

E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de  
Telecomunicación

# DISEÑO DE ENVASES DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA MEDIANTE EL USO DE LA HERRAMIENTA "ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA"



Grado en Ingeniería  
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Leire Uriarte Elizaga

Alberto Navajas Leon

Pamplona, 23 de junio de 2014



## **RESUMEN**

El objetivo del siguiente trabajo es tratar de reducir el impacto medioambiental de envases de la industria farmacéutica CINFA mediante la política de prevención. Esto es, se van a rediseñar los productos de forma que contaminen menos. Los productos sobre los que se va a trabajar son el jarabe expectorante CINFATÓS y la crema para pieles muy secas y atópicas de la línea Be+.

Para ello, se va a seguir la metodología del Ecodiseño para cada uno de los productos. Primero se van a especificar las funciones del producto y después se evaluarán los aspectos ambientales mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV). En esta segunda etapa se seguirán las cuatro fases del ACV. A continuación, se desarrollarán las estrategias pertinentes para la mejora ambiental para finalmente desarrollar soluciones técnicas.

## **PALABRAS CLAVE**

Envases · Ecodiseño · Análisis de ciclo de vida · Impacto medioambiental · Vidrio · PET · Aluminio · PP · HDPE · Cartón

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.**

1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	9
2. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS ENVASES.....	10
3. POLÍTICAS DE PREVENCIÓN. ECODISEÑO. ....	15
3.1. VENTAJAS DEL ECODISEÑO .....	16
3.2. NORMA DE ECODISEÑO UNE-EN ISO 14006.....	17
3.2.1. EL ENFOQUE DE CICLO DE VIDA .....	18
3.2.2. METODOLOGÍA DEL ECODISEÑO.....	19
4. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA .....	22
4.1. METODOLOGÍA DEL ACV .....	23
4.2. ACV SOFTWARES.....	26
5. RESUMEN Y OBJETIVOS.....	28

## **CAPÍTULO II. ECODISEÑO DEL ENVASE DEL JARABE EXPECTORANTE CINFATÓS.**

1. FUNCIONES DEL PRODUCTO .....	33
2. EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES .....	34
2.1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV .....	34
2.1.1. UNIDAD FUNCIONAL.....	34
2.1.2. LÍMITES DEL SISTEMA.....	34
2.1.3. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	37
2.1.4. TIPOS Y FUENTES DE DATOS .....	39
2.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIADO.....	39
2.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	42
2.4. INTERPRETACIÓN.....	43
3. ESTRATEGIAS DE MEJORA AMBIENTAL .....	50
4. SOLUCIONES TÉCNICAS.....	50
4.1. MEDIDA 1. BOTELLA DE PET. ....	51
4.2. MEDIDA 2. TAPÓN DE POLIPROPILENO. ....	57
4.3. MEDIDA 3. ELIMINAR ESTUCHE. ....	61
5. CONCLUSIONES.....	64

## **CAPÍTULO III. ECODISEÑO DEL ENVASE DE LA CREMA PARA PIELES MUY SECAS Y ATÓPICAS**

<b>1. FUNCIONES DEL PRODUCTO .....</b>	<b>69</b>
<b>2. EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>70</b>
<b>2.1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV .....</b>	<b>70</b>
<b>2.1.1. UNIDAD FUNCIONAL.....</b>	<b>70</b>
<b>2.1.2. LÍMITES DEL SISTEMA .....</b>	<b>70</b>
<b>2.1.3. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO             AMBIENTAL .....</b>	<b>72</b>
<b>2.1.4. TIPOS Y FUENTES DE DATOS .....</b>	<b>72</b>
<b>2.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIADO.....</b>	<b>72</b>
<b>2.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>73</b>
<b>2.4. INTERPRETACIÓN.....</b>	<b>74</b>
<b>3. ESTRATEGIAS DE MEJORA AMBIENTAL .....</b>	<b>77</b>
<b>4. SOLUCIONES TÉCNICAS.....</b>	<b>78</b>
<b>4.1. MEDIDA 1. ELIMINACIÓN DEL ESTUCHE.....</b>	<b>78</b>
<b>4.2. MEDIDA 2. TAPÓN DE HDPE.....</b>	<b>81</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES FINALES .....</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>95</b>



# **CAPÍTULO 1.INTRODUCCIÓN**



# 1. Objetivo y alcance del proyecto

El objeto del presente proyecto es el ecodiseño de dos de los productos de la empresa farmacéutica CINFA. Los dos productos seleccionados para el estudio son el jarabe expectorante CINFATÓS y la crema para pieles muy secas y atópicas de la línea Be+.

Para la realización de este estudio se va a aplicar la norma española de Ecodiseño UNE-EN ISO 14006 [1] (Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación de Ecodiseño). Esta norma es una herramienta para la integración del Ecodiseño dentro del sistema de gestión ambiental de la empresa y su objetivo último es la integración de aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de producto.

La segunda etapa del proceso de Ecodiseño en la Norma es la evaluación de los aspectos ambientales. Aquí la Norma obliga a incluir explícitamente el ciclo de vida de los productos de la organización que se van a diseñar con el objetivo de determinar qué aspectos tienen o pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente. Hay distintos métodos de análisis disponibles (Matriz MET, Ecoindicadores, etc.), pero el más completo y objetivo es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). En este estudio realizarán ACVs de los productos mediante el Software GaBi6.0<sup>®</sup> Pro., uno de los más utilizados por empresas y administración debido a las amplias bases de datos que posee. A su vez, la realización de ACVs también está normalizada por la norma ISO 14044:2006[2] y en este proyecto se seguirán todas sus etapas y recomendaciones para un estudio completo y objetivo.

