

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

UNIVERSIDAD DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

MÁSTER INGENIERÍA AMBIENTAL



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

“Análisis de Ciclo de Vida de diferentes productos para conservación de comida”

**TRABAJO FINAL DE
MÁSTER**

Autor/a:

Wenjing Xu

Tutor/a:

Ángel Robles

Cotutor/a:

Josep Ribes

VALENCIA, 2018

RESUMEN

El ritmo acelerado de la sociedad actual ha generado cambios en nuestros hábitos alimenticios, aumentando el consumo de las comidas fuera del hogar. Muchas personas llevan sus comidas o simplemente un bocadillo al lugar de trabajo o al colegio con un trozo de papel aluminio o film transparente; o con un recipiente de plástico o una bolsa alimenticia. Por una parte, esto es debido a la comodidad y a la falta de tiempo durante los tiempos de descanso en los colegios o centros laborales. Por otra parte, por el ahorro económico, dado que comer, por ejemplo, en un restaurante todos los días supone un gasto importante.

Sin embargo, aunque sean pequeñas cantidades de productos que consumimos nuestro día a día, desconocemos las consecuencias que conllevan al medio ambiente tanto para producirlos como para gestionarlos después de su uso. Por lo que disminuir sus impactos supone un reto para las industrias y también para los consumidores.

Este trabajo analiza el ciclo de vida de los envoltorios de comida (papel de aluminio, papel film, fiambarrera de plástico y bolsa alimenticio) que abarca desde la cuna hasta la tumba. Se utiliza la metodología definida en la norma ISO 14040, que contempla la definición del objetivo y alcance; el análisis del inventario de datos; la evaluación de los impactos ambientales; y la interpretación de los resultados. Para la comparación y evaluación de los datos se usará la base de datos Ecoinvent y el programa informático SimaPro. Finalmente se interpretará los impactos más significativos y la propuesta de medida para la reducción del producto más “perjudicial” para el medio ambiente.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, calentamiento global, impacto, toxicidad humana carcinogénica, toxicidad terrestre, consumo energético

RESUM

El ritme accelerat de la societat actual ha generat canvis en els nostres hàbits alimentaris, augmentant el consum dels menjars fora del llar. Moltes persones porten els seus menjars o simplement un entrepà al lloc de treball o al col·legi amb un tros de paper d'alumini o film transparent; o amb un recipient de plàstic o una bossa alimentària. D'una banda, açò és degut a la comoditat i a la falta de temps durant els temps de descans en els col·legis o centres laborals. D'altra banda, per l'estalvi econòmic, atés que menjar, per exemple, en un restaurant tots els dies suposa un gasto important.

No obstant això, encara que siguen xicotetes quantitats de productes que consumim el nostre dia a dia, desconexem les conseqüències que comporten al medi ambient tant per a produir-los com per a gestionar-los després del seu ús. Pel que disminuir els seus impactes suposa un repte per a les indústries i també per als consumidors

Este treball analitza el cicle de vida dels embolcalls de menjar (paper d'alumini, paper film, portaviandes de plàstic i bossa alimentari) que comprén des del bressol fins a la tomba. S'utilitza la metodologia definida en la norma ISO 14040, que contempla la definició de l'objectiu i abast; l'anàlisi de l'inventari de dades; l'avaluació dels impactes ambientals; i la interpretació dels resultats. Per a la comparació i avaluació de les dades s'usarà la base de dades Ecoinvent i el programa informàtic SimaPro. Finalment s'interpretarà els impactes més significatius i la proposta de mesura per a la reducció del producte més perjudicial per al medi ambient.

Paraules clau: anàlisi de cicle de vida, calfament global, impacte, toxicitat humana carcinogènica, toxicitat terrestre, consum energètic

ABSTRACT

The pace of current society has produced changes in their eating habits, the consumption of meals outside the home. Many people bring their meals or simply a snack to the workplace or school with a piece of aluminum foil or transparent film; or with a plastic container or a food bag. On the one hand, this is due to the comfort and lack of time during rest periods in schools or in the central work days. On the other hand, for the economic savings, since eating, for example, in a restaurant every day is an important expense.

However, even if they are small quantities of products that we consume, we show our day to day, we do not know the consequences that entail to the environment both to produce them and to manage them after their use. So, reducing their impacts is a challenge for industries and also for consumers.

This document analyzes the study of the life cycle analysis of food wrappers (aluminum foil, plastic wrap, plastic lunch box and food bag) from the cradle to the grave. The methodology defined in the ISO 14040 standard is used, which contemplates the definition of the objective and scope; the analysis of the data inventory; the evaluation of environmental impacts; and the interpretation of the results. For the comparison and evaluation of the data, the Ecoinvent database and the SimaPro software will be used. Finally, the most significant impacts and the proposed measure for the reduction of the most "harmful" product for the environment will be interpreted.

Key words: life cycle analysis, global warming, impact, carcinogenic human toxicity, terrestrial toxicity, energy consumption

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Productos destinados a la conservación de comida	13
1.1.1	El papel de aluminio	13
1.1.2	El papel de film.....	21
1.1.3	El recipiente de plástico	26
1.1.4	La bolsa alimenticia.....	31
1.2	El Análisis del Ciclo de Vida.....	40
1.3	Software SIMAPRO	44
2	OBJETIVO	45
3	IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	46
3.1	Aplicación del análisis de ciclo de vida a productos de conservación de comida.....	46
3.1.1	Definición del objetivo y del alcance.....	46
3.1.2	Análisis de inventario de datos.....	49
3.2	Modelación de datos del inventario en el SimaPro	63
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1	Impacto ambiental de los productos evaluados según la metodología ReCiPe 2016 Midpoint.....	66
4.1.1	Papel de aluminio.....	66
4.1.2	Papel de film	68
4.1.3	Recipiente de plástico	71
4.1.4	Bolsa alimenticia	73
4.2	Comparación de los productos evaluados	76
4.2.1	Calentamiento global	76
4.2.2	Ecotoxicidad terrestre.....	79
4.2.3	Toxicidad humana no carcinogénica.....	81
4.2.4	Escasez de recursos fósiles	83
4.2.5	Consumo hídrico	85
4.3	Impacto ambiental de los productos evaluados según Endpoint	87
4.3.1	Recursos	88

ACV de diferentes productos para conservación de comida

4.3.2	Ecosistemas.....	89
4.3.3	Salud humana.....	90
5	MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN DE IMPACTO.....	91
6	CONCLUSIONES.....	92
7	BIBLIOGRAFÍA.....	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Elementos principales encontrados en la corteza terrestre	14
Ilustración 2. Proceso de Bayer	15
Ilustración 3. Enrollado del aluminio	17
Ilustración 4. Diagrama de flujos del papel de aluminio	18
Ilustración 5. Ciclo de vida del aluminio	21
Ilustración 6. Proceso de fabricación de film transparente	24
Ilustración 7. Esquema del proceso de extrusión de lámina plana	24
Ilustración 8. Diagrama de flujos del papel film transparente	25
Ilustración 9. Esquema del proceso de moldeo por inyección	29
Ilustración 10. Diagrama de flujos del recipiente de plástico	30
Ilustración 11. Consumos energéticos del sector plástico	31
Ilustración 12. Digestor continuo	34
Ilustración 13. Diagrama de flujos de la bolsa alimenticia	35
Ilustración 14. Emisiones al agua de una fábrica de pasta Kraft	36
Ilustración 15. Emisiones a la atmósfera en fábricas de pasta Kraft	38
Ilustración 16. Etapas de ACV	41
Ilustración 17. Etapas del ciclo de vida	43
Ilustración 18. Diagrama de flujos de papel de aluminio modelizado	47
Ilustración 19. Diagrama de flujos de papel film modelizado	48
Ilustración 20. Diagrama de flujos del recipiente de plástico modelizado	48
Ilustración 21. Diagrama de flujos de la bolsa alimenticia modelizado	49
Ilustración 22. Bocadillo	50
Ilustración 23. Papel de aluminio de 60 m	52
Ilustración 24. Esquema de fabricación del aluminio	52
Ilustración 25. Trayectoria para transportar el papel de aluminio y el film transparente	55
Ilustración 26. Film transparente	56
Ilustración 27. Táper de plástico	58
Ilustración 28. Máquina de moldeo por inyección	59
Ilustración 29. Trayectoria para transportar el táper	60
Ilustración 30. Bolsa alimenticia de papel Kraft	61
Ilustración 31. Máquina de fabricación de bolsa alimenticia de papel Kraft	62
Ilustración 32. Trayectoria para transportar la bolsa alimenticia	63
Ilustración 33. Resultados del ACV del papel de aluminio	67
Ilustración 34. Resultados de ACV del papel de aluminio	68
Ilustración 35. Resultados de ACV del papel de film	70
Ilustración 36. Resultados de ACV del papel de film	71
Ilustración 37. Resultados de ACV del recipiente de plástico	72
Ilustración 38. Resultados de ACV del recipiente de plástico	73

Ilustración 39. Resultados de ACV de la bolsa alimenticia	74
Ilustración 40. Resultados de ACV de la bolsa alimenticia	75
Ilustración 41. Comparación de los resultados de los productos según el calentamiento global.....	77
Ilustración 42. Comparación de los productos según el impacto del calentamiento global.....	78
Ilustración 43. Comparación de los productos según el impacto de la ecotoxicidad terrestre	80
Ilustración 44. Comparación de los productos según el impacto de la ecotoxicidad terrestre	81
Ilustración 45. Comparación de los productos según el impacto de la toxicidad humana no carcinogénica.....	82
Ilustración 46. Comparación de los productos según el impacto de la toxicidad humana carcinogénica.....	83
Ilustración 47. Comparación de los productos según el impacto de la escasez de recursos fósiles.....	84
Ilustración 48. Comparación de los productos según el impacto de la escasez de recursos fósiles.....	85
Ilustración 49. Comparación de los productos según el impacto de la escasez de recursos fósiles.....	86
Ilustración 50. Comparación de los productos según el impacto de la escasez de recursos fósiles.....	87
Ilustración 51. Resultados de ACV sobre los impactos a los recursos	88
Ilustración 52. Resultados de ACV sobre los impactos a los ecosistemas	90
Ilustración 53. Resultados de ACV sobre los impactos a la salud humana ...	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Carga de contaminación del efluente de descortezado antes del tratamiento biológico (Finnish BAT Report, 1997); La DBO_7 se ha convertido a DBO_5 mediante la fórmula $DBO_7/1,16=DBO_5$ propuesta en el mismo informe	36
Tabla 2. Generación media de residuos en fábricas de pasta Kraft en kg de materia seca/t de pasta [Finnish BAT Report, 1996]	39
Tabla 3. Características del bocadillo.....	50
Tabla 4. Cantidades de producto para envolver un bocadillo	50
Tabla 5. Pesos de cada producto necesarios para envolver un bocadillo	51
Tabla 6. Características del papel de aluminio.....	51
Tabla 7. Cantidades de efluentes de la refundición.....	53
Tabla 8. Otros materiales.....	53
Tabla 9. Emisiones del aluminio.....	54
Tabla 10. Características del film transparente	56
Tabla 11. Ejemplo de ficha técnica de máquina de fabricación de film transparente	57
Tabla 12. Características del táper.....	58
Tabla 13. Ejemplo de ficha técnica de la máquina de moldeo por inyección .	59
Tabla 14. Características de la bolsa alimenticia.....	61
Tabla 15. Ejemplo de ficha técnica de la máquina de fabricación de bolsa alimenticia de papel Kraft	62
Tabla 16. Procesos de modelación del ACV del papel de aluminio	64
Tabla 17. Procesos de modelación del ACV del papel film.....	65
Tabla 18. Procesos de modelación del ACV del recipiente de plástico.....	65
Tabla 19. Procesos de modelación del ACV de la bolsa alimenticia.....	66

1 INTRODUCCIÓN

Los pequeños cambios en el estilo de vida de las personas pueden interferir directamente sobre nuestro entorno, el medio ambiente. Con el paso del tiempo, el ser humano ha tendido a comprar cada vez más productos para satisfacer sus necesidades de consumo. Sin embargo, esto es la causa de otro problema, la generación de residuos. Dado que se produce aproximadamente 1,3 kg de residuos por habitante cada día a nivel europeo, y en España 1,19 kg (Eurostat, 2015), el ritmo de generación es mucho más alto que el de eliminación.

Procedencia

El alimento es una fuente esencial para el ser humano, por lo que su calidad influye de forma directa sobre la salud humana. Dado que no siempre nos comemos el sustento justo después de la cocción o que, muchas veces quedan restos de comida que lo queremos guardar para otra ocasión, se empezó a buscar algún producto que pudiera proteger el alimento frente a la contaminación por microorganismos y, a su vez, mantener el sabor. Partiendo de esta idea, apareció por ejemplo la nevera, el cual permite conservar el sustento en el hogar durante un periodo de tiempo. Sin embargo, debido a que nos desplazamos para ir al colegio o al trabajo, nos vemos obligados a comer fuera de la zona de cocción. Por esta causa, aparecieron los envoltorios, que permiten conservar y transportar el alimento desde el lugar donde se elaboró hasta el emplazamiento de consumo. Generalmente, los residuos de los envoltorios se generan en los almuerzos y/o meriendas ya que son utilizados para conservar los bocadillos u otros alimentos ligeros como frutas, galletas, etc. Por ello, cada vez que se pretenda conservar la comida, se genera al menos un envoltorio por persona, y simultáneamente, un residuo más que gestionar.

Uso de productos de conservación de alimentos

La demanda de los productos para el envasado alimenticio está aumentando progresivamente en el mercado. El uso excesivo de estos envases es debido a que son productos de “usar y tirar” y, además, son de fácil uso y bajo coste. Otro motivo por su extendido uso es que permiten mantener el alimento aislado, protegiéndolo de la humedad, polvo, contaminación, etc. durante un corto periodo de tiempo. Antiguamente se utilizaban envases

naturales, como las cestas, pero ahora se han reemplazado por materiales más efectivos que permiten mantener las características y propiedades del alimento. Tales materiales son como por ejemplo el polipropileno o el aluminio. Sin embargo, ambos materiales conllevan problemas medioambientales. Dado que uno es de difícil eliminación y el otro, aunque sea reciclable, también produce impactos en los procesos de fabricación y transporte.

Algunos de los productos de empaquetamiento más utilizados para envolver los bocadillos de los almuerzos o meriendas son el papel de aluminio o el papel film. Luego también se utilizan otros recipientes como las fiambreras de plástico o de vidrio. A parte de éstos, las bolsas alimenticias (de plástico o de papel) también son muy usuales a la hora de guardar algunos alimentos.

Etapa final

Una vez se consume el alimento, estos envoltorios son desechados al contenedor ya que, como se ha dicho anteriormente, son productos de un solo uso. En cuanto al papel de aluminio, el film y la bolsa alimenticia pierden su forma original tras su uso, por lo que no son reutilizables por parte del consumidor. Mientras que la fiambarrera aunque se puede limpiar después de utilizarlo, no tiene una vida infinita, ya que se va desgastando con el paso del tiempo. Por estos motivos, la generación de residuos aumenta diariamente.

Problemática actual y medidas correctoras

Actualmente, la eliminación de los residuos se ha convertido en una de las mayores preocupaciones del ser humano. Para disminuir estos daños ambientales es necesario imponer medidas de mejora en el origen y en la eliminación.

Por una parte, para facilitar la eliminación del residuo es necesario separar en el origen y tirar al contenedor correspondiente. Esto es responsabilidad del consumidor, por lo que es importante la divulgación a través de la educación ambiental.

Por otro lado, como una medida de disminución de contaminación en el origen, se fueron creando organismos reguladores que regulan las contaminaciones de las industrias y obligándolos a reducir las emisiones. Tras este primer paso, las empresas se han ido concienciando sobre la idea de la sostenibilidad y la necesidad de realizar análisis ambientales sobre los

procesos de fabricación del producto.

Pese a ello, el surgimiento de la necesidad de consumo de bienes ha sido inducido por la expansión industrial. Con ello, deteriorando la relación entre las actividades antropogénicas (industrias) y el medio ambiente. Estas actividades afectan directamente al entorno natural causando degradación del paisaje, sobreexplotación y agotamiento de recursos, deterioro de las condiciones sanitarias, desaparición de especies y generación de residuos: desechos y contaminantes (Guitérrez, 2013). Durante esa era, se produjeron contaminaciones tanto atmosférico, induciendo la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global; de aguas, causando eutrofizaciones marinas y de agua dulce; y de suelos, produciendo erosiones. Una de las herramientas utilizadas para disminuir esos impactos fueron las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), con el objetivo disminuir los impactos, tales como la reducción de la huella de carbono, la huella hídrica, etc. A partir de tecnologías más “verdes”.

“El mejor residuo es el que no se produce” (Ecoembes, s.f.), esta frase justifica la necesidad de reducir en el origen, así como conseguir reducir el consumo de las materias primas no renovables.

Otro concepto nuevo incorporado en el mundo industrial fue el ecodiseño, el cual pretende rediseñar el producto reduciendo así los impactos. Algunas actuaciones que implica este término es la reducción de las superficies de impresión, sustitución de materiales por otros que generen menos impactos, uso de envases con certificado de gestión sostenible de los recursos naturales, o uso de envases procedentes de fuentes renovables (Ecoembes, s.f.).

Además, como otra estrategia para la gestión de los residuos, está la economía circular. El cual permite reducir los materiales de entrada y la producción de desechos nuevos cerrando en bucles. Es decir, los residuos generados por una industria pueden ser aprovechados y usados como materia prima para otra industria, alcanzando simbiosis industriales. De esta manera la industria generadora de residuos puede vender o ceder sus desechos a aquella empresa que lo necesite, evitando así, el envío a las plantas de gestión de residuos.

En otras palabras, además de la mejora en el diseño del producto, cuya meta es reducir el uso excesivo de la materia prima y reducir los impactos ambientales desde la fuente, la fabricación, la distribución y la entrega, también es necesario imponer otras medidas. Por ejemplo, una mejor comunicación entre todos los socios de la cadena de suministro, así como la adopción de

nuevas tecnologías innovadoras, pueden reducir los costes de embalaje de distribución, reduciendo así los impactos ambientales. Con esto se disminuyen la distancia y los costes de transporte, los desperdicios y los costes de producción, y las actividades no planificadas para reducir la huella ambiental.

Por lo tanto, es importante controlar los problemas medioambientales asociados a estos desechos. Para ello, es necesario evaluar los impactos y esto se puede realizar mediante el análisis de ciclo de vida (ACV). El ACV permite estudiar los materiales utilizados y generados durante cada etapa del producto, así como las emisiones y vertidos. Con ello se pretende prevenir y reducir los impactos generados al ecosistema. Hoy en día muchas industrias están implantando medidas propuestas a partir de dicha metodología.

A partir de la metodología ACV se analizará en este estudio algunos de los productos de conservación que se utilizan nuestro día a día, que son el papel de aluminio, el papel film, el recipiente de plástico y bolsa alimenticia. Con el objetivo de conocer los impactos que generan y compararlos entre sí para saber cuál es menos perjudicial para el medio ambiente.

1.1 Productos destinados a la conservación de comida

A continuación, se procederá a explicar las características generales de diferentes tipos de productos destinados a la conservación de comida, así como su proceso de producción.

1.1.1 El papel de aluminio

En los países europeos se consumen unos 8 millones de toneladas de aluminio al año. En el año 2005, el consumo per cápita de dicho material era de 24 kg. Algunas fuentes como Impol¹ indican que anualmente en Europa se producen 4,1 millones de toneladas, se importan 2,5 millones de toneladas y que se reprocesan 3,7 de los residuos de aluminio. Estos datos demuestran que la tasa de reciclaje es relativamente baja, ya que solamente se reciclan la mitad (3,7 millones de toneladas) de todo el aluminio consumido.

1.1.1.1 Etapas de producción

El aluminio es uno de los elementos más abundantes existentes en la corteza terrestre, representando un 8% (*Ilustración 1*). Mientras que el resto

¹ Impol: Industria de fabricación de aluminio fundado desde el año 1825 en Eslovenia.

son oxígeno, silicio y otros (2,1% magnesio; 2,6% potasio; 2,8% sodio; 3,6% calcio; 5% hierro y 0,14% de titanio, manganeso, níquel, cobre, cinc y plomo).

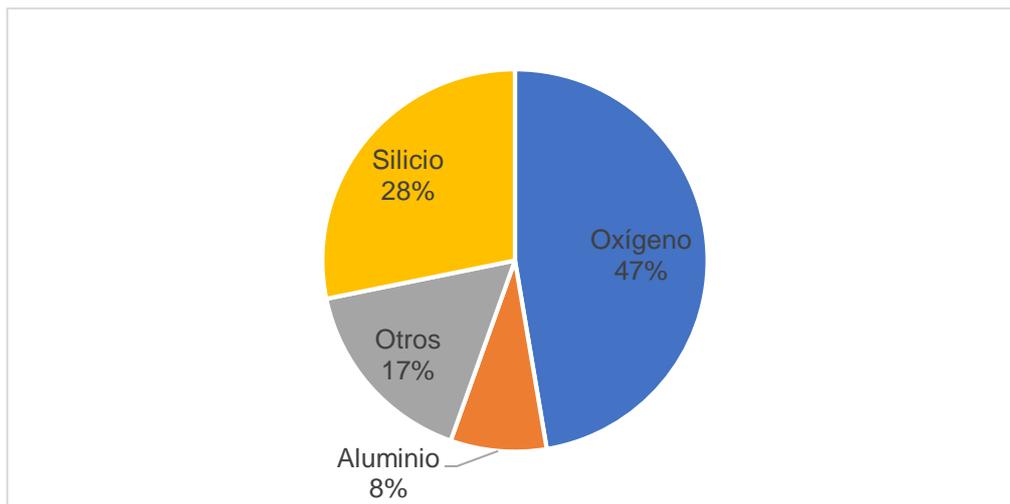


Ilustración 1. Elementos principales encontrados en la corteza terrestre

Fuente: The aluminum Association

No obstante, el aluminio no se encuentra en su estado puro y metálico sino en forma de óxido de aluminio hidratado. El mineral por el que se extrae dicho elemento es la bauxita. Éste es un recurso no renovable pero actualmente aún es lo suficientemente abundante para las demandas del mercado. La bauxita se encuentra cerca de la superficie terrestre por lo que los procesos de extracción son relativamente simples. Una vez extraída la bauxita, se transporta en camiones a las plantas de procesamiento. Básicamente la obtención de aluminio puro consta de cuatro actividades: refinación, fundición, laminado y recorte.

a) Refinería

En primer lugar, el aluminio es sometido a la refinación, conocido como el proceso de Bayer, para eliminar las impurezas como el óxido de hierro, sílice, titanio y agua. Este proceso consta de 4 etapas (*Ilustración 2*):

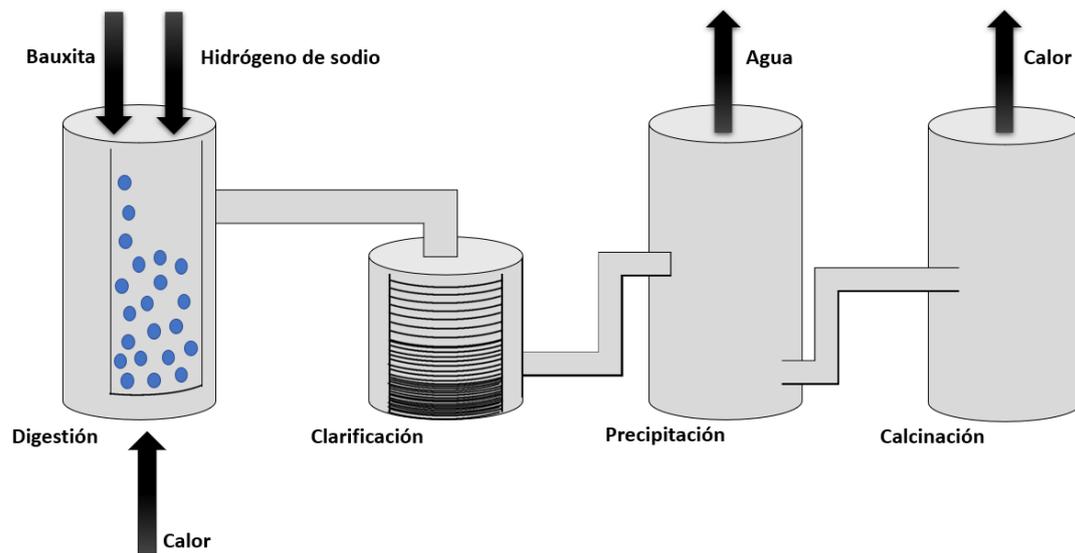


Ilustración 2. Proceso de Bayer

Fuente: www.how_products_are_made.com

- **Digestión**

Se mezcla la bauxita con hidróxido de sodio y se bombea a unos digestores. Gracias a la presencia de hidróxido de sodio, el calor y la presión en el interior de estos tanques, permite que la bauxita se descomponga en una solución saturada de aluminato de sodio y contaminantes insolubles que se depositan en el fondo.

- **Clarificación**

Las soluciones y los contaminantes se envían hasta unos tanques, y mientras tanto los filtros atrapan a los contaminantes, que serán eliminados posteriormente. Y el resto de se transporta a una torre de enfriamiento.

- **Precipitación**

La corriente de óxido de aluminio se precipita poco a poco en cristales de aluminio. A medida que los cristales precipitan atraen a otros cristales formándose de esta manera conglomeraciones de hidratos de aluminio. A posteriori éstos serán filtrados y enjuagados.

- **Calcinación**

Por último, consiste en la exposición del hidrato de carbono a altas temperaturas para deshidratarlo dejando finalmente un residuo de polvo blanco fino, es decir, óxido de aluminio (alúmina).

b) Fundición

Después de obtener la alúmina a partir del proceso Bayer se prosigue a la fundición de ésta en un horno. Este, como su nombre indica, consiste en disolver la alúmina dentro de un molde de acero profundo forrado con carbón y con criolita. Posteriormente, para pasar la alúmina a aluminio, se pasa una corriente eléctrica (electrólisis) A medida que la alúmina se disuelve, se descompone electrolíticamente para producir una capa de aluminio puro y fundido en el fondo del recipiente. Entonces se recoge todo el aluminio acumulado en la parte inferior. El oxígeno se fusiona con el carbono y se escapa en forma de dióxido de carbono.

El líquido fluye por un canal de filtros hasta llegar a unos dispositivos para enfriarse (secado de molde). Con los filtros se obtendría dos corrientes de aluminio, una de aluminio puro y otra impura. La parte impura será almacenada en unos receptáculos para ser tratados posteriormente en las depuradoras. Mientras que la parte pura se le agrega elementos para producir aleaciones de aluminio con las características apropiadas para el producto final. En este caso, las aleaciones añadidas son de serie 8011 que son las apropiadas para el papel de aluminio utilizado para la cocina (Alfipa, s.f.). Este aluminio contiene más del 90% de aluminio, pero suele contener impurezas para disminuir los costes de producción. Una vez enfriados, se convierten en unas grandes losas denominadas lingotes de aluminio.

c) Laminado

La lámina se produce a partir de material de aluminio haciéndolo rodar entre rodillos pesados con el objetivo de obtener el grosor y tamaño deseado (*Ilustración 3*). El laminado produce dos acabados naturales en la lámina, brillante y mate. El acabado brillante se debe a que la lámina entra en contacto con las superficies del rodillo del trabajo. Mientras que el acabado mate se produce por el rozamiento entre las dos hojas durante el enrollado. A medida que la hoja emerge de los rodillos, las cuchillas circulares la cortan en piezas rectangulares.

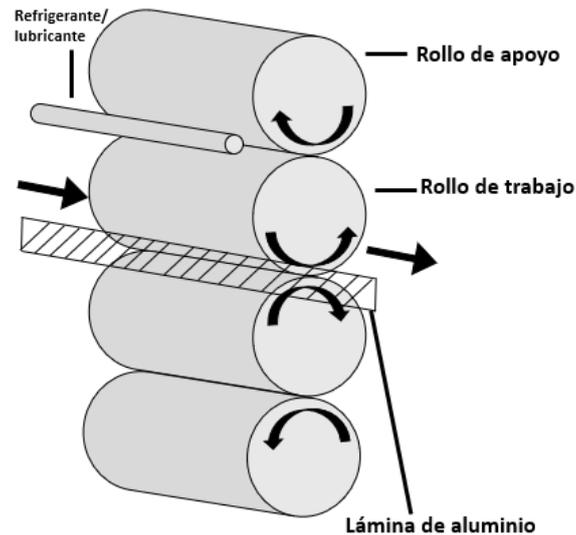


Ilustración 3. Enrollado del aluminio

Fuente: www.how_products_are_made.com

d) Ensamblaje

Una vez se han obtenido los rollos de láminas de aluminio en las medidas aptas se procede al ensamblaje. Para ello, primero se introduce un cilindro vacío de cartón (rollo de cartón) en el interior del rollo de aluminio y después se empaqueta con una caja de cartón ajustado al tamaño del rollo. Con este último paso, se obtiene el producto final listo para la venta.

El papel de albal está expuesta al mercado en rollos individuales junto con un rollo de cartón y en una caja con borde cortante.

