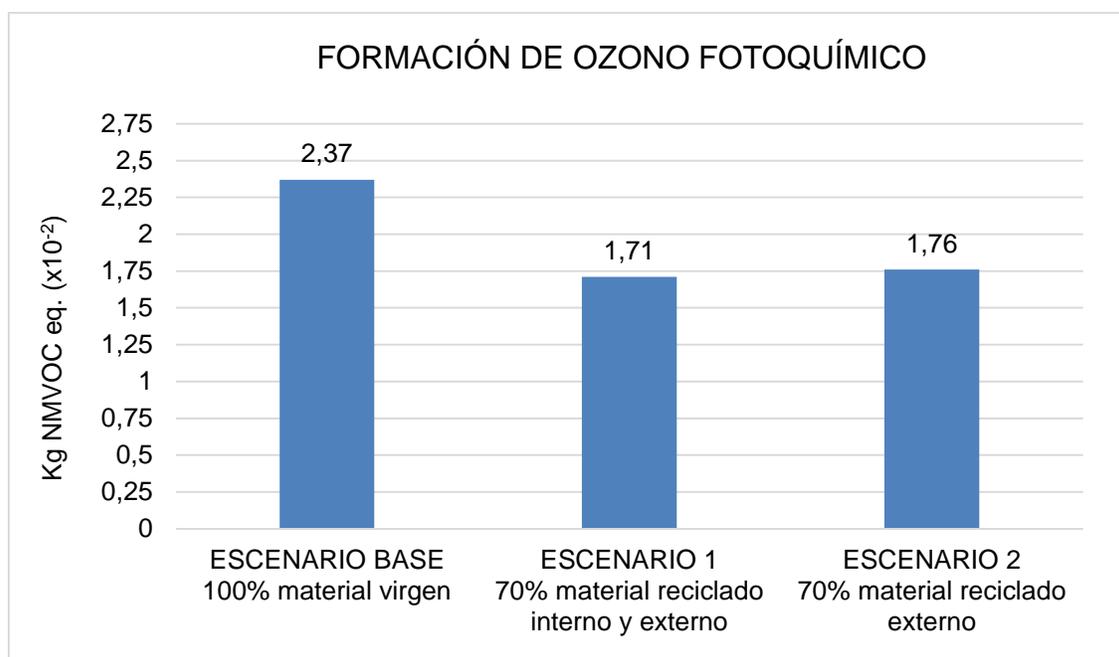
minerales como rutilo requerido en la obtención de  $\text{TiO}_2$  (Maga, 2019), el cual es el principal componente presente en los pigmentos utilizados en este estudio.

### **Formación de Ozono Fotoquímico**

En la categoría de formación de ozono fotoquímico, en el escenario base se obtuvo  $2.37 \times 10^{-2} \text{ kg NMVOC eq.}$ ,  $1.71 \times 10^{-2} \text{ kg NMVOC eq.}$  para el escenario 1 y de  $1.76 \times 10^{-2} \text{ kg NMVOC eq.}$  para el escenario 2 (Figura 10) por cada 1 kg de producto terminado.

#### **Figura 10.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Formación de Ozono Fotoquímico de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



Entre el escenario 1 y 2 no hay diferencia significativa de generación con apenas  $0.05 \text{ kg NMVOC eq.}$  de diferencia. Pero si se ve una disminución considerable de al menos un 30% integrando material reciclado (escenario 1) para la manufactura de fundas plásticas versus un proceso convencional.

Por la naturaleza propia de las fundas, independiente del tipo de polímero de la que se componga, se sabe que para su producción en los procesos de combustión hay emisión de COVs tanto en el proceso de extrusión o durante la incineración directa si éste fuese su disposición final (Maga, 2019). De igual manera, durante el proceso de manufactura de una funda plástica también se incluyen etapas de extrusión a altas temperaturas.

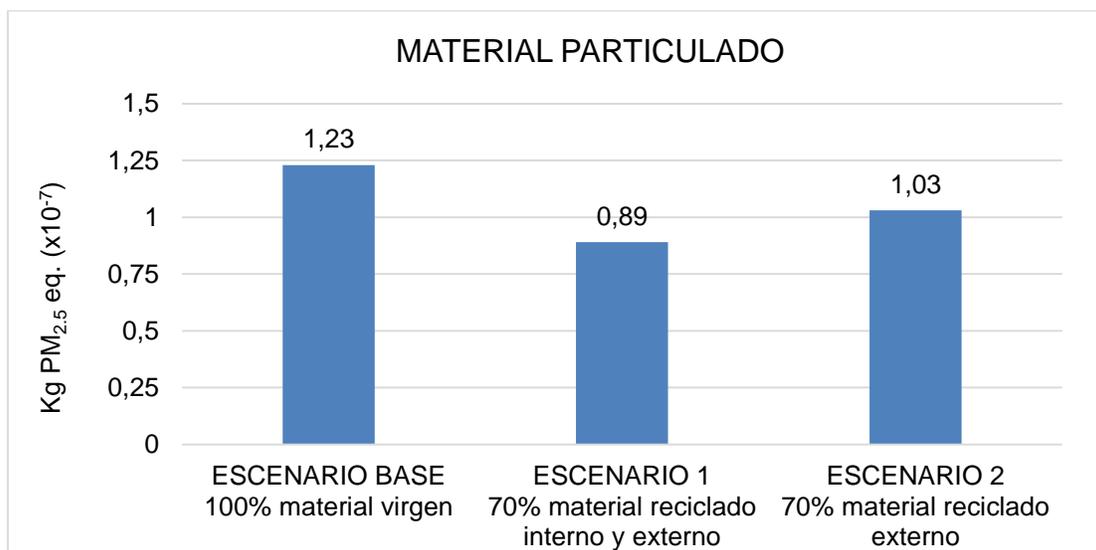
No integrar los procesos de producción para extracción y obtención de la materia prima al no utilizar materia prima virgen, reduce la emisión de estos COVs que tienen contribución potencial a la formación fotoquímica de ozono.

### **Material Particulado**

En la categoría de material particulado, en el escenario base se obtuvo  $1.23 \times 10^{-7}$  kg  $PM_{2.5}$  eq.,  $0.89 \times 10^{-2}$  kg  $PM_{2.5}$  eq. para el escenario 1 y de  $1.03 \times 10^{-7}$  kg  $PM_{2.5}$  eq., para el escenario 2 (Figura 11) por cada 1 kg de producto terminado.

#### **Figura 11.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Material Particulado de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



El material particulado también es un compuesto presente en la extracción de petróleo. Los procesos de generación de material particulado son la extracción de petróleo, refinación, polimerización y termoformado o extrusión ((Liu, 2020), y siendo más específicos al tipo de polímero, se determinó que el material particulado: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> en mayor cantidad proviene del proceso de extrusión del PEBD que del PEAD.

No integrar los procesos de producción para extracción y obtención de la materia prima al no utilizar materia prima virgen, evita todos los procesos térmicos que involucre combustión/incineración. Con esto se reduce en un 27% la generación de material particulado en el escenario 1 comparado con el escenario base. A pesar de que en el escenario 2 no se utiliza PEBD dentro del material reciclado, éste tiene un mayor impacto comparado con el escenario 1 en la que si incluye dentro de los procesos un cierto porcentaje de PEBD.

### ***Toxicidad Humana (no cancerígena)***

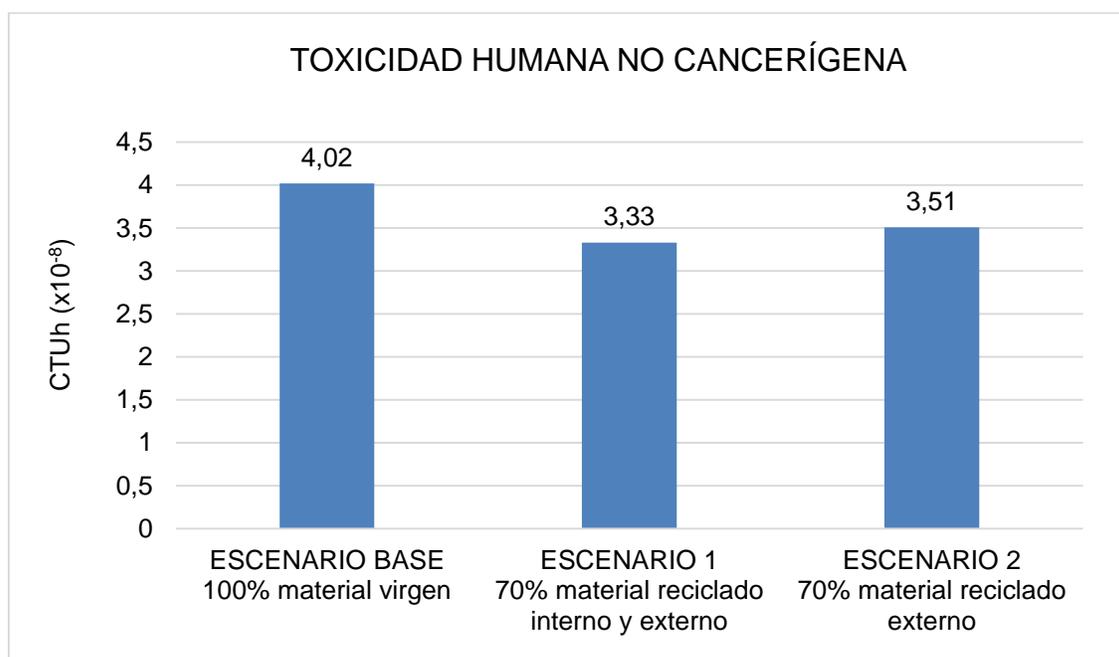
En la categoría de material particulado, en el escenario base se obtuvo  $4.02 \times 10^{-8}$  CTUh,  $3.33 \times 10^{-8}$  CTUh para el escenario 1 y de  $3.51$  obtuvo  $4.02 \times 10^{-8}$  CTUh, para el escenario 2 (Figura 12) por cada 1 kg de producto terminado.