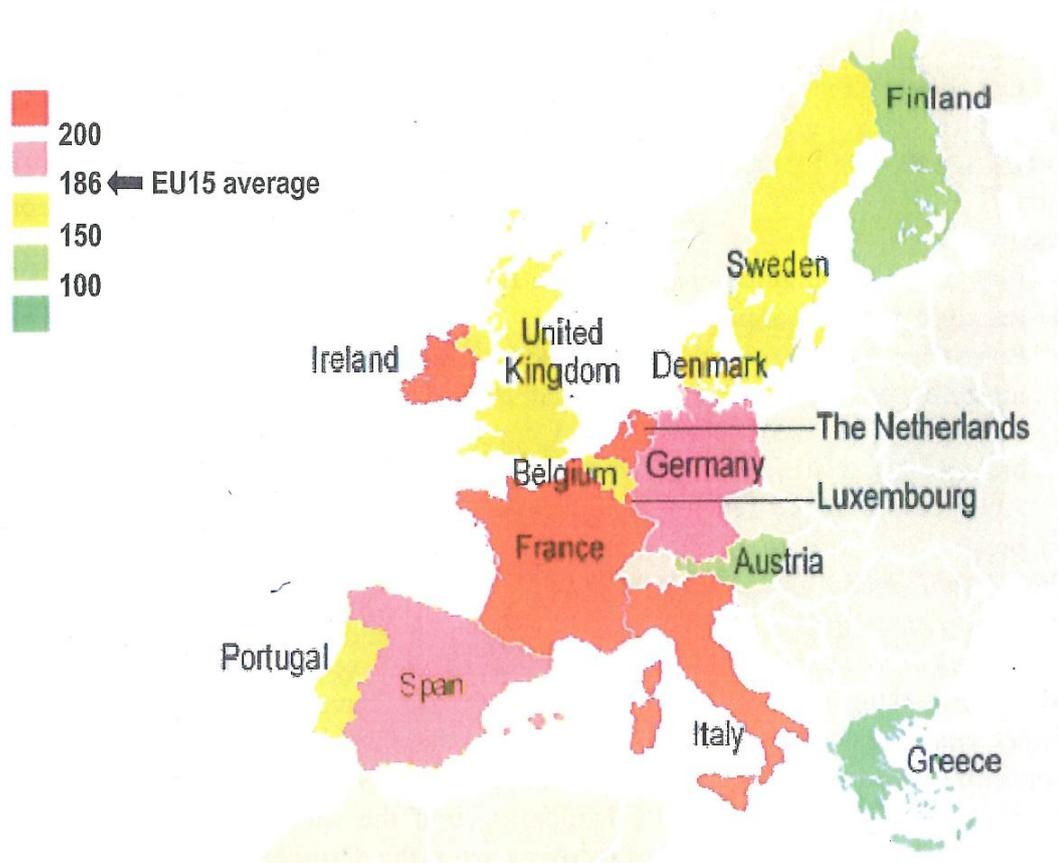
Así, el objetivo último de este estudio es iniciar el proceso de integración del Ecodiseño en los sistemas de gestión ambiental de la empresa farmacéutica CINFA.

## 2. Impacto medioambiental de los envases

En los últimos años el problema de la producción de residuos se ha vuelto más urgente, sobre todo en países desarrollados y en vía de desarrollo. Es difícil cuantificar el problema a escala global debido a cómo se define e identifica el *residuo*. Aun así se pueden hacer estimaciones aproximadas que indiquen la dimensión del problema como pueden ser los 4 billones de toneladas de basura producidas en el 2001 por los países que forman la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)[3].

Acciones directas para revalorar materiales desechados, como separar correctamente la basura y el reciclaje, pueden jugar un papel estratégico en la solución del urgente problema de los residuos. Otras medidas más radicales conciernen al sistema de consumo, el cual necesita ser repensado y readaptado a las demandas del medio ambiente, si se quiere mantener la condición de sostenibilidad.

En este contexto, el uso y tratamiento de los envases juega un papel fundamental dado el alto porcentaje de envases que generamos como residuos. De acuerdo a un cálculo aproximado, en los países industrializados, un tercio de los residuos sólidos no derivados de actividades industriales es atribuible a los envases. En lo que respecta a los países de EU15, la última estimación disponible (2007), muestra la generación de envases residuales distribuida, tal y como refleja la Figura 1, con un valor medio de 186 kg de residuos per cápita.



**Figura 1-** Distribución de la producción de residuos de envases en los países del EU15, en kg per cápita, en el año 2007 (Fuente: EEA 2010).

En los últimos años, por tanto, el problema medioambiental de los envases ha adquirido importancia. Su considerable impacto en todos los sistemas socioeconómicos basados en la producción y venta de bienes de consumo ha hecho que más de 30 países en el mundo hayan adoptado instrumentos legislativos expresamente concebidos para regular el uso de envases y administrar la basura resultante de los mismos.