1.1.1.2 Ciclo de vida del papel de aluminio

En la siguiente ilustración se muestran las actividades desarrolladas en la industria metálica (*Ilustración 4*). A continuación, se explicará las entradas y salidas de los materiales y de las energías del diagrama de flujos.

Básicamente consiste en la extracción de la bauxita, el cual luego será sometido a refinera con el fin de obtener aluminio. El aluminio es fundido en un horno a altas temperaturas obteniéndose así el aluminio en estado líquido. Se recogerá una pequeña muestra para un análisis de laboratorio, ya que es necesario comprobar el si las características del aluminio son adecuadas. Ese efluente atraviesa por un canal de filtro, donde se separará el puro del impuro.

La parte impura será almacenada en receptáculos para luego ser gestionados en una depuradora. Mientras que la fracción pura, será transportados a unos moldes para secar. Una vez seco, se extraerán, en estos momentos conocidos como lingotes de aluminio, para alisar, y después enrollarlos en láminas. Finalmente se recortan al tamaño deseado y empaquetados en unas cajas de cartón.

Ahora, estos bienes serán distribuidos a los comercios para la venta al consumidor. Éste usa la cantidad necesaria de papel de aluminio para envolver y después lo desechará al contenedor. Pues si se desechara en un contenedor orgánico, posteriormente puede terminar en un vertedero o en incineración. O, en otro caso, si se desechara en un contenedor amarillo, entonces este material será reciclado y su ciclo de vida empezaría de nuevo.

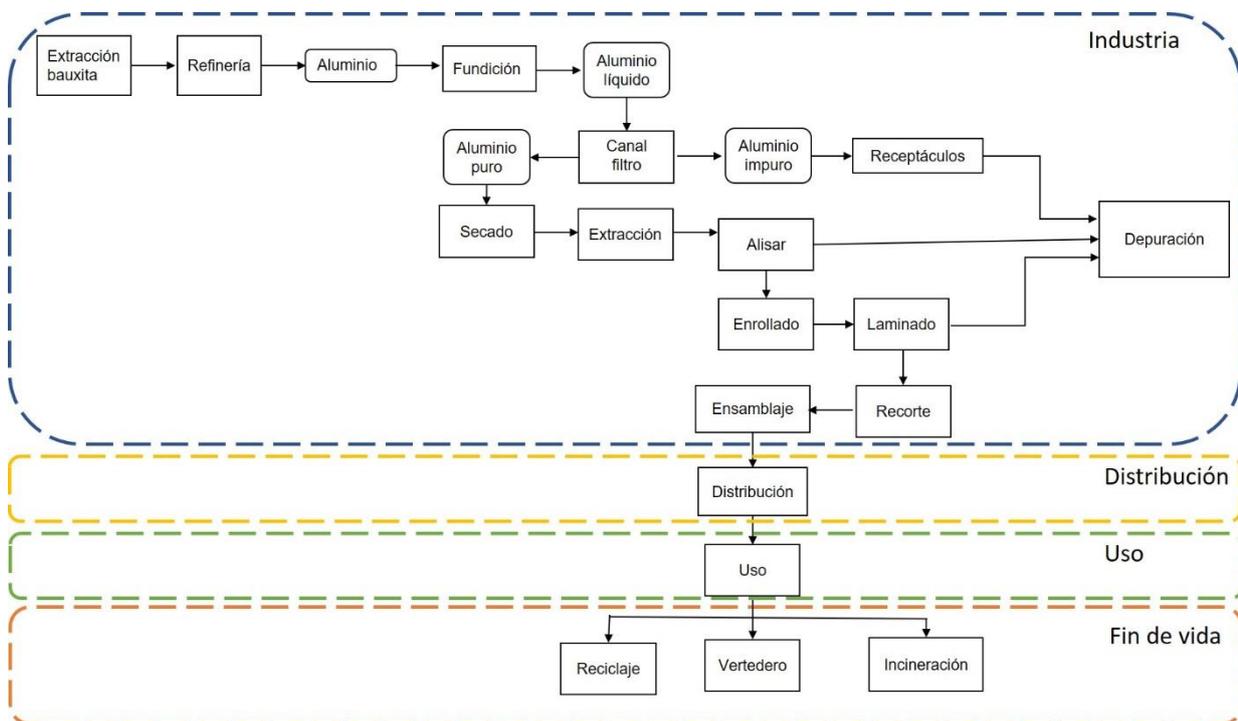


Ilustración 4. Diagrama de flujos del papel de aluminio

1.1.1.3 Emisiones e impactos

La fabricación de papel de aluminio es un proceso que requiere abundante energía. Con los desarrollos tecnológicos introducidos entre los años 1950 y 1986, la cantidad de energía requerida para producir aluminio se redujo en un 30%. En el mundo occidental, el 61% de la energía eléctrica utilizada para la producción de aluminio se obtiene de las centrales hidroeléctricas (Assan Alüminyum, s.f.). Si se reciclara estos materiales se conseguiría un ahorro de

95% de la energía en comparación con su producción a partir del mineral bauxita. En otras palabras, el reciclaje del aluminio necesita solamente el 5% de la energía que se utiliza para fabricar metal primario. Con ello, se reduciría la energía, se evitaría emisiones de CO₂ y además se disminuiría el uso de recursos primarios.

Los principales gases de efecto invernadero emitidos por las fundiciones modernas es el CO₂ y la principal fuente de esto es el consumo de ánodos utilizados en la producción. Además, como consecuencia de este proceso anódico, se producen compuestos de perfluorocarbonos (PFC). El consumo de electricidad por las máquinas de la industria también implica la generación de gases de CO₂. La electricidad para la fundición es casi el 60% de las emisiones totales de dióxido de carbono producidas a lo largo del proceso.

En la fundición también se producen otros gases como los fluoruros y el polvo. Los fluoruros proceden del intercambio de ánodo, pero se emiten en muy bajas cantidades y no son consideradas como peligrosas para la salud humana.

El aluminio es un producto que tarda 400 años en descomponerse, por lo que su presencia en exceso conlleva a problemas ambientales.

El otro impacto ambiental de la producción de aluminio es la generación de lodo rojo y el uso de la tierra en la extracción de bauxita. La toxicidad asociada al aluminio a través de las emisiones de aire, agua y suelo y los desechos de la planta son impactos que causan problemas tanto a los humanos como al entorno natural. La toxicidad del aluminio afecta aproximadamente al 40% de los suelos agrícolas del mundo (Flaten et al., 1996) y puede provocar la extinción de especies de peces debido a las lluvias ácidas. La insuficiencia renal crónica, la anemia, la encefalopatía y la osteomalacia son algunos de los efectos de toxicidad del aluminio en humanos.

1.1.1.4 Gestión de residuo

El reciclado de aluminio se realiza principalmente en dos etapas, durante el proceso de fabricación del aluminio y al final de la vida útil. Por una parte, las chatarras obtenidas a lo largo de cada tratamiento industrial, como se ha explicado anteriormente, vuelven al horno de fundición y será reutilizado y mezclado con los lingotes del inicio del flujo productivo. Para luego producir las láminas y después el producto final. Por otra parte, también es importante reciclar una vez se ha consumido el producto, ya que de esta manera reduce

la necesidad de metales primarios y disminuye el impacto medioambiental con la reducción de la huella del dióxido de carbono.

La recogida y clasificación de la chatarra facilita su uso para la fabricación de un producto u otro. Además, una buena clasificación permite que una aleación sea reciclada en la misma categoría de aleación, evitando así la dilución o el descenso del ciclo (Constellium, s.f.).

La mayor cantidad de los desechos se producen durante el proceso de elaboración en la industria. Por ejemplo, para una tonelada de aluminio se necesita aproximadamente 170 millones de BTU para producir y emitía 12 toneladas de dióxido de carbono equivalente. Es decir, la producción de 1 tonelada de gránulos de polietileno de baja densidad requiere solo un 17 % de energía y genera un 12 % de gases de efecto invernadero

Debido al alto tiempo de descomposición y gasto energético durante la manufacturación es más eficiente reciclar. El papel de aluminio se puede reciclar una y otra vez de manera similar a la lata de aluminio a través de un proceso de calor diferente (earth911.org, s.f.) y perder su calidad. Hoy en día, más del 30% del aluminio consumido globalmente cada año se obtiene a partir del aluminio reciclado (Aludium, s.f.).

La *Ilustración 5* justifica lo anteriormente comentado, en el caso de que se tratase de una economía circular, todo el aluminio reciclado es transportado al horno de refundición de la industria del aluminio para ser mezclado con los lingotes y volver a someter a los procesos de fabricación.

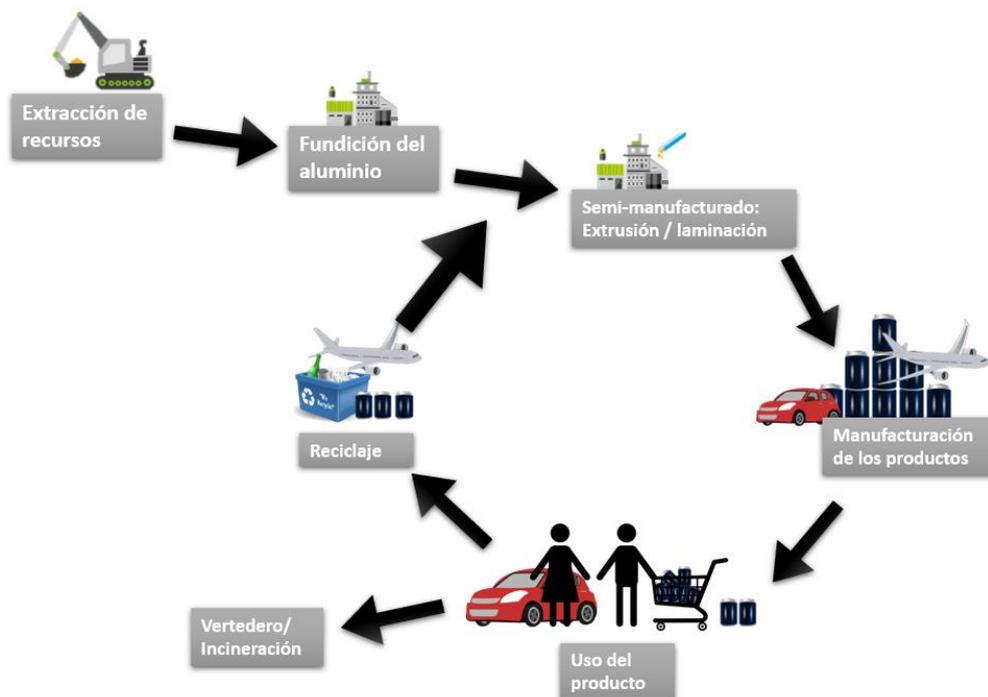


Ilustración 5. Ciclo de vida del aluminio

Fuente: www.earth911.org

Cuando los residuos llegan a una planta de gestión, lo primero es separar el aluminio de los impropios y de los otros tipos de metales. Posteriormente se prensa y se envía a fundición. Después se solidifica según el tipo de uso que se quiere concebir y se podría empezar a utilizar otra vez.

Otra manera de gestión del aluminio en la etapa final de su ciclo de vida es la recuperación. En el caso de que no se reciclara dicho residuo, pues se transporta a los incineradores. Mediante el proceso de incineración de este material se oxida y libera energía, que es recuperable. Y en cuanto al aluminio restante no oxidado se puede extraer de las cenizas del fondo del incinerador y posteriormente se puede utilizar para reciclar.

1.1.2 El papel de film

El consumo de los plásticos está aumentando a nivel mundial con el extendido uso de los envases, por la fabricación de los componentes en las industrias de automoción, vivienda, etc. En el año 1978 se consumieron 10 millones de toneladas, hasta que en el 2000, estas cifras ascendieron a unos 60 millones de toneladas. La mitad de esta cantidad es generada por Estados Unidos, mientras que el resto, se reparte por igual entre Europa y Japón. Entre tanto, el consumo de plásticos en España fue de 2 millones de toneladas

(Arandes, et al. 2004).

En el año 2015 la demanda de los plásticos en Europa ha ascendido a los 49 millones de toneladas. De entre los cuales 8 millones de toneladas de polietileno (Plasticseurope, 2016).

1.1.2.1 Etapas de producción

Los plásticos son polímeros artificiales; es decir, consisten en moléculas gigantescas formadas por la combinación de miles de moléculas pequeñas del mismo tipo en una cadena larga. Estas pequeñas moléculas se conocen como monómeros, y el proceso de combinación se conoce como polimerización.

Existen múltiples tipos de rollos de plásticos, de entre los cuales hay para usos industriales y también hay para envolturas alimenticias. En este estudio se estudia el segundo tipo, los cuales están destinados para sellar y asegurar que los alimentos se mantengan frescos.

Generalmente el papel film de uso doméstico está hecho de polietileno, PVC o PVCD. Éstos son polímeros derivados de hidrocarburos simples como metano o etileno. La muestra de film estudiado se trata concretamente de polietileno. Dicho compuesto, como su nombre indica, está fabricado directamente de etileno.

El papel de film es una película delgada de polímero flexible y transparente que se adhiere a sí misma y a los recipientes de alimentos para formar un sello hermético. La funcionalidad principal de este producto es proteger los alimentos del aire e impedir que los alimentos húmedos pierdan la humedad y que los alimentos secos absorban la humedad. Además, sella los olores para evitar que se propaguen a otros alimentos almacenados cerca.

La fabricación de los polímeros a partir del petróleo se basa en los siguientes procesos (*Ilustración 6*). En primer lugar, se extrae el petróleo crudo y se calienta en un horno a 725°F (400°C). Los vapores formados fluyen hacia una columna de fraccionamiento, el cual está compuesto por una serie de cámaras. Las cámaras de la parte inferior de la torre son más cálidas y las de parte superior son más frías. Las distintas sustancias componentes del petróleo se elevan a través de la cámara hasta condensarse. Debido a que cada sustancia tiene un punto de ebullición diferentes, son separados y recolectados en cámaras diferentes.

El siguiente paso consiste en polimerizar el polímero, en este caso, convertir el etileno en polietileno. Para ello, se calienta el etileno en una cámara de presión a una temperatura de 338°F (170°C) y 200 bares de presión junto con una pequeña cantidad de oxígeno. El oxígeno descompone el etileno en radicales libres, que se combinan entre sí para formar cadenas de polietileno. Para evitar que las cadenas sean demasiadas largas, se añaden pequeñas dosis de propano.

Una vez polimerizado, se obtienen gránulos de plásticos que serán utilizados para elaborar diferentes productos. Para la producción de papel film, se requiere el proceso de extrusión (*Ilustración 7*). Es decir, calentar los gránulos de plásticos a una temperatura de 212°F (100°C) con el propósito de fundirlos. El líquido producido se fuerza a través de un troquel para formar un tubo de plástico caliente y elástico. Se introduce aire por un lado del tubo móvil en intervalos regulares para formar burbujas grandes. Esto permite estirar el plástico al grosor deseado. El plástico obtenido se enfría rápidamente y la burbuja se colapsa entre los rodillos metálicos para formar una película (*Ilustración 7*). Dicha película se enrolla alrededor de un gran rodillo de metal para formar un rollo. Después se desenrolla y se recorta dejándolo con un 800 cm de largo, 29,2 cm de ancho y 250 micras de espesor. Así se vuelve a enrollar en pequeños tubos de cartón. Luego se empaquetan estos rollos en cajas de cartón individuales con bordes cortantes, lo cual facilita al consumidor arrancarlo a la longitud que desee. Finalmente, se envían las cajas con los rollos de film a las empresas de venta.

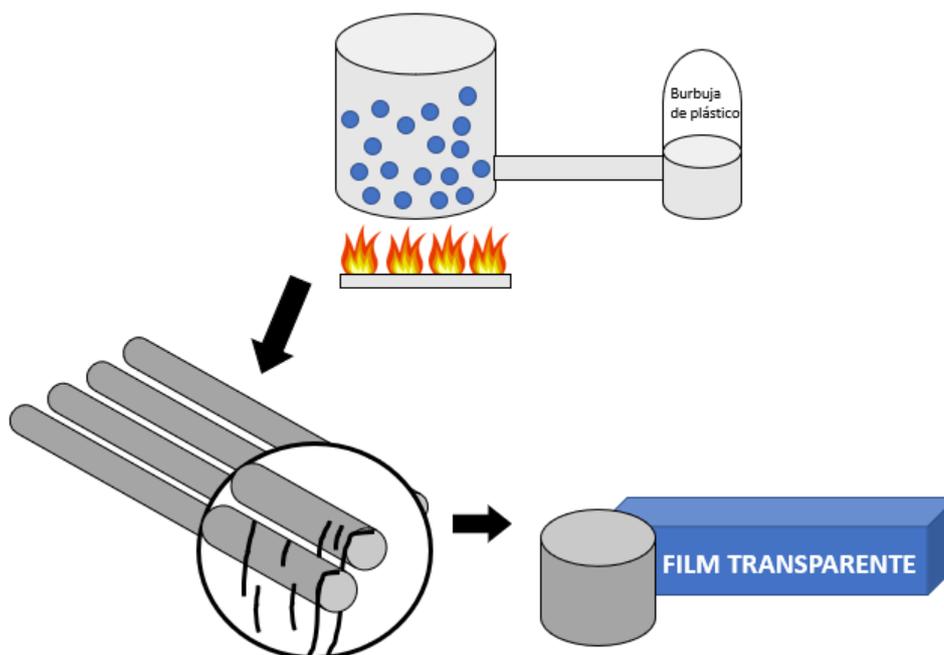


Ilustración 6. Proceso de fabricación de film transparente

Fuente: www.how-products-are-made.com

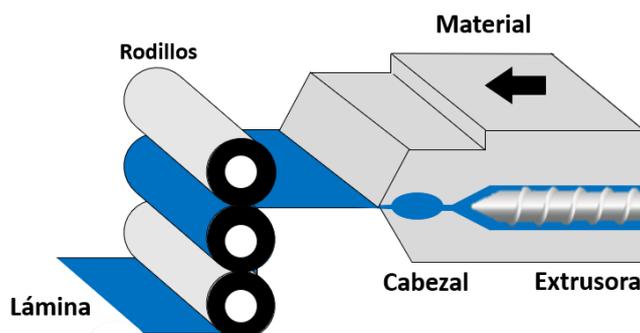


Ilustración 7. Esquema del proceso de extrusión de lámina plana

Fuente: Aimplas²

1.1.2.2 Ciclo de vida del film transparente

Básicamente el ciclo de vida del rollo de film transparente consistiría en las etapas que aparecen en el esquema siguiente (*Ilustración 8*):

En primer lugar, se fabricarían los gránulos de polipropileno a partir del

² Aimplas: Instituto Tecnológico del Plástico

petróleo. Posteriormente, se introducen dichos gránulos en la extrusora, que, mediante el calentamiento, se fundirá los polímeros y extrusionados en láminas. Éste último pasará en unas enrolladoras y serán recortadas en tamaños adecuados. Una vez recortados, serán empaquetados con tubos y cajas de cartón y distribuidos en los comercios. El consumidos utiliza la cantidad necesaria de papel film para envolver y después puede desechar en el contenedor amarillo (reciclaje) o en el orgánico (vertedero o incineración). Generalmente, no son reciclados, dado por su pequeño tamaño y debido a que están manchados de restos de comida.

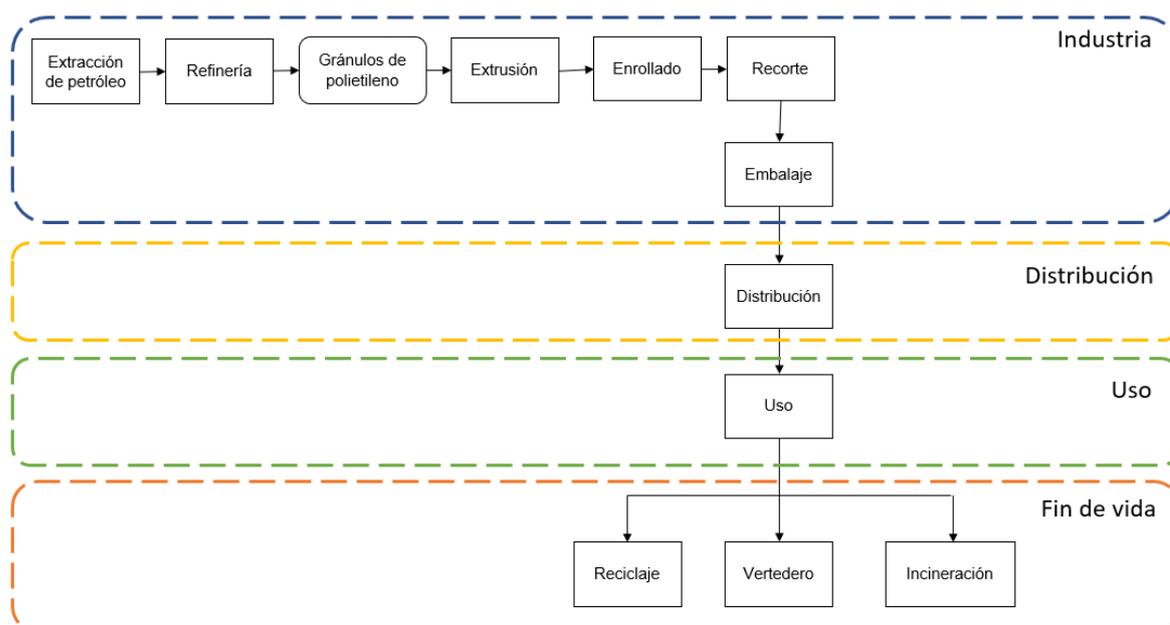


Ilustración 8. Diagrama de flujos del papel film transparente

1.1.2.3 Emisiones e impactos

La mayoría de los gases emitidos son gases de efecto invernadero, o también denominado huella de carbono y expresados en toneladas de CO₂. También se liberan otras sustancias químicas como tricloroetano, acetona, cloruro de metileno, metil etil cetona, estireno, tolueno, benceno o tricloroetano (Agustín, 2016).

Antes, el papel de film se fabricaba con cloruro de polivinilo (PVC). Sin embargo, debido a la posible migración de los compuestos tóxicos hacia los alimentos, se sustituyó por el PVC por el polietileno de baja densidad, cuya resistencia es mayor que el otro. No obstante, el calentamiento de estos materiales cuando están en contacto con el alimento puede causar la

contaminación de mismo. Dado que un aumento de la temperatura altera la composición del material (Plasticsinfo, s.f.).

No obstante, el abuso del uso del film cocina también supone un problema actualmente. Puesto que para fabricar 1 kg de film se necesitan 1,6 kg de petróleo crudo y su proceso de fabricación genera 2,13 kg de dióxido de carbono, además de que se trata de un producto de difícil de reciclar ("Alternativas al film de plástico", 2016)

1.1.2.4 Gestión de residuo

Los polímeros son compuestos muy estables, por lo que permanecen durante largo tiempo en el medio ambiente, y especialmente soterrados en los vertederos, donde no están en contacto con los rayos solares. Las tasas de descomposición se reducen aún más por los antioxidantes que los fabricantes añaden para mejorar su resistencia.

Por este motivo, es importante el reciclaje del plástico, dado que por un lado la incineración de genera gases contaminantes y por otro lado, en el vertedero ralentiza la descomposición de esos materiales.

El proceso de reciclaje empieza con la deposición del mismo en el contenedor amarillo, y es transportado posteriormente a la planta de selección para ser clasificados y enviados a los recicladores. Los centros recicladores convierten los envases en una nueva materia prima útil. Con estos materiales reciclados se pueden fabricar otra vez productos nuevos (Ecoembes, s.f.). De esta forma se consigue una reducción de vertederos, reducción en las emisiones de CO₂, un ahorro de agua y energía y aumento de empleo.

Sin embargo, debido a que el uso de film doméstico está en contacto con la comida, se ensucia. Por tanto, al ser un producto manchado no se puede desechar en el contenedor de envases ya que podría contaminar el resto de los residuos y disminuir la efectividad del reciclado. Por lo que generalmente son depositados en los contenedores orgánicos.

1.1.3 El recipiente de plástico

Tal como se ha mencionado anteriormente, la producción global de plásticos está aumentando rápidamente durante las últimas décadas. Entre 2002-2013 aumentó un 50%: de 204 millones de toneladas en 2002 a 299

millones de toneladas en 2013. A nivel mundial, China es el principal productor de plásticos seguido de Europa, Norte América y Asia. Dentro de Europa, más de dos tercios de la demanda de plásticos se concentran en cinco países: Alemania (24,9%), Italia (14,3%), Francia (9,6%), Reino Unido (7,7%) y España (7,4%). Generalmente, este material se emplea para la fabricación de envases, es decir, en productos de un solo uso (Greenpeace, s.f.).

Los recipientes de plástico, como por ejemplo las fiambreras, están elaborados a partir de polipropileno. Dicho compuesto se forma mediante el proceso de polimerización al igual que el proceso explicado en el apartado anterior, pero con propileno en vez de etileno.

1.1.3.1 Etapas de producción

El primer paso para la fabricación de un recipiente de plástico, como se ha mencionado anteriormente, es la síntesis del polímero. Los dos métodos básicos de polimerización son las reacciones de condensación y las de adición, que pueden llevarse a cabo de varias formas. En la polimerización en masa se polimeriza solo el monómero, por lo general en una fase gaseosa o líquida, si bien se realizan también algunas polimerizaciones en estado sólido. Mediante la polimerización en disolución se forma una emulsión que seguidamente se coagula. En la polimerización por interfase, los monómeros se disuelven en dos líquidos inmiscibles y la polimerización tiene lugar en la interfase entre los dos líquidos (Juárez, et al, 2015).

Para conseguir la forma deseada del producto se recurre al procesamiento del polímero por moldeo. consiste en dar forma introduciendo el plástico en moldes a presión. Hay dos tipos de moldeo: por inyección, con el que se fabrican grandes series de piezas, como cubos, carcasas, tapones, etc. y por soplado, procedimiento utilizado en la fabricación de envases y botellas.

En este caso, se utilizará el proceso de moldeo por inyección para la fabricación del recipiente. Dicho método consiste en los siguientes pasos (Privarsa, s.f.):

- Unidad de alimentación

El proceso inicia en una tolva que se llena con gránulos de plástico a través de un dosificador. Esta es la materia prima de cualquier producto, la cual es alimentada dentro del barril que conduce el polímero a través de la unidad de inyección.

- Unidad hidráulica

Para que el material fundido avance a través del barril de la unidad inyectora, el husillo es impulsado por un sistema hidráulico habilitado por un motor eléctrico, que provoca un movimiento axial del barril y sus aspas en un flujo sin fin.

- Unidad de inyección

El polímero es fundido con el calor generado por diversas bandas de resistencias que están colocadas alrededor del barril. El fluido es inyectado dentro del molde a través de la boquilla, ejerciendo la presión suficiente para que se llene y se solidifique dentro del molde.

- Unidad de moldeo

Consiste en una prensa hidráulica o mecánica integrada por dos placas portamoldes, las cuales provocan la unión hermética de ambas partes del molde para formar la cavidad de la pieza y resisten la fuerte presión que se aplica cuando el polímero es inyectado en el molde.

Una de las dos partes del molde se mantiene fija, que es la que está pegada a la unidad de inyección del polímero, mientras la otra que se mantiene en movimiento durante el ciclo de moldeo y es conocida como la parte extractora o de cierre.

Esta misma unidad se abre nuevamente cuando la pieza inyectada se solidifica, al ser enfriada con la ayuda de un fluido refrigerante y finalmente ser expulsada por los pernos botadores del lado extractor, para iniciar nuevamente el ciclo, el cual se lleva a cabo de forma continua.

El molde es la parte más importante de la máquina de inyección, pues es donde la pieza de plástico tomará su forma y acabado. Es una pieza intercambiable que se atornilla en la prensa a través de un portamolde. Consta de dos partes iguales que se unen herméticamente.

Cada una de las partes tiene una cavidad que se llenará con el fluido del polímero caliente, para tomar la forma y replicar la pieza correspondiente. El material es presionado por la unidad inyectora para llenar la cavidad del molde al 100% antes de enfriarse. Al abrir el molde, la pieza es expulsada fuera de la cavidad.

Por tanto, a diferencia del film transparente, las fiambreras se elaboran mediante procesos de inyección (*Ilustración 9*). El proceso de moldeo por inyección es un proceso de transformación discontinuo, en el que la entrada del material fundido al interior de una cavidad se fuerza bajo presión, y la pieza acaba de tomar su forma por enfriamiento.