En términos generales, los siguientes compuestos son tóxicos sin efectos cancerígenos: compuestos aromáticos (C5-C9) como el tolueno etilbenceno, xileno; compuestos aromáticos (C9-C16) como naftaleno, isopropilbenceno, bifenil, compuestos alifáticos (C5-C8) como hexano; compuestos alifáticos (C8-C16) como kerosene, fuel oil (García Villacís, 2021). Todos estos compuestos están asociados a los derivados de componente fósiles, en estos los polímeros como el PEBD y PEAD.

Existe una disminución del impacto de toxicidad humana de al menos el 17% con los escenarios 1 y 2 comparado con el escenario base, esto debido a la reducción de materia prima requerido en los procesos de producción convencionales de fundas plásticas.

**Figura 12.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Toxicidad Humana no cancerígena de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*

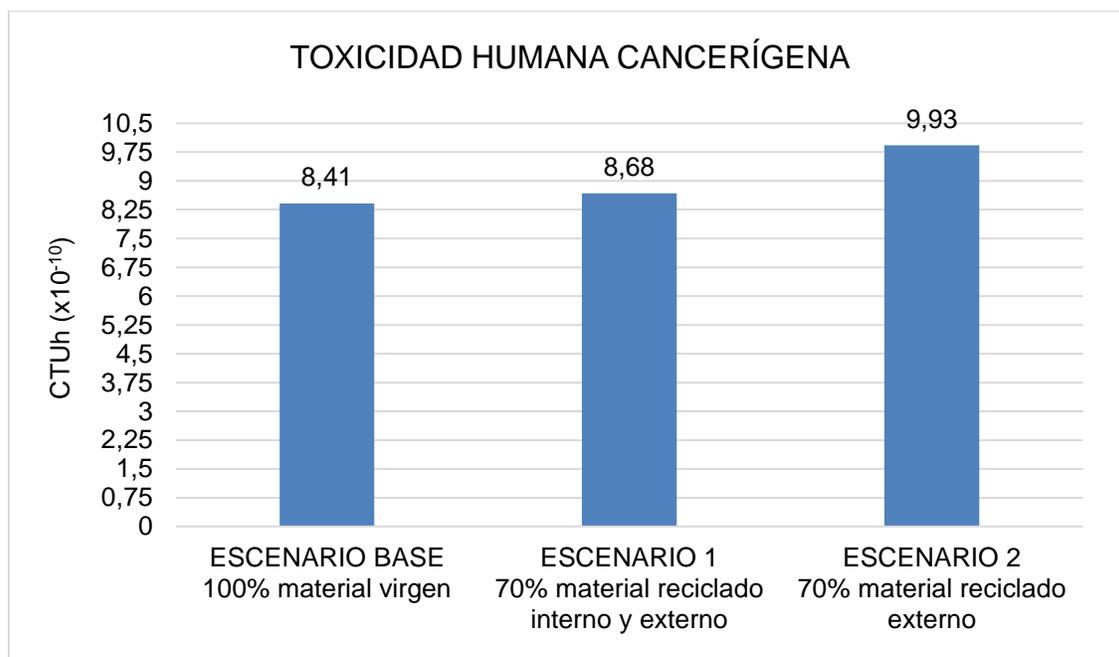


### ***Toxicidad Humana (cancerígena)***

En la categoría de toxicidad humana, en el escenario base se obtuvo  $8.41 \times 10^{-8}$  CTUh,  $8.68 \times 10^{-8}$  CTUh para el escenario 1 y de  $9.93 \times 10^{-8}$  CTUh, para el escenario 2 (Figura 13) por cada 1 kg de producto terminado.

**Figura 13.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Toxicidad Humana cancerígena de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



En los últimos 20 años, los bifenilos policlorados (PCBs por sus siglas en inglés) han polucionado las cadenas alimentarias del mar, y son prevalentes en las aves marinas. Aunque los PCBs puedan no tener efectos evidentes, llevan inevitablemente a desordenes reproductivos, alteran los niveles hormonales, incrementan el riesgo de muerte y eventualmente conducen a la muerte (RYAN, 1990). Estos químicos tienen efectos perjudiciales en los organismos marinos aun en niveles y concentraciones muy bajos, y los pellets plásticos pueden ser una vía de ingreso de los PBCs a las cadenas alimentarias.

A diferencia de todas las categorías ambientales aquí estudiadas, esta es la única en cuyo escenario base no tiene disminución del impacto, sino que por el contrario los demás escenarios en las que se utiliza material reciclado tienden a ser más tóxico al ser humano que el uso de una funda de acarreo convencional. Aquí se puede deber a 2 factores:

- a. El proceso de recuperación y reprocesamiento de fundas plásticas posconsumo es muy general con etapas tales como trituración y luego lavado químico con sosa caustica. Esto con el fin de eliminar en lo posible todo tipo de contaminación física. Dado que este material reciclado se desconoce su origen y no se puede determinar con certeza si las fundas estuvieron en contacto directo con algún tipo de contaminante tóxico en alguna etapa durante su ciclo de vida. La mayoría de las industrias plásticas no tiene procesos rigurosos como por ej. detección de metales o contenido de trazas de metales pesados, PCBs, HAPs, etc.
- b. Consecuencia del punto anterior, las fundas plásticas procesadas con estos componentes, ya en su disposición final, llegan a la cadena alimenticia y consecuente al ser humano. Pueden presentarse en animales, cuerpos hídricos y alimentos en forma de microplásticos. Aquí es que las consecuencias tóxicas en la salud humana pueden presentarse a mediano o largo plazo.

### **Acidificación**

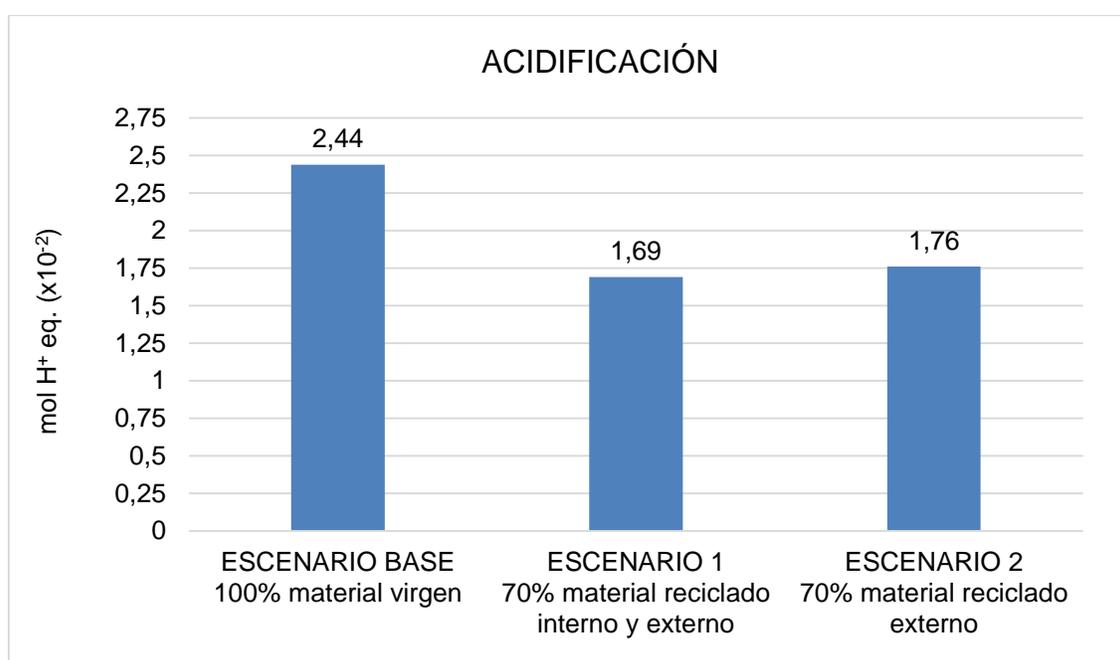
En la categoría de acidificación, en el escenario base se obtuvo  $2.44 \times 10^{-2} \text{ mol H}^+ \text{ eq.}$ ,  $1.69 \times 10^{-2} \text{ mol H}^+ \text{ eq.}$  para el escenario 1 y de  $1.76 \times 10^{-2} \text{ mol H}^+ \text{ eq.}$  para el escenario 2 (Figura 14) por cada 1 kg de producto terminado.