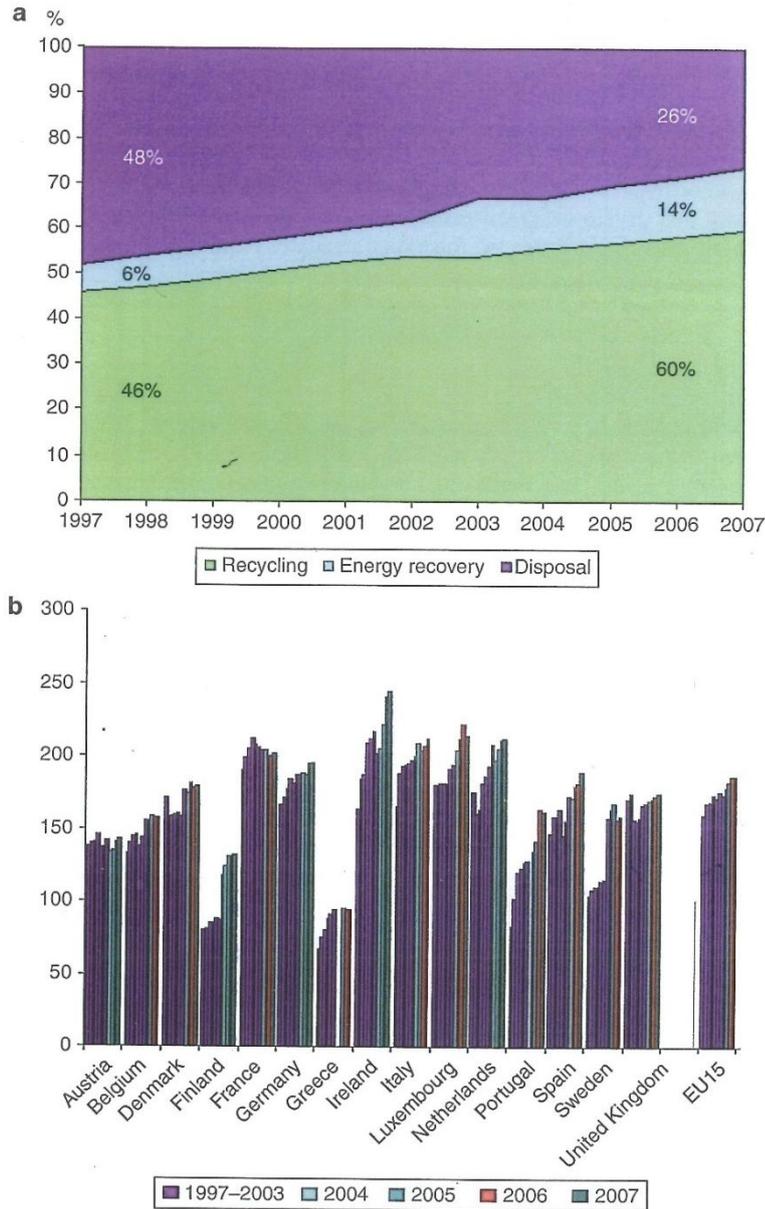
Cada jurisdicción ha implementado diversas normas y programas diferenciando en el grado de responsabilidad atribuido a cada uno de los actores involucrados en la producción y administración de los residuos, y en los mecanismos financieros adoptados para mantener y promover esos programas. El marco regulador adoptado en Europa empezó con la directiva 94/62/CE relativa a los envases y sus residuos y se reforzó con las directivas 2004/12/CE Y 2005/20/EC y las regulaciones 1882/2003 y 219/2009, que se ha convertido en un modelo de referencia.

Si bien originalmente la directiva tenía el objetivo de armonizar medidas nacionales para el tratamiento de los envases y sus residuos, en la actualidad direcciona todos los productos utilizados para contener o proteger bienes de cualquier tipo (desde materias primas a productos acabados) y permite su manufactura y transporte, promoviendo las siguientes medidas de intervención:

- Prevenir la generación de envases como residuos.
- Promover la reutilización de los envases.
- Fomentar el reciclaje de materiales y otras formas de recuperar residuos, incluyendo entre las formas de recuperación, todas las definidas en la directiva 75/422/CE, como la recuperación de energía y el reciclaje orgánico (compostaje y otros procesos biológicos de transformación).

Aunque el marco regulador está basado en la premisa de que la mejor manera de prevenir la creación de envases residuales es la prevención, esto es, la reducción de la mayor cantidad puesta en consumo y que, por lo tanto, el tratamiento de envases debe priorizar su reducción cuantitativa y su reutilización, los objetivos se fijaron respecto a los porcentajes en peso de los materiales para ser recogidos y reciclados. Es decir, se primó la política de reciclaje. De hecho, la Ley Española de envases y residuos de envases [4] y de residuos y suelos contaminados [5], jerarquiza la gestión del fin de vida de los envases en: 1- prevención; 2- reutilización; 3- reciclado; 4- otras formas de recuperado o valorización (incineración); y finalmente 5- eliminación.

Los datos de cantidad de residuos de envases producidos y los modos en que han sido tratados en la Europa de los quince en el periodo 1997-2007 (EAA 2010) muestran la evolución del fin de vida dado a estos envases. El mayor problema es que frente al elevado porcentaje de residuos tratados mediante reciclaje y recuperación de energía, y una reducción (del 48% al 26% en 10 años) en la fracción vertida (Figura 2a), la producción per cápita de residuos de envases ha seguido aumentando en casi todos los países Europeos, exceptuando Austria y Francia (Figura 2b).



**Figura 2-** Residuos de envases en los países del EU15 en el periodo 1997-2007. (a) Tendencial porcentual de los tratamientos; (b) Tendencia cuantitativa de los residuos de los envases, en kg per cápita anuales (Fuente: EEA 2010).

Por tanto, para reducir el volumen creciente de residuos de envases las políticas europeas van a tener que primar el aspecto preventivo mediante normas directas dirigidas a ampliar la responsabilidad del productor y asumir los costes medioambientales. Sólo una norma de esta naturaleza puede obligar a los productores, tanto de envases como de productos envasados, a organizar el sistema producto-envase del modo más eficiente, no sólo en términos funcionales y económicos, sino también abordando temas medioambientales.