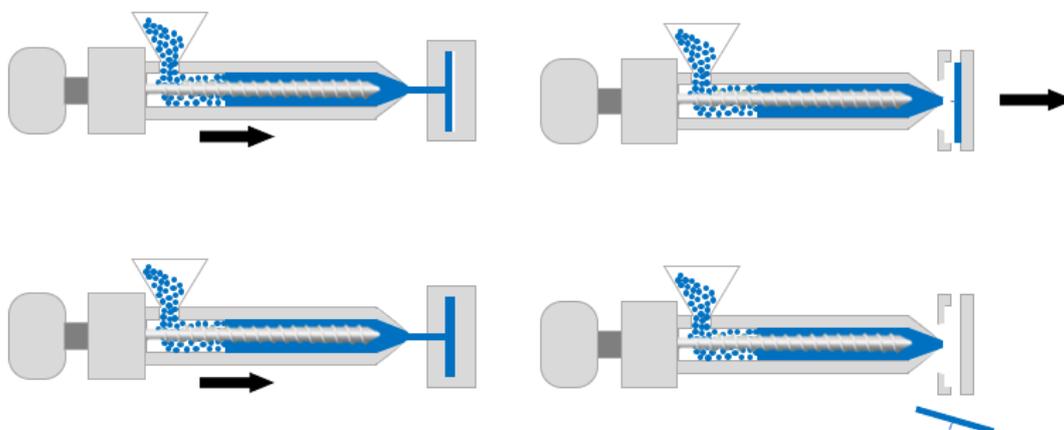


Ilustración 9. Esquema del proceso de moldeo por inyección

Fuente: Aimplas

1.1.3.2 Ciclo de vida del recipiente de plástico

Por tanto, el diagrama de flujos de las materias de entrada y salida de la fabricación de un táper consiste en lo siguiente (*Ilustración 10*):

El ciclo de vida de un táper es similar al del film ya que ambos proceden de la polimerización del plástico. Sin embargo, el recipiente de plástico es reutilizable, por lo que una vez usado, se puede someter al lavado en un lavavajillas. Cuyo caso, es necesario el aporte de agua, electricidad y detergentes para la limpieza del recipiente.

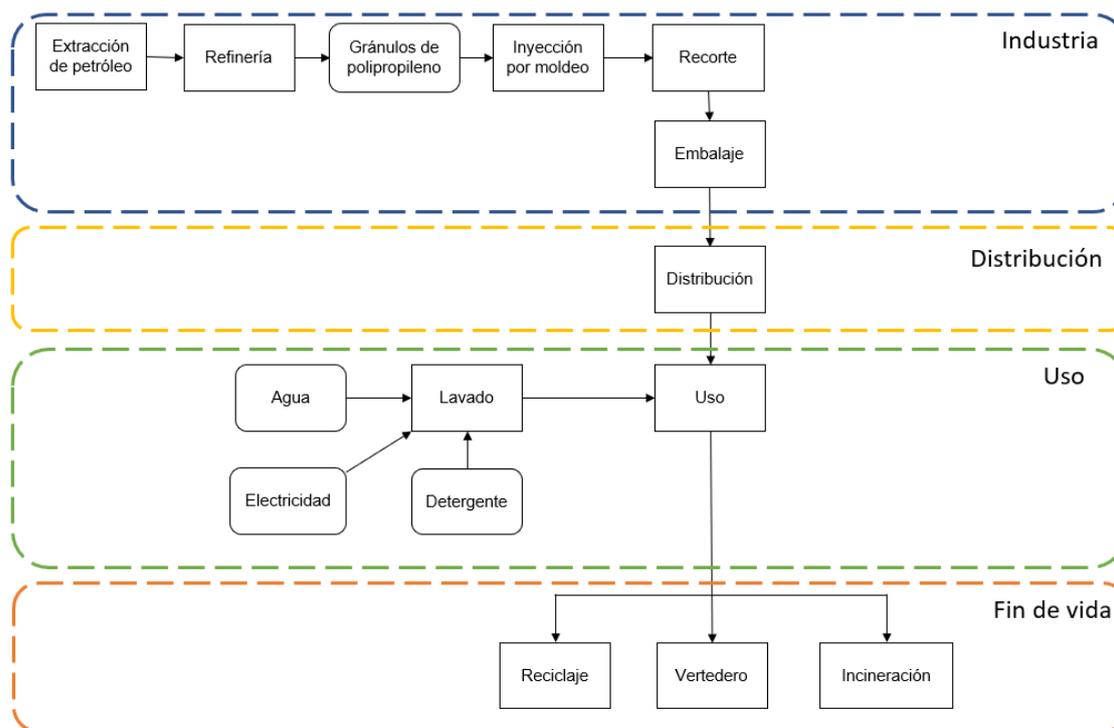


Ilustración 10. Diagrama de flujos del recipiente de plástico

1.1.3.3 Emisiones e impactos

En las industrias de producción de plásticos, los principales consumos son de energía y agua. El consumo de energía ocurre en los procesos de transformación del plástico, el cual depende de factores como el tiempo para el secado del material, el tipo y la cantidad de equipos auxiliados necesarios, etc.

En Europa existen 27.000 empresas de este tipo de industrias. Éstas transforman 40 millones de toneladas de plástico, con un consumo medio de energía de 2,87 kW/kg y un coste medio de 0,08 €/kW (CNAE, s.f.).

Como se puede observar en la gráfica siguiente (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*), el tipo de energías más demanda en el sector plástico es la eléctrica, alcanzando un 77% sobre todos los consumos energéticos generados en la industria (INE³, 2006).

³ INE: Instituto Nacional de Estadística

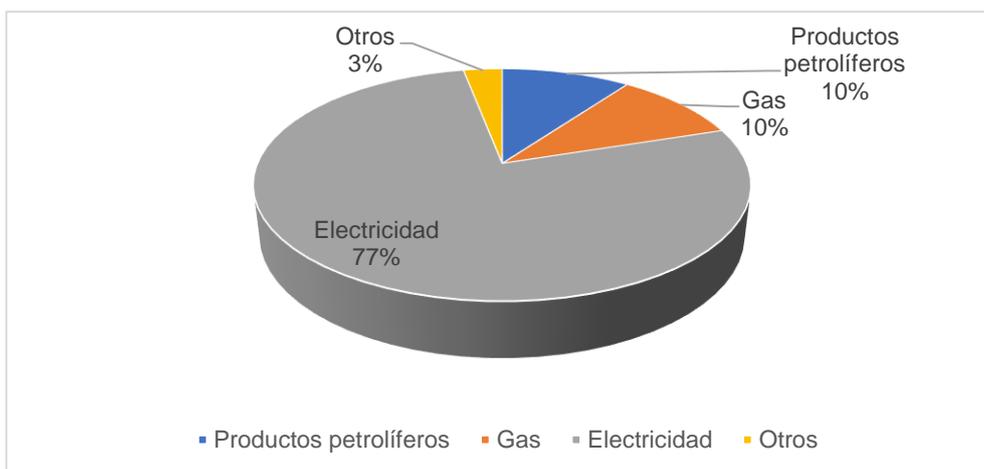


Ilustración 11. Consumos energéticos del sector plástico

Fuente: INE

Las industrias del plástico generan muchos problemas ambientales a nivel mundial. La producción de plástico supone la utilización de grandes cantidades de energía de combustibles fósiles y recursos de materias primas con la liberación de gases de efecto invernadero. Estos gases, CO₂, N₂O, CFC y CH₄ son emitidos a la atmósfera.

Debido a la liberación de los gases de CFC provoca la destrucción de la capa de ozono, y simultáneamente, un aumento en los niveles de radiación de UV. Creando así problemas sobre la salud humana y cambios en los ecosistemas agrícolas y marinos.

Los gases desprendidos como consecuencia de las reacciones de combustión fósil provocan la acidificación del medio ambiente, dañando así la fertilidad del suelo agrícola y también a los cultivos, los bosques y la pesca.

1.1.3.4 Gestión de residuo

El proceso de reciclaje es el mismo descrito en el apartado de la gestión del film residual. Ya que ambos se tratan de productos plásticos que se depositan en el contenedor amarillo. A diferencia del film transparente, las tasas de reciclaje de este son mayores, puesto que el film es de un solo uso y el envase se puede limpiar.

1.1.4 La bolsa alimenticia

Otro de los productos que se utiliza habitualmente para el transporte y

conservación de la comida es la bolsa alimenticia. Existen diversos tipos de bolsas y se utiliza uno u otro según el uso y la preferencia del consumidor. Por ejemplo, las bolsas de papel sirven para guardar los tentempiés de forma rápida y sencilla, además de su bajo coste. Sin embargo, debido a que no están diseñados con un cierre, permanece en contacto con el exterior. Mientras que las bolsas de plástico herméticas sí que mantienen el alimento sellado. Y por esta misma causa el coste de éstas son más altas que las de papel.

Para el estudio se ha elegido la bolsa de papel, y concretamente, de papel Kraft. Dado que este tipo de envase se utiliza en la mayoría de los comercios (hornos, supermercados, restaurantes, etc.).

1.1.4.1 Etapas de producción

El proceso al sulfato o Kraft, que representa aproximadamente el 80% de la producción mundial de pasta, es el método de producción más aplicado entre los procesos de fabricación de pasta químico. La importancia del proceso al sulfito ha disminuido constantemente durante los últimos años. Hoy, sólo un 10% de la producción mundial se obtiene por este método (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).

En comparación con los otros tipos de productos de envase, el proceso de fabricación de las bolsas de papel Kraft es más simple. A partir de un rollo de papel Kraft, una máquina de fabricación de bolsas y compuestos líquidos como el pegamento se pueden fabricar grandes cantidades de bolsas en poco tiempo.

Básicamente una fábrica de papel Kraft está dividida en las siguientes partes: manipulación de materias primas, desfibrado químico (deslignificación) con un sistema casi totalmente cerrado de recuperación de productos químicos y de energía, blanqueo con un sistema abierto de agua y un sistema externo de tratamiento de aguas residuales del proceso.

La fábrica de papel recibe la madera en forma de troncos con corteza o astillas. Los cuales son transportados a través de embarcaciones, camiones o ferrocarril hasta la fábrica. Debido a que los troncos llegan con corteza, es necesario descortezarlo. Existen dos tipos de descortezado, en tambor o húmedo. El primero consiste en quitar la corteza mientras que los troncos golpean unos contra otros cuando se mueven por la acción giratoria del tambor de descortezado. La corteza y las astillas de madera se caen del tambor a través de canales inclinados. En cambio, el descortezado húmedo necesita grandes cantidades de agua, por lo que su uso es cada vez menor.

Para facilitar los procesos siguientes, los troncos son reducidos a astillas en una troceadora. La eficacia de los procesos y la calidad de la pasta varía en función de la distribución del tamaño de las astillas. Por tanto, cuanto más uniformes son las astillas después del troceado, más bajo es el consumo de la materia prima. A continuación, las astillas son cribadas para quitar las astillas de gran tamaño y el serrín. El serrín puede ser cocido después o también se puede quemar o usar para otros fines. Y las astillas de grandes pueden ser reprocesadas en una trituradora o de nuevo en una troceadora. Las astillas se criban según su grosor, ya que éste es un factor crítico en la fabricación de pasta química y mecánica. El material descartado por la criba puede ser vendido a otros fabricantes o también puede ser quemado en una caldera de combustible sólido con recuperación de calor.

En la planta de cocción las fibras son liberadas disolviendo la lignina y la parte de la hemicelulosa en la solución química de cocción (licor blanco), que contiene hidróxido sódico y sulfuro sódico como productos químicos activos. Dado que el producto final no es blanqueando, la cocción es la única etapa de deslignación.

El proceso de cocción puede realizarse tanto en digestores discontinuos como en un digestor continuo. En un digestor discontinuo la madera y los licores se coccionan a temperaturas y presiones altas, hasta alcanzar el contenido residual deseado de lignina (medido como índice kappa). El contenido se descarga a un tanque de soplado y se repite el ciclo de cocción. La cantidad de lignina que permanece en la pasta se puede determinarse aproximadamente multiplicando el índice kappa por el factor 0,165 (Uhlamn, 1991).

La cocción también puede ser a través de un digestor continuo (*Ilustración 12*), que, a diferencia del discontinuo, la carga de madera y los productos químicos (la temperatura en la zona de cocción), son los que definen el contenido de lignina resultante. Antes de entrar al digestor, las astillas son precalentadas con vapor para eliminar el aire que interfiere con la impregnación. Tras entrar en el interior del digestor, las astillas son impregnadas con licor de cocción y la temperatura se eleva a 155-175°C y manteniéndolo durante 1 o 2 horas.

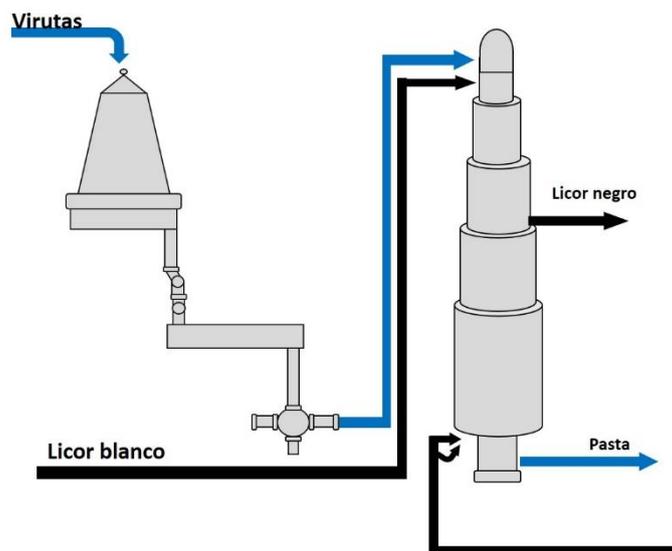


Ilustración 12. Digestor continuo

Fuente: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

La pasta obtenida del digestor contiene fibras y licor de cocción usado (licor negro). Este licor contiene productos químicos inorgánicos y una gran cantidad de sustancias orgánicas que tienen que ser eliminadas. Para ello, es necesario realizar un lavado y después se pasa al sistema de recuperación de productos químicos, donde se recuperan los agentes químicos de cocción y la energía. Las sustancias orgánicas disueltas, junto con los productos químicos de cocción usados, se separan por lavado de las fibras de celulosa en las etapas de lavado de la pasta cruda. Dependiendo del tipo de digestor, el lavado se utilizará un tipo de filtro u otro. Si se tratase de un digestor discontinuo se realizaría en filtros de tambor, mientras de si fuera en una planta con digestor continuo, se usaría filtros de tambor o difusores adicionales en la zona de lavado de alto calor. En las actuales líneas de cocción de fibras (discontinuo o continuo) el lavado empieza en el digestor desplazando el licor negro caliente con licor frío de lavado.

El último paso del rollo de papel es el secado del mismo, que varía según el tipo de fábrica destinada. En una fábrica integrada de pasta y papel, la pasta será transferida a la fabricación de papel en un estado húmedo (con una consistencia de cerca del 4%) y el agua que la acompaña forma parte del balance global de agua de la fábrica. Para una fábrica de pasta no integrada en la que la pasta no se utiliza para la fabricación de papel en la misma instalación, la pasta se prensará primero y luego se secará para su transporte. La máquina de secado consiste en un tren de secado similar aunque más simple que el tren de secado de una máquina de papel, y sirve para la deshidratación inicial de la pasta. Después de la etapa de deshidratación, la pasta se seca con vapor en una sección de la máquina de secado en múltiples

etapas. Después de cortarla en hojas, se forman las balas para el envío (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).

1.1.4.2 Ciclo de vida de la bolsa alimenticia

Todo lo anteriormente comentado es lo que ocurre en una planta de fabricación de papel Kraft, una vez se ha elaborado el rollo de papel Kraft se procede a la producción de las bolsas alimenticias. El ciclo de vida de la bolsa alimenticia sigue los procesos presentes en la *Ilustración 13*.

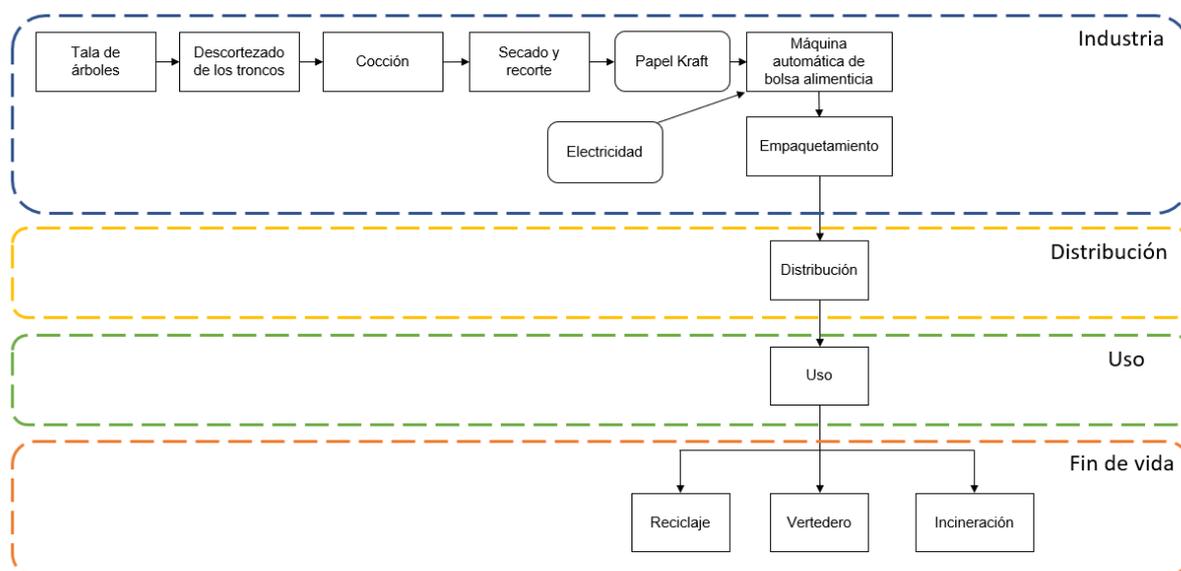


Ilustración 13. Diagrama de flujos de la bolsa alimenticia

El ciclo de vida de la bolsa alimenticia empieza con la fabricación de los rollos de papel Kraft. Después se dobla y adiciona pegamento para darle forma de bolsa. Luego se recorta automáticamente con la máquina, y de forma manual, se empaquetan en cajas y prepararlos para la posterior venta. Al igual que los otros productos, la bolsa es de un solo uso, y debido al ensuciamiento tampoco es reciclado.

1.1.4.3 Emisiones e impactos

A continuación se describen los consumos y emisiones que ocurren durante la fabricación de pasta de Kraft, así como la actividad concreta que genera las emisiones.

a) Consumo de madera:

La madera es la fuente de materia prima para la fabricación de cualquier tipo de pasta de papel. Los residuos generados durante la tala de los árboles y la serrería pueden ser utilizados en el proceso del Kraft.

b) Consumo y emisiones de agua:

El consumo de agua fresca y la generación de aguas residuales ocurren en numerosos procesos durante la fabricación de la pasta (*Ilustración 14*). Generalmente las emisiones al agua se tratan de sustancias orgánicas que consumen oxígeno, y que se miden como DQO y DBO.

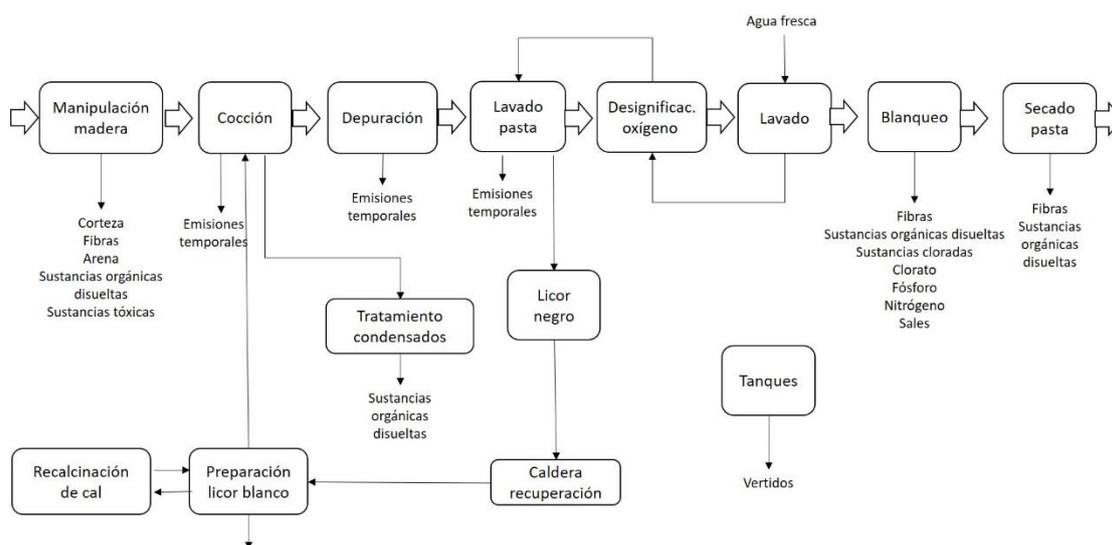


Ilustración 14. Emisiones al agua de una fábrica de pasta Kraft

Fuente: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

El volumen de agua consumido durante el proceso de manipulación de la madera en la planta de descortezado varía en función del tipo de descortezado que se realice. Puesto que el descortezado húmedo consume una elevada cantidad de agua, aproximadamente 0,6 a 2 m³ de agua por m³ madera maciza. Mientras que el descortezado seco utiliza 0,1 a 0,5 m³ de agua por madera para lavar los troncos.

Con el prensado o secado de la corteza se disminuye el contenido de humedad de la corteza. Sin embargo, con el aumento de la sequedad también hay un incremento de producción de la carga de contaminación. En la *Tabla 1* se presentan los rangos en la carga de contaminantes en los efluentes.

Tabla 1. Carga de contaminación del efluente de descortezado antes del tratamiento biológico

ACV de diferentes productos para conservación de comida

(Finnish BAT Report, 1997); La DBO_7 se ha convertido a DBO_5 mediante la fórmula

$$DBO_7/1,16=DBO_5 \text{ propuesta en el mismo informe}$$

Técnica de descortezado	Volumen de efluente m^3/m^3 madera	DBO_5 kg/m^3 madera	DQO kg/m^3 madera	Tot-P g/m^3 madera
Descortezado húmedo y prensado	0,6 – 2	0,9 – 2,6	4 – 6	5 – 7
Descortezado seco y prensado	0,1 – 0,5	0,1 – 0,4	0,2 – 2	2 – 4

Fuente: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

La corteza tiene un 35-45% de sequedad, y después del descortezado húmedo o seco pasa a tener aproximadamente un 30-35%. Si se desea aumentar la sequedad, se puede realizar a través de la prensa, el cual permite alcanzar una sequedad del 40-45%. Sin embargo, en tal caso se originaría una corriente adicional. Este efluente procede de la prensa de la corteza y es tóxico ya que tiene una DBO elevada (20-60 kg/m^3). Para solucionarlo, se puede tratar dicha corriente en la fábrica de pasta química, alimentándolo al digestor con las astillas para su evaporación subsiguiente y combustión del concentrado en la caldera de recuperación.

Los condensados se originan en los procesos de cocción, es decir, en los digestores y en la planta de evaporación. Se forman de entre 8 a 10 m^3/ADt de condensados totales con una carga de DQO de 20-30 kg/t y 7-10 kg/ADt de DBO_5 . Aproximadamente, cada metro cúbico de condensado por tonelada de pasta tiene una concentración de DQO de 10-20 kg/m^3 . Para tratar estos condensados se recurre al stripper, el cual tiene una eficacia de eliminación por encima del 90 % según el pH. Este sistema pretende en eliminar los gases malolientes (TRS^4) y las sustancias que contribuyen a la DQO al mismo tiempo.

Es importante tener en cuenta también sobre las concentraciones de los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo ya que en altas cantidades causan la eutrofización del medio receptor. Además, el efluente contiene, aunque en bajas concentraciones, distintos metales extraídos de la madera.

Ahora bien, dado que no se realiza blanqueo de la pasta, no habría concentraciones de algunos de los productos químicos, tales como dióxido de cloro, ozono, peróxido, etc. en el efluente. Por tanto, no contendría compuestos orgánicos clorados, los cuales causan efectos tóxicos sobre los organismos acuáticos.

⁴ TRS: Azufre reducido total

c) Emisiones atmosféricas:

En el esquema de la *Ilustración 15* se presentan las emisiones atmosféricas. Dichas emisiones se originan fundamentalmente debidos a los procesos ocurridos en los siguientes puntos:

- El almacenaje de astillas
- El digestor de cocción
- El lavado de la pasta
- La planta de blanqueo
- La preparación química de los reactivos de blanqueo
- La recuperación de los productos químicos
- La evaporación
- La caldera de la corteza de recuperación
- La preparación del licor blanco
- El horno de cal
- Los tanques y el secado de la pasta

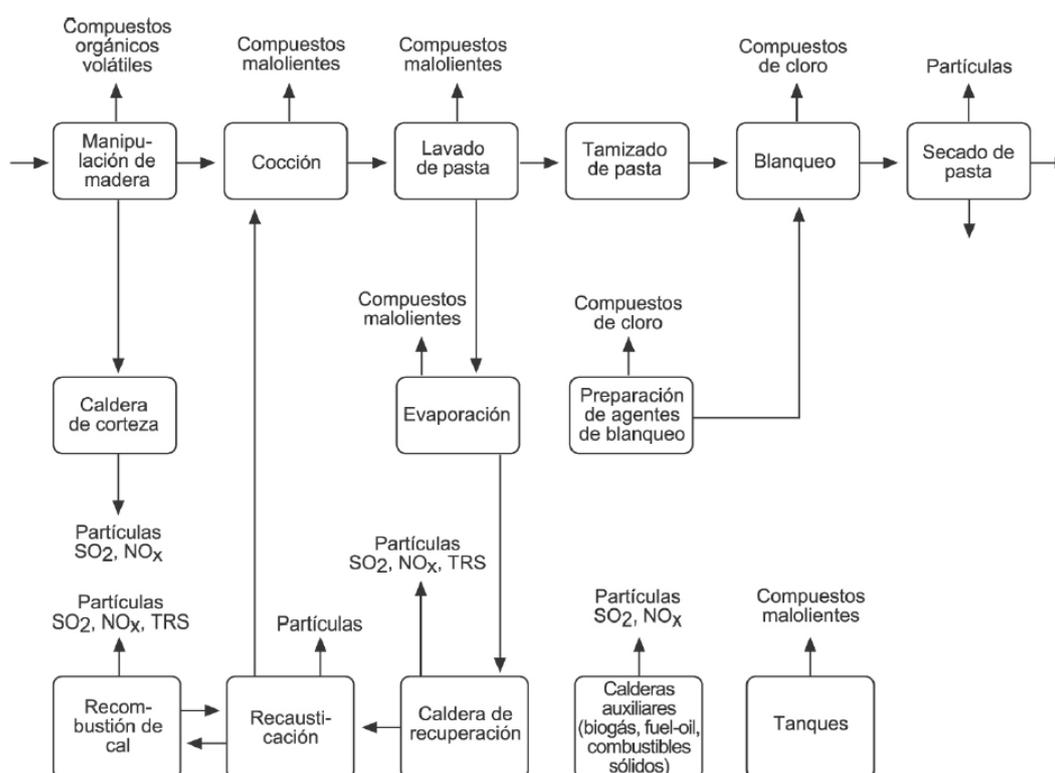


Ilustración 15. Emisiones a la atmósfera en fábricas de pasta Kraft

Fuente: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

Los principales contaminantes son compuestos de azufre como dióxido de azufre o compuestos de azufre reducidos como metilmercaptano, sulfuro de

dimetilo y sulfuro de hidrógeno (TRS). Y de las calderas se emiten óxidos de nitrógeno y pequeñas cantidades de partículas sólidas como las cenizas volantes.

Y por último, en cuanto a los residuos sólidos, se producen sólidos como (*Tabla 2*):

- Lodo inorgánico de la recuperación química
- Residuos de corteza y de madera de la manipulación de la madera
- Lodo del tratamiento de efluentes (material inorgánico, fibras y lodo biológico)
- Polvo de calderas y hornos
- Desechos (principalmente arena) de la manipulación de la madera
- Corteza, madera y lodos del tratamiento de aguas. Estas sustancias orgánicas pueden ser quemados y utilizados para la recuperación de energía.

En la figura siguiente aparecen los residuos descritos anteriormente y la cantidad que se producen por cada tonelada de pasta.

Tabla 2. Generación media de residuos en fábricas de pasta Kraft en kg de materia seca/t de pasta [Finnish BAT Report, 1996]

Tipo de residuo	kg de materia seca por tonelada de pasta
Lodo de tratamiento de aguas residuales	10
Ceniza de madera	9
Otras cenizas	14
Residuos de fibra y estucados	5
Residuos de madera	6
Residuos peligrosos	0,2
Total	43

Notas explicativas:
 “ceniza de madera” es ceniza volante y polvo de la incineración de madera (ej: de la caldera de corteza).
 “otras cenizas” son cenizas de los combustibles utilizados en la producción de energía, aparte de la madera y el licor negro.
 “residuos de madera” son corteza, astillas, serrín, envases de madera, etc. Los residuos de madera se desechan en vertedero sólo si no pueden quemarse (si tienen tierra o están demasiados sucios).

Fuente: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

1.1.4.4 Gestión de residuo

Las bolsas alimenticias de papel aunque estén compuestos de celulosa,

su fabricación continúa siendo negativo para el medio. Debido la tala de árboles o el proceso de blanqueado, que requiere el uso de enormes cantidades de agua (triplicando la cantidad necesaria para la fabricación de bolsas de plástico), así como el vertido de químicos a los ríos.