En el escenario 2, se tiene una reducción del 30% de impacto de acidificación comparada con el escenario base. Se conoce que el ecosistema terrestre y acuático es sensible a sustancias acidificantes que se depositan en estos. Y la etapa que mayormente aporta en esta categoría es el transporte seguido de la manufactura de las fundas plásticas. Según la (Dirección de Investigación en Residuos, 2009) de todas las etapas de producción de fundas plásticas estudiadas: materias primas, producción, transporte, uso y fin de vida, la etapa de transporte representa un 64% de aporte en acidificación de los ecosistemas seguido del 36% de aporte por la producción de bolsas. Y si comparamos entre los diferentes tipos de

polímeros, este estudio también arrojó que en la etapa de transporte el PEAD 2.3 veces mayor que una funda de PEBD. Mientras que, en la etapa de producción, el elaborar una funda de PEBD el impacto en acidificación de ecosistemas es 3.3 veces mayor que una funda de PEAD y 20 veces mayor que una funda de PP.

#### Figura 14.

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de Acidificación de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*

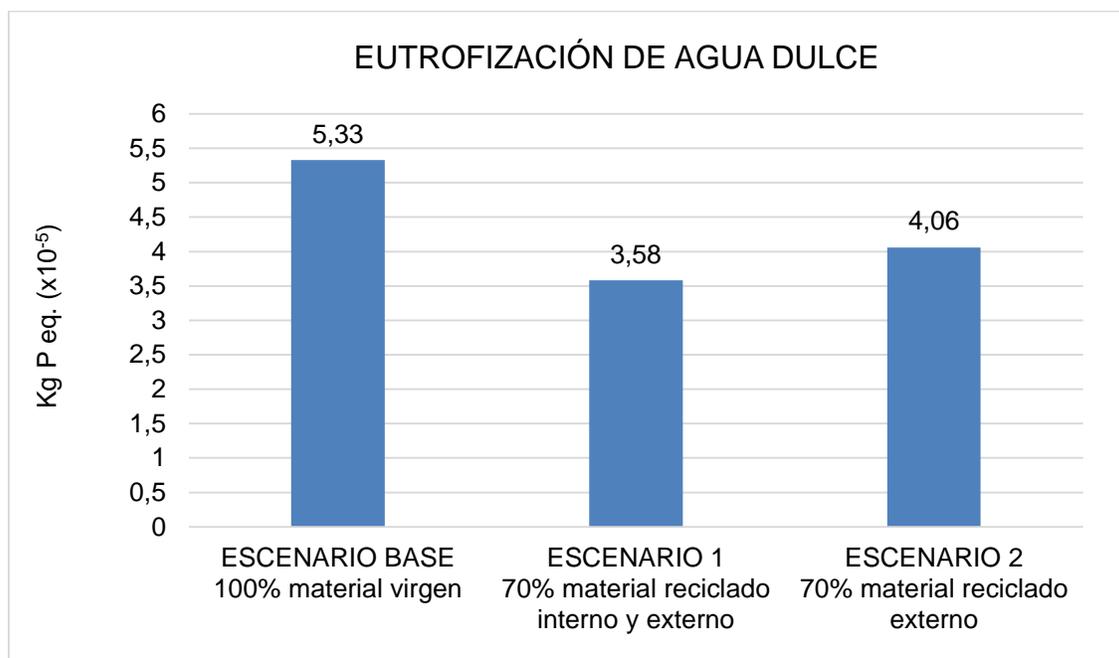


#### ***Eutrofización de agua dulce y marina***

En la categoría de eutrofización de agua dulce, en el escenario base se obtuvo *por cada* 1 kg de producto terminado 5.33 *kg de P. eq.*, 3.58 *kg de P. eq.* para el escenario 1 y de 4.06 *kg de P. eq.* para el escenario 2 (Figura 15). De acuerdo con la metodología ILCD, en la categoría de eutrofización de agua dulce se considera los componentes de fósforo de las descargas de aguas residuales (European Commission Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, 2010).

**Figura 15.**

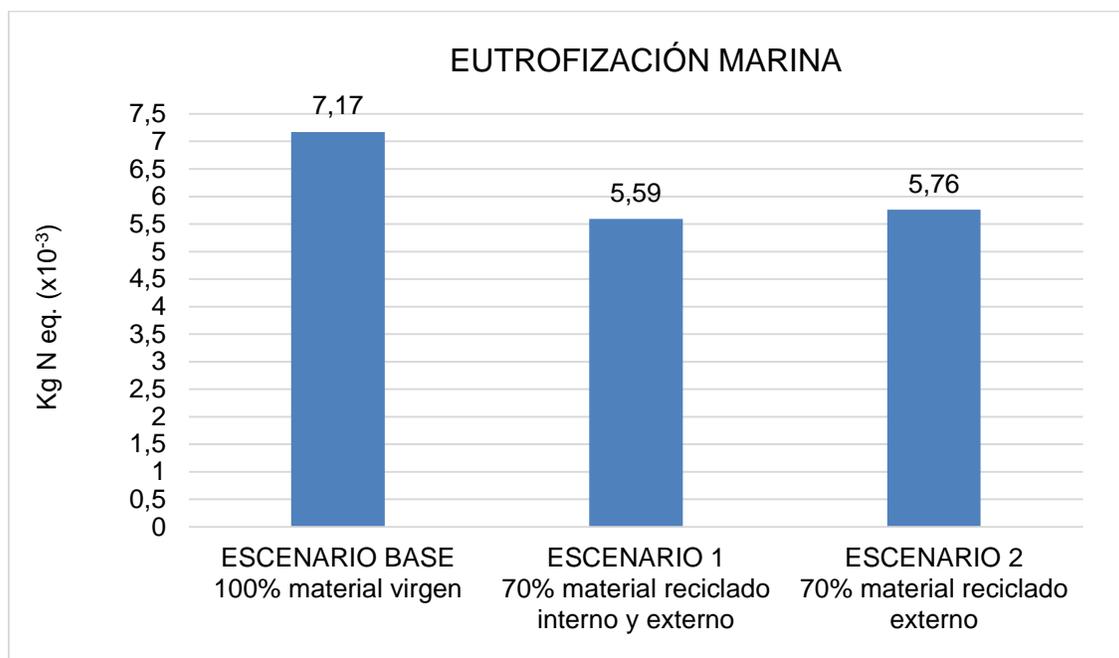
*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Eutrofización de Agua Dulce de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



En la categoría de eutrofización marina, en el escenario base se obtuvo *por cada* 1 kg de producto terminado, 7.17 kg de P. eq., 5.59 Kg de P. eq. para el escenario 1 y de 5.76 kg de P. eq. para el escenario 2 (Figura 16). En esta categoría se mide el efecto de eutrofización de componentes de nitrógeno proveniente de aguas residuales (European Commission Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, 2010).

**Figura 16.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Eutrofización Marina de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



En esta categoría, la etapa que mayormente aporta en la eutrofización es la producción de las materias primas, es decir, de todas las resinas en forma general. Y de igual manera como el caso del resto de categorías, la producción de PEBD es 34 veces mayor en impacto en la eutrofización de ecosistemas que para la producción de PEAD y 34 veces más que para la producción de PP (Dirección de Investigación en Residuos, 2009). Las aguas residuales generados de estos procesos de producción son las que mayor aporte de nitrógeno y fosforo aportan.

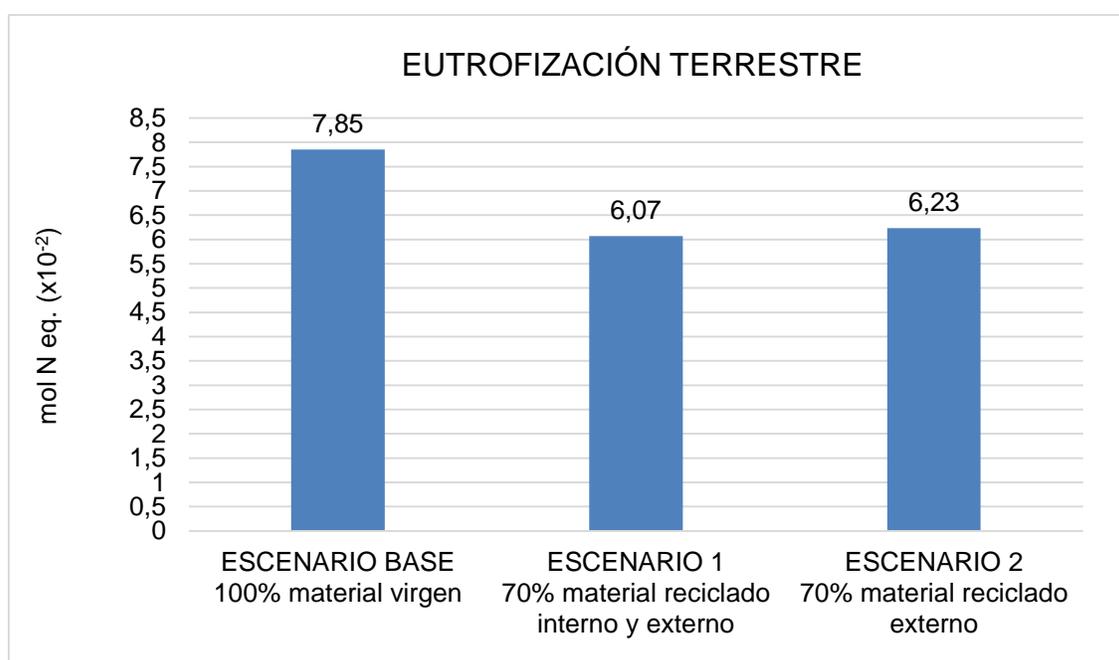
Para el caso de la eutrofización marina la diferencia entre escenarios 1 y 2 no tienen mayor diferencia, pero si disminuye en un 22% el integrar material reciclado en el proceso de producción de fundas plásticas. Mientras que para la eutrofización de agua dulce los escenarios 1 y 2 tienen mayor disminución del 32% comparado con el escenario base.