Como consecuencia, el diseño de envases asume un papel clave en la confrontación del problema asociado al impacto medioambiental. Solo a través de una intervención originada en las fases de concepción y desarrollo del envase, - fase donde una razonable y eficiente administración del amplio espectro de los requerimientos de diseño es posible-, pueden las estrategias de reducción cuantitativa y reutilización, las más eficientes para la protección del medio ambiente, ser perseguidas de una manera efectiva.

Para que la sostenibilidad medioambiental y la prevención de la contaminación en origen se conviertan en un requisito considerado a la par con otros requisitos convencionales, el enfoque tradicional del diseño del envase debe ser ampliado, introduciendo nuevos métodos y herramientas de análisis. El Ecodiseño precisamente trata de reducir la contaminación y el uso de materiales desde el origen del diseño del producto. Por tanto, políticas orientadas a priorizar el diseño que tenga los aspectos ambientales del producto son las que ya se están empezando a implementar en Europa.

En este sentido, en el programa de financiación de proyectos de innovación e investigación de la Unión Europea, Horizonte 2020, se encuentra el Programa 12: “Acción por el clima, el medio ambiente, la eficiencia de los recursos y materias primas”. El objetivo principal de este programa es conseguir una economía y sociedad eficientes con respecto al uso de los recursos naturales[6].

La norma de Ecodiseño es un paso adelante para incluir la prevención dentro de los sistemas de gestión ambiental de las empresas. Esta norma tiene en cuenta las nuevas políticas de prevención y trata de implementar mejoras ambientales desde el inicio del diseño del producto. Como se ha visto, las nuevas políticas europeas en relación al embalaje priman la reducción en origen. Así, la norma de Ecodiseño permite adelantarse a futuras leyes medioambientales a las empresas que generan gran volumen de residuos derivados de sus envases.

La principal característica del Ecodiseño es su orientación hacia el ciclo de vida del producto, esto es, tener en cuenta todos los impactos ambientales generados a lo largo del ciclo de vida de un producto. Implementando las técnicas para evaluar los impactos medioambientales del ciclo de vida (LifeCycle Assessment – LCA) es posible ayudar al diseñador en una intervención capaz de:

- Ocuparse de los aspectos medioambientales del modo más eficiente y completo posible, extendiendo el análisis al ciclo de vida completo del envase.
- Ser proactivo, no limitarse a aplicar medidas correctoras, sino a operar de forma que se desarrollen envases eco-sostenibles desde las primeras fases de diseño, mientras se mantienen las funciones estándar que se requieren.

### **3. Políticas de prevención. Ecodiseño.**

El Ecodiseño surge como una respuesta a la necesidad de introducir criterios ambientales en las fases de producción, distribución, utilización, reciclaje y tratamiento final de cualquier producto con el propósito de prevenir o reducir el impacto ambiental durante todo su ciclo de vida. En definitiva, el Ecodiseño previene la contaminación, la generación de residuos, y el uso desmedido de recursos naturales, manteniendo, e incluso mejorando, la calidad del producto final.

La metodología del Ecodiseño incorpora criterios ambientales en la fase de diseño de un producto. La variable ambiental se considera como un requisito más del producto que se suma al resto más convencionales. La aplicación de esta variable no ha de afectar al resto de propiedades del producto y hace falta combinar precio y mejora ambiental de forma importante, con el objetivo de fabricar productos de un impacto ambiental global reducido a precios competitivos.

Se considera que cualquiera de las acciones siguientes forma parte del Ecodiseño:

- Concepción de los productos teniendo en cuenta su ciclo de vida (obtención de materiales, producción, distribución, uso, final de vida).
- Incorporación de criterios ambientales en el diseño de un producto y en las fases de producción, distribución, utilización, reciclaje y tratamiento final.
- Reducción de la carga ambiental (residuos y emisiones) asociada al ciclo de vida de un producto.

Cuando el Ecodiseño tiene en cuenta criterios de mejora económica se habla de Ecodiseño eficiente. Este considera la reducción de los costes asociados al producto, al mismo tiempo que consigue una disminución progresiva de los impactos ambientales y la utilización intensiva de los recursos en todas las etapas de su ciclo de vida. Lógicamente, el Ecodiseño trata de mejorar los aspectos ambientales del producto, manteniendo e incluso mejorando, sus aspectos técnicos. Además, el Ecodiseño supone una oportunidad de mercado al proponer productos mejor diseñados, diferenciados de la competencia, y con mejores prestaciones.

Si los criterios ambientales y económicos se consideran iguales, se habla de Ecodiseño sostenible. El Ecodiseño sostenible es aquel capaz de diseñar productos que puedan satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos para las generaciones futuras, contabilizando mejoras ambientales a lo largo de su ciclo de vida con mejoras del balance económico del producto, el consumo responsable y el desarrollo sostenible.

### **3.1. Ventajas del Ecodiseño**

- Reducción de los costes de fabricación y distribución mediante la identificación de los procesos ineficientes a mejorar.
- Contribución al desarrollo sostenible.
- Potenciación de la innovación dentro la empresa, que puede ayudar a encontrar nuevas soluciones y facilitar la creación de nuevas oportunidades de mercado.
- Consolidación de la imagen de la marca y del producto gracias a una actitud más innovadora y sensible en relación a los temas ambientales.
- Cumplimiento de las normativas ambientales aplicables y anticipación a los futuros cambios legislativos. La normativa vigente se debe considerar como el punto de partida a mejorar.
- Mejora de la calidad de los productos mediante el incremento de su durabilidad y funcionalidad, haciéndolos más fáciles de reparar y reciclar.
- Mayor valor añadido de los productos al tener un menor impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida y una mejor calidad.