Además, la producción de papel contamina la atmósfera, y lo hace un 70 por ciento de media más de lo que poluciona la producción de plástico, con una emisión de gases de efecto invernadero que incluso supera este porcentaje. A su vez, talar árboles es impedir que actúen como sumideros de carbono.

En consumo de energía, el papel también sale perdiendo, por lo que frente a las bolsas de plástico su producción es un auténtico despilfarro energético. Así, si por un lado las bolsas de plástico son un derivado del petróleo, también la producción de papel supone un gasto de combustibles fósiles.

A la hora de reciclar las bolsas de papel, se requieren muchos más recursos energéticos que el reciclaje del plástico y, en contra de lo que pudiera parecer, no son más biodegradables que el plástico. No, al menos, en sus versiones convencionales (Ecologismos, 2014).

1.2 El Análisis del Ciclo de Vida

El concepto de “ciclo de vida” del producto fue utilizado por primera vez por Theodore Levitt en 1965 en un artículo de la revista Harvard Business Review “*Exploit the Product Life Cycle*”. Definiéndolo, desde un enfoque económico, como un proceso cronológico que transcurre desde el lanzamiento del producto al mercado hasta su desaparición.

Mientras que, desde el punto vista ambiental, las mayores preocupaciones se concentran en los impactos ocasionados sobre el ecosistema natural. Por este motivo, surgió la herramienta de “análisis de ciclo de vida”. El primer estudio se realizó en el año 1969 por Midwest Research Institute para la empresa Coca Cola. En ese momento se conocía como “análisis de perfil de recursos y medioambientales” (REPA). Este documento tenía como objetivo reducir el consumo de recursos y la cantidad de emisiones al medio ambiente. Posteriormente aparecieron más estudios de este tipo, con la introducción de cálculos de energías y el balance de entradas y salidas.

Ahora esta metodología se está convirtiendo en una parte del proceso de tomas de decisiones sostenibles en compañías multinacionales como Toyota

(Energy Information Administration 1997).

La ISO⁵ recopiló y uniformizó toda esta información, desarrollándolo en una serie de estándares, conocido como la ISO 14040 sobre el Análisis de ciclo de vida. La norma ISO 14040:1997 establece que “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases

Otros autores definen este concepto de la siguiente manera: El ACV de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Y se utilizaría para evaluar diferentes parámetros y aspectos (Romero, 2003).

Siguiendo la normativa ISO, esta metodología está compuesta por cuatro etapas (*Ilustración 16*): la definición del objetivo y alcance; análisis del inventario; evaluación del impacto e interpretación. A continuación, se explicará brevemente en qué consisten cada una de estas fases.

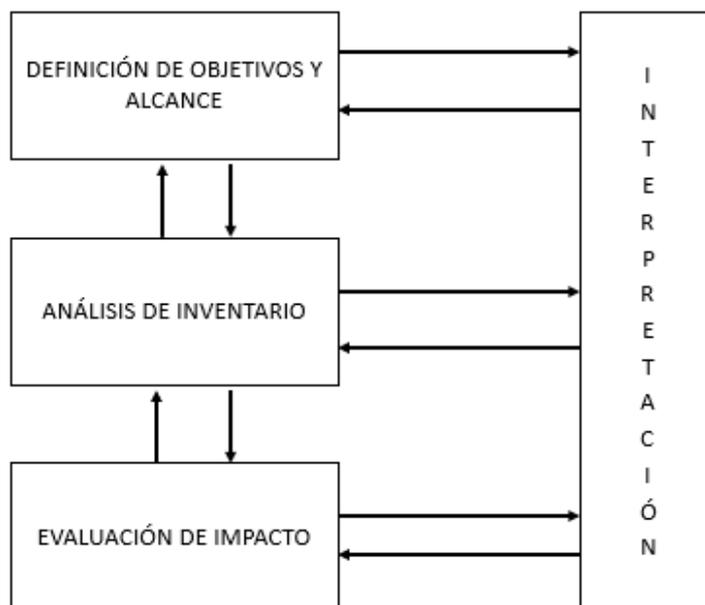


Ilustración 16. Etapas de ACV

Fuente: Análisis de Ciclo de Vida (ACV) herramienta de gestión ambiental

⁵ ISO: Organización Internacional para la estandarización

▪ Definición del objetivo y alcance del estudio

En la primera fase se describe el objetivo a lograr, así como el grado de detalle y extensión del estudio. Asimismo, se establecerán los límites del sistema del producto y también las entradas y salidas. Este mecanismo es el que determina cuáles son los datos a tener en cuenta y cuáles serán despreciados, ya que esto influye directamente sobre los resultados finales del estudio. Para ello, hay que tener en cuenta las etapas del ciclo de vida de un producto. En general, el ciclo de vida está compuesto por seis etapas, que son (*Ilustración 17*):

- Adquisición de materias primas: consiste en la adquisición de las materias primas para la manufacturación del producto.
- Manufactura: esta fase empieza cuando la materia prima es introducida en el proceso de fabricación para obtener el producto final.
- Distribución y transporte: corresponde al movimiento de traslado del producto final desde la industria de fabricación a las tiendas de comercio y de allí a manos del consumidor.
- Uso/reutilización: comprende desde que el producto es adquirido por el consumidor hasta que pasa a ser un residuo.
- Reciclado: es aquel proceso por el que se devuelve el residuo a la fábrica de origen.
- Gestión de residuos: son todas aquellas operaciones de tratamiento de residuo.

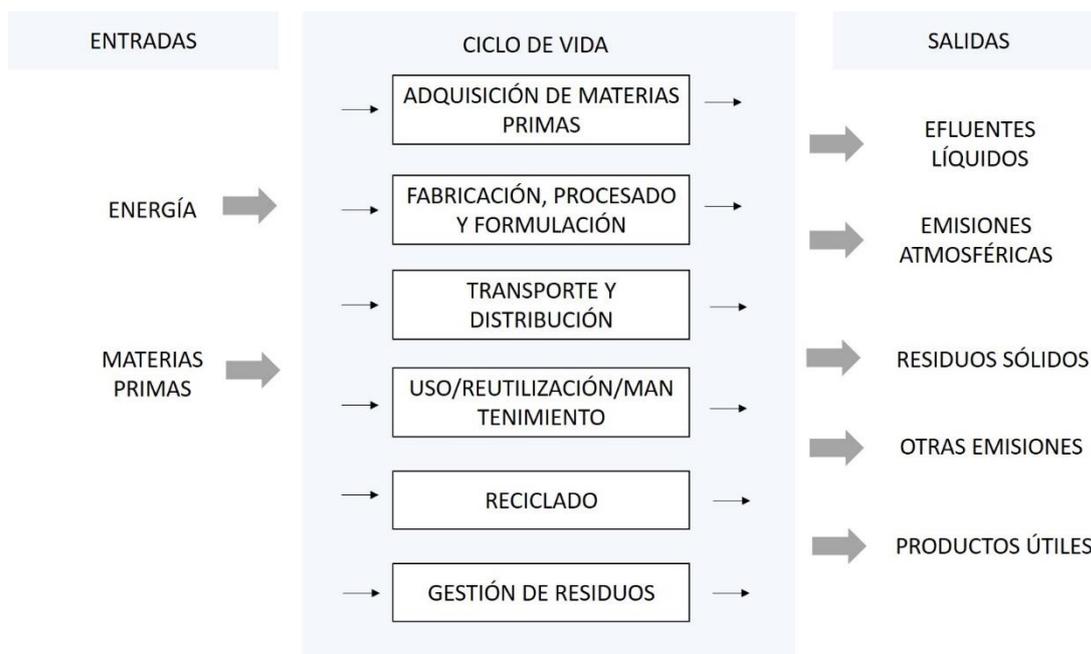


Ilustración 17. Etapas del ciclo de vida

Fuente: Haya, E. (Análisis de Ciclo de Vida)

Otro elemento importante en esta fase es la unidad funcional. Éste es el que define los datos de entrada y salida. De esta forma, permite comparar productos o procesos bajo las mismas condiciones.

- **Análisis de inventario**

Este apartado consiste en la cuantificación de las entradas (energía y materia prima) y salidas (emisiones atmosféricas, vertidos al suelo y aguas o generación de residuos) del estudio, es decir, en la recolección de datos numéricos. Como ya se ha dicho anteriormente, es necesario que estos datos tengan la misma unidad funcional para facilitar la comprensión del resultado final.

- **Evaluación de impacto**

La evaluación de impacto relaciona los resultados del análisis de inventario con los efectos ambientales, con el objetivo de valorar la importancia de los impactos generados. En ella se incluyen elementos como la clasificación, normalización y valoración.

- **Interpretación**

El último paso de la ACV es la interpretación de resultados, como su nombre indica, es la evaluación de la coherencia de los resultados obtenidos

en la fase del análisis de inventario y de la evaluación de impacto.

1.3 Software SIMAPRO

Debido al aumento de la preocupación de la sociedad por el medio ambiente, el uso de técnicas para el estudio sobre las consecuencias producidas a lo largo del ciclo de vida de un producto ha aumentado progresivamente. El mayor reto buscado actualmente por las empresas es ser más emprendedora y al mismo tiempo y conseguir resultados más sostenibles e innovadores.

Por ello, el ACV se ha desarrollado rápidamente en las últimas tres décadas (Guinée et al., 2011). El desarrollo de la metodología comenzó a partir de un mero análisis de las cargas energéticas y ambientales de los productos, durante la década de 1970, y actualmente es ampliamente utilizado por investigadores, organizaciones e industrias (Garrigues et al., 2012). El ACV busca cuantificar el uso de los recursos naturales, las emisiones, los impactos ambientales y los impactos en la salud asociados con los productos, procesos y servicios (Welz, Hischer y Hilty, 2011).

Hasta la fecha, se han creado diversos programas informáticos para el análisis de ciclo de vida, tales como son SimaPro, Eco-it, Open LCA, GaBi, etc.

De entre las herramientas acabadas de nombrar, una de las más utilizadas en el mundo del análisis de ciclo de vida es el software SimaPro (Pieragostini, C., et al, 2012). El software SimaPro fue desarrollado por la empresa holandesa PRé Consultants y es una herramienta para realizar estudios de ACV, que permite realizar estudios de:

- Huella de Carbono
- Huella Hídrica
- Declaración Ambiental de Producto
- Huella Ambiental de la Unión Europea
- Ecodiseño, etc.

Para el uso del programa, en primer lugar, se define la nomenclatura del producto, incluyendo la entrada y salida de materiales y los procesos que se llevan a cabo en la manufacturación). Luego, se introducen los datos para las etapas de transporte, uso y fin de vida.

Para el inventario de datos, el programa utiliza como base de datos el Ecoinvent, ILCD⁶, Agri-footprint, etc. Además permite crear bases de datos nuevas por el propio usuario. Estas bibliografías recopilan la información de datos de entidades públicas o industrias sobre los procesos, materiales, mercados, etc. Generalmente se utiliza el Ecoinvent V3 para los estudios de ACV.

Como metodologías de evaluación de impacto están los siguientes:

- CML 2001 (Guinée et al., 2001)
- ReCiPe 2008 (Goedkoop et al. 2009), actualmente ya se encuentra disponible el ReCiPe 2016
- ILCD 2011 (Centro Común de Investigación de la Comisión Europea 2010)
- Impacto 2002+ (Jolliet y otros, 2003)

Algunas metodologías tal como ReCiPe 2016 se dividen en dos tipos, el método Mid-Point y el método End-Point. Los resultados obtenidos a partir del primero son más completos, mientras que en el otro son más concisos (Hong, 2014). Dado que en el Mid-point las categorías están asociadas a su propia unidad. Y los resultados del End-Point están ya normalizadas. La ventaja de este último es que es de fácil comprensión, pero su incertidumbre también es mayor (Pennington, D. W., et al, 2004).

Mediante esta herramienta se facilita el análisis y la representación gráfica de ciclos de vida complejos, de un modo sistemático y transparente.

2 OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación de los impactos ambientales derivados de la producción, uso y desecho de diferentes productos utilizados para la conservación de comida (papel de aluminio, papel film, bolsa alimenticia y recipiente de plástico) mediante el análisis de su ciclo de vida. Además, se proponen medidas de reducción del uso de aquellos productos que generan mayor impacto sobre el medio ambiente debido a su complejo proceso de producción y/o eliminación.

⁶ ILCD: The International Reference Life Cycle Data System

3 IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

3.1 Aplicación del análisis de ciclo de vida a productos de conservación de comida

3.1.1 Definición del objetivo y del alcance

El objetivo principal de este análisis de ciclo de vida es evaluar los impactos que causan los diferentes envoltorios del alimento y de esta manera comparar entre ellas para ver cuál es el más sostenible medioambientalmente.

Los cuatro tipos de embalajes alimenticios a estudiar son:

- Papel de aluminio
- Papel de film transparente (LDPE)
- Bolsa alimenticia
- Recipiente de plástico (PP)

3.1.1.1 Unidad funcional y alcance

Para poder comparar dichos productos entre sí, es necesario asignar una unidad funcional. La unidad funcional seleccionada es un bocadillo consumido. Se ha considerado un alcance para el estudio de tres años, coincidiendo con la vida útil del PP.

3.1.1.2 Límites del sistema

Los límites del sistema describen implícitamente lo que se incluye y se excluye del análisis. Al ser un ACV de productos de embalaje alimenticio, los límites del sistema comprenden la fase de fabricación del envoltorio, el empaquetamiento, distribución en los comercios, el uso de los mismos, así como su eliminación.

- No se han considerado los procesos para la extracción de las materias primas.
- Las infraestructuras para la fabricación de los productos.
- Se ha despreciado el transporte de los bienes desde el comercio hasta el hogar.
- El consumo eléctrico para la fabricación de cada producto es la que está incluida en los procesos de los datos del Ecoinvent.

Los flujos del inventario incluyen los consumos de agua, energía y materias primas y las emisiones al agua, a la tierra y al aire. Por lo que se identificarán las entradas y salidas de cada una de las actividades. Ya que estos datos de consumo y emisiones serán los que permita la comparación entre los cuatro productos estudiados. Para simplificar se unificó algunos procesos de los diagramas de flujos, que se especificará en el apartado posterior, sobre el ciclo de vida de los productos (*Ilustración 18, Ilustración 19, Ilustración 20 e Ilustración 21*).

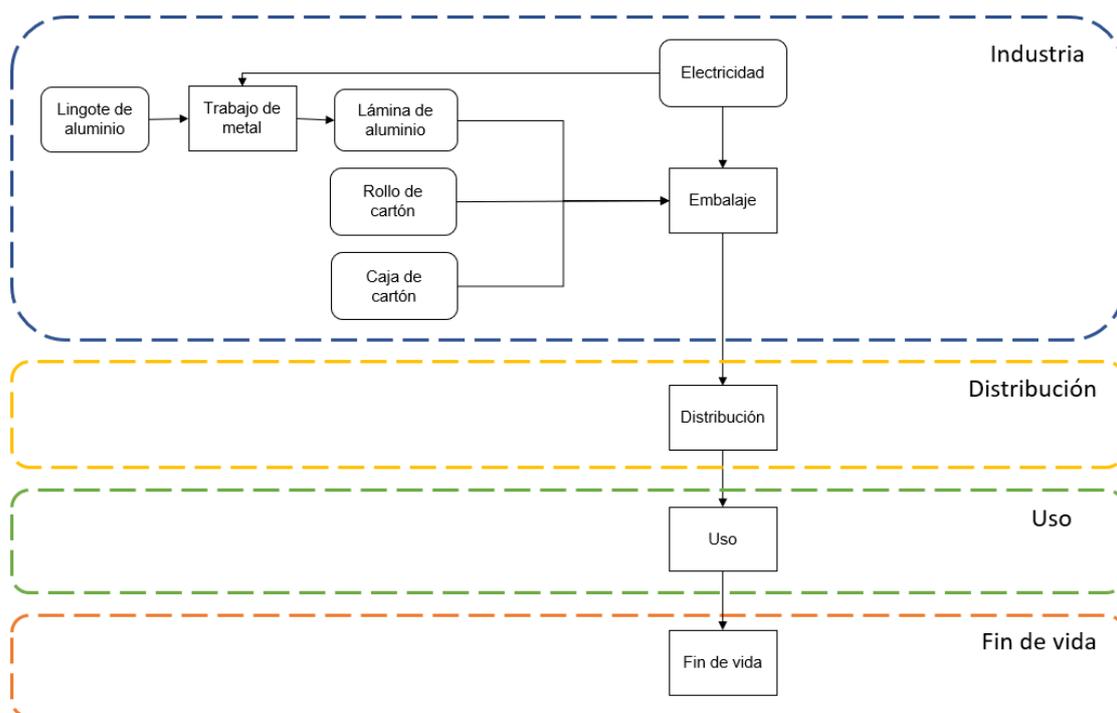


Ilustración 18. Diagrama de flujos de papel de aluminio modelizado

ACV de diferentes productos para conservación de comida

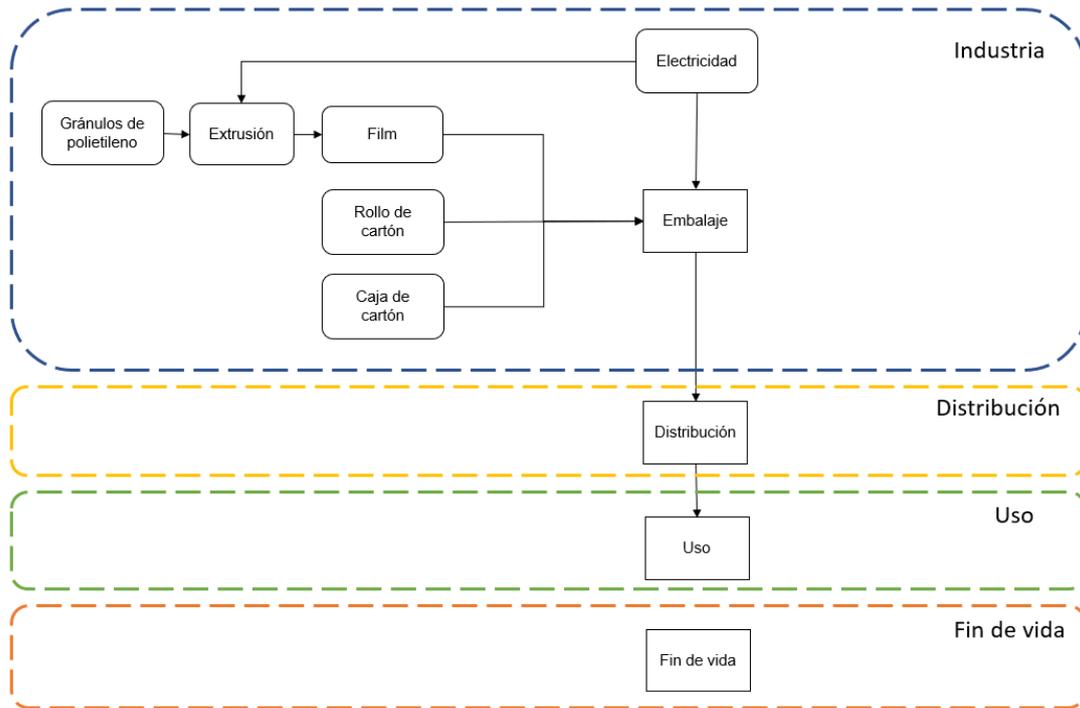


Ilustración 19. Diagrama de flujos de papel film modelizado

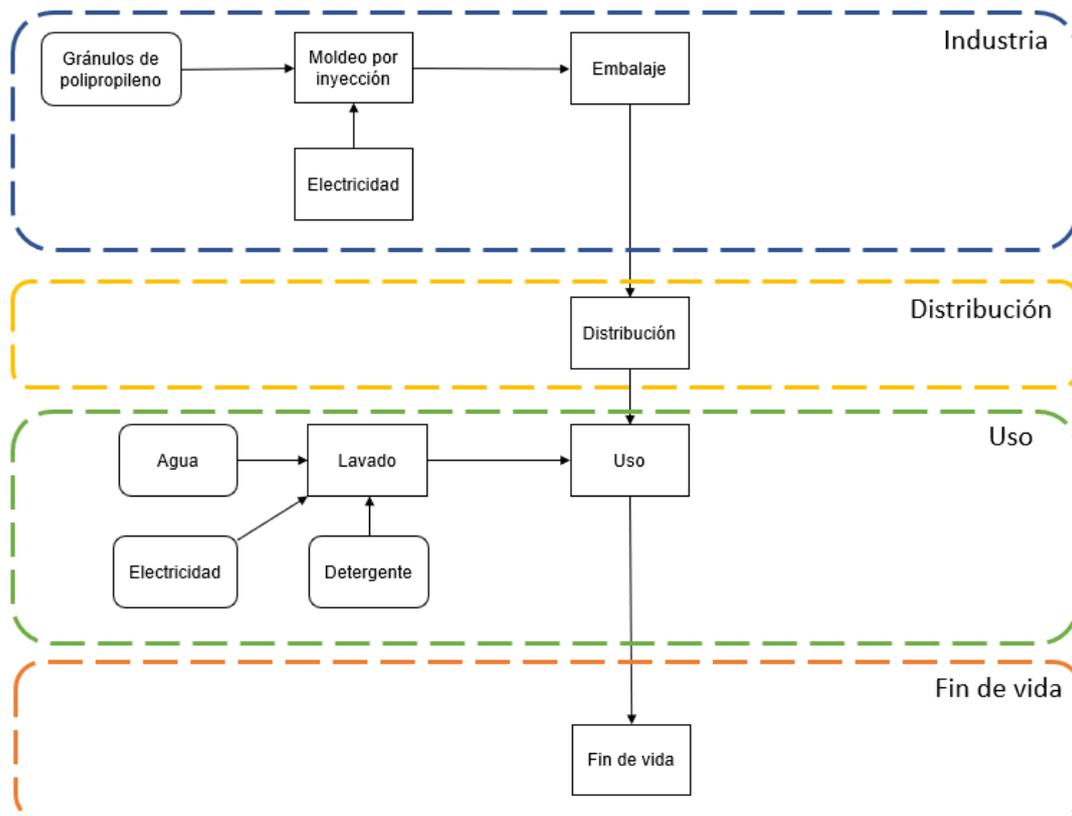


Ilustración 20. Diagrama de flujos del recipiente de plástico modelizado

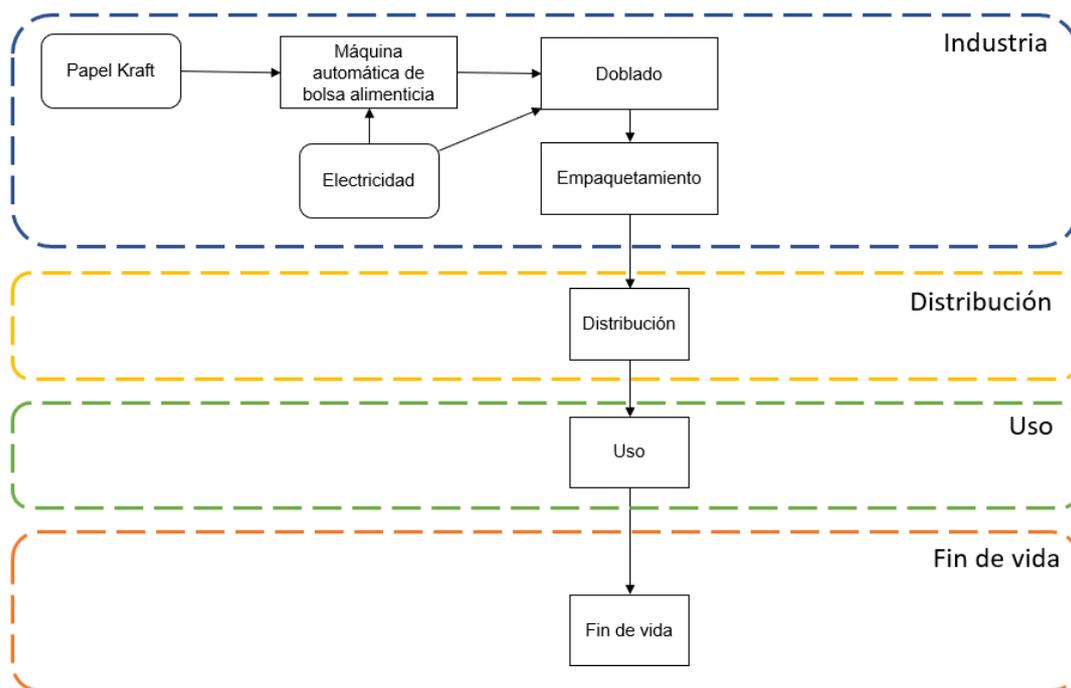


Ilustración 21. Diagrama de flujos de la bolsa alimenticia modelizado

3.1.2 Análisis de inventario de datos

El análisis de inventario de datos consiste en la exposición de aquellos datos recopilados relacionados con el ACV de cada uno de los productos. Abarca desde los tamaños de los envoltorios, la propiedad de los equipos utilizados para la producción, así como la energía y agua consumido; y también el transporte desde la zona la industria hasta el comercializador.

3.1.2.1 Datos

Los datos fueron recolectados por separado para cada producto. Los principales datos son el consumo de materias primas para el proceso de fabricación del producto, además de los consumos de agua y electricidad para el funcionamiento de la maquinaria. Estos valores junto con las emisiones se obtuvieron de los catálogos descriptivos de cada máquina de la línea productiva.

En cuanto al transporte, se ha calculado las distancias entre la industria a la tienda comercializadora y de éste hasta el hogar de consumo. El centro distribuidor elegido es el supermercado Mercadona, donde se ha obtenido las muestras de papel de aluminio, papel film y la fiambreira. Mientras que la bolsa

alimenticia fue comprada de una tienda china.

Como los productos de usar y tirar forman parte de nuestro día a día. La fabricación de cualquier producto comporta un uso de materia prima y energía. Una vez terminada su vida útil, este producto se convierte en residuo (Ioar Rivas Lara, s.f.). Y este residuo tiene que ser gestionado correctamente para minimizar los impactos sobre el medio ambiente. Pues la etapa final de un producto puede ser de distintas maneras: reutilización, reciclaje, incineración o vertedero.

Pero antes de todo es necesario conocer el tamaño y el peso del bocadillo (*Tabla 3 e Ilustración 22*) así como el tamaño de cada uno de los productos.

Tabla 3. Características del bocadillo

Bocadillo		
Largo	19,7	cm
Ancho	6,8	cm
Peso	125	g



Ilustración 22. Bocadillo

En la *Tabla 4* se muestra la cantidad de material necesario para enrollar un bocadillo.

Tabla 4. Cantidades de producto para envolver un bocadillo

	Largo (cm)	Ancho (cm)	Superficie (cm ²)
Aluminio	34	29,2	992,8
Film	34	29,2	992,8
Bolsa alimenticia	25,4	13,4	340,4

Posteriormente se procedió a pesar cada uno de estos envoltorios, es decir, la cantidad necesaria para empaquetar un bocadillo, y se obtuvieron los siguientes resultados (*Tabla 5*):

Tabla 5. Pesos de cada producto necesarios para envolver un bocadillo

pesos/bocadillo		
Papel de aluminio	0,0026	kg
Papel de film	0,0011	kg
Recipiente de plástico	0,07	kg
Bolsa alimenticia	0,005	kg

A continuación se procede a explicar los datos de cada uno de los productos, incluyendo las características generales, el transporte y fin de vida.

a) Papel de aluminio

- Características generales

El papel de aluminio estudiado es de la marca Bosque Verde (Hacendado) como aparece en *Ilustración 23*. Está compuesto por una caja de cartón con el nombre, logo, e instrucciones de uso imprentados. En el interior está la lámina de aluminio (60 m de largo y 29,2 m de ancho) enrollado a un tubo hueco de cartón. En la *Tabla 6* se detallan los pesos de los tres componentes del producto.

Tabla 6. Características del papel de aluminio

Aluminio		
Todo	0,62	kg
Caja de cartón	0,035	kg
Aluminio+tubo de cartón	0,585	kg
Aluminio	0,55	kg
Tubo de cartón	0,035	kg



Ilustración 23. Papel de aluminio de 60 m

- Producción

En el esquema (*Ilustración 24*) se expone los procesos que ocurren a lo largo de la fabricación del aluminio en una planta industrial, así como las cantidades de entrada y de salida de materiales. Este proceso empieza con 1015 kg de materia prima para obtener finalmente 1 tonelada de aluminio.