### **Eutrofización Terrestre**

En la categoría de eutrofización terrestre, en el escenario base se obtuvo  $7.85 \text{ mol N eq.}$ ,  $6.07 \text{ mol N eq.}$  para el escenario 1 y de  $6.23 \text{ mol N eq.}$  para el escenario 2 (Figura 17) por cada 1 kg de producto terminado. En esta categoría se mide el efecto de eutrofización de componentes de emitidos al aire (European Commission Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, 2010).

#### **Figura 17.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Eutrofización Terrestre de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



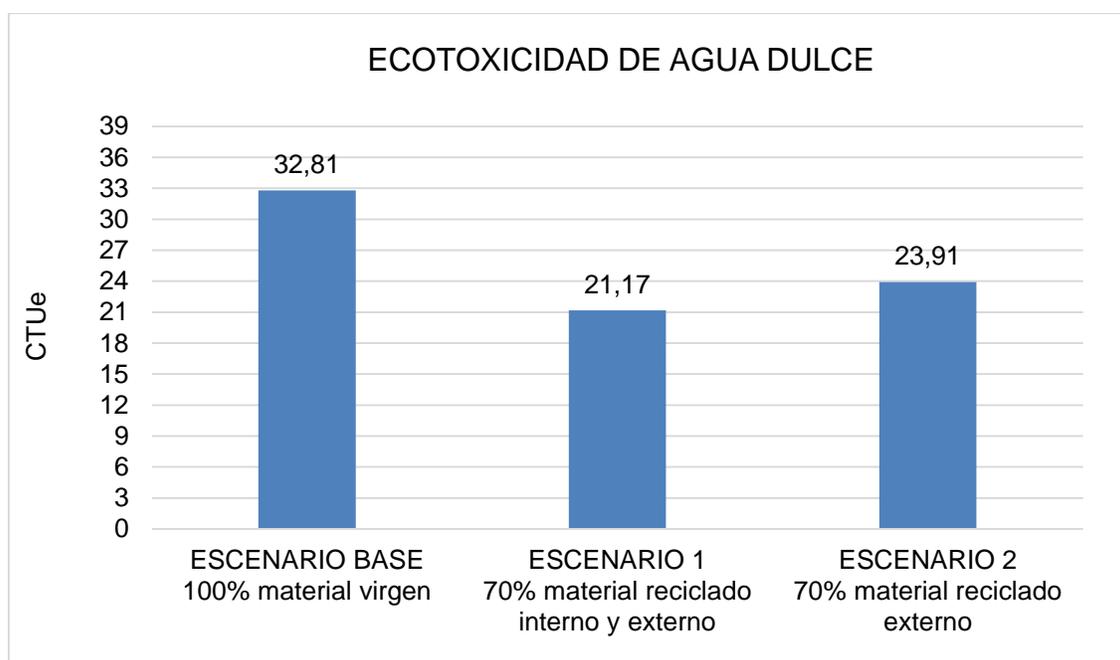
En esta categoría la eutrofización se produce netamente por los gases de emisión  $\text{NO}_x$  producidos en las etapas de extracción y producción de materias primas (reacción de polimerización) y de los gases producidos durante su descomposición en su disposición final sea ésta relleno sanitario o incineración, por ejemplo.

### ***Ecotoxicidad de Agua Dulce***

En la categoría de eutrofización terrestre, en el escenario base se obtuvo 32.81 CTUe, 21.17 CTUe para el escenario 1 y de 23.91 CTUe para el escenario 2 (Figura 18) por cada 1 kg de producto terminado.

#### **Figura 18.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Ecotoxicidad de Agua Dulce de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



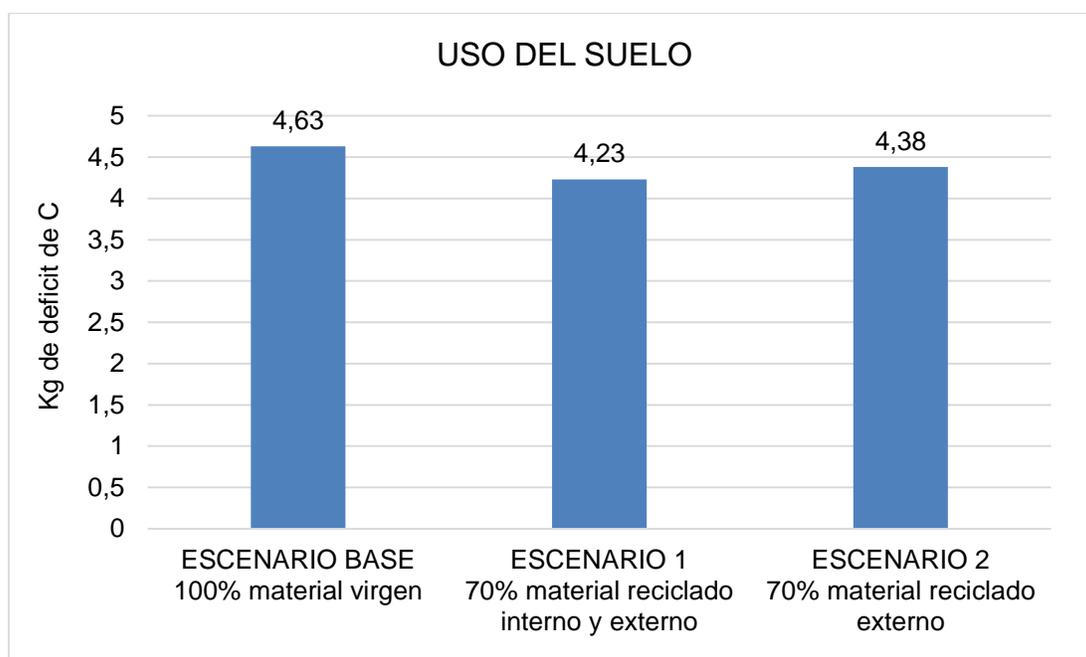
El potencial de ecotoxicidad se debe principalmente por la extracción y producción de materia prima derivados de recursos fósiles el cual aporta a la contaminación mediante efluentes o emisiones gaseosas con componentes tóxicos como compuestos orgánicos volátiles, compuestos aromáticos, metales pesados, entre otros. El escenario 1 es el que menor impacto tiene entre los tres con una reducción del 35% en ecotoxicidad.

## Uso de Suelo

En la categoría de uso de suelo, en el escenario base se obtuvo por cada 1 kg de producto terminado: 4.63 kg de déficit de C, 4.23 kg de déficit de C para el escenario 1 y de 4.38 kg de déficit de C para el escenario 2 (Figura 19).

### Figura 19.

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso de Suelo de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



Al analizar el escenario base con los otros 2 escenarios, tenemos que todos están por encima de los 4 kg de déficit de carbono, por lo que, no se considera una disminución relevante en el impacto aun utilizando diferentes porcentajes de material reciclado en el proceso de producción de fundas.

En esta categoría, se le atribuye el aporte en el uso de suelo a las etapas de producción de las materias primas. Una funda de PEBD usa mayor cantidad de resina que una funda de PEAD por lo que el impacto en el agotamiento del uso de suelo es 4 veces. Y si comparamos

con una funda más resistente reusable como las de PP entonces el impacto sería 25 veces mayor (Dirección de Investigación en Residuos, 2009). También, el uso de combustibles y electricidad en las etapas de producción de fundas tiene una contribución importante en el agotamiento de recursos abióticos (suelo y agua específicamente).

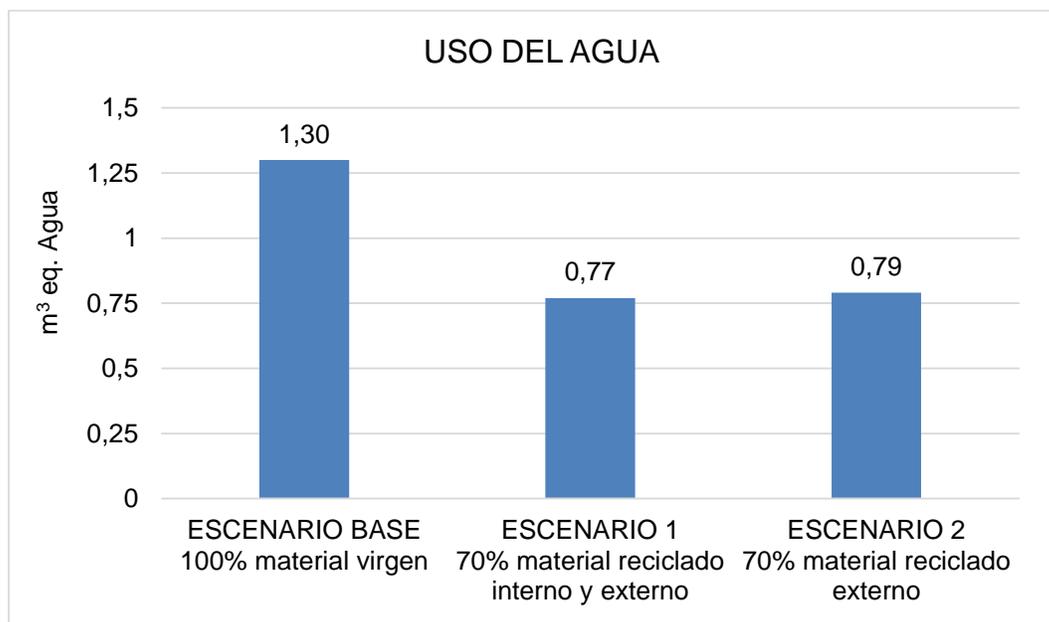
Tanto en las etapas de extracción y producción de materias primas se tiene el uso del suelo con intervenciones por modificación en la cobertura vegetal o por fragmentación, los cuales son procesos típicos para la extracción de recursos fósiles.