- Posibilidad de acceder a los mercados de compra ambientalmente correcta o compra verde.
- Ampliación del conocimiento del producto y de su ciclo de vida, que puede ser utilizado en la planificación estratégica, la comunicación o el benchmarking de la empresa.

### **3.2. Norma de Ecodiseño UNE-EN ISO 14006**

Como ya se ha dicho, una de las estrategias que fundamenta las políticas comunitarias de gestión de residuos consiste en evitar su generación mediante la mejora del diseño del producto.

Las Directivas sobre envases y residuos de envases (Directiva 94/62/CE), vehículos al final de su vida útil (Directiva 2000/53/CE) y aparatos eléctricos y electrónicos (Directivas 2002/96/CE y 2002/95/CE) insisten en la responsabilidad del fabricante sobre el comportamiento ambiental de sus productos.

En este sentido, estas directivas definen objetivos de reciclaje y valorización de los residuos de estos productos, que deben ser considerados a la hora de diseñarlos. Actualmente la Unión Europea está trabajando en la elaboración de una Directiva (Propuesta de Directiva EuP) sobre el ecodiseño de productos que utilizan energía, como por ejemplo aparatos eléctricos o de calefacción. Ya que los productos que utilizan energía son los más preocupantes debido al acuciante problema de la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, esta directiva ya está en marcha. Se espera que nuevas directivas que obliguen a un diseño sostenible de otros tipos de productos se vayan aplicando en un futuro cercano.

La norma sobre "Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación de Ecodiseño UNE-EN ISO 14006[1] especifica los requisitos que debe cumplir el proceso de diseño y desarrollo de una empresa para que se pueda dar la mejora ambiental continua de sus productos y/o servicios mediante un sistema de gestión ambiental. Esta Norma es opcional para las empresas que quieran mejorar su sistema de gestión ambiental, pero sienta las bases de una futura ley que obligue a cumplir con los requisitos del diseño preventivo.

### 3.2.1. El enfoque Ciclo de Vida

La Norma especifica que un proceso de Ecodiseño debería basarse en el enfoque ciclo de vida, lo que requiere tener en consideración durante el proceso de diseño y desarrollo los aspectos ambientales significativos de un producto en todas las etapas de su ciclo de vida.

Los elementos clave del enfoque ciclo de vida son:

- Tener como objetivo la minimización del impacto ambiental global adverso del producto,
- Identificar, evaluar cualitativamente, y cuando sea factible, cuantificar los aspectos ambientales significativos del producto,
- Considerar las compensaciones entre los diversos aspectos ambientales y entre las distintas etapas del ciclo de vida.

Las distintas etapas del ciclo de vida de un producto (y del producto embalaje estudiado en este trabajo) se muestran en la Figura 3.



**Figura 3-** Ciclo de Vida de un Producto

Las etapas del ciclo de vida son:

- 1- Extracción de las materias primas
- 2- Fabricación
- 3- Distribución
- 4- Uso
- 5- Fin de Vida

El enfoque fin de vida en el Ecodiseño supone considerar que en todas y cada una de las etapas del ciclo se generan impactos. El Ecodiseño tiene que incidir en las etapas de mayor impacto y rediseñar el producto para reducir el impacto en ellas.

### **3.2.2. Metodología del Ecodiseño**

El objetivo principal del Ecodiseño es, por tanto, rediseñar desde las etapas primeras del diseño, un producto-sistema para reducir el impacto medioambiental de su ciclo de vida. Tanto si se trata del rediseño de un problema ya establecido, o de la creación de un nuevo producto, es necesario determinar los impactos de las etapas del ciclo de vida del producto e incidir en esas etapas tratando de reducir su impacto. Se podría decir que ese es el núcleo de cualquier proceso de Ecodiseño. Para ello es necesario conocer en profundidad el sistema, definir bien cuáles son los límites del estudio, hacer una interpretación de los resultados... Esto es, hay que implantar una metodología de Ecodiseño.

La Norma, en su capítulo 5, muestra cómo se puede incorporar y gestionar un proceso de Ecodiseño dentro de un sistema de gestión ambiental de una empresa. En su capítulo 6, la norma explica cómo se debe tener en cuenta el Ecodiseño en el proceso de diseño y desarrollo, es decir, se describe la metodología del Ecodiseño.

Hasta la publicación de la Norma UNE-EN ISO 14006 en 2011 ha existido mucha confusión a la hora de plantear la metodología del Ecodiseño y la mejor manera de implementarlo en las metodologías al uso de diseño de productos y en el sistema de gestión ambiental de la empresa. Se pueden citar varios ejemplos de intentos de descripción de esta metodología. Así, Rieradevall J. [7] y Capuz S. [8], en sus libros pioneros en España en explicar en qué consiste el Ecodiseño, proponían unametodología de implantación. También IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco) editó hace unos años una herramienta de Ecodiseño para PYMES [9]. Pero no ha sido hasta la aparición de la Norma que se ha definido cuáles son los pasos a seguir dentro del método de Ecodiseño.

Deberían de realizarse, según la Norma, las siguientes etapas durante el diseño y desarrollo:

- **ETAPA 1:** Especificar las funciones del producto
- **ETAPA 2:** Definir los parámetros ambientales significativos a partir de los requisitos ambientales de las partes interesadas, los elementos de entrada, y la evaluación de los aspectos ambientales.
- **ETAPA 3:** Identificar las estrategias pertinentes de mejora ambiental para el producto, en función de los aspectos y los parámetros ambientales identificados en las etapas anteriores. Establecer una especificación de producto que incluya los objetivos/metás ambientales (especificación ambiental del producto)
- **ETAPA 4:** Desarrollar soluciones técnicas para cumplir los objetivos/metás ambientales sin olvidar otras consideraciones del diseño.