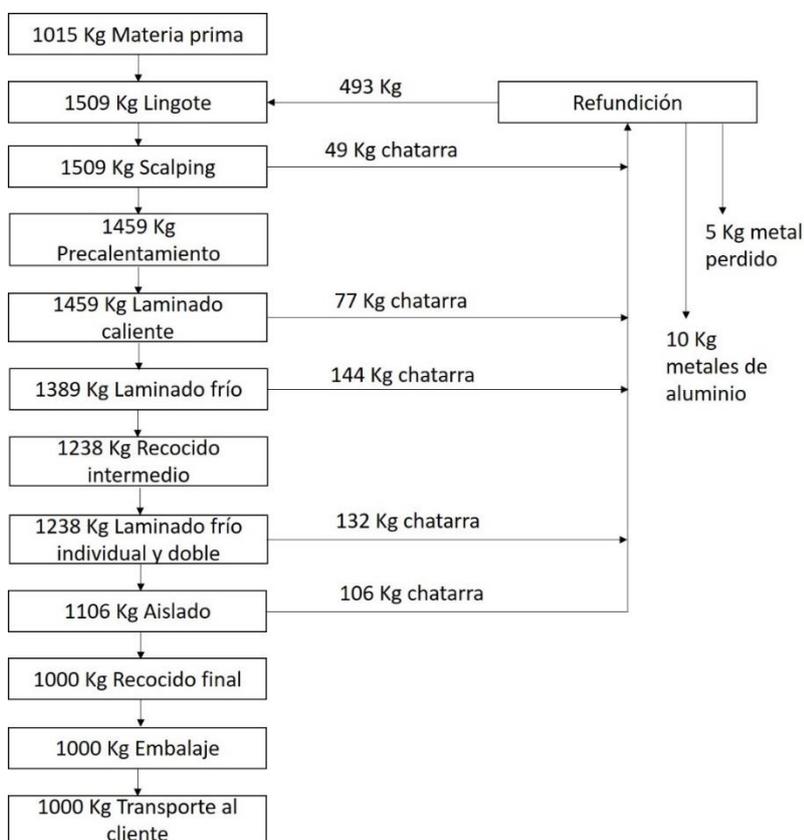


Ilustración 24. Esquema de fabricación del aluminio

Fuente: Helsinki University of Technology Lifelong Learning Institute Dipoli

El aluminio puro (materia prima) se mezcla con la chatarra procedente de la refundición para continuar posteriormente en el *scalping* (estirado en hilera), precalentamiento, etc.

En los procesos como el *scalping* el laminado en caliente, el laminado en frío, el laminado frío individual y doble y la separación se producen metales inservibles (chatarra). Para aprovecharlos, estos materiales son enviados al horno para refundir y mezclarlo con los lingotes. Sin embargo, en la refundición hay una pérdida material que no pueden ser recirculados. Se pierden aproximadamente 15 kg de metal por cada 1000 kg de aluminio producido.

En otras palabras, aproximadamente media tonelada de chatarra es sometido a refundición de entre los cuales casi el 3% no son reutilizables (*Tabla 7*).

Tabla 7. Cantidades de efluentes de la refundición

Refundición (total chatarra)	508	kg
metal perdido	5	kg
metales de aluminio	10	kg

En cuanto a la electricidad, se consumen en total 862 kWh. Por lo que la electricidad consumida para la producción de 0,0026 kg de aluminio se necesitan 0,0022 kWh.

También se consumen otros materiales aparte del aluminio puro como son los que aparecen en la tabla *Tabla 8*.

Tabla 8. Otros materiales

Lingote de aluminio	1015	kg
Sal	0,185	kg
Cloro	0,22	kg
Lima	2,35	kg
Argón	0,37	kg
Embalaje	263	kg
Aceite de laminación	6,04	kg

Fuente: Helsinki University of Technology Lifelong Learning Institute Dipoli

Como consecuencia de la producción de 1 tonelada de aluminio, se emiten determinadas partículas a la atmósfera y al suelo (*Tabla 9*). Los gases que se emiten a la atmósfera, el 98 % es el dióxido de carbono mientras que el resto son en muy bajas concentraciones.

Debido a los procesos de función se producen partículas sólidas como es

el polvo. Lo cual es importante gestionar, ya que por cada 1000 kg de aluminio producido se generan aproximadamente 10 kg de polvo.

Tabla 9. Emisiones del aluminio

Papel de aluminio	1000	kg
<u>Emisiones atmósfera</u>		
VOCS	6,04	kg
polvo	0,05	kg
CO	0,065	kg
óxidos nitrógeno	0,46	kg
fluoruro de hidrógeno	0,0047	kg
N ₂ O	0,35	kg
hidrocarburo	0,065	kg
CO ₂	345,84	kg
<u>Emisión suelo</u>		
polvo de filtro	4,38	kg
polvo de molino	5,5	kg

Fuente: Helsinki University of Technology Lifelong Learning Institute Dipoli

- Transporte

Como ya se ha dicho anteriormente, tanto el papel de aluminio como el papel de film transparente son de la marca de Mercadona, por ello, ambos productos proceden de la industria ITS ubicado en Países Bajos. Éste es una empresa dedicada a la fabricación de embalajes para uso doméstico tales como papel de aluminio, papel estirable como film transparente. Concretamente se encuentra en la calle Nagelpoelweg 56, 7333 NZ Apeldoorn como se puede observar en el mapa (*Ilustración 25*). Desde este lugar, transporta los productos a Mercadona (Carrer de l'Enginyer Balaguer, 94, 46240 Carlet, València). Se ha supuesto que los productos serán transportados por vía terrestre mediante camiones. Se ha calculado que la trayectoria ente ambos puntos es de 1.916 km, es decir, 0,0049 tkm según el envoltorio para un bocadillo.



Ilustración 25. Trayectoria para transportar el papel de aluminio y el film transparente

Fuente: Google Maps

- Fin de vida

El papel de aluminio no es reutilizable ya que una vez utilizado pierde sus propiedades iniciales. Por tanto, después de su uso, el consumidor tiende a desecharlo al contenedor orgánico, en vez de tirarlo al contenedor amarillo.

El aluminio es un material de difícil degradación, pudiendo tardar desde 80 hasta 200 años (NHDES⁷, s.f.) en descomponerse. Pues es importante incluir en el modelo las tasas de reciclaje, dado que la extracción de la materia prima requiere grandes cantidades de recursos y energía.

b) Papel de film transparente

- Características generales:

El papel de film (*Ilustración 26*) procede de la misma marca que el papel de plata, por tanto, las características son similares. Pero a diferencia de este último, es que es de 80 m de largo y los pesos se encuentran en la tabla siguiente (*Tabla 10*).

⁷ NHDES: New Hampshire Department of Environmental Services.

Tabla 10. Características del film transparente

Film		
Todo	0,26	kg
Caja de carton	0,03	kg
Film+rollo de catón	0,23	kg
Film	0,195	kg
Tubo de cartón	0,035	kg



Ilustración 26. Film transparente

- Producción

El rollo de papel film es producido a partir de una máquina automática de fabricación de film transparente. Como por ejemplo, para las características generales de dicho aparato se encuentran en la *Tabla 11*. Para el caso estudiado, se utilizará concretamente el modelo que consume 0,65 kWh según la bibliografía obtenida de la base de datos Ecoinvent. Entonces el extrusor consumirá 0,0007 kWh para 0,0011 kg de film.

Tabla 11. Ejemplo de ficha técnica de máquina de fabricación de film transparente

Modelo	LS-1000-65x2	LS-1000-80/60
Diámetro del tornillo	65mm x 2	80/60
Longitud del tornillo en relación con el diámetro	30;1	30;1
Ancho	1300 mm	1300 mm
Ancho del producto	1000 mm	1000 mm
Espesor del producto	0,01-0,03 mm	0,01-0,03 mm
Máxima extrusión	90 kgh	100 gh
Potencia del motor principal	185 kW	30 kW/15 kW
Potencia de calentamiento	64 kW	66 kW
Consumo de aire	0,8m ³ /min	0,8 m ³ /min
Consumo de agua	0,5 m/min	0,5 m/min
Potencia total	104 kW	110 kW
Fuente de alimentación	380/3/4/50(Volt/Ph/	380/3/4/50(Volt/
Dimensiones	9000x2350x2400 m	9200x2350x2400 mm

Fuente: Alibaba 1688

A parte de la energía eléctrica también consume 0,8 m/min de aire y 0,5 m/min de agua. Según la información proporcionada por los fabricantes, este equipo no emite contaminantes.

- Transporte

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, el film transparente procede del mismo lugar que el papel de aluminio.

- Fin de vida

El film tiene un tiempo de degradación de 20-30 años (NHDES, s.f.) puesto que se trata de un polímero. No obstante, la tasa de reciclaje del film es casi nula, ya que se utilizan cantidades bajas y además son ensuciados por el propio bocadillo. Por lo tanto, generalmente son residuos orgánicos destinados a eliminación por vertederos o incineración.

c) El recipiente de plástico

- Características generales

El recipiente plástico rectangular (*Ilustración 27*) también es de Bosque

Verde y tiene un volumen de 1,3 l para el almacenaje de comida (*Tabla 12*). Aunque en este caso, solamente se guardará un bocadillo.

Tabla 12. Características del táper

Tapper		
Largo	26	cm
Ancho	15,2	cm
Diagonal	26	cm
Profundidad	5,4	cm
Superficie	395,2	cm ²
Volumen	2134,1	cm ³



Ilustración 27. Táper de plástico

- Producción

La máquina de moldeo por inyección (*Ilustración 28*) permite elaborar recipientes de plástico a través del calentamiento de los gránulos de polipropileno. En la tabla siguiente (*Tabla 13*) se muestran tres modelos distintos para el moldeo, como un ejemplo de prototipo de máquinas de moldeo por inyección. En este caso se eligió se consideró que la máquina consume 1,478 kWh con los datos obtenidos de la base de datos Ecoinvent. De modo que se consumirá 0,103 kWh hora para 0,007 kg de recipiente de plástico.

Tabla 13. Ejemplo de ficha técnica de la máquina de moldeo por inyección

Modelos	Sistema	Ciclo de moldeo	Tiempo de retención	Tiempo de prueba	Consumo de energía	Producto moldeado	Producto individual	Relación de consumo de energía	Relación de ahorro de energía
TH630/SP	Pulpa cuantitativa	52	4	8	167,6	554	0,3	100%	0%
TH630/SP	Pulpa variable VDP	52	4	8	93,12	554	0,17	56%	44%
TH630/SP	SVP	50	4	8	42,4	576	0,07	24%	76%

Fuente: Alibaba 1688



Ilustración 28. Máquina de moldeo por inyección

Fuente: Alibaba 1688

- Transporte

El recipiente de plástico es fabricado en una industria de España. Se trata de la empresa SP Berner Plastic Group S.L. ubicada en Aldaia (Valencia). Esta instalación se encuentra a 34 Km del supermercado como se puede observar en el mapa (*Ilustración 29*). Por lo que los camiones cargados de recipientes tendrán que recorrer dicha distancia y con un valor de 0,0024 tKm.

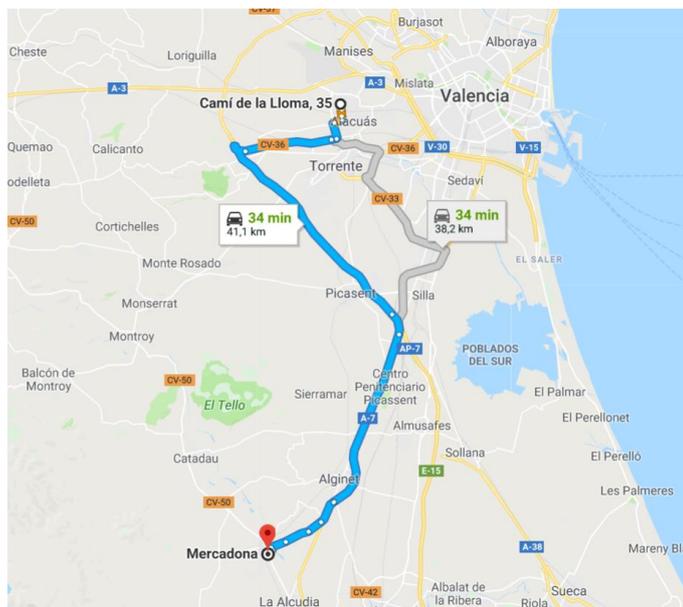


Ilustración 29. Trayectoria para transportar el táper

Fuente: Google Maps

- Fin de vida

La ventaja del recipiente de plástico es que se puede utilizar infinitas veces durante su vida útil. Pero, el material se deteriora cuantas más veces se utiliza por lo que al final de su etapa de vida, será desechado al contenedor. Este recipiente puede ser desechado al contenedor amarillo, aumentando así las tasas de reciclaje, dado que, los polímeros son materiales difíciles de degradarse.

Se ha supuesto que para el lavado del recipiente se utiliza una lavavajilla de alta eficiencia de la marca de Balay. Las propiedades de dicho equipo se caracterizan por consumir 0,82 kWh y 9,5 litros.

d) Bolsa alimenticia de papel Kraft

- Características generales

Por último, la bolsa alimenticia de papel Kraft (*Tabla 14 e Ilustración 30*) obtenida de una tienda comercial y se utilizará una por cada bocadillo.

Tabla 14. Características de la bolsa alimenticia

Bolsa alimenticia		
Largo	25,4	cm
Ancho	13,4	cm
Superficie	340,36	cm ²



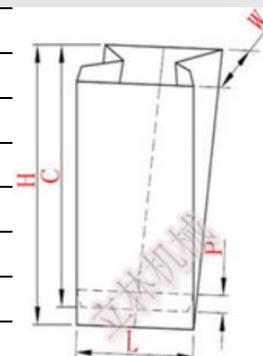
Ilustración 30. Bolsa alimenticia de papel Kraft

- Producción

Con la introducción de los rollos de papel Kraft en la máquina de fabricación de bolsas alimenticias (*Ilustración 31*) de modelo LSD-400, se producen las bolsas de forma automática. El consumo es de 0,00019 kWh para cada bolsa y con una capacidad productiva de 700 bolsas/minuto (*Tabla 15*).

Tabla 15. Ejemplo de ficha técnica de la máquina de fabricación de bolsa alimenticia de papel Kraft

Modelo	LSD-400
Longitud de la bolsa de corte (C)	100 – 410 mm
Longitud de la bolsa (H)	90 – 400 mm
Ancho de la bolsa (L)	70 – 220 mm
Ancho de borde (W)	0 – 120 mm
Altura de la escalera (P)	15 – 18 mm
Velocidad máxima	700 unidad/min
Peso máximo del rollo	400 kg
Diámetro máximo de rollo	1100 mm
Diámetro interior del rollo de papel	76 mm
Peso del papel	30 – 80 m ³ /g
Sistema de control de corrección	Sistema fotoeléctrico de doble corrección automática
Sistema de control de tensión	Sistema de control de tensión constante completamente dinámico
Método de unión	Recubrimiento de rodillo de cola fría
Sistema automático de marcado de puntos	Sí
Fuente de gas de trabajo	>0,12 m ³ /min, 0,6 -1 MPa
Motor principal	Tres servomotores
Poder	8 kW
Peso	3000 kg
Dimensiones	4350x1400x16500 mm



Fuente: Alibaba 1688



Ilustración 31. Máquina de fabricación de bolsa alimenticia de papel Kraft

Fuente: Alibaba 1688

- Transporte

Y la bolsa alimenticia de papel Kraft proviene de la empresa Interpack, ubicado en Córdoba (España). El camión recorre 557 km para transportar el producto desde la industria hasta Carlet (*Ilustración 32*). Entonces el transporte será de 0,003 tKm.

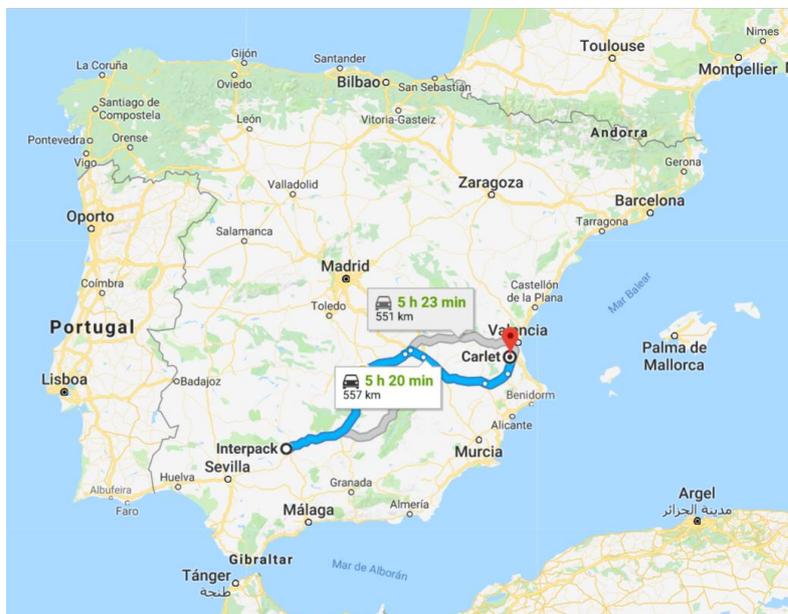


Ilustración 32. Trayectoria para transportar la bolsa alimenticia

Fuente: Google Maps

- Fin de vida

La bolsa alimenticia de papel Kraft, al igual que el papel de aluminio y el film transparente, son productos de un solo uso. Por este motivo, para su eliminación son sometidos a procesos de incineración o depositados en los vertederos.

3.2 Modelación de datos del inventario en el SimaPro

En este apartado se describe la modelización de los cuatro productos.

Antes de empezar, es necesario conocer que el programa contiene dos tipos de procesos:

- “Production”: que se refiere al proceso de elaboración incluyendo así

los materiales y energías consumidas y las emisiones.

- “Market”: que corresponde a los productos disponibles en el mercado, incluyendo todos los materiales y energías consumidas y las emisiones hasta el momento de la compra.

Por otro lado, también existen unas siglas que definen la procedencia del dato. Pues por ejemplo, el {RER} indica que son datos de Europa; si es {RoW} significa que son datos del resto del mundo; y, por último, si es {GLO} son datos globales.

La versión de SimaPro utilizado para este estudio es el 8.5.2.0, con los datos procedentes de la base de Ecoinvent V.3 y el método utilizado es el ReCiPe 2016, concretamente Midpoint (H).

A continuación se exponen los materiales y procesos elegidos para cada producto estudiado. Sin embargo, debido a la limitación de información sobre los procesos en la base de datos, pues se ha despreciado algunos vectores del ACV, como por ejemplo la incineración para los residuos urbanos del aluminio. Además se ha supuesto el mismo tipo de camión para el transporte de los cuatro bienes. Y en cuanto al consumo de energía, ya están incluidos dentro de los procesos, es decir, el gasto eléctrico es el que se encuentra en la base de datos. A excepción del caso de la bolsa de papel, donde parámetro eléctrico indica la energía consumida por la máquina.

- Aluminio

Para la modelación del ACV del aluminio se han considerado los procesos de la tabla siguiente (*Tabla 16*):

Tabla 16. Procesos de modelación del ACV del papel de aluminio

Lingote de aluminio	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} production APOS, U
Trabajo de metal	Metal working, average for aluminium product manufacturing {RER} processing APOS, U
Caja de cartón	Carton board box, production, with gravure printing {RoW} carton board box production service, with gravure printing APOS, U
Rollo de cartón	Core board {RoW} production APOS, U
Transporte por camión	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for APOS, U
Vertedero	Waste aluminium {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
Reciclaje	Aluminium (waste treatment) {GLO} recycling of aluminium APOS, U

- Film

Para el film se ha incorporado el proceso de producción de los gránulos de polietileno, así como la fabricación del film y, al igual que el aluminio se incluyeron la caja de cartón y el rollo (*Tabla 17*).

Tabla 17. Procesos de modelación del ACV del papel film

Gránulos de polietileno	Polyethylene, low density, granulate {RER} production APOS, U
Extrusión	Extrusion, plastic film {RER} production APOS, U APOS, U
Caja de cartón	Carton board box, production, with gravure printing {RoW} carton board box production service, with gravure printing APOS, U
Rollo de cartón	Core board {RoW} production APOS, U
Transporte de camión	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for APOS, U
Incineración	Waste plastic, mixture {Europe without Switzerland} treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration APOS, U
Vertedero	Waste plastic, mixture {Europe without Switzerland} treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill APOS, U

- Recipiente de plástico

En la modelación de los recipientes de plástico se han incluido la fabricación de los gránulos de polipropileno y para la obtención del recipiente se basó en proceso de moldeo por inyección (*Tabla 18*). Otro factor a tener en cuenta fue el lavado del propio táper, en el que solamente se ha introducido el consumo el eléctrico y de agua de una lavavajilla.

Tabla 18. Procesos de modelación del ACV del recipiente de plástico

Gránulos de PP	Polypropylene, granulate {RER} production APOS, U
Moldeo por inyección	Injection moulding {RER} processing APOS, U
Transporte por camión	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for APOS, U
Lavado	Electricity, low voltage {ES} market for APOS, U
	Water supply network {GLO} market for APOS, U
Reciclaje	PP (waste treatment) {GLO} recycling of PP APOS, U

- Bolsa alimenticia

Por último, se definieron para la fabricación de la bolsa de papel Kraft los siguientes procesos (*Tabla 19*):

Tabla 19. Procesos de modelación del ACV de la bolsa alimenticia

Papel Kraft	Kraft paper, unbleached {RER} production APOS, U
Doblado	Folding boxboard/chipboard {RER} folding boxboard production APOS, U
Electricidad	Electricity, medium voltage {ES} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U
Transporte	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for APOS, U
Reciclaje	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper APOS, U
Incineración	Waste packaging paper {RoW} treatment of, municipal incineration APOS, U

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Impacto ambiental de los productos evaluados según la metodología ReCiPe 2016 Midpoint

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante la introducción de los datos del inventario en el SIMAPRO. Con ello, se pretende cuantificar los impactos ambientales, así como la identificación de los impactos más relevantes.

4.1.1 Papel de aluminio

En la *Ilustración 33* se muestra los resultados del análisis de impacto de ciclo de vida del uso del papel de aluminio para el envolver un bocadillo. Como se puede observar, para todos los indicadores, el proceso de fabricación es el mayor contribuyente. Es decir, incluyendo la obtención del lingote de aluminio; la producción de las láminas de aluminio; la fabricación de las cajas y rollos de cartón; y, el consumo de la electricidad. Mientras que los impactos por el transporte aunque sea una trayectoria larga (desde Holanda a España) son mínimas en comparación con los procesos industriales. En la gráfica también aparecen valores en negativo. Estos valores hacen referencia al reciclaje del aluminio. Se observa claramente que con ello se llega a compensar, en general, casi un 73% de impacto generado de la categoría de calentamiento global o en

la formación de partículas finas. Por lo que, mediante el proceso del reciclaje se consigue disminuir los impactos generados por la actividad, así como la reducción en la huella de carbono.

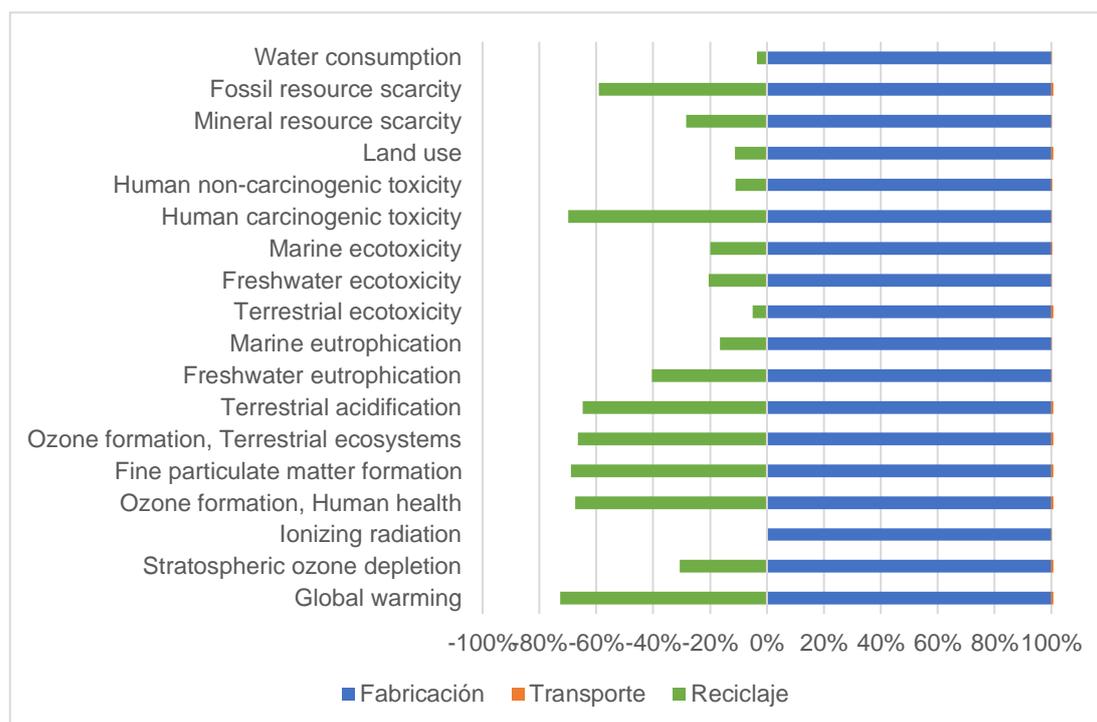


Ilustración 33. Resultados del ACV del papel de aluminio

Los impactos se deben fundamentalmente a la fabricación del producto. El término de fabricación involucra todas las actividades relacionadas con la elaboración del producto, entonces a partir de la *Ilustración 34* se puede determinar cuáles son los medios más afectados en términos de porcentaje calculados con los datos del inventario.

En cuanto a los procesos de elaboración del aluminio (lingotes y láminas), el lingote tiene mayor contribución en el impacto que la lámina. Como por ejemplo, para la categoría de calentamiento global, los lingotes aportan un 78% de impacto y el trabajo de metal un 48%. Esta fase afecta principalmente sobre el cambio climático dado que se generan concentraciones significativas de dióxido de carbono procedentes de las fundiciones de los metales en los hornos y en los procesos de electrólisis. Puesto que para la fabricación de los lingotes es necesario la utilización de diversas maquinarias, esto implica un consumo importante de la energía eléctrica, el cual también causa las emisiones de CO₂.

Sin embargo, para la mayoría de las categorías, los impactos son generados por la producción de las piezas de embalaje del producto, es decir,

la caja y el tubo de cartón. El rollo de cartón impacta por encima del 20% para la mayoría de las categorías. Este elemento contribuye sobre la ecotoxicidad terrestre, el impacto es causado por parte de la fabricación del propio rollo, fruto de la obtención de la materia prima. Por lo que es interesante el reciclaje de estas piezas del producto, aunque en este documento no se ha tenido en cuenta. Mientras que el otro componente del embalaje, la caja de cartón, también tiene contribuciones importantes, a excepción de algunas categorías como la radiación ionizante, la ecotoxicidad terrestre, escasez de recursos minerales y consumo de agua. En tales casos las atribuciones son menores del 5%. En comparación con las emisiones de la producción de los lingotes, las cantidades de gases de efecto invernadero generadas en la fabricación del tubo de cartón son menores. Por lo que su contribución al calentamiento global también es menor.

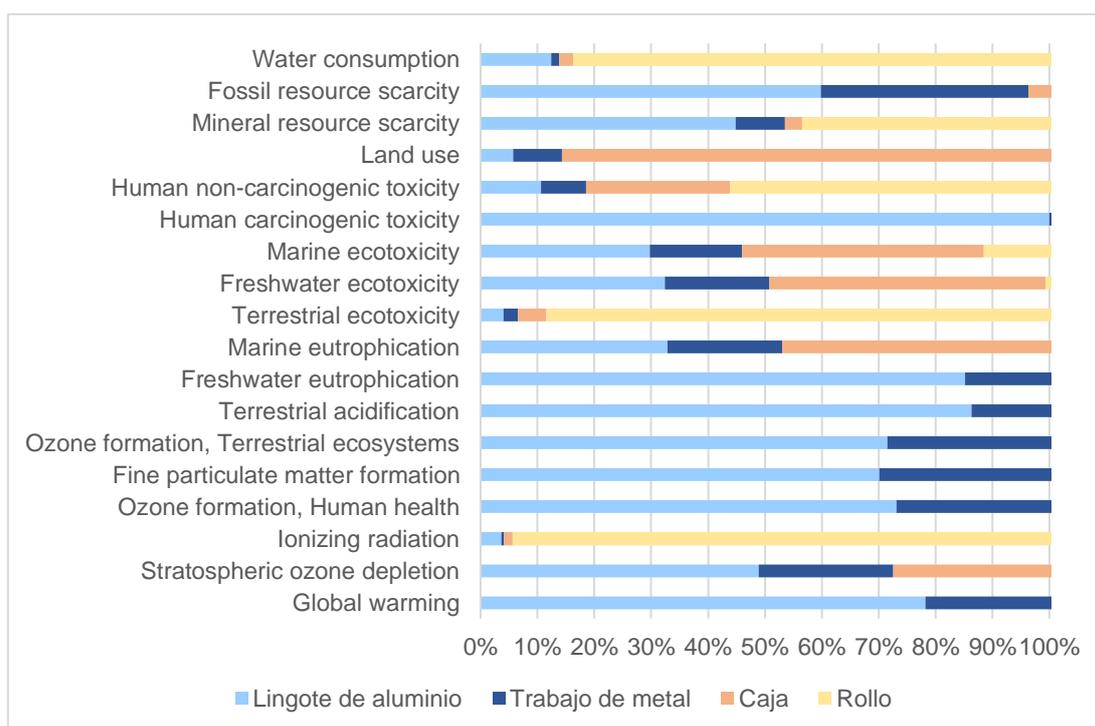


Ilustración 34. Resultados de ACV del papel de aluminio

4.1.2 Papel de film

En la gráfica siguiente (*Ilustración 35*) se muestran los resultados obtenidos del ACV del papel de film transparente. Los mayores impactos son generados por la fabricación del propio producto. El término de fabricación del producto engloba la producción de los gránulos de polietileno, la elaboración de las láminas de film transparente, la electricidad así como las piezas de embalaje (la caja y el tubo de cartón).