### **Uso del Agua**

En la categoría del uso de agua, en el escenario base se obtuvo 1.3 m<sup>3</sup> de agua eq., 0.77 m<sup>3</sup> de agua eq. para el escenario 1 y de 0.79 m<sup>3</sup> de agua eq. para el escenario 2 (Figura 20) por cada 1 kg de producto terminado.

### **Figura 20.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso del Agua de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



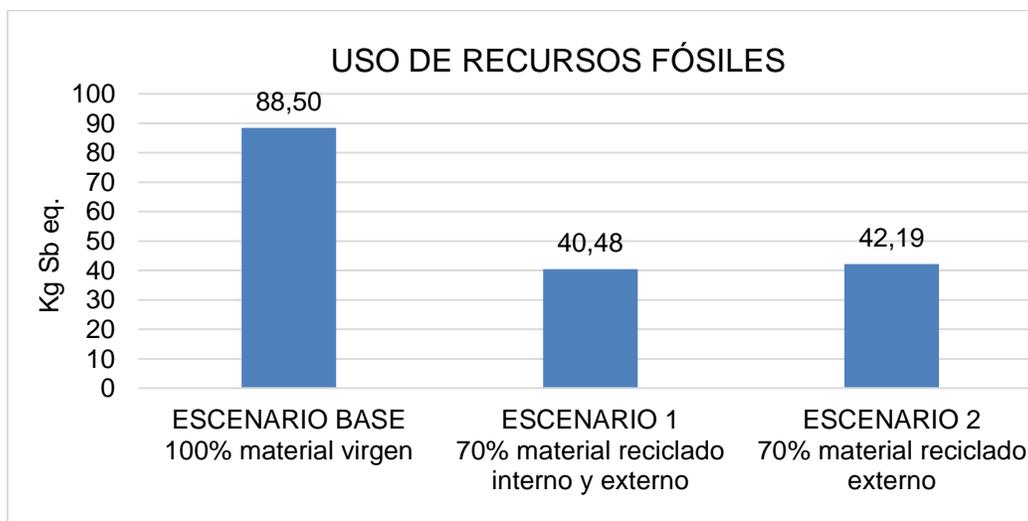
Con el escenario 1 y 2 claramente se reduce en un 40% el impacto en el uso de agua, ya que para el caso del escenario base, el agua es un recurso indispensable en la obtención de materia primas y en todos los procesos productivos. Sin embargo, aunque no se refleja gráficamente, hay que tener en cuenta que el uso de agua es muy crucial para el proceso de lavado, esterilización y lavado químico durante la etapa de reprocesado del material reciclado es por eso que en el escenario 2 el impacto es mayor que el escenario 1 ya que se tiene que un 70% de materia prima es material reciclado externo.

### ***Uso de Recursos fósiles, minerales y metales***

En la categoría de uso de recursos fósiles, minerales y metales, por cada 1 kg de producto terminado, en el escenario base se obtuvo 88.5 kg de Sb eq., 40.48 kg de Sb eq. para el escenario 1 y de 42.19 kg de Sb eq. para el escenario 2 (Figura 21).

#### **Figura 21.**

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso de Recursos Fósiles de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



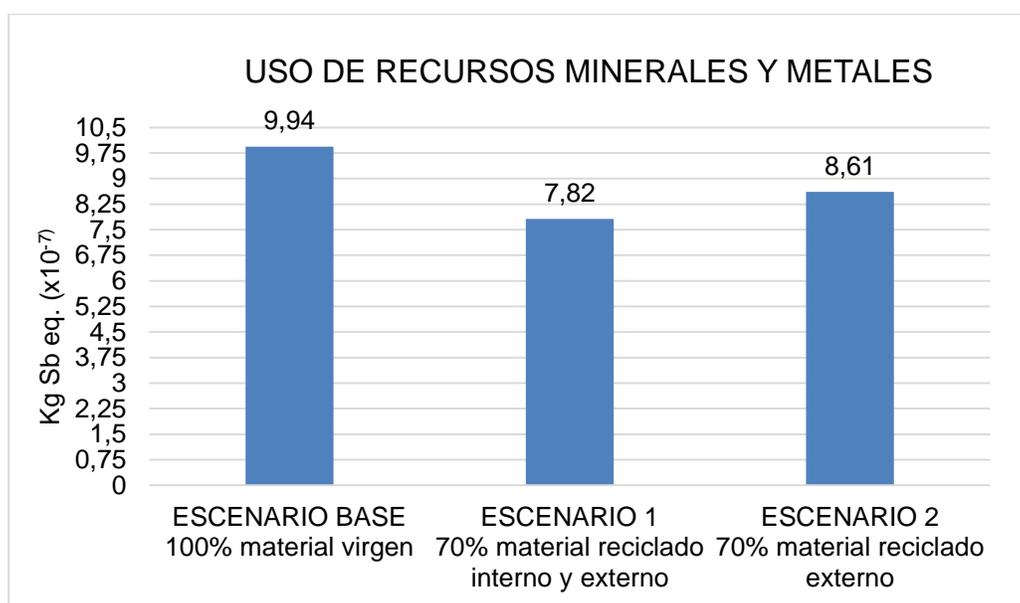
Sin duda el impacto que tiene una marcada diferencia es la categoría de uso de recursos fósiles ya que la materia prima (resinas) son de origen fósil. Con casi un 50% de

reducción de impactos se tiene que la utilización de material reciclado es más conveniente que la utilización de material virgen.

En la categoría de uso de recursos fósiles, minerales y metales, en el escenario base se obtuvo  $9.94 \times 10^{-7}$  kg de Sb eq.,  $7.82 \times 10^{-7}$  kg de Sb eq. para el escenario 1 y de  $8.61 \times 10^{-7}$  kg de Sb eq. para el escenario 2 (Figura 22) por cada 1 kg de producto terminado.

### Figura 22.

*Evaluación ambiental (ACV) en la categoría Uso de Recursos Minerales y Metales de los escenarios de manufactura de fundas plásticas de acarreo.*



En esta categoría, las contribuciones están asociadas a los recursos utilizados durante los procesos de producción de todas las materias primas, insumos e incluso maquinarias, herramientas y equipos utilizados en cada etapa del ciclo de vida de una funda plástica. Y, dependiendo de la disposición final de las fundas, se incluiría también la etapa de la incineración de estos ya que este proceso utiliza GLP como fuente de energía.

### Resultados Ponderados de ACV - Comparación entre escenarios

A continuación, se detalla los resultados ponderados de punto medio (en micropuntos,  $\mu\text{pt}$ ) de cada uno de las categorías ambientales comparando los 3 escenarios de estudio.