En este estudio se van a seguir estas cuatro etapas para el Ecodiseño de los dos productos de la empresa CINFA seleccionados.

La Etapa 2 del proceso del Ecodiseño, la denominada “Evaluación Ambiental de los Productos”, quizás sea el proceso más conflictivo dentro de todos los que se realizan en el proceso de Ecodiseño. Se trata de determinar qué etapas dentro del ciclo de vida del producto son las más impactantes. La Norma dice: “Cuando se determinan los aspectos ambientales del producto, la evaluación ambiental se lleva a cabo de acuerdo con un procedimiento establecido. Hay distintos métodos y herramientas de análisis disponibles, con una complejidad que va de muy sencilla a muy avanzada. La elección del método o de la herramienta depende por ejemplo de la estrategia de la organización, el tipo de producto, la experiencia, el tiempo, y el presupuesto”.

En este trabajo, en base a la experiencia del grupo que realiza el estudio, se ha elegido realizar esta evaluación con la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el más complejo, objetivo y detallado, de todos los métodos existentes. Entre ellos se encuentran la Matriz MET o el análisis vectorial (VEA). Estos procedimientos son en gran parte cualitativos. Tal y como se especifica en la etapa 2 del Ecodiseño, esta evaluación se hará cuantitativamente cuando sea posible. Es lo que se ha hecho en este trabajo utilizando la herramienta informática GaBi<sup>®</sup> 6.0. Pro. A continuación se pasa a explicar en qué consiste la herramienta ACV.

## **4. Análisis de Ciclo de Vida**

Es un proceso objetivo para evaluar de forma cuantitativa las cargas ambientales asociadas a un producto. Consiste en identificar y cuantificar tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental.

El análisis de ciclo de vida, ACV (LCA en nomenclatura inglesa), estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad.

El ciclo de vida de un producto considera toda la “historia” del producto, desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. Se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y reparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución, uso, etc.

En un ACV completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o no se puede utilizar.

El ACV consiste, por tanto, en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida.

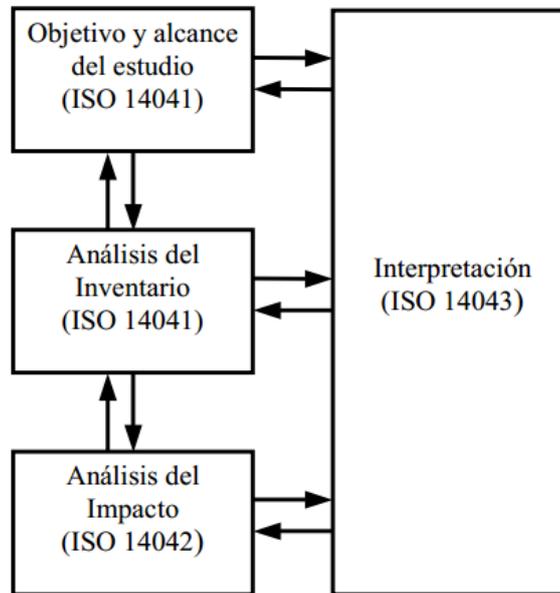
Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas (ISO International Standard, 1997).

La Norma ISO 14044:2006[2] sistematiza los pasos a seguir en todo estudio de ACV. Aunque no se especifique en la Norma de Ecodiseño que deba de seguirse esta Norma de ACV para la realización de la etapa 2, en este trabajo se va seguir esta norma, ya que se considera que es mejor método para hacer un correcto estudio de ACV.

## 4.1. Metodología del ACV.

De acuerdo con la metodología propuesta por la normativa ISO 14044:2006 un proyecto de ACV debe dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación.

Tal y como ilustra la Figura 4, estas cuatro fases no son simplemente secuenciales. El ACV es una técnica iterativa que permite ir incrementando el nivel de detalle en sucesivas iteraciones.



**Figura 4-** Etapas del ACV

## **ETAPA 1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO**

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo y se establece la unidad funcional. La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado. Un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. Por ejemplo, no es válido comparar dos kilos de pintura diferentes que no sirvan para realizar la misma función, cubrir un área con una duración similar.

Debido a su naturaleza global, un ACV completo puede resultar extensísimo. Por esta razón se deberán establecer unos límites que deberán quedar perfectamente identificados. Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV. Varios factores precisan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto.