Después, en menor medida, por el transporte de camión desde Holanda hasta España. Además, cabe destacar que los residuos depositados en los vertederos también influyen negativamente sobre los ecosistemas. Por tanto, son un factor adicional sobre los impactos, aunque en este caso sean despreciables en comparación con las actividades desencadenadas de la fase productiva.

Por un lado, se puede observar que la etapa industrial es el mayor contribuyente para todas las categorías. Esto se debe al conjunto de actividades realizadas durante esa fase.

Y por otro lado, la eliminación de los films por deposición en los vertederos contribuye, aunque no se aprecia en la gráfica, sobre el ecosistema acuático tanto marino como dulce. Causando impactos tales como la eutrofización (11%) y ecotoxicidad marina (4%) y de agua dulce (4%). Además, es un precursor de la generación de las sustancias tóxicas de carácter no carcinogénica (3%) sobre la salud humana. Lo cual indica que es necesario disminuir el uso de vertederos.

El transporte por camión afecta a todos los ecosistemas (entre el 1-24%), pero especialmente para la capa de ozono (salud humana y terrestre), siendo casi el 24% del impacto total. Cabe destacar que el transporte rodado se emiten gases de CO₂ y tratándose de una trayectoria de larga distancia, estas concentraciones solamente contribuyen aproximadamente un 13% sobre el calentamiento global. A pesar de ello, las concentraciones emitidas en la etapa de la fabricación siguen contribuyendo más a esta categoría que el transporte.

ACV de diferentes productos para conservación de comida

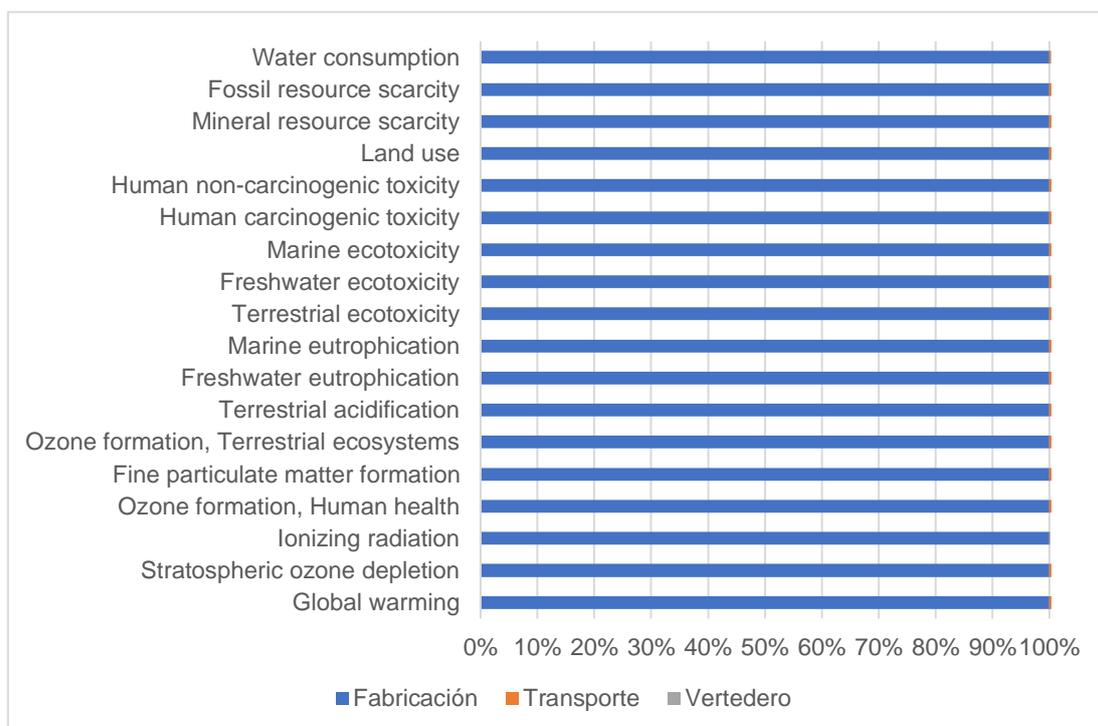


Ilustración 35. Resultados de ACV del papel de film

Al igual que el término de fabricación de aluminio, para el caso de la fabricación de papel film, se incluyen los procesos de producción de los gránulos de polietileno; la extrusión de las láminas de film, la caja y el rollo de cartón, donde el consumo eléctrico de los equipos ya se encuentra incluidos en dichos procesos.

A diferencia del producto comentado en el apartado anterior, en la *Ilustración 36* se muestra un alto impacto por parte de la producción de los componentes de empaquetamiento del papel film. En el caso anterior, ambos elementos juntos alcanzaban casi el total de los impactos junto con el proceso de fabricación. Sin embargo, ahora los impactos de la etapa productiva contribuyen menos del 11% para todas las categorías, a excepción de la escasez de recursos fósiles. En cuyo indicador, la fabricación de los gránulos de polietileno retoma importancia, con un impacto del 23%. Debido a que para la elaboración de los polímeros se utiliza recursos fósiles, como el petróleo. De entre los dos complementos del producto, la fabricación de la caja influye más que el tubo.

Luego, la fabricación de la caja de cartón influye de manera exponencial sobre los usos del suelo, lo cual indica que para la obtención de la materia prima requiere modificaciones sobre la función original del suelo.

En cambio, como se ha mencionado anteriormente, la fabricación del

producto en sí (gránulos de polietileno y extrusión) tienen muy bajos impactos sobre todos los indicadores. Ya que los datos se basan para un envoltorio de bocadillo, mientras que los datos de la caja y el tubo es para guardar un rollo de 80 m de film transparente. Pues desde este punto de vista, es interesante reciclar para los dos complementos del producto, ya que también contribuyen de manera significativa sobre los indicadores analizados.

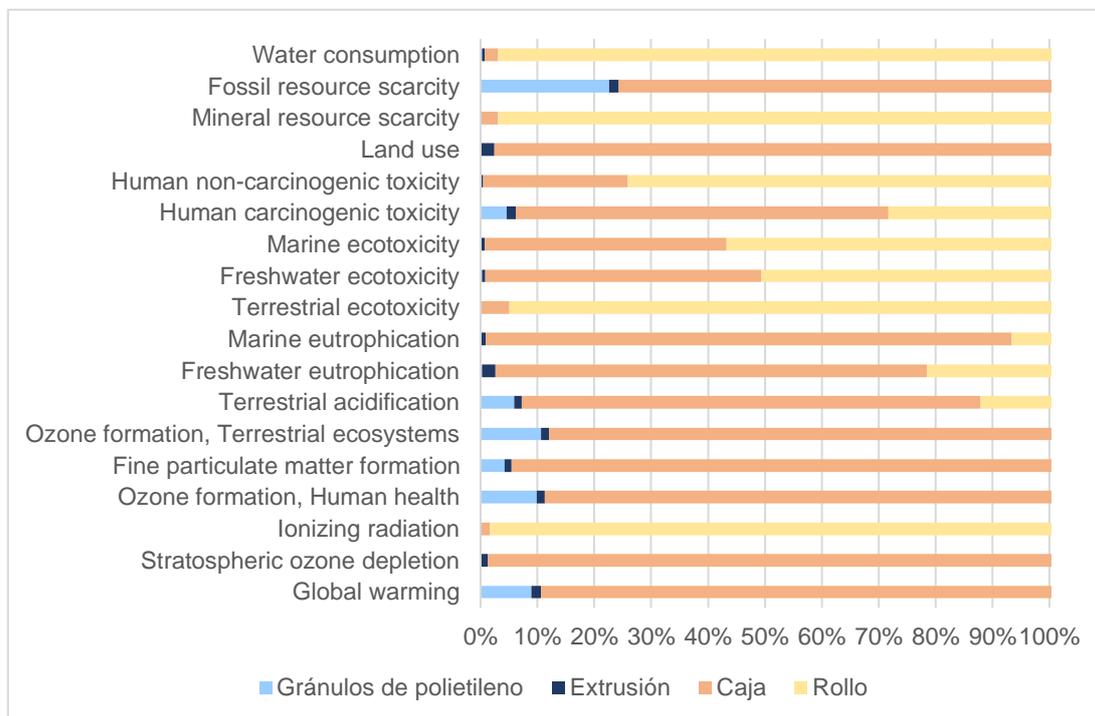


Ilustración 36. Resultados de ACV del papel de film

4.1.3 Recipiente de plástico

En el ACV del recipiente de plástico (*Ilustración 37*) los principales impactos se concentran en la etapa del lavado. En general, el proceso de fabricación es el principal contribuidor para todas las categorías, exceptuando para la categoría de eutrofización marina, toxicidad humana carcinogénica y la escasez de recursos minerales, donde aporta menos del 40% del total. Un punto a destacar de la etapa de lavado del recipiente es el empleo de detergentes, por lo que las aguas vertidas contienen concentraciones de compuestos químicos. Esta circunstancia justifica los elevados porcentajes en el ecosistema marino. Como se puede observar en la gráfica, el lavado contribuye de forma significativa para la ecotoxicidad marina (57%). Además, contribuye sobre los otros medios que son para la toxicidad humana carcinogénica, y para la ecotoxicidad terrestre.

Luego, en comparación con la etapa del transporte, el impacto de este es casi nulo sobre los indicadores. No obstante, para la ecotoxicidad terrestre, alcanza a contribuir un 4%. Puesto que la carga pesada mediante camiones supone un impacto significativo para el medio terrestre.

Por el contrario, los resultados del reciclaje se encuentran en negativo. Esto indica una disminución de los impactos ya que afectan de forma positiva al ecosistema. Como por ejemplo es el caso del agotamiento de los recursos fósiles, donde hay un 81% de compensación. Puesto que mediante el reciclaje, se disminuye la necesidad de la extracción de nuevas materias primas. A partir de este tipo de gestión también se logra un 67% menos de impacto con respecto al calentamiento global. No obstante, el reciclaje disminuye muy poco los impactos encadenados a la toxicidad.

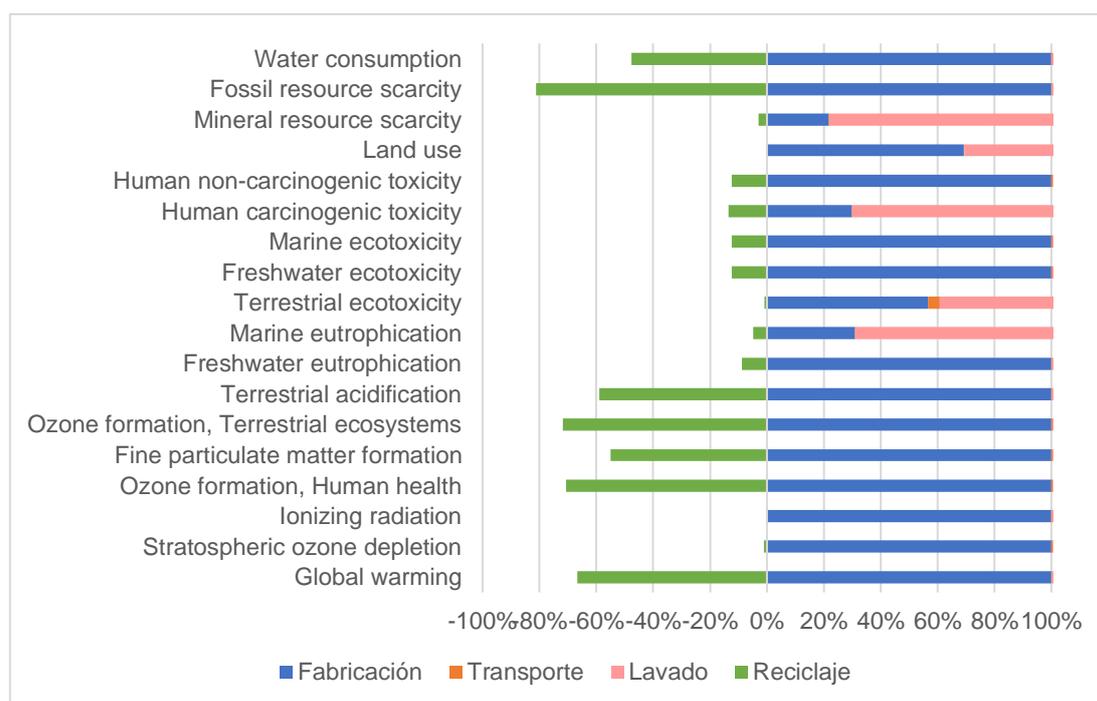


Ilustración 37. Resultados de ACV del recipiente de plástico

Dentro de los procesos de fabricación del recipiente (producción de gránulos de polipropileno y moldeo por inyección) los impactos ocurren como consecuencia de (Ilustración 38):

- Gránulos de polipropileno. Éste afecta sobre todo en el calentamiento global; la formación del ozono en salud humana y terrestre; toxicidad humana carcinogénica (83%) y, sobre el agotamiento de los recursos fósiles. La formación del ozono se debe a las emisiones de gases como los monóxidos de carbono, los óxidos de nitrógeno o las partículas sólidas desprendidos durante la

fase de refinería. Como materia prima para dicho proceso utilizan el petróleo, el cual implica el alto impacto sobre la explotación de los recursos fósiles.

- Moldeo por inyección. Éste induce sobre todas las categorías, pero contribuye de manera significativa sobre las siguientes: agotamiento del ozono troposférico; radiación ionizante; eutrofización del agua dulce; ecotoxicidad terrestre; y, en los usos del suelo. El agua se utiliza para el buen funcionamiento de los rodillos y el enfriamiento de las láminas una vez atravesados por el extrusor, y por consecuencia estas aguas vertidas pueden incrementar las concentraciones de los nutrientes.

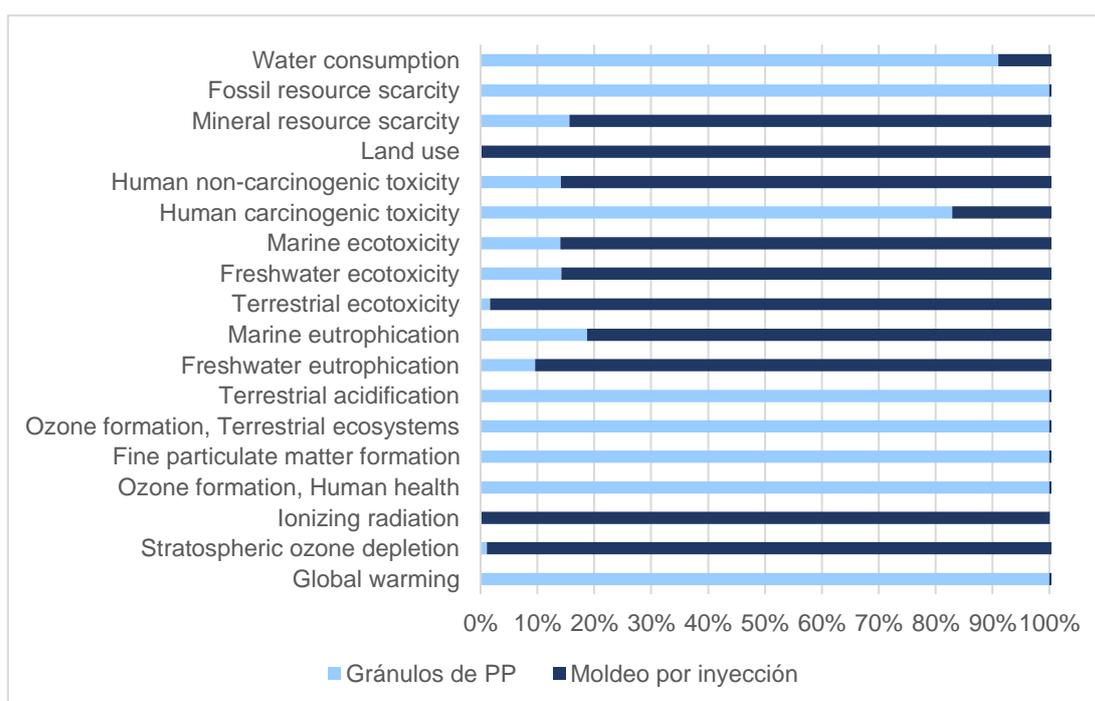


Ilustración 38. Resultados de ACV del recipiente de plástico

4.1.4 Bolsa alimenticia

Todas las fases del ciclo de vida de la bolsa alimenticia de papel Kraft tiene algún impacto sobre las categorías presentadas en la *Ilustración 39*. Pero aun así, en general, los impactos son inducidos por la etapa de fabricación y luego, en menor porcentaje por el transporte y la incineración.

La fase de fabricación del producto contribuye para todas las categorías. Esto se debe a que el transporte y la incineración no generan impactos tan significativos como los de fabricación. Para el transporte, en general,

solamente contribuye entre 1 al 7%. Aunque la ecotoxicidad terrestre alcanza un 17% del impacto total de dicha categoría, puesto que el transporte se trata de una actividad de carga pesada.

Luego en cuanto a la incineración, también tiene impactos importantes sobre determinadas categorías. Como es el caso del agotamiento de la capa de ozono troposférico (37%) dado que las reacciones de combustión generan contaminantes que destruyen los O₃ presentes en la capa. A pesar de ello, la contribución para este indicador sigue siendo menor que la fase de fabricación. Al tratarse de agentes contaminadores de la atmósfera, conlleva a la generación de impactos de tema toxicológico. Tales como la ecotoxicidad de agua dulce (31%); la ecotoxicidad marina (28%); toxicidad humana carcinogénica (17%) y la toxicidad no carcinogénica (13%).

Por el contrario, mediante el reciclaje, disminuye los impactos causados por los procesos anteriores. Para algunos indicadores el reciclaje puede alcanzar a disminuir la mitad del impacto total. Este es el caso de la formación de partículas finas (57%), que fueron generadas durante la fabricación. Incluso también aporta de manera positiva a la eutrofización marina (12%), con el objetivo de evitar la contaminación por nutrientes.

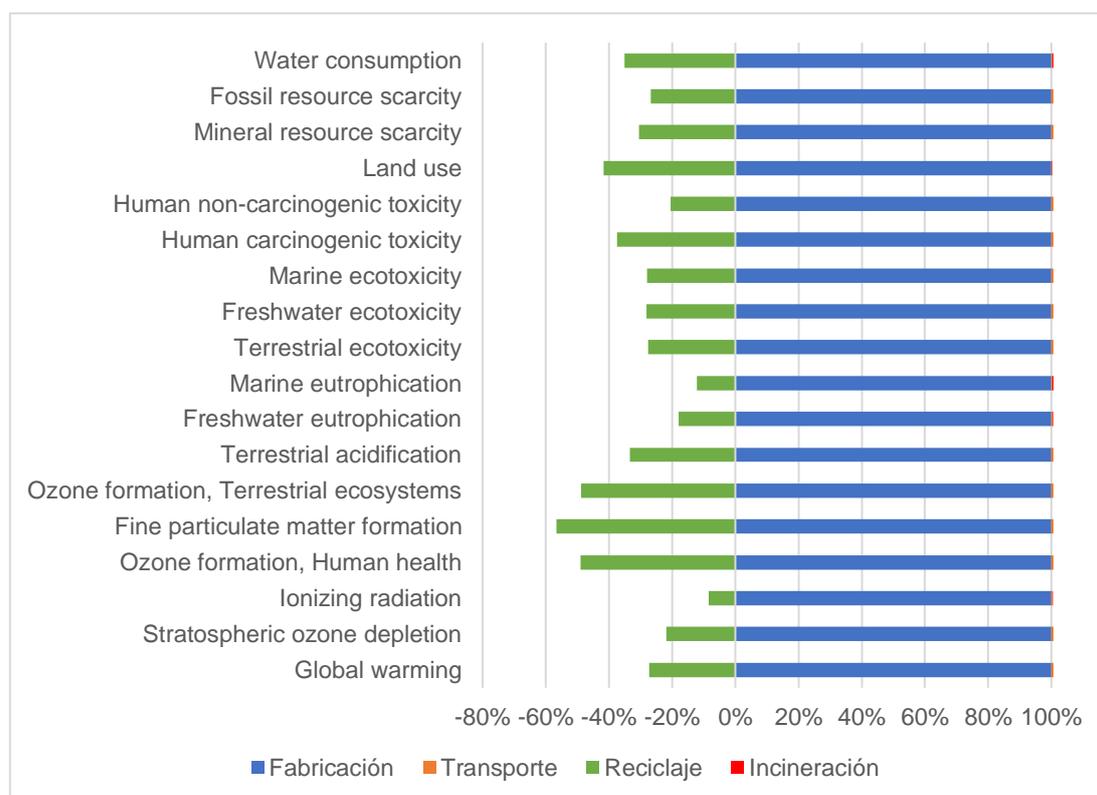


Ilustración 39. Resultados de ACV de la bolsa alimenticia

La etapa de fabricación incorpora el proceso de elaboración de la bobina de papel Kraft sin blanquear, el doblado para la confección de las bolsas y la electricidad consumida por el equipo de producción de las bolsas. Los impactos son producidos debido a la elaboración del papel Kraft sin blanquear y el doblado de la misma. Mientras que el consumo eléctrico mucho menor comparado con éste (*Ilustración 40*).

Tal y como aparece en la gráfica siguiente, el doblado contribuye menos de la mitad del impacto total o en incluso casi nulas para algunas categorías. En general, la fabricación del papel suele afectar más a los aspectos tales como el agotamiento del ozono troposférico; la ecotoxicidad terrestre; la toxicidad humana no carcinogénica; los usos de suelo o el consumo de agua. Mientras que el doblado interviene en los indicadores como la escasez de los recursos fósiles (56%) o el calentamiento global debido al consumo eléctrico de los dispositivos de doblaje.

Mientras que la contribución de la electricidad en sí de la industria es mínima en comparación con los otros dos procesos.

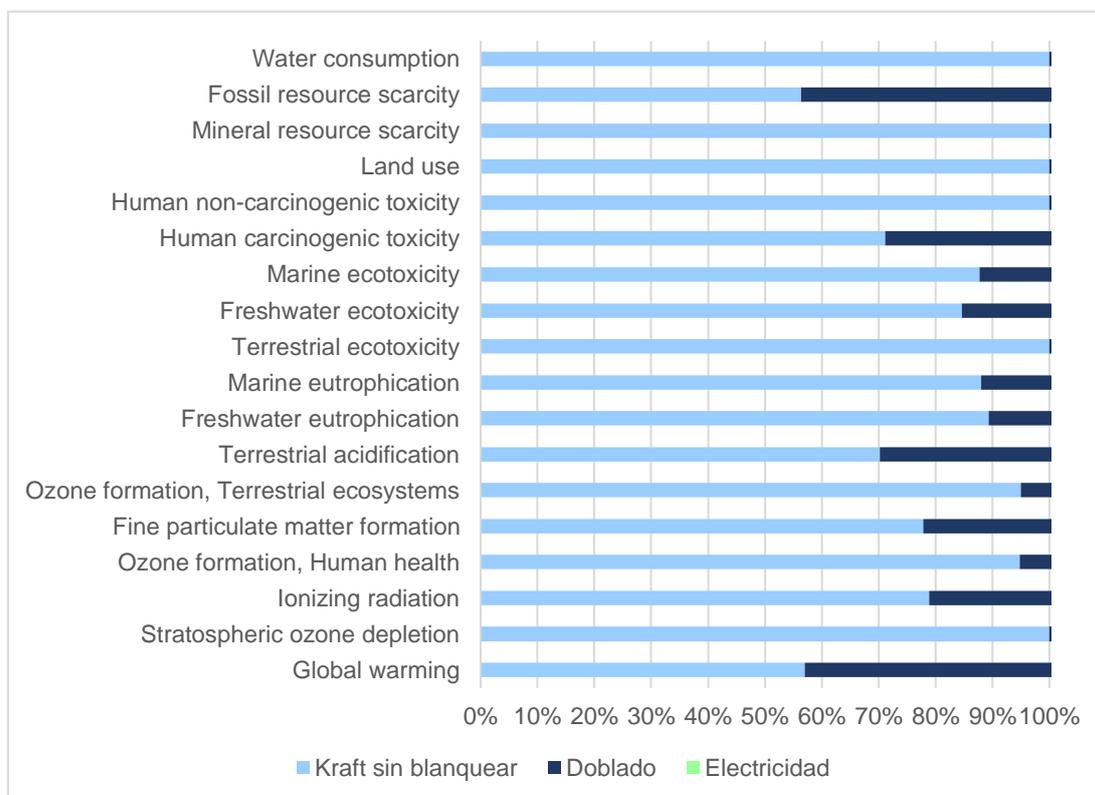


Ilustración 40. Resultados de ACV de la bolsa alimenticia

4.2 Comparación de los productos evaluados

En el apartado anterior se vieron todas las categorías de impacto existentes para la evaluación del ciclo de vida de un producto, y de entre éstos se escogieron los siguientes para un análisis de comparación:

- Calentamiento global
- Ecotoxicidad terrestre
- Toxicidad humana no carcinogénica
- Escasez de recursos fósiles
- Consumo de agua

Para el caso del táper se ha calculado según el número total de bocadoillos consumidos en los 3 años (540 bocadoillos). Porque este envase se utiliza de nuevo una vez limpio. Teniendo en cuenta de que en un lavado se pueden limpiar 9 fiambreras y por tanto 60 lavados durante el periodo de estudio. Mientras que para el resto, los resultados comprenden el impacto total de todos los bocadoillos consumidos. Asumiendo que se usarán 31 rollos de aluminio (17 bocadoillos por cada rollo) y 23 rollos de film transparente (23 bocadoillos por cada rollo).

A continuación se muestran las comparaciones entre los cuatro productos estudiados en función de los cinco indicadores de impacto más relevantes.

4.2.1 Calentamiento global

En la gráfica siguiente (*Ilustración 41*) se muestra las contribuciones de los procesos de cada producto para el calentamiento global. Los principales factores proceden de la fabricación del táper, es decir, el moldeo por inyección y la producción de los gránulos de polipropileno. En ellos se engloba las emisiones de CO₂ generados por las reacciones químicas de la refinería y polimerización. Luego, el consumo eléctrico también implica la emisión del CO₂, por lo que el uso de las maquinarias tanto para el moldeo como para la fabricación de los gránulos causa ese impacto.

Posteriormente, la fabricación de la caja y el rollo de cartón contribuyen en torno al 30% de los impactos del papel de albal y el film. Por lo que la fabricación de los complementos supone casi un tercio del impacto de los gránulos de PP.

El tercer contribuidor es el lingote de aluminio, que para la obtención de la misma, el metal es sometido a la refinería, lo que conlleva asociados altos

niveles de CO₂ (Ecotech, s.f.).

Y para el resto de procesos, en comparación con los dichos anteriormente, sus contribuciones al calentamiento global son menores.

Por tanto, en cuanto a los procesos de fabricación, desde el punto de vista del calentamiento global, el recipiente de plástico es el menos viable.

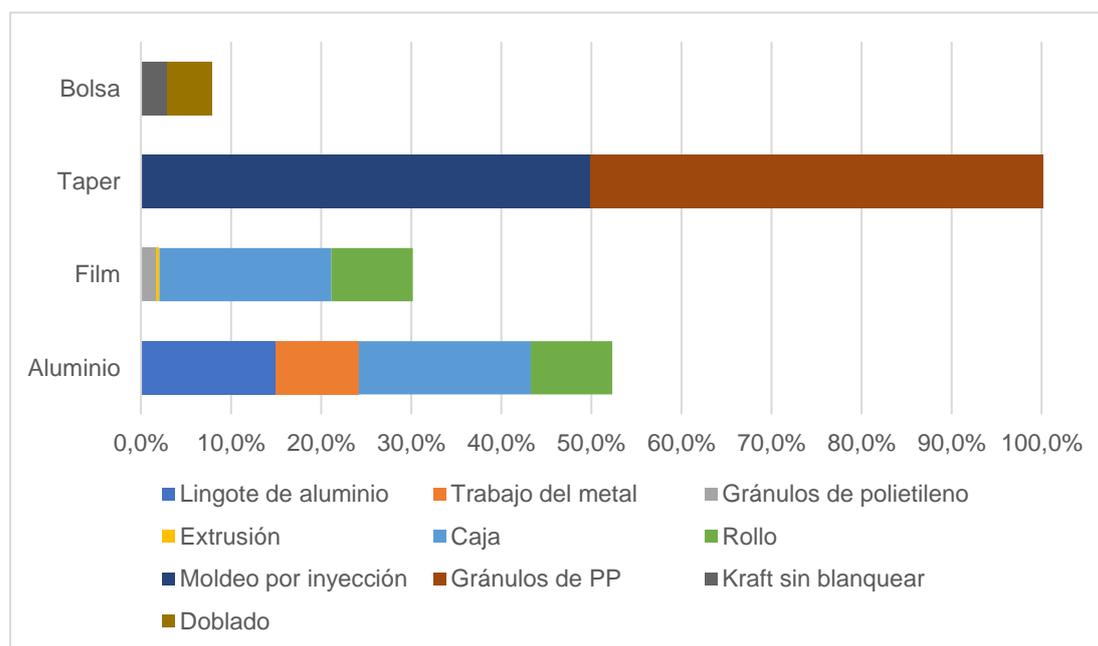


Ilustración 41. Comparación de los resultados de los productos según el calentamiento global

Anteriormente se ha visto en más detalle las contribuciones de las actividades de cada producto para el calentamiento global. Ahora, se analizará una comparación entre los productos sobre las contribuciones a la categoría durante la vida útil y el fin de vida (reciclaje) en función de cada bocadillo consumido. Exceptuando el caso del film, cuyo caso no se ha incluido el reciclaje, ya que se asume que el film residual no tiene las propiedades adecuadas para ser reciclado.