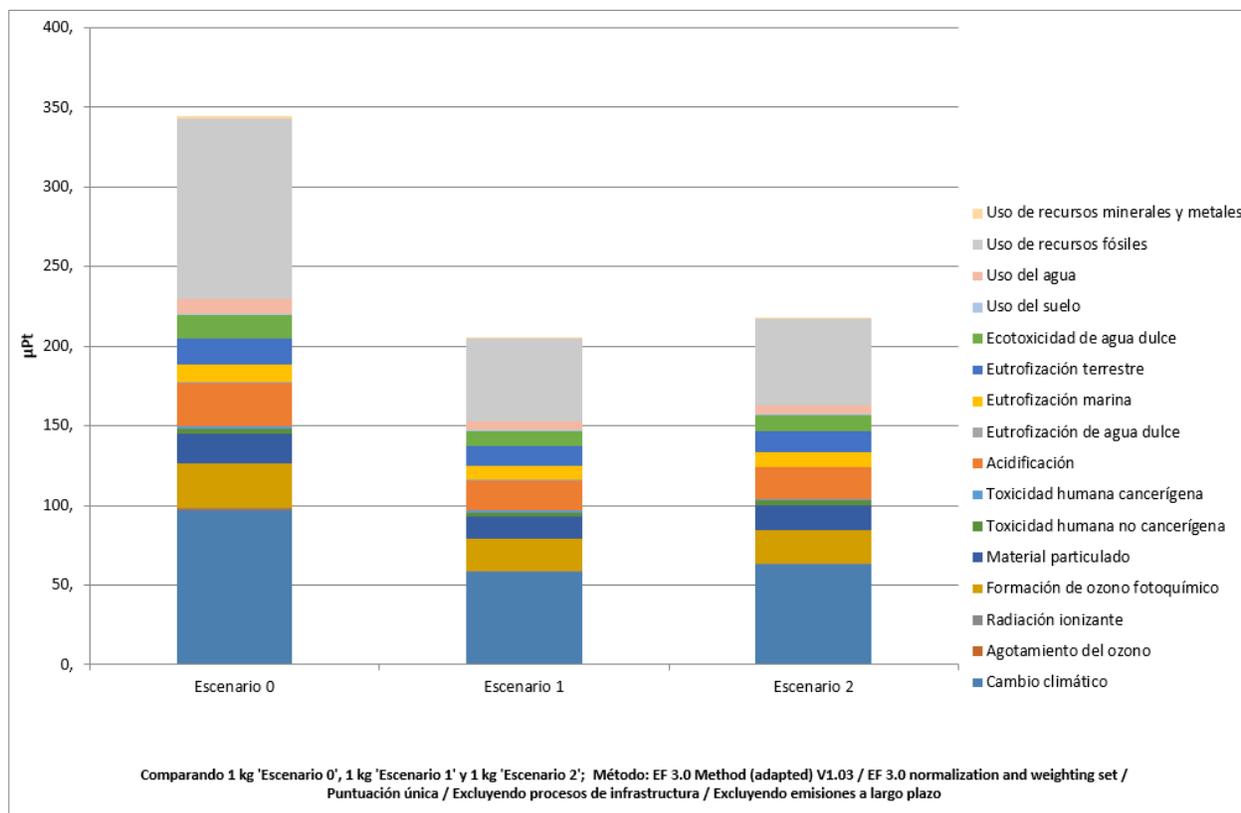
**Tabla 8.**

*Evaluación del impacto ambiental ACV de las actividades de producción de fundas de acarreo– Resultados ponderados (en micropuntos y porcentaje) por escenarios.*

Categoría de impacto	ESCENARIO BASE 100% material virgen		ESCENARIO 1 70% material reciclado interno y externo		ESCENARIO 2 70% material reciclado externo	
	$\mu Pt$	%	$\mu Pt$	%	$\mu Pt$	%
<b>Total</b>	<b>344,191</b>	<b>100</b>	<b>205,720</b>	<b>100</b>	<b>218,283</b>	<b>100</b>
Uso de recursos fósiles	113,250	32,9	51,793	25,2	53,995	24,7
Cambio climático	97,020	28,2	57,918	28,2	62,436	29,5
Formación de ozono fotoquímico	27,949	8,1	20,152	9,8	20,671	9,4
Acidificación	27,182	7,9	18,922	9,2	19,662	8,9
Material particulado	18,561	5,4	13,426	6,5	15,510	7,1
Eutrofización terrestre	16,486	4,8	12,741	6,2	13,074	5,7
Ecotoxicidad de agua dulce	14,759	4,3	9,521	4,6	10,754	4,9
Eutrofización marina	10,859	3,2	8,471	4,2	8,722	3,9
Uso del agua	9,663	2,9	5,724	2,8	5,857	2,7
Toxicidad humana no cancerígena	3,223	0,9	2,669	1,3	2,810	1,3
Radiación ionizante	1,188	0,4	0,970	0,4	1,014	0,4
Uso de recursos minerales y metales	1,179	0,3	0,928	0,4	1,021	0,4
Toxicidad humana cancerígena	1,059	0,3	1,094	0,5	1,252	0,5
Eutrofización de agua dulce	0,929	0,2	0,624	0,3	0,708	0,3
Uso del suelo	0,449	0,1	0,410	0,2	0,424	0,2
Agotamiento del ozono	0,434	0,1	0,360	0,2	0,373	0,1

**Figura 23.**

*Evaluación del impacto ambiental ACV de las actividades de producción de fundas de acarreo – Resultados ponderados (en puntos,  $\mu Pt$ ).*



Se puede observar que el escenario de mayor impacto ambiental con 344.19  $\mu Pt$  es el escenario base en la que se utiliza material virgen para la elaboración de fundas de acarreo. Mientras que entre los escenarios 1 y 2 en la que se utiliza material reciclado en general la diferencia de puntos entre ambos escenarios es de 12.56 indicando que no es mucha la diferencia de impactos. Mientras que entre el escenario 1 y el escenario base la diferencia de impactos es del 40.23% menor siendo más amigable con el ambiente el escenario en que se utiliza material reciclado tanto interno como externo (escenario 1).

En el escenario base las categorías ambientales que más aportan son: uso de recursos fósiles y cambio climático con un total del 61.1% entre ambos. Mientras que el que menos aportan son las categorías radiación ionizante, uso de recursos minerales y metales, toxicidad

humada cancerígena, eutrofización de agua dulce, uso de suelo y agotamiento del ozono con <0.5% de aporte. Mientras, tanto en el escenario 1 y 2 las categorías que aportan con al menos el 50% de carga ambiental son: uso de recursos fósiles, cambio climático, formación de ozono fotoquímico y acidificación.

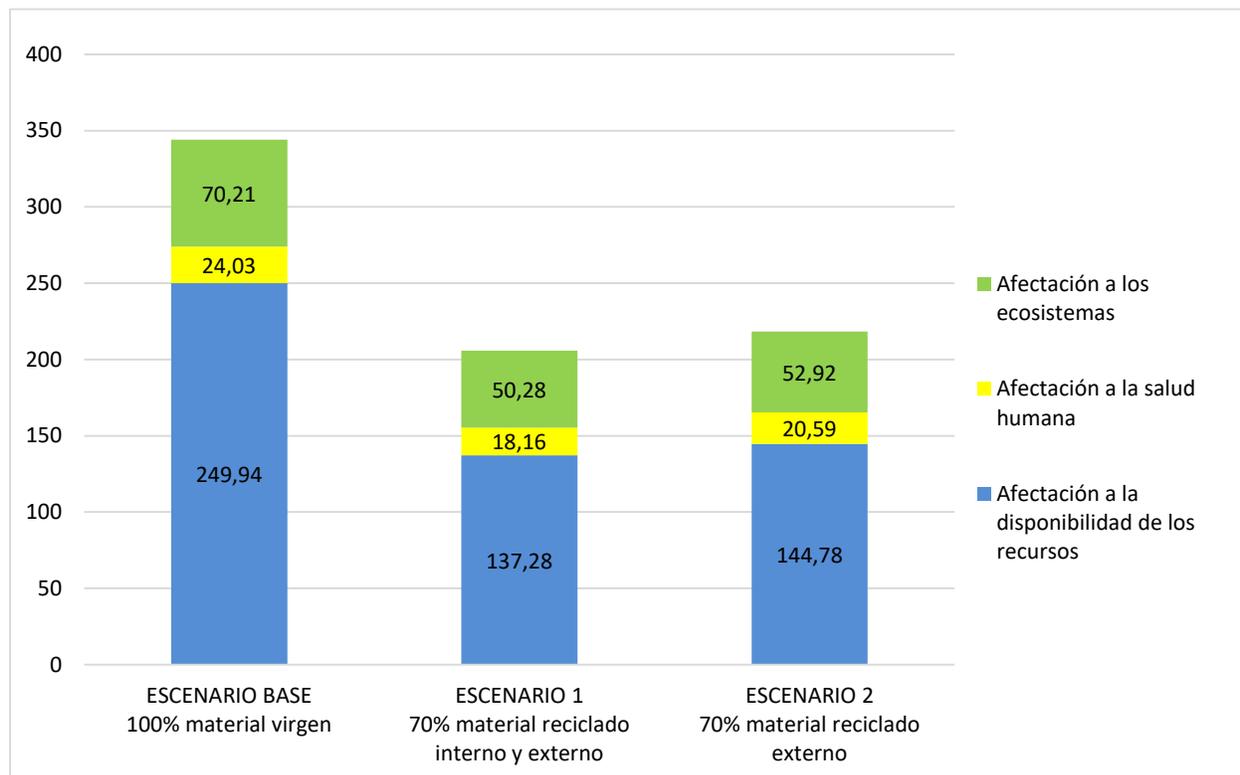
Según los resultados obtenidos en donde se observa un mayor impacto con la utilización de materiales vírgenes concuerdan con el estudio ACV de mayor afinidad al presente estudio (ACV comparativo entre fundas convencionales vs fundas degradables), en la que se concluyó que el desempeño ambiental de las fundas de PEAD y PEBD con o sin aditivos oxobiodegradables no es significativamente distintos. Cabe recalcar que los aditivos oxobiodegradables son materiales que le dan propiedad de degradación en menor tiempo al convertirla la funda en macropartículas luego de su disposición final (Dirección de Investigación en Residuos, 2009). Si comparamos una funda con aditivos oxobiodegradables con una funda con material reciclado, ambas se supone que el cambio aplicado es para darle un giro ambientalmente amigable en todo su ciclo de vida y reducir impactos ambientales, pero lo que se observa es que los impactos relativos más significantes que tuvo reducción fueron: cambio climático, uso de agua y uso de recursos fósiles.

### **Resultados Ponderados de ACV (EndPoint) agrupados por tipo de afectación**

En la tabla a continuación se muestran la sumatoria de puntos de los grupos de afectación para cada escenario. En paréntesis\* se señala el porcentaje de reducción en el escenario que presentó menor valor de afectación.