## **ETAPA 2. ANÁLISIS DEL INVENTARIADO**

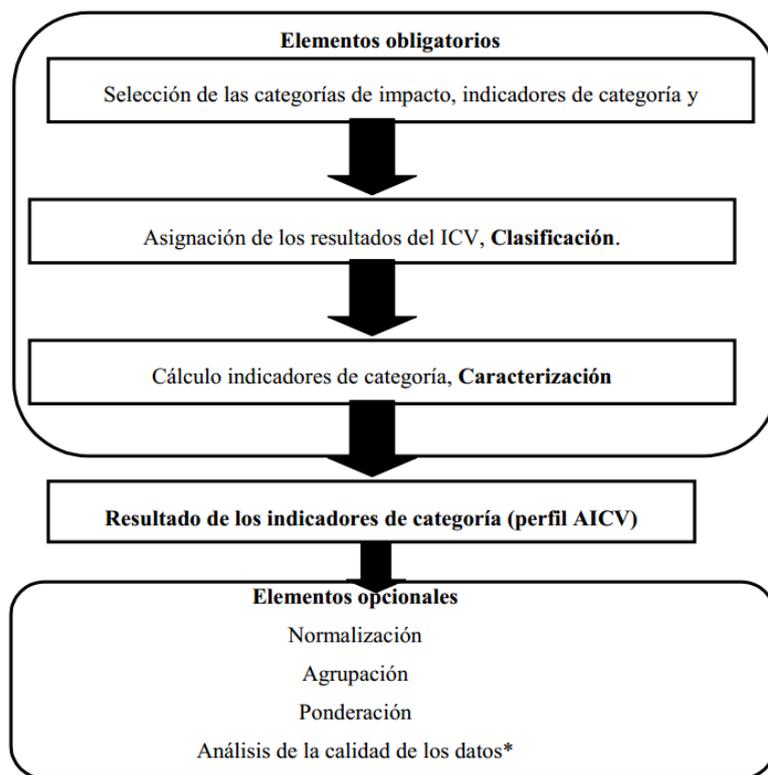
Esta fase comprende la obtención de datos y procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. De una forma genérica denominaremos estos efectos ambientales como “carga ambiental”. Esta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. Con esta definición se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc. Cuando se trabaje con sistemas que impliquen varios productos, se procederá a asignar en esta fase, los flujos de materia y energía, así como las emisiones al medio ambiente asociadas a cada producto o subproducto.

### ETAPA 3. ANÁLISIS DEL IMPACTO (AICV)

La estructura de esta fase viene determinada por la normativa ISO 14042, distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales.

Los elementos considerados obligatorios son:

- Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.
- Clasificación. En esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.
- Caracterización. Consiste en la modelización, mediante los factores, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto.



**Figura 5-** Elementos obligatorios y opcionales del AICV de acuerdo con la norma ISO 14042.

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV.

- Normalización. Se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal.
- Agrupación, clasificación y posible catalogación de los indicadores.
- Ponderación. Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.
- Análisis de calidad de los datos. Ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del AICV. Se considerará obligatorio en análisis comparativos.

#### **ETAPA 4. INTERPRETACIÓN**

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados de análisis del inventario con la evaluación del impacto. Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto, que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cuál presenta un mejor comportamiento ambiental.

#### **4.2. ACV Software**

En los últimos años, y basados en la metodología del ACV, se han desarrollado numerosos programas para facilitar su realización. La mayoría de estos programas incluyen bases de datos que pueden variar en extensión y calidad de dichos datos y, por lo tanto, en el precio. Las bases de datos de inventario públicos vienen incorporadas en la mayoría de los programas comerciales.

En ellos se introducen los datos que configuran el inventario para posteriormente realizar los cálculos propios de la fase del AICV, obteniéndose los resultados para las diferentes categorías de impacto elegidas. Algunos de estos programas realizan también análisis de sensibilidad e incertidumbre.

Como ejemplos de software presentes en el mercado se pueden citar GaBi (IKP), LCAiT (Chalmers), Simapro (PréConsultants), TEAM (ecobilangroup), Umberto (IFEU)... La siguiente tabla presenta alguna de las herramientas existentes en el mercado actualmente. En este trabajo se utiliza el programa GaBi® 6.0. Pro.

**Tabla 1-** Características de los distintos Softwares para la realización de ACVs.

Software	Compañía	País	Observaciones
GaBi	Stuttgart University	Alemania	En contraste con las herramientas clásicas de ACV este programa ofrece además un análisis económico.
Simapro	Pré- consultants	Holanda	Compara y analiza complejos productos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos. Aplicación industria química, plásticos, aceros...
Boustead	BoustedConsulting	Suecia	Balance de energía y materiales. Aplicación principal en el sector envases y productos papel.
Euklid	Fraunhofer-Institut	Alemania	Productos industriales
KLC ECO	Finnish Pulp and Paper Research Institute	Finlandia	Industria papelera
WISARD	PricewaterhouseCoopers	Francia	Análisis del impacto económico y ambiental del residuo sólido municipal.
Umberto	Ifeu-Institut	Alemania	Preparación de ACV, ecobalances empresariales.
TEAM	Ecobilan	Francia	Muy completo, su base de datos incluye más de 500 módulos de diferentes sectores.

## **5. Resumen y Objetivos**

Así, tal y como se ha explicado, en este trabajo se va a tratar de reducir el impacto medioambiental de envases de la industria farmacéutica CINFA mediante la política de prevención. Prevenir supone reducir en origen la contaminación y el gasto de recursos mediante un buen diseño, esto es, ecodiseñar los productos. Los envases de productos seleccionados han sido: jarabe expectorante CINFATÓS y la crema para pieles muy secas y atópicas de la línea Be+.

En la Figura 6 se muestra un esquema del proceso de Ecodiseño seguido en este trabajo. Dentro de estos pasos también se encuentra la realización de ACVs. También se especifican los pasos realizados para llevarlos a cabo. En el Capítulo 2 se realiza el Ecodiseño del envase de jarabe Expectorante CINFATÓS siguiendo los pasos especificados en la Figura 6. En el Capítulo 3 se realiza el mismo proceso para el envase de la crema para pieles muy secas y atópicas de la línea Be+. En el Capítulo 4 se muestran las conclusiones del trabajo.