Para la categoría del calentamiento global (*Ilustración 42*) el producto más contaminante es la fiambarrera, el cual llega a producir 0,25 kg de CO₂ equivalentes/bocadillo. Este alto nivel de emisión se debe a la fabricación del táper, el cual consume energía eléctrica, fuente emisor de dichos contaminantes.

El film (0,05 kg de CO₂ equivalentes) causa impactos menores que el aluminio (0,08 kg de CO₂ equivalentes). El aluminio se debe a las

concentraciones de CO₂ emitidos en la etapa productiva. Como ya se ha mencionado en los apartados anteriores, para la elaboración de un trozo de aluminio, el principal gasto es el consumo energético. Este consumo alberga desde el proceso de refinería con la electrólisis, la fundición del metal hasta los gases de combustión emitidas por los camiones transportadoras, incluyendo además los elementos de empaquetamiento.

Y para la bolsa de papel, las concentraciones de gases de efecto invernadero son bajas, ya que prácticamente el consumo energético es debido a la maquinaria, y éste es relativamente bajo respecto a los demás.

Cabe destacar que mediante el reciclaje se consigue unas disminuciones importantes de CO₂, como es el caso del aluminio (reducción del 72% de los impactos). Como ya explicado en los anteriormente, la fabricación del aluminio implica el uso de grandes energías, y en consecuencia niveles de emisiones altos de dióxido de carbono. Para evitar dicho suceso, se recurre al reciclaje, ya que de esta manera se evitaría el proceso de la fabricación de lingotes a partir de materias primas nuevas.

Con el reciclaje de las bolsas de papel, también se pueden conseguir una disminución del 26% del impacto total generado para la obtención del producto.

El recipiente de plástico es el que mayor contribuye sobre el calentamiento global, sin embargo, con el reciclaje se puede alcanzar a reducir un 58% de los impactos totales.

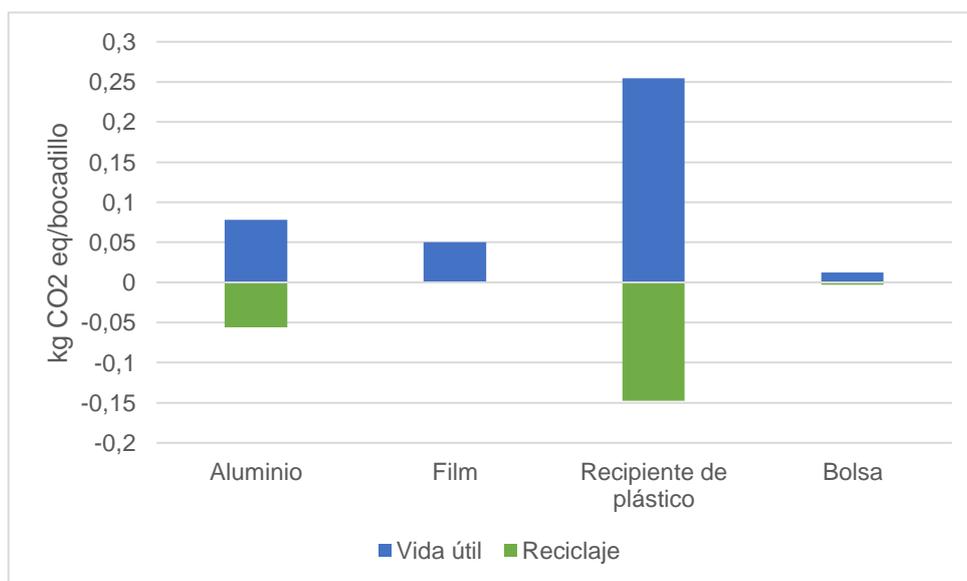


Ilustración 42. Comparación de los productos según el impacto del calentamiento global

4.2.2 Ecotoxicidad terrestre

Como se puede observar en la *Ilustración 43*, los impactos asociados a la producción del rollo de catón es el principal contribuyente para la categoría de la ecotoxicidad terrestre. Teniendo en cuenta que se trata de la fabricación de un rollo de 0,035 kg en comparación con 0,0026 kg (papel de aluminio) y 0,0011 kg (papel de film), pues su contribución va a ser mucho mayor. La ecotoxicidad terrestre es debido al deterioro del suelo, y esto sucede fundamentalmente en las extracciones de la materia prima situados en el ecosistema terrestre. Por esta razón, los valores expuestos en la gráfica son mayores en la etapa inicial. Estas etapas son las siguientes:

- Para la caja, el rollo y la bobina de papel Kraft, se utiliza la madera como materia prima, el cual implica la tala de árboles y consecuentemente cambios en el ecosistema terrestre.
- Para el lingote de aluminio, se consume como materia prima la bauxita. Para la obtención de este mineral se recurre a la explotación de las minas, el cual produce la erosión del suelo.

El moldeo por inyección también tiene una contribución importante sobre la ecotoxicidad terrestre, debido a los residuos plásticos generados durante su funcionamiento. El cual ocasiona residuos que son emitidos al ecosistema terrestre.

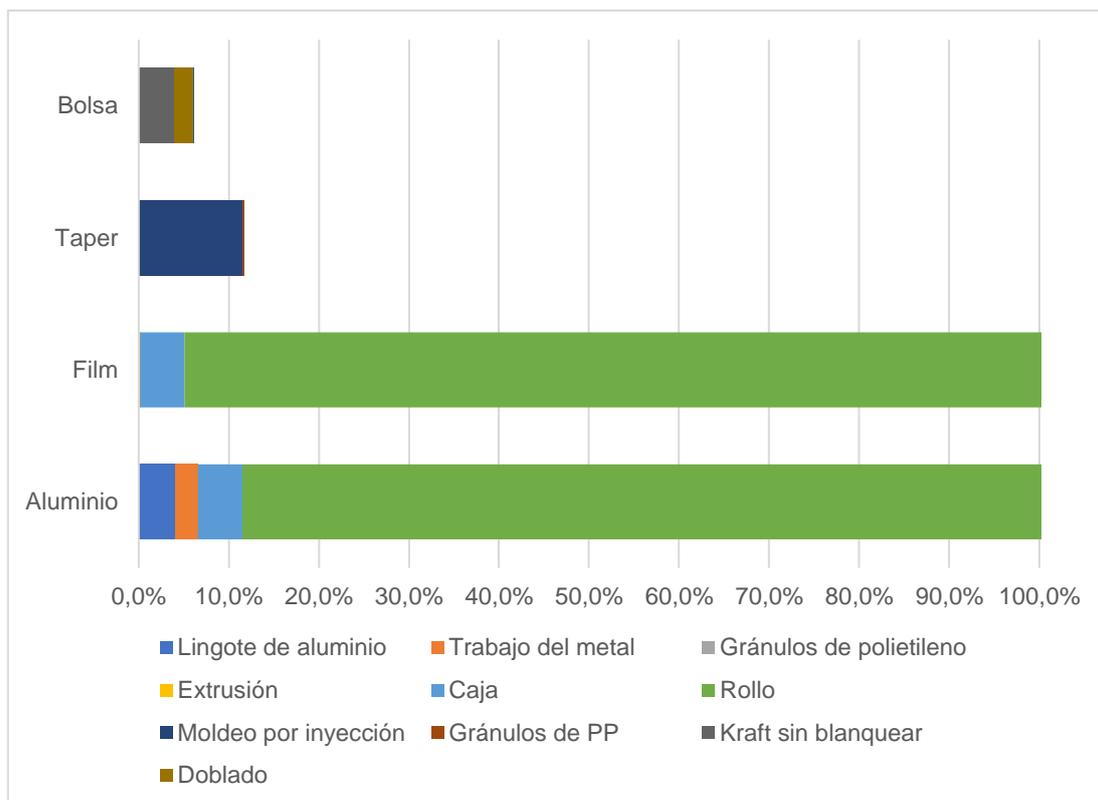


Ilustración 43. Comparación de los productos según el impacto de la ecotoxicidad terrestre

El film es el que más impacta en cuanto a la ecotoxicidad terrestre con unas emisiones casi de 0,71 kg 1,4-DCB (*Ilustración 44*). Esto se debe fundamentalmente al proceso de manufacturación de los elementos complementarios, es decir, principalmente el tubo de cartón. Por el mismo motivo, para el aluminio también son altas las concentraciones causadas, produciendo aproximadamente 0,7 kg 1,4-DCB.

La bolsa produce 0,04 kg 1,4-DCB de impacto sobre esta categoría. Por lo que el táper produce un tercio menos de impacto respecto a los anteriores productos.

En cambio, el reciclaje contribuye a reducir casi 5% de las emisiones totales producidas para los envoltorios de aluminio y un 23% para las bolsas alimenticias.

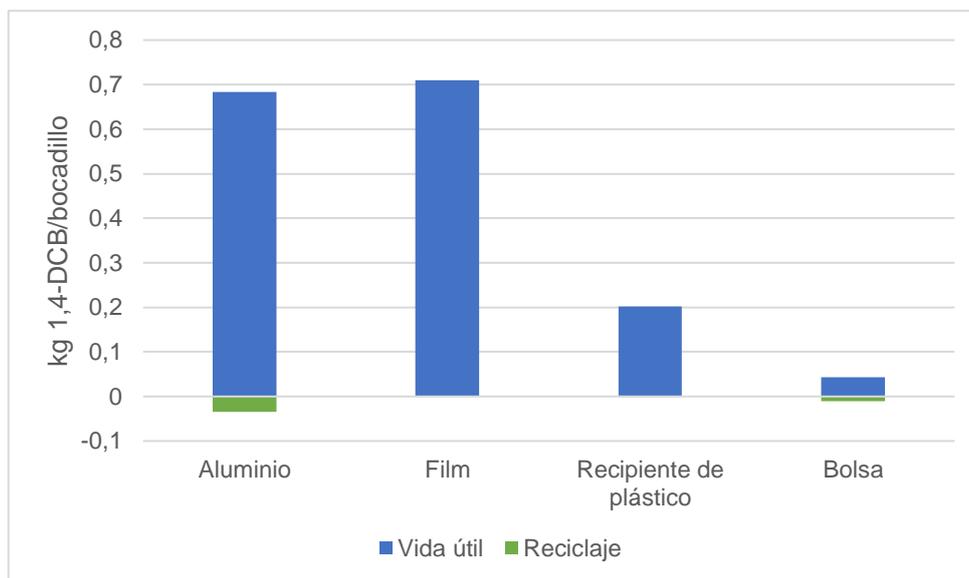


Ilustración 44. Comparación de los productos según el impacto de la ecotoxicidad terrestre

4.2.3 Toxicidad humana no carcinogénica

La *Ilustración 45* representa los impactos generados por cada uno de los procesos para la categoría de la toxicidad humana no carcinogénica. La caja y el rollo de cartón son los mayores contribuyentes, dado que influyen más de la mitad de impacto tanto para el aluminio como para el film. El motivo por lo que ocurre esto es similar al de la categoría de calentamiento global. Debido a las emisiones de CO₂, aumentan las concentraciones de gases de efecto invernadero, así como la destrucción de la capa de ozono. Por lo que finalmente, agudiza la contaminación atmosférica, y por tanto, con la presencia de gases tóxicos en el aire, causa efectos adversos sobre la salud humana.

El moldeo por inyección para la elaboración de la fiambarrera produce un 70% de impacto. Este proceso implica el uso de una máquina que consume energía eléctrica, el cual conlleva consigo las emisiones de CO₂. Además a este proceso incluye los efectos generados por la deposición de los residuos en los vertederos. Dado que el proceso de moldeo produce residuos plásticos y también residuos peligrosos.

Durante la etapa de producción del lingote (casi el 30% de impacto), además del consumo eléctrico para el funcionamiento de los hornos de fundición, puede conllevar alteraciones sobre la salud de las personas. Dado que los operadores trabajan en un ambiente expuestos a reacciones químicas de metales, se escapan compuestos tóxicos que pueden ser inhalados por dichas personas. También se le añade el factor de los vertidos de líquidos que

contienen metales pesados.

Asimismo, este último concepto es un factor de impacto por las bolsas de papel. Puesto que para la fabricación de la pasta de papel, se le añaden compuestos químicos que son dañinos para los operarios de la industria de papel.

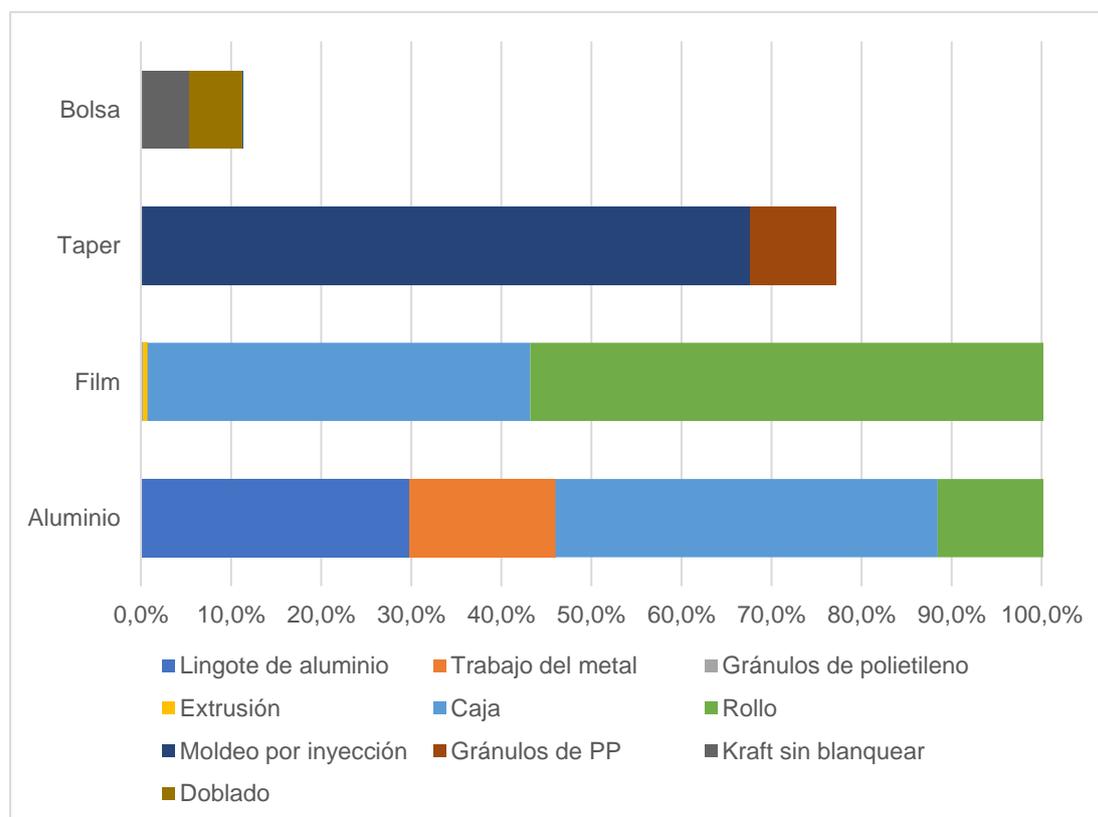


Ilustración 45. Comparación de los productos según el impacto de la toxicidad humana no carcinogénica

Mediante la *Ilustración 46* se determina que el aluminio es el más perjudicial para el ser humano que los demás bienes. El papel de aluminio llega a ocasionar 0,15 kg 1,4-DCB en términos de toxicidad no carcinogénica. En la gráfica anterior se observó que el impacto total de los procesos de producción del táper solamente el 78% del aluminio. Con la adición de los impactos generados por la etapa del lavado, el táper alcanza a emitir mayores concentraciones que al aluminio. Por este motivo, el aluminio no es recomendable para el uso de larga duración para la salud.

Luego el film (0,14 kg 1,4-DCB) y el papel de aluminio (0,15 kg 1,4-DCB) tampoco son las alternativas dado a sus composiciones químicas. No obstante, la mejor opción para esta categoría es el uso de la bolsa, debido a su bajo

consumo de energía y el reducido uso de elementos químicos. Dado que causa 0,02 kg 1,4-DCB, y es dos veces menos impactante que el aluminio o el táper.

Si se reciclara los envoltorios de aluminio tras su uso, se alcanzaría una reducción de un 11% de impacto. Por lo que los impactos de aluminio se reducirán a 0,13 kg 1,4-DCB. Pero aun así, su impacto continúa siendo mayor que la bolsa.

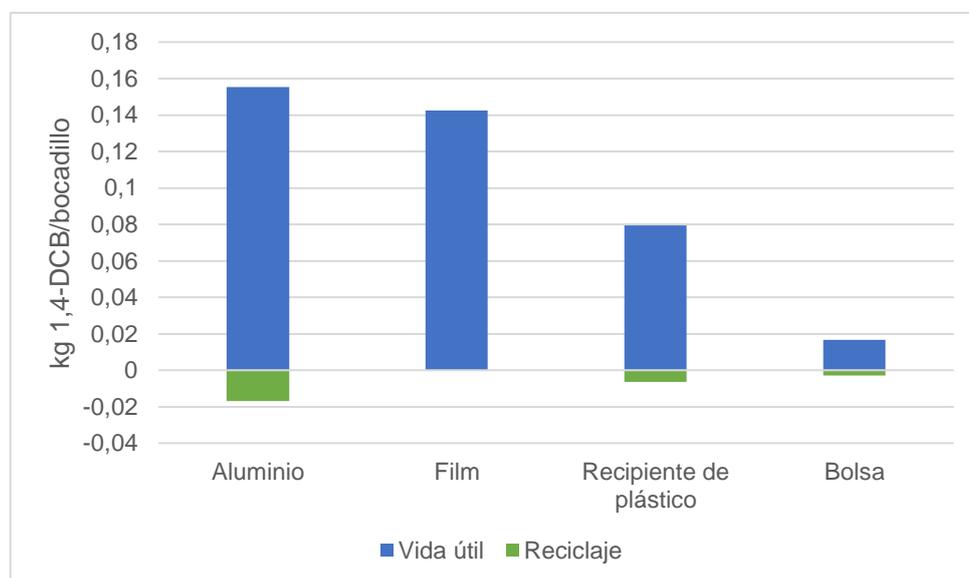


Ilustración 46. Comparación de los productos según el impacto de la toxicidad humana carcinogénica

4.2.4 Escasez de recursos fósiles

El agotamiento de recursos fósiles se debe principalmente al consumo de materias primas como los polímeros (recipiente de plástico) y por el consumo eléctrico. Pues en la *Ilustración 47* se observa claramente que el táper necesita, en comparación con los demás productos, grandes cantidades de petróleo para la fabricación de los polipropilenos. Puesto que el tamaño del táper es mayor que el envoltorio para enrollar un bocadillo, y por tanto, la cantidad de materia requerida para su confección también será superior.

Esta vez, la fabricación de los gránulos de polietileno retoma el protagonismo a causa de su consumo de los recursos fósiles. Sin embargo, dicho proceso continúa siendo bajo en comparación con los demás procesos.

Mientras que el resto de procesos son mínimas en comparación con los procesos acabados de nombrar, ya que alcanzan ni siquiera el 10% del impacto.

Y para esos casos sus impactos se deben fundamentalmente a los consumos eléctricos por las maquinarias de producción.

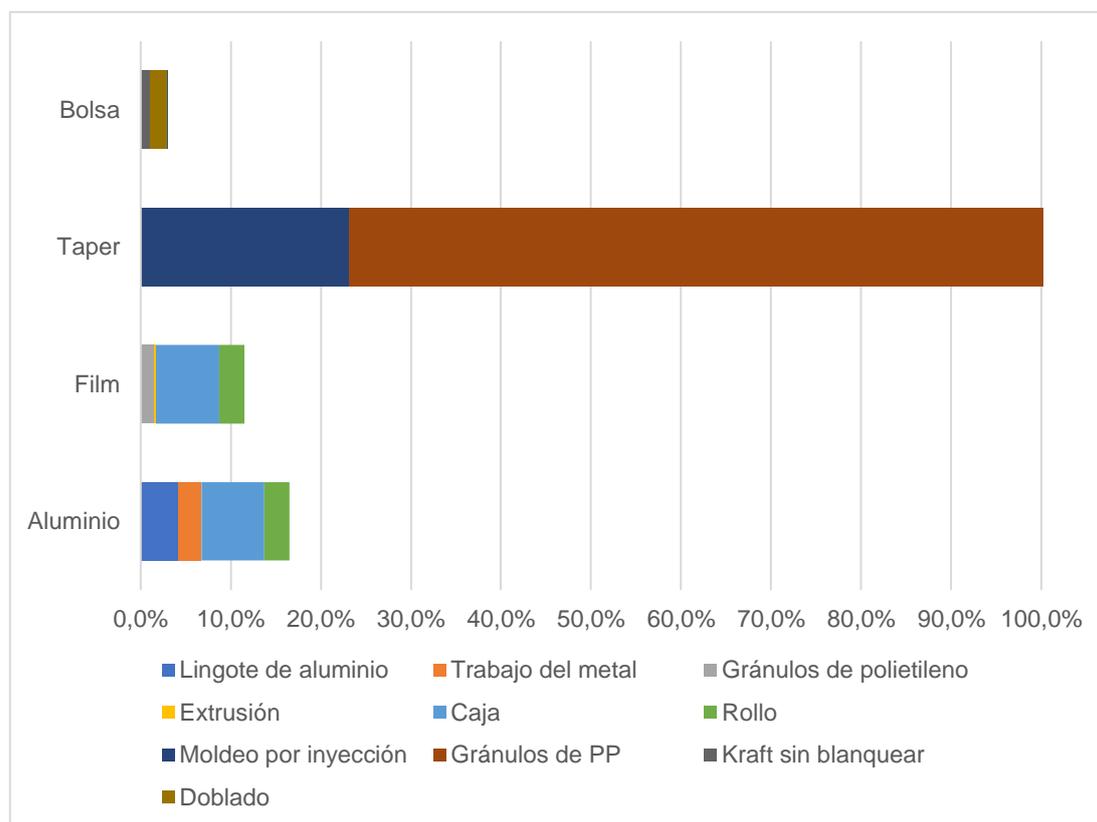


Ilustración 47. Comparación de los productos según el impacto de la escasez de recursos fósiles

Los resultados muestran que el táper es el que más recursos fósiles consume de entre los cuatro productos analizados. Tal y como aparece en la *Ilustración 48*, el táper consume 0,14 kg de aceite equivalente y el papel de aluminio 0,02 kg. En el táper se incluye el consumo de materia prima y energético para un recipiente y el lavado, cuyo factor se basa también en el consumo eléctrico del lavavajillas. Mientras que el nivel de volumen de petróleo utilizado por el aluminio es debido a los elevados consumos energéticos necesarios para la producción de cada envoltorio. Por lo que mediante el reciclaje se alcanzaría a disminuir drásticamente dichos impactos. Es decir, con una reducción del 58%, el impacto final será aproximadamente 0,01 kg de aceite equivalente. Por esta misma razón, mediante el reciclaje también se consigue disminuir más de la mitad del impacto total del recipiente (alrededor de 0,01 kg de aceite equivalente).

Seguidamente del papel de aluminio y táper, se encuentra el film, el cuál

llega a consumir 0,01 kg aceite equivalente. Luego, consume mucho menos que los productos anteriores, dado que, aunque también consume petróleo como materia prima inicial, el consumo eléctrico es menor.

Evidentemente, la bolsa de papel será el producto que menos consumirá de petróleo porque únicamente lo utiliza como fuente de alimento de las máquinas, a pesar de que su proceso tampoco requiere grandes gastos. Sin embargo, en el caso de que se recicle, el aluminio sería la alternativa más adecuada. Puesto que al reciclar se evita la producción de lingotes nuevos así como el uso de energías procedentes de recursos fósiles. Y por supuesto, si se reciclara la bolsa, el impacto final será un cuarto menos del total (0,002 kg aceite equivalente).

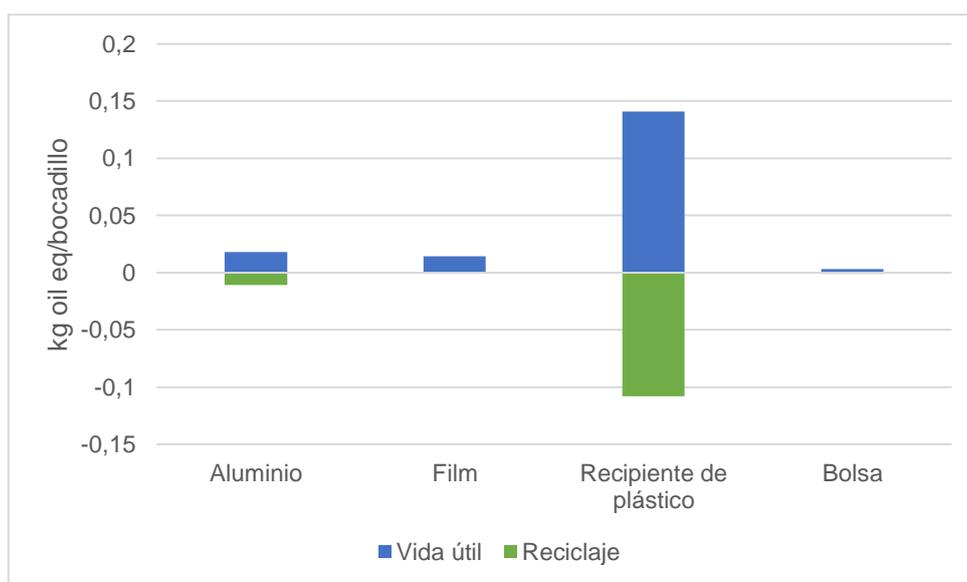


Ilustración 48. Comparación de los productos según el impacto de la escasez de recursos fósiles

4.2.5 Consumo hídrico

En la gráfica siguiente aparecen representadas los consumos de agua medidos en m³ de cada uno de los procesos de los cuatro productos (*Ilustración 49*). Para este indicador, el rollo de cartón es el principal contribuidor para el aluminio y el film.

En segundo lugar, por la misma razón los procesos del recipiente requieren mayores volúmenes de agua. Luego, durante la fabricación de los lingotes de aluminio se abusa de una cantidad importante de recursos hídricos, puesto que a lo largo del proceso se manipula con el metal en estado líquido. Ya que de

esta manera facilita la separación de los metales impuros y con el aporte de agua se consigue obtener rendimientos mayores en el alisado y enrollado.

Respecto al rollo de cartón, la bolsa alimenticia solamente consume un 5% de agua. El cual es utilizado para el proceso de elaboración de pasta de papel.

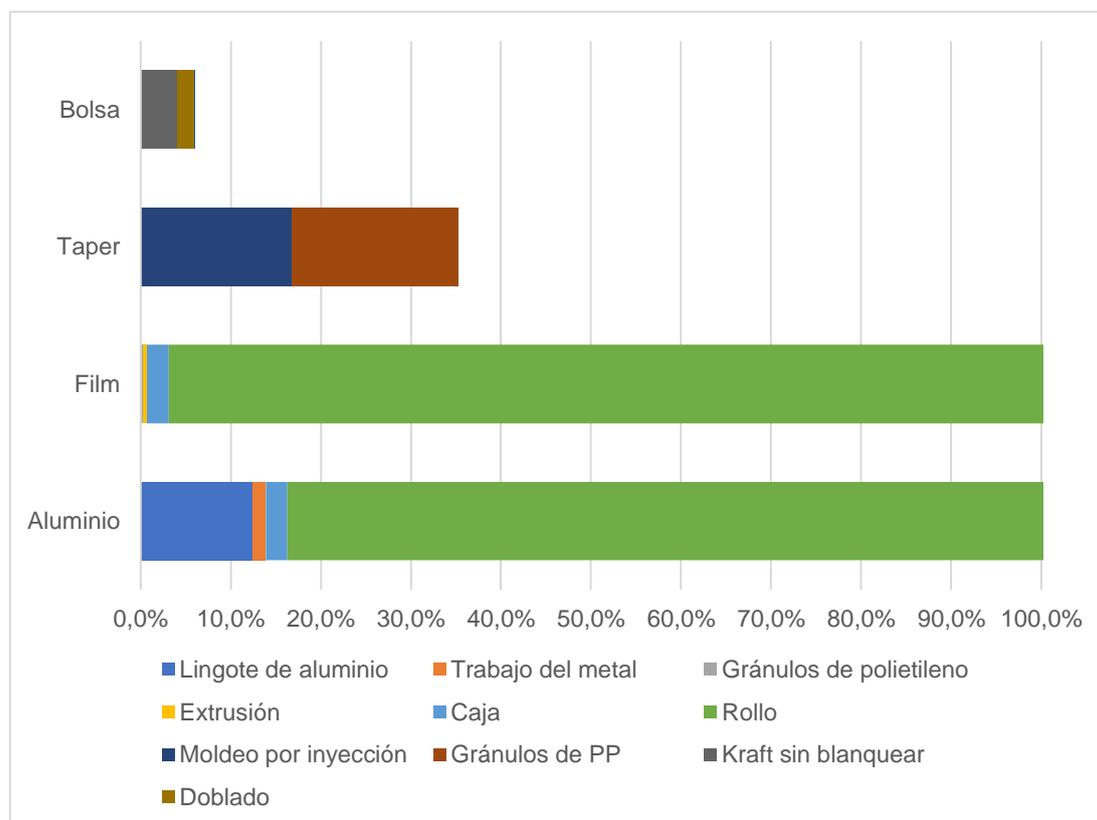


Ilustración 49. Comparación de los productos según el impacto de consumo hídrico

Para la limpieza del recipiente se requiere cargas importantes de agua, además de la cantidad consumida en la etapa de producción. No obstante, la *Ilustración 50* demuestra que en la fabricación del aluminio y el film se utilizan 0,0002 m³ más de agua que la fiambarrera.