**Figura 24.**

*Evaluación del impacto ambiental ACV por grupos de afectación final de las actividades de producción de fundas de acarreo. Resultados ponderados (en puntos,  $\mu Pt$ ).*



Se observa que, en todos los escenarios de producción de fundas plásticas, el que mayor peso tiene es la afectación a la disponibilidad de los recursos con un aporte en promedio del 70% siendo las categorías con mayor impacto ambiental: uso de recursos fósiles, cambio climático y formación de ozono fotoquímico; luego se tiene una aportación del 20% en promedio a la afectación de los ecosistemas siendo las categorías con mayor impacto ambiental: acidificación, eutrofización terrestre y ecotoxicidad de agua dulce. Finalmente, con un promedio del 10% es en la afectación a la salud humana siendo las categorías con mayor impacto ambiental: material particulado y toxicidad humana no cancerígena.

**Tabla 9.**

*Grupos de afectación final de cada categoría de impacto por cada escenario.*

<b>Categoría de Impacto</b>	<b>Grupo de afectación final</b>	<b>ESCENARIO BASE 100% material virgen</b>	<b>ESCENARIO 1 70% material reciclado interno y externo <b>(-40%)*</b></b>	<b>ESCENARIO 2 70% material reciclado externo</b>
Cambio climático Agotamiento del ozono Formación de ozono fotoquímico Uso del suelo Uso del agua Uso de recursos fósiles Uso de recursos minerales y metales	Afectación a la disponibilidad de recursos	249,944	137,284 <b>(-45.1%)*</b>	144,777 <b>(-42.1%)</b>
Toxicidad humana no cancerígena Toxicidad humana cancerígena Material particulado Radiación ionizante	Afectación a la salud humana	24,033	18,159 <b>(-24.4%)*</b>	20,585 <b>(-14.4%)</b>
Acidificación Eutrofización de agua dulce Eutrofización marina Eutrofización terrestre Ecotoxicidad de agua dulce	Afectación al ecosistema	70,215	50,278 <b>(-28.4%)*</b>	52,921 <b>(-24.6%)</b>

Entonces, podemos asociar qué etapas de ciclo de vida de las fundas plásticas de acarreo contribuyen significativamente en algunas de las categorías de impacto ambiental evaluadas:

- Etapa de producción de las materias primas: afecta a la disponibilidad de los recursos como el uso de recursos fósiles y cambio climático principalmente.
- Etapa de manufactura de las fundas plásticas: también afecta a la disponibilidad de los recursos principalmente en la categoría de agotamiento del ozono. En esta etapa también involucra el material particulado producido en todas las actividades de manufactura y que afecta directamente a la salud humana.

- Etapa de transporte: afecta a los ecosistemas en las categorías de acidificación, eutrofización terrestre y marina y ecotoxicidad de cuerpos hídricos.

Tabla 10.

Evaluación del impacto ambiental ACV de las actividades de producción de fundas de acarreo– Resultados ponderados (en micropuntos y porcentaje) por grupo de afectación.

	Categoría de Impacto	ESCENARIO		ESCENARIO 1		ESCENARIO 2	%
		BASE	%	70% material	%	70% material	
		100% material		reciclado interno y		reciclado	
		virgen		externo		externo	
	Total		344,191		205,720		218,283
AFECTACIÓN A LA DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS	Cambio climático	97,020	38,8%	57,918	42,2%	62,436	43,1%
	Agotamiento del ozono	0,434	0,2%	0,360	0,3%	0,373	0,3%
	Formación de ozono fotoquímico	27,949	11,2%	20,152	14,7%	20,671	14,3%
	Uso del suelo	0,449	0,2%	0,410	0,3%	0,424	0,3%
	Uso del agua	9,663	3,9%	5,724	4,2%	5,857	4,0%
	<b>Uso de recursos fósiles**</b>	<b>113,250</b>	<b>45,3%**</b>	<b>51,793</b>	<b>37,7%**</b>	<b>53,995</b>	<b>37,3%**</b>
	Uso de recursos minerales y metales	1,179	0,5%	0,928	0,7%	1,021	0,7%
	Subtotal		249,944		137,284		144,777
AFECTACIÓN A LA SALUD HUMANA	Toxicidad humana no cancerígena	3,223	13,4%	2,669	14,7%	2,810	13,6%
	Toxicidad humana cancerígena	1,059	4,4%	1,094	6,0%	1,252	6,1%
	<b>Material particulado**</b>	<b>18,561</b>	<b>77,2%**</b>	<b>13,426</b>	<b>73,9%**</b>	<b>15,510</b>	<b>75,3%**</b>
	Radiación ionizante	1,188	4,9%	0,970	5,3%	1,014	4,9%
	Subtotal		24,033		18,159		20,585
AFECTACIÓN A LOS ECOSISTEMAS	<b>Acidificación**</b>	<b>27,182</b>	<b>38,7%**</b>	<b>18,922**</b>	<b>37,6%**</b>	<b>19,662</b>	<b>37,2%**</b>
	Eutrofización de agua dulce	0,929	0,4%	0,624	1,2%	0,708	1,3%
	Eutrofización marina	10,859	4,3%	8,471	16,8%	8,722	16,5%
	Eutrofización terrestre	16,486	6,6%	12,741	25,3%	13,074	24,7%
	Ecotoxicidad de agua dulce	14,759	5,9%	9,521	18,9%	10,754	20,3%
	Subtotal		70,215		50,278		52,921

Comparando el escenario base con los otros escenarios estudiados, vemos que el escenario 1 continúa siendo el “mejor escenario” con una reducción del 40% en afectación final a penas tres puntos menos que el escenario 2. Si desglosamos por tipo de afectación, y según la información de las tablas 9 y 10:

- Afectación a la disponibilidad de recursos: con el escenario 1 se reduce un 45.1% en general reduciendo principalmente en la categoría de uso de recursos fósiles de un 45% utilizado según el escenario base hasta un 37% tanto con escenario 1 o 2. No obstante, en el resto de las categorías del grupo no es del todo beneficioso ya que se observa un aumento al menos del 3% en las categorías cambio climático y formación del ozono fotoquímico. Lo que demuestra que los escenarios 1 y 2 solo logran reducir el uso de recursos fósiles al integrar material reciclado se evita la disminución de más recursos, pero representan un daño al resto de recursos como suelo, agua y ozono ya que igual se requiere de procesos adicionales para lograr reprocesar aquel reciclado del exterior.
- Afectación a la salud humana: con el escenario 1 se reduce un 24.4% en general reduciendo principalmente en la categoría de material particulado de 77% según el escenario base hasta un 74% tanto con el escenario 1 o 2. No obstante, en el resto de las categorías del grupo no es beneficioso ya que se observa un aumento al menos del 1% en las categorías de toxicidad humana y radiación ionizante. Lo que demuestra que los escenarios 1 y 2 solo logran reducir la cantidad de material particulado de apenas un 3% al ya no incluir material virgen y reducir la energía requerida para procesar un material reciclado vs un material fósil recién extraído.
- Afectación a los ecosistemas: con el escenario 1 se reduce un 28.4% en general reduciendo principalmente en la categoría de acidificación de 38% hasta un 37% tanto con el escenario 1 o 2. A penas es un 1% de disminución si ejecutáramos el escenario

base de producción, y en esta categoría no se tiene los mejores resultados en cada categoría ya que aumenta en al menos 4 veces las categorías de eutrofización y ecotoxicidad. Como ya habíamos mencionado anteriormente, el principal aporte a estas categorías es el transporte que se atribuye a la recolección de todo el material reciclado externo, cual es a nivel nacional y muy probablemente aumentaría si se tuviera que importar material reciclado.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para este tipo de industria, en la que fomentar una cultura de “reciclaje” es hacer cambios de formulación con material reciclado, representa un efecto ambiental beneficioso correspondiente a la disminución de las cargas ambientales en cada categoría.

Las 4 principales categorías de impacto ambiental en donde se vio una disminución significativa del impacto fue en: reducción de uso de recursos fósiles con un 54% menos, uso del agua con un 41% menos, cambio climático con un 40% menos y ecotoxicidad a, agua con un 35% menos de impacto relativo comparado con el escenario base. Está claro la aportación de carga ambiental en todas las categorías, nace de las etapas de extracción y producción de las resinas para elaboración de la materia prima que es el PEAD y PEBD. Así mismo, este estudio se complementa con un estudio previo de AVC “Estudio comparativo de bolsas de plástico degradables versus convencionales” (Dirección de Investigación en Residuos, 2009) en la que se cuantificó y analizó los impactos ambientales producidos por las etapas de producción, transporte, uso y disposición final de las fundas con material más común que es el PEAD y el PEBD, además también se incluyó en el análisis las fundas con aditivos oxobiodegradables y fundas recicladas de PP. Como resultados, se obtuvo que el ACV de las fundas de PEBD es que la que mayor carga ambiental aporta en cada categoría, incluso comparando su ACV si se analizara una funda reutilizada de PEBD o incluso de otro material.

Por el contrario, la categoría en la que no se observó disminución de impactos fue en toxicidad cancerígena en la que el escenario base (producción de fundas convencionales) tiene el menor impacto de los 3 escenarios. El proceso de recuperación de material reciclada conlleva una carga que afecta a la salud humana si no se realiza los debidos procesos adecuados tanto en su procesamiento como disposición final.