Mientras que la bolsa consume alrededor de 0,0004 m³ para cada bocadillo.

Desde la perspectiva del consumo de agua, si se reciclaran dichos productos después de su uso, la bolsa de papel será la alternativa más sostenible. Puesto que de esta manera se evita la fabricación de nuevas bobinas de papel. De esta manera se consigue disminuir un 35% del impacto generado sobre dicha categoría. Mientras que para el aluminio y el recipiente solamente se reduce un 4 y 9% de impacto respectivamente.

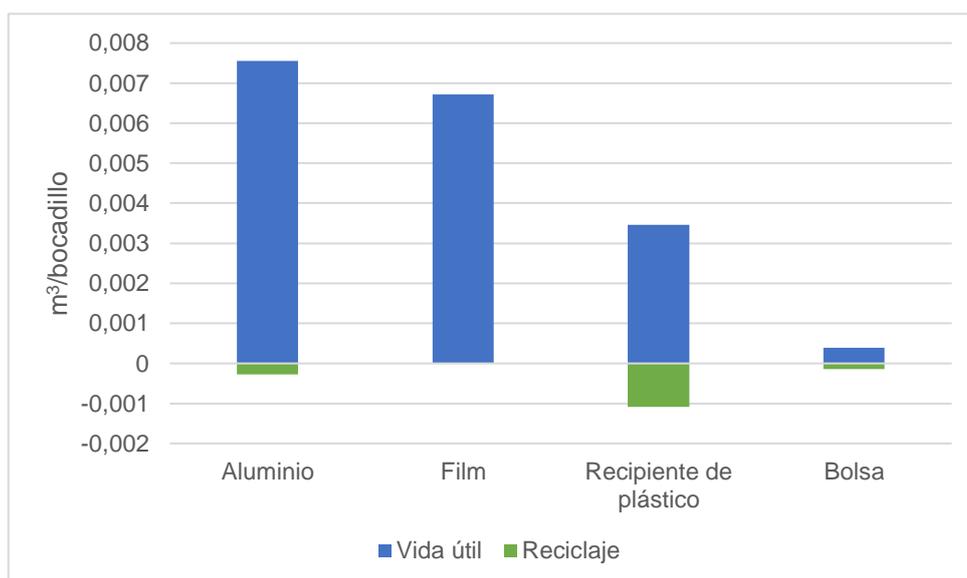


Ilustración 50. Comparación de los productos según el impacto de consumo hídrico

Después de analizar detalladamente los impactos causados en función del tipo de producto de cada categoría se concluye que el producto menos contaminante es la bolsa alimenticia. Para las cinco categorías estudiadas, este producto apenas causa impactos, mientras que el resto sí que generan consecuencias relevantes.

Sin tener en cuenta el reciclaje, de entre los demás productos (papel de aluminio, film y recipiente de plástico), el aluminio es el menos recomendable para el consumo ya que causa efectos importantes en los cinco indicadores debido principalmente a las altas concentraciones de materiales y energía tanto de entrada como de salida. Y en el caso de la fiambra se debe al lavado, el cual contribuye de manera significativa a cada uno de los indicadores.

4.3 Impacto ambiental de los productos evaluados según Endpoint

En los apartados anteriores se han analizado los impactos ambientales de los cuatro productos desde el punto de vista Midpoint, es decir, con un modelo de "caja blanca". A continuación se estudiará el modelo Endpoint, donde se expondrán los impactos finales causados por cada producto, pero en un menor grado de detalle que el anterior.

4.3.1 Recursos

La *Ilustración 51* representa los impactos generados por los productos en relación con los recursos. Tal y como muestra la gráfica, el consumo de una fiambra es que más recursos necesita medidos en dólares estadounidenses. Puesto que en él se incluyen tanto los recursos utilizados en los procesos de producción como los que se consumen en el lavado. Fundamentalmente se trata de recursos fósiles empleados en el consumo energético, y concretamente la electricidad para el funcionamiento de las maquinarias de la industria y el lavavajillas.

En segundo lugar, el uso de recursos para la producción del aluminio es relativamente alta, considerando que en este caso, solamente hace referencia a los consumos en la producción ya que este producto es de un solo uso. Luego el film utiliza un tercio menos de recursos que el aluminio.

En cambio, las tasas de explotación de recursos en el ciclo de vida de la bolsa alimenticia son bajas en comparación con los otros dos productos.

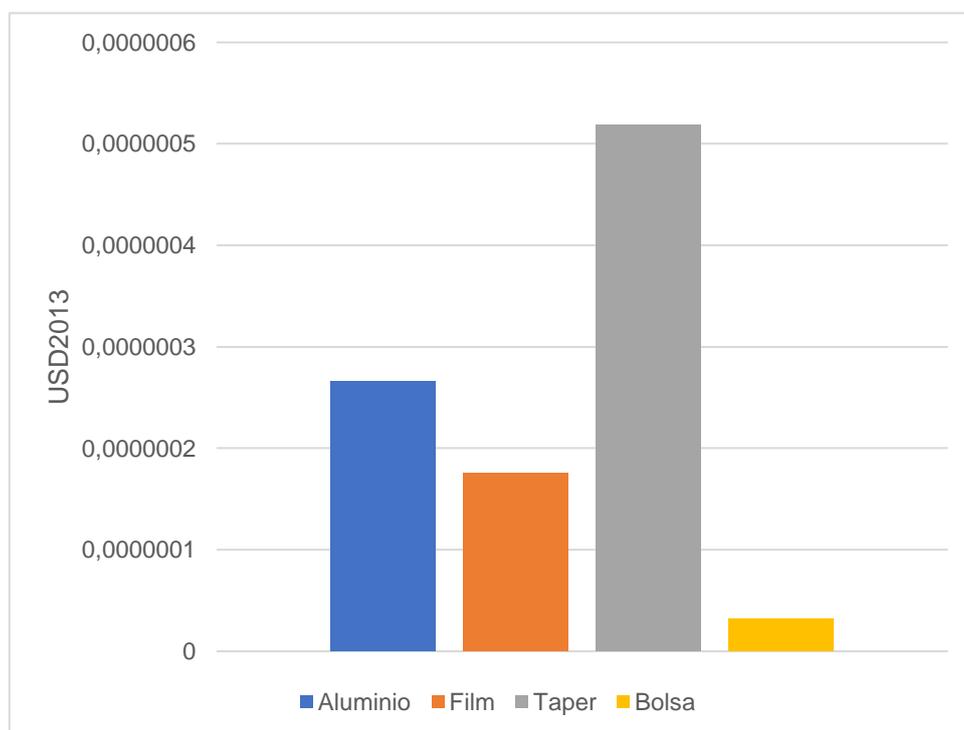


Ilustración 51. Resultados de ACV sobre los impactos a los recursos

4.3.2 Ecosistemas

Las emisiones generadas durante la etapa de fabricación de los productos son asimiladas por los ecosistemas ambientales. Para el análisis de los impactos ocasionados sobre el ecosistema, se miden en especies por año.

Según la gráfica siguiente (*Ilustración 52*), el principal precursor de este deterioro es el táper. Esto se debe a las emisiones de gases como el CO₂ durante la fase de manufacturación así como el consumo eléctrico y la difusión de compuestos químicos procedentes de las pastillas del lavavajillas.

En cuanto al aluminio, toda la fase productiva está relacionada con el ecosistema terrestre. Esto abarca desde los procesos de aleación, donde se emiten contaminantes al ecosistema, hasta el transporte del producto desde la cuna hasta el emplazamiento de venta. Pero aun así, el impacto ocasionado por el táper es el doble del aluminio.

No obstante, el film produce menor impacto sobre el ecosistema en comparación con los anteriores, ya que las emisiones generadas para producir un fragmento para la envoltura de un bocadillo son distintas a las de un táper. Es decir, con el aumento del tamaño del producto y la complejidad de la composición química, los contaminantes resultantes de la producción también incrementan. Entonces, como las dimensiones de la muestra de film es menor, su impacto también será bajo.

Cabe destacar que la bolsa alimenticia también influye, aunque en menor medida que los otros productos expuestos anteriormente, sobre el ecosistema. Esto se debe a la elaboración de las bobinas de papel Kraft, cuyo proceso requiere extracción de grandes volúmenes de materia prima y además se emiten concentraciones importantes de productos químicos para la confección de la pasta de papel.

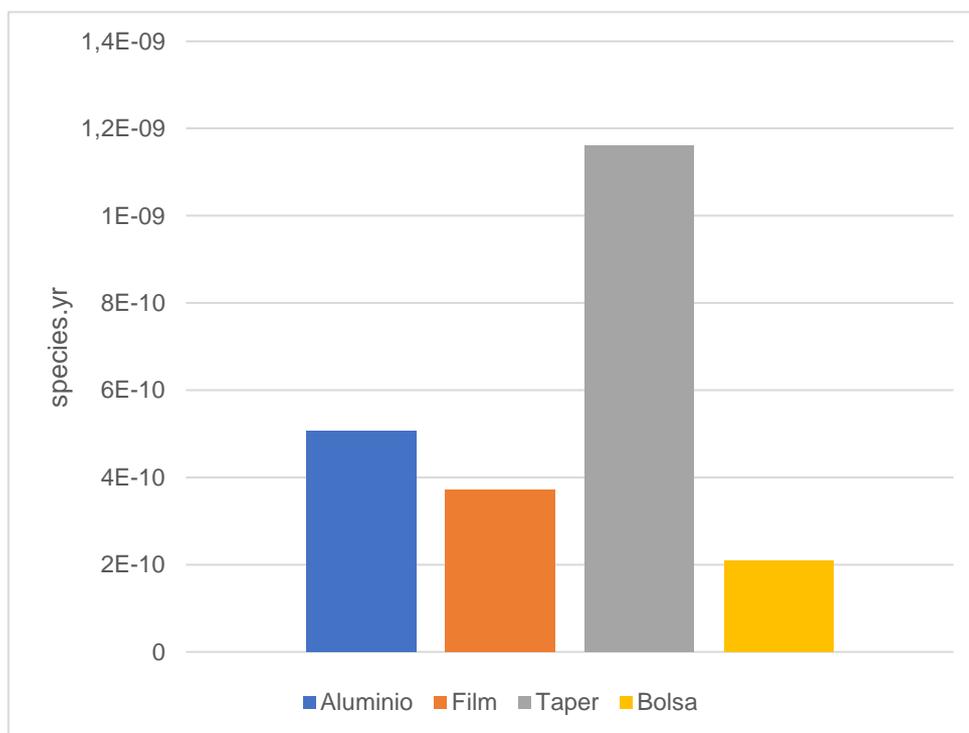


Ilustración 52. Resultados de ACV sobre los impactos a los ecosistemas

4.3.3 Salud humana

Por último el otro indicador estudiado en un modelo de Endpoint es el impacto causado sobre la salud humana (*Ilustración 53*). Partiendo del mismo planteamiento descrito en el apartado anterior, la alta tasa de impacto del táper se debe al tamaño de la muestra estudiada. La cantidad de envoltorio de aluminio y film es menor que la de un recipiente, por lo que su grado de exposición tóxica va a ser mayor que los otros.

Asimismo, el daño sobre la salud humana ocasionado por el aluminio es mayor que el film. El aluminio está formado por compuestos más tóxicos que los de un polímero. Por ello, mediante esta gráfica se puede observar que aunque dos productos (aluminio y film) tengan las mismas dimensiones, el aluminio es más perjudicial para las personas.

Y en cuanto a la bolsa alimenticia, pese a que su tamaño es grande, su grado de toxicidad es baja. Puesto que se trata de un material generado fundamentalmente por materiales biodegradables, las concentraciones de productos químicos y las emisiones son menores que los otros envoltorios.

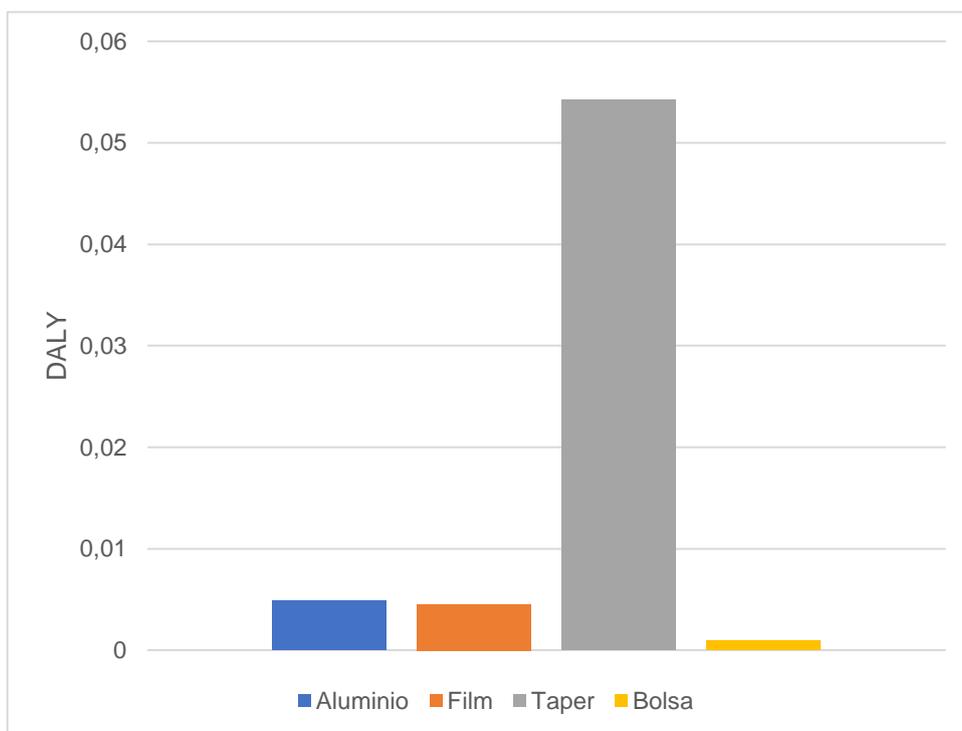


Ilustración 53. Resultados de ACV sobre los impactos a la salud humana

5 MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN DE IMPACTO

A causa de la comodidad de la utilización de envoltorios de un solo uso para la conservación de comida, ha incitado a la industria a producir continuamente este tipo de productos. Sin embargo, no nos damos cuenta de todo los procesos y efectos que puede conllevar ese trozo de envoltorio para llegar a nuestras manos. Pues para reducir estos impactos generados a lo largo del ciclo de vida del producto al medio ambiente, se pueden realizar diversas medidas.

Por una parte, algunas de las medidas generales para la minimización de los impactos desde la cuna son:

- La implementación de MTDs, con el objetivo de bajar los niveles de consumo energético. Este alto consumo se debe a que se utilizan máquinas con altos rendimientos y a altas temperaturas. Al mismo tiempo se puede conseguir reducir las emisiones de gases o vertidos, evitando así las contaminaciones a la atmósfera, al agua y al suelo.
- Rediseñar los productos y aprovechar lo máximo posible la materia prima, evitando así la sobreexplotación.
- Utilizar materias primas procedentes de recursos renovables o reciclados. O también mediante la economía circular, reutilizando los

materiales que son residuos de otros.

En cuanto a la etapa de distribución de los productos, evitar el transporte a largas distancias, dado que los camiones generan emisiones de gases de efecto invernadero. Además del deterioro del suelo por la carga pesada.

Al tratarse de productos de un solo, durante su consumo, utilizar la cantidad necesaria para el envolver el bocadillo, de esta manera se consigue un ahorro del producto. Reemplazar estos productos por otros más ecológicos, como film de bioplástico o envoltorios de cera de abeja (Bioguia, 2016). Estos artículos están compuestos por materiales biodegradables por lo que facilita su posterior gestión como residuo. Como son productos naturales, no transmiten contaminantes al estar en contacto con el alimento y por tanto se evita la toxicidad humana. Además, por ejemplo, el envoltorio de cera de abeja no se descompone ni pierde sus características iniciales, por lo que es reutilizable.

Entre tanto, para la fiambra, siendo ya un producto reutilizable, pues se puede reducir los impactos en el lavado. Para ello, y para evitar el consumo de agua y electricidad, utilizar lavavajillas de alta eficiencia energética. Además, para aprovechar el máximo rendimiento posible, llenarla del todo.

Finalmente en la etapa final, el reciclaje es una alternativa más viable que la incineración y la eliminación por vertedero. Puesto que las dos últimas opciones implican también emisiones de contaminantes. Sin embargo, para implementar el reciclaje es necesario la concienciación social, y por ello, la educación ambiental es la clave.

6 CONCLUSIONES

Como conclusión, analizando los resultados obtenidos mediante el software SimaPro se ha llegado a la elección de la bolsa alimenticia de papel Kraft como la alternativa más sostenible con el medio ambiente para conservar un bocadillo.

Como se ha visto a lo largo del estudio, la fabricación de estos envases requiere cantidades importantes de materia prima y energía, es decir, es la etapa con más factores contaminantes del ciclo de vida de un producto.

El papel de aluminio, el film y la bolsa son envoltorios de un solo uso, junto

con los elementos complementarios (caja y tubo de cartón), mientras que el táper es reutilizable. Por lo que durante el resto de su vida útil solamente interfiere el lavado. Sin embargo, esta también es la causa de su alto impacto, puesto que por cada lavado se consumen importantes cantidades de energía.

El papel de albal no es una alternativa sostenible porque requiere elevados consumos energéticos para su elaboración, además de que procede de un recurso no renovable. A pesar de que se pueda reciclar, evitando también la extracción de nuevas materias primas, continúa siendo inviable, puesto que son están sucios después de su uso, y consecuentemente no sería posible la gestión.

Tanto el film como la bolsa requieren bajos consumos de energía y de recursos, de modo que la utilización de éstos es más o menos compatible con la naturaleza. Sin embargo, el film causa mayores impactos debido a la obtención y manipulación de su materia prima.

Otra etapa significativa es la distribución, pues la mejor alternativa es el consumo de bienes exportados, ya que el recorrido de los transportes supone un impacto adicional.

Para justificar la insostenibilidad del uso de fiambreras se basó en una investigación llevado a cabo por la Asociación Europea de aluminio (Wellenreuther, 2013). El objetivo de este estudio consiste en la búsqueda de la una alternativa sostenible de los productos de empaquetamiento de alimentos. Para ello, recurre al ACV sobre el papel de aluminio y fiambarrera de plástico. Los resultados obtenidos en dicha investigación muestran que la contribución de los procesos por parte de la fiambarrera es mayor que los del aluminio, tal y como se demuestra en este estudio.

Cabe destacar que el reciclaje es una medida importante para la disminución de los impactos causados por estos productos de conservación de comida además de la disminución de los residuos.

Para completar el estudio, se necesitaría profundizar sobre el tema económico y social. Sin embargo, estos aspectos no se consideran en un análisis de ciclo de vida y son aspectos esenciales para una industria o para un hogar.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aimplas. (s.f.). Guía de criterios de calidad y puntos de control en el diseño de envases y embalajes plásticos. Recuperado 28 febrero, 2018, de http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/prevencio/plans_empresarials_de_prevencio_de_residus_denvasos_pep/recursos_ecodisseny/itp_Guia_Envase_y_Embalaje.pdf
- Alternativas al film de plástico. (2016). Recuperado 4 septiembre, 2018, de <https://vivirsinplastico.com/alternativas-al-film-plastico/>
- Alufoil. (s.f.). Facts and Properties of Aluminium Household Foil. Recuperado 22 febrero, 2018, de https://www.alufoil.org/files/alufoil/sustainability/lcastudy/EAFA_Sandwich_Facts_Properties_EN.pdf
- Alufoil. (s.f.). Datos y Características. Recuperado 22 febrero, 2018, de https://www.alufoil.org/files/alufoil/sustainability/lcastudy/EAFA_Sandwich_Facts_Properties_ES.pdf
- ANL Plastics Production process [Archivo de vídeo]. (s.f.). Recuperado 28 febrero, 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=C54DMvHHZMQ>
- Assan Alüminyum. (s.f.). Household Foil. Recuperado 10 mayo, 2018, de <https://www.assanaluminyum.com/tr-tr/>
- Balay. (s.f.). Lavavajillas libre instalación. Recuperado 12 junio, 2018, de <https://www.balay.es/catalogo-electrodomesticos/lavavajillas/60-cm/3VS708IA?breadcrumb=fullsizefreestandingdishwashers60cm#/Tabs=section-technicalspecs/Togglebox=-1575603884/Togglebox=330885287/>
- Blanca Iris Romero Rodríguez. (s.f.). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental Gestión Ambiental Gestión Ambiental. Recuperado 29 junio, 2018, de <https://www.ineel.mx/boletin032003/tend.pdf>
- Constellium. (s.f.). Recuperado 5 mayo, 2018, de <https://www.constellium.com/>
- Earth911. (s.f.). Recuperado 5 mayo, 2018, de <https://earth911.com/>
- Ecoembes (s.f.). Ecodiseño. Recuperado 24 de julio, 2018, <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/ecoembes-y-el-medio-ambiente/innovacion/thecircularlab/ecodiseno>
- Ecologismos (2014). Impacto ambiental: ¿Qué elegir, bolsas de papel o de plástico?. Recuperado 24 de julio, 2018, <https://ecologismos.com/impacto-ambiental-que-elegir-bolsas-de-papel-o-de-plastico/>
- Ecotech (s.f.). Fundición de aluminio. Recuperado 24 de julio, 2018, <http://www.monitoreo-ambiental-analizadores.com/fundicion-de-aluminio/>
- Fabricación film transparente [Archivo de vídeo]. (s.f.). Recuperado 28 febrero, 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=6mQIPI9RAXM>
- Flaten et al. (1996).

- https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem_background/exsumpdf/aluminumalt_508.pdf. Recuperado 10 mayo, 2018, de https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem_background/exsumpdf/aluminumalt_508.pdf
- Garrigues, M. (s.f.). Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. Recuperado 9 mayo, 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X1100416X>
- Guinée, J. (s.f.). Life Cycle Sustainability Analysis. Recuperado 9 mayo, 2018, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2011.00398.x>
- Gutiérrez (2013). Relación industria y medio ambiente: las éticas antropocéntrica y ecocéntrica. Recuperado 24 de julio, 2018, <http://www.elementos.buap.mx/num91/htm/51.htm>
- Helsinki University of technology. (s.f.). The application of LCA in the aluminium industry. Recuperado 28 febrero, 2018, de <https://www.meyer-mab.com/recursos/informacion-tecnica/?lang=es>
- Hong Dong, Y. (2014). Comparing the midpoint and endpoint approaches based on ReCiPe—a study of commercial buildings in Hong Kong. Recuperado 22 agosto, 2018, de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11367-014-0743-0.pdf>
- If you care. (s.f.). Recycled Aluminum Foil. Recuperado 29 junio, 2018, de <https://www.ifyoucare.com/baking-cooking/recycled-aluminum-foil/>
- Impol. (s.f.). Aluminium production. Recuperado 5 mayo, 2018, de <http://www.impol.com/aluminium/aluminium-production>
- Interpack. (s.f.). Recuperado 10 junio, 2018, de <https://interpack.es/>
- Journal of Technology Management & Innovation. (2013). Life Cycle Assessment as Entrepreneurial Tool for Business Management and Green Innovations. Recuperado 20 mayo, 2018, de <https://pdfs.semanticscholar.org/2531/afd3004d5fbabf0cc6887040741c030db310.pdf>
- Juárez (2015). Proceso de fabricación en plásticos. Recuperado 24 de julio, 2018, <https://es.slideshare.net/davidkijada/proceso-de-fabricacin-en-plsticos>
- Lemonick, S. (2017). A Better Way To Recycle Dirty Aluminum Foil [Publicación en un blog]. Recuperado 29 junio, 2018, de <https://www.forbes.com/sites/samlemonick/2017/06/23/a-better-way-to-recycle-dirty-aluminum-foil/#158adb531e2c>
- Levitt, T. (s.f.). Exploit the Product Life Cycle. Recuperado 14 marzo, 2018, de <https://hbr.org/1965/11/exploit-the-product-life-cycle>
- Meyer. (s.f.). Información Técnica. Recuperado 28 febrero, 2018, de <https://www.meyer-mab.com/recursos/informacion-tecnica/?lang=es>
- Millberg, L. S. (s.f.). Aluminum Foil. Recuperado 29 junio, 2018, de Recycled

Aluminum Foil

- Ministerio de Medio Ambiente. (2006). Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Recuperado 18 mayo, 2018, de [http://www.prtr.es/Data/images/BREF%20Pasta%20y%20Papel%20\(versi%C3%B3n%20en%20castellano\)-7C4A350C484D6A0E.pdf](http://www.prtr.es/Data/images/BREF%20Pasta%20y%20Papel%20(versi%C3%B3n%20en%20castellano)-7C4A350C484D6A0E.pdf)
- Munoz, G. (2018). The Dangers of Aluminum Foil [Publicación en un blog]. Recuperado 29 junio, 2018, de <https://sciencing.com/dangers-aluminum-foil-8314412.html>
- NHDES. (s.f.). Approximate Time it Takes for Garbage to Decompose in the Environment. Recuperado 29 junio, 2018, de https://www.des.nh.gov/organization/divisions/water/wmb/coastal/trash/documents/marine_debris.pdf
- Pieragostini, C. (2012). On process optimization considering LCA methodology. Recuperado 29 junio, 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479711003951>
- Pieragostini, C. (2012). On process optimization considering LCA methodology. Recuperado 9 mayo, 2018, de <https://www.sciencedirect.com/search?qs=simapro&authors=Pieragostini&show=25&sortBy=relevance>
- Plasticseurope. (2016). Plastics – the Facts 2016. Recuperado 4 septiembre, 2018, de <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf>
- Rastogi, N. (2010). Wrap Session [Publicación en un blog]. Recuperado 29 junio, 2018, de http://www.slate.com/articles/health_and_science/the_green_lantern/2010/04/wrap_session.html?via=gdpr-consent
- Rivas Lara, I. (2015). Alternativas a los productos de usar y tirar [Publicación en un blog]. Recuperado 29 junio, 2018, de <https://www.gestiopolis.com/historia-analisis-del-ciclo-vida-producto-acv/>
- Rodríguez Mazahua, N. (2016). Historia y Análisis del Ciclo de Vida de Producto ACV [Publicación en un blog]. Recuperado 29 junio, 2018, de <https://www.gestiopolis.com/historia-analisis-del-ciclo-vida-producto-acv/>
- Rodríguez Mazahua, N. (2016). Historia y Análisis del Ciclo de Vida de Producto ACV. Recuperado 14 marzo, 2018, de <https://www.gestiopolis.com/historia-analisis-del-ciclo-vida-producto-acv/>
- Rodríguez Mazahua, N. (2016). Historia y Análisis del Ciclo de Vida de Producto ACV. Recuperado 20 mayo, 2018, de <https://www.gestiopolis.com/historia-analisis-del-ciclo-vida-producto-acv/>

acv/

- Romero Rodríguez, B. I. (s.f.). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental Gestión Ambiental Gestión Ambiental. Recuperado 20 mayo, 2018, de <https://www.ineel.mx/boletin032003/tend.pdf>
- Secret, S. (s.f.). Plastic Wrap. Recuperado 29 junio, 2018, de <http://www.madehow.com/Volume-2/Plastic-Wrap.html>
- Hove, W. ten. (2015). ¿PAPEL DE ALUMINIO O TUPPERWARE? Recuperado 8 junio, 2018, de <https://itsfoil.nl/>
- The Auminum Association. (2007). Rolling Aluminum. Recuperado 2 febrero, 2018, de http://www.aluminum.org/sites/default/files/Rolling_Aluminum_From_The_Mine_Through_The_Mill.pdf
- Wellenreuther, F. (2013). LCA study of two different sandwich packs: A rigid plastic lunchbox and household aluminium foil. Recuperado 22 febrero, 2018, de https://www.alufoil.org/files/alufoil/sustainability/lcastudy/EAFA_Sandwich_Executive_Summary_EN.pdf