En lo que concierne a la afectación, está claro que el escenario 1 disminuye a casi un 50% de resultados ponderados de afectación ambiental. Sin embargo, para el grupo de afectación de ecosistemas no es del todo beneficioso ya que por el contrario los danos causados por los procesos de producción del escenario 1 y 2 aumentan a 4 veces en eutrofización y ecotoxicidad de agua y suelo. Esto se debe a que al usar material reciclado se exige que se integren procesos adicionales de tratamiento físicos y químicos, más que todo porque no se conoce el grado de contaminación que estas puedan tener al venir de diferentes fuentes. A esto también se le añade el proceso de obtención y recolección del material.

Desde un punto de vista de normativa, que fue el principal motivo que incentivó innovar a la industria plástica, el prohibir un tipo de funda de plástico (las convencionales o “100% virgen”) para favorecer las fundas tipo *posconsumo*, se está logrando incrementar el consumo de fundas con material reciclado, más por el aspecto económico que por la conciencia ambiental. Desde una perspectiva ambiental, con base a los resultados obtenidos del presente trabajo, si se logra disminuir los impactos ambientales mas no eliminarlos. El problema del plástico es que continua sin lograr descomponerse y al menos están presentes en alguna de las cadenas de los ciclos de vida de cualquier especie.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, I. (2020). *La ley que regula el uso de plásticos en el Ecuador ya está en el Registro Oficial. Diario El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/ley-plasticos-ecuador-registro-oficial.html>
- Alvarado, V. (2016). *Investigación, experimentación y reciclaje con fundas plásticas, elaboración de bases textiles para la creación de accesorios*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6039/1/12358.pdf>
- Alvear, P., & Palomeque, R. (2017). *Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27624/1/InventariodeCiclodeVidadellaDrilloCuenca.pdf>
- Anáhuac. (2022). *¿Cómo se hacen las bolsas de plástico y cómo reutilizarlas? ¿CÓMO SE HACEN LAS BOLSAS DE PLÁSTICO Y CÓMO REUTILIZARLAS?* <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Como-se-hacen-las-bolsas-de-plastico>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2018). *Análisis de ciclo de vida*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/consumo-sostenible/analisis-de-ciclo-de-vida.aspx>
- Asalde, C. (2018). *Regulación de bolsas plásticas de un solo uso en el Perú*. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13684/ASALDE\\_ALVA REZ\\_REGULACION\\_DE\\_BOLSAS\\_PLASTICAS\\_DE\\_UN\\_SOLO\\_USO\\_EN\\_EL\\_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13684/ASALDE_ALVA REZ_REGULACION_DE_BOLSAS_PLASTICAS_DE_UN_SOLO_USO_EN_EL_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Avilés. (2019). *¿Cómo se hacen las bolsas de plástico? | Comercial Avilés*. <https://www.comercialaviles.com/blog/como-se-hacen-las-bolsas-de-plastico/>
- BBVA. (2019). *¿Cómo se recicla el plástico y cuál es su objetivo?* <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-se-recicla-el-plastico-y-cual-es-su-objetivo/>
- Benavides, C. (2013). *ESTRATEGIA DE SENSIBILIZACIÓN PARA DESESTIMULAR EL USO DE BOLSAS PLÁSTICAS EN LOS SUPERMERCADOS DE BOGOTÁ*. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10625/ESTRATEGIA.SENSIBILIZACION.DESESTIMULAR.BOLSAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Bustos. (2015). *Ecuador busca reducir el uso del plástico en todo su territorio*.  
<https://www.elperiodico.com/es/internacional/20190522/ecuador-reducir-uso-plastico-todo-territorio-7467386>
- Cádiz. (2014). *Las bolsas de plástico contaminan y no son necesarias • Ecologistas en Acción*.  
<https://www.ecologistasenaccion.org/28277/las-bolsas-de-plastico-contaminan-y-no-son-necesarias/>
- Carrión, M. (2020). *Propuesta de diseño de una guía metodológica para la aplicación de las normas de Gestión Ambiental: ISO 14040 (2006) – Evaluación del ciclo de vida, principios y marco de referencia e ISO 14044 (2006) – Análisis del ciclo de vida, requisitos y directrices*. [https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/7887/1/T-3420 MGCI-Carrión-Propuesta.pdf](https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/7887/1/T-3420%20MGCI-Carri%C3%B3n-Propuesta.pdf)
- Choque, N. (2016). *PROHIBICIÓN DEL USO DE BOLSA DE PLÁSTICO NAILON ANTE LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE*.  
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/18718/T-5048.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Clapp, J., & Swanston, L. (2009). Doing away with plastic shopping bags: international patterns of norm emergence and policy implementation. *https://doi.org/10.1080/09644010902823717*, 18(3), 315–332.  
<https://doi.org/10.1080/09644010902823717>
- Dirección de Investigación en Residuos (2009). Estudio comparativo de bolsas de plástico degradables versus convencionales mediante la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida.  
[http://biblioteca.anipac.mx/wp-content/uploads/2017/10/estudio\\_comp\\_bolsas.pdf](http://biblioteca.anipac.mx/wp-content/uploads/2017/10/estudio_comp_bolsas.pdf)
- Envaselia. (2018). *Qué es el polietileno de alta densidad HDPE ó PEAD*.  
<https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>
- European Commission, & Joint Research Centre Institute for Environmental and Sustainability. (2012). Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact method. Database and Supporting Information. Luxembourg. Retrieved from <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/LCIA-characterization-factors-of-the-ILCD.pdf>

- García Villacis, Karina Isabel. Quito. (2021). Análisis de Ciclo de Vida de la Remediación de Pasivos Ambientales del Tipo Derrame ejecutadas por el Proyecto Amazonía Viva de PETROAMAZONAS EP
- Higuera, C., Rodríguez, N., & Zuluaga, K. (2021). *BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUACATE*.  
<https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10904/HigueraCamilo2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Imagia Global. (2018). *Polietileno de Baja Densidad LDPE - Imagia Global*.  
<https://imagiaglobal.com/projects/polietileno-de-baja-densidad-ldpe/>
- ISO 14040. (2006). *ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Liu, Y., Lu, S., Yan, X., Gao, S., Cui, X., & Cui, Z. (2020). Life cycle assessment of petroleum refining process: A case study in China. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120422. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120422>
- López, N. (2009). *PROPUESTA DE PROGRAMA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS*.  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/6132/tesis64.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, A., & Vicuña, Z. (2017). *Estimación del consumo y tiempo de uso de fundas plásticas para el transporte de mercancías en los principales comercios de la ciudad de Cuenca, e impactos de la aplicación de medidas restrictivas*.  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7007/1/12955.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *MAE promueve la Primera Política de Consumo Responsable de Fundas Plásticas tipo camiseta – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*.  
<https://www.ambiente.gob.ec/mae-promueve-la-primera-politica-de-consumo-responsable-de-fundas-plasticas-tipo-camiseta/>
- Moreno, D. (2018). *Biotransformación de polietileno de baja densidad (LDPE) y LDPE oxo-biodegradable empleando Pleurotus ostreatus y residuos lignocelulósicos de pino (Pinus caribaea)*.  
[https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/40333/Tesis maestría- Diana Alejandra Moreno.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/40333/Tesis%20maestr%C3%ADa-Diana%20Alejandra%20Moreno.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

- Naciones Unidas. (2015). *El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe*. <https://biblioteca.olade.org/opac-trmpl/Documentos/cg00186.pdf>
- Naciones Unidas. (2016). *Prohibición de plásticos de un solo uso*. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25523/singleUsePlastic\\_sustainability\\_factsheet\\_SP.pdf?sequence=3&isAllowed=](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25523/singleUsePlastic_sustainability_factsheet_SP.pdf?sequence=3&isAllowed=)
- ONU. (2018, agosto 1). *Un problema doble: el plástico también emite potentes gases de efecto invernadero*. Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0200574>
- Palacios, J., & Sarzosa, K. (2019). *Reciclaje de bolsas de plástico aplicado en complementos exteriores*. <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2723/1/76893.pdf>
- Rieznik, N., & Hernández, A. (2005). *Análisis del ciclo de vida*. <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html#31>.
- Sacón, K. P. (2020). *Análisis del Impuesto a los Consumos Especiales (ICE) a las fundas plásticas como una imposición regulatoria*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31737/1/T4865i.pdf>
- Sailema, D. (2019). *Packaging forma - función y la contaminación por empaques a partir de polímeros en la ciudad de Ambato*. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30255/1/Sailema Daniel.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30255/1/Sailema%20Daniel.pdf)
- Senga, D., Botas, B., Blockley, D. J., Rocha, C., & Thompson, R. (2015). Impacts of discarded plastic bags on marine assemblages and ecosystem functioning. *Environmental Science and Technology*, 49(9), 5380–5389. [https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B00277/SUPPL\\_FILE/ES5B00277\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B00277/SUPPL_FILE/ES5B00277_SI_001.PDF)
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2014). *NTE INEN-ISO 14040 GESTIÓN AMBIENTAL-ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA-PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA (ISO 14040:2006, IDT)*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/14040-ISO-EXT.pdf>
- Silvestre, J. (2020). *Evaluación ambiental de alternativas para sustituir las bolsas plásticas por biodegradables en las grandes superficies de Bogotá*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/23375/2020jeymysilvestre.pdf?sequence=4>
- Téllez, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de la política pública en Bogotá*.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10015/905077.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=n>

Vásquez, A., Beltrán, M., Espinosa, R., & Velasco, M. (2021). *El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente*. <https://anipac.org.mx/wp-content/uploads/2021/01/origendelosplasticos.pdf>

## APÉNDICES