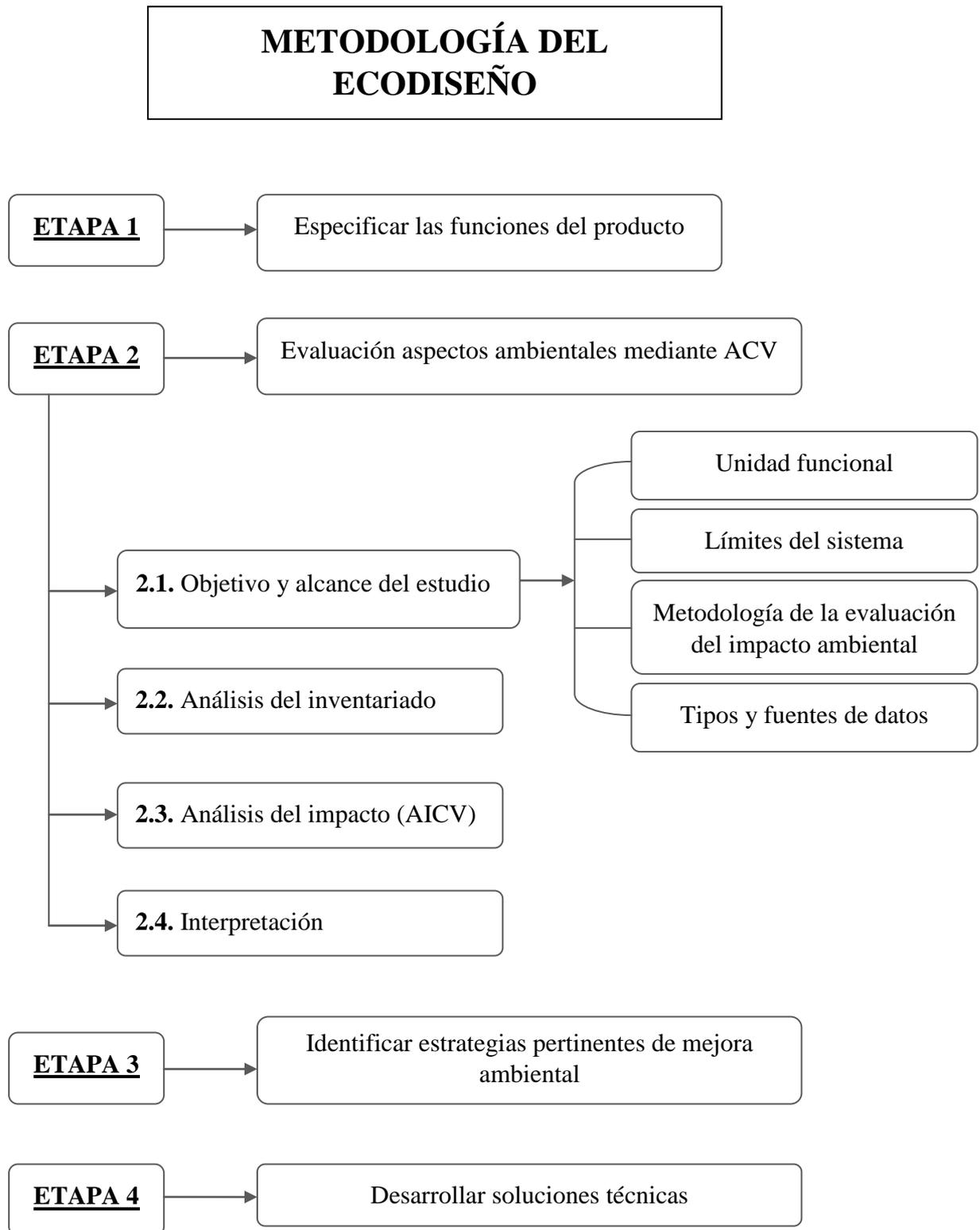


Figura 6- Proceso de Ecodiseño



## **CAPÍTULO 2. ECODISEÑO DEL ENVASE DE JARABE EXPECTORANTE CINFATÓS**



Tal y como se ha dicho, se va a realizar el Ecodiseño siguiendo los pasos especificados en la Norma UNE-EN ISO 14006 y descritos en el apartado 3.2.2. del Capítulo 1 y en la Figura 6.

## 1. Especificar las funciones del producto

El jarabe CINFATÓS se comercializa en una botella de vidrio con tapón de aluminio. Además, tiene un dosificador de polipropileno, todo ello en un estuche de cartón, donde se incluye el prospecto. En la Figura 7 se muestra una foto del sistema estudiado. En este caso se va a hacer el estudio del envase de 200 ml.

Se puede definir un envase como “todo aquél producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza que se utilice para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, desde materias primas hasta artículos acabados, y desde el productor hasta el usuario o consumidor”. El envase del jarabe a estudio se trata de un envase primario. Este se define como “cualquier envase concebido para constituir una unidad de venta al usuario final o consumidor en el punto de venta” [10].

Así, las funciones del producto son proveer un envase seguro e inerte para la comercialización y uso del jarabe. Además, se suministra con el envase un pequeño dosificador.



**Figura 7-** Envase del jarabe expectorante CINFATÓS

## **2. Evaluación de los aspectos ambientales.**

Tal y como se ha especificado en el Capítulo 1 de introducción a este trabajo, se va a realizar la evaluación de los aspectos ambientales del envase mediante un Análisis de Ciclo de Vida. Para su realización se ha utilizado el Software GaBi 6.0<sup>®</sup> Pro. De nuevo, tal y como se especifica en la Figura 6 de la introducción, se va a realizar el ACV siguiendo la metodología especificada en la Norma ISO 14044:2006 y detalladas en el apartado 4.1. del Capítulo 1. También se han seguido las recomendaciones de la Norma CR 12340:1996 “Envases. Recomendaciones para realizar el análisis de inventario de ciclo de vida de sistemas de envasado” [10].

### **2.1. Objetivo y alcance del ACV.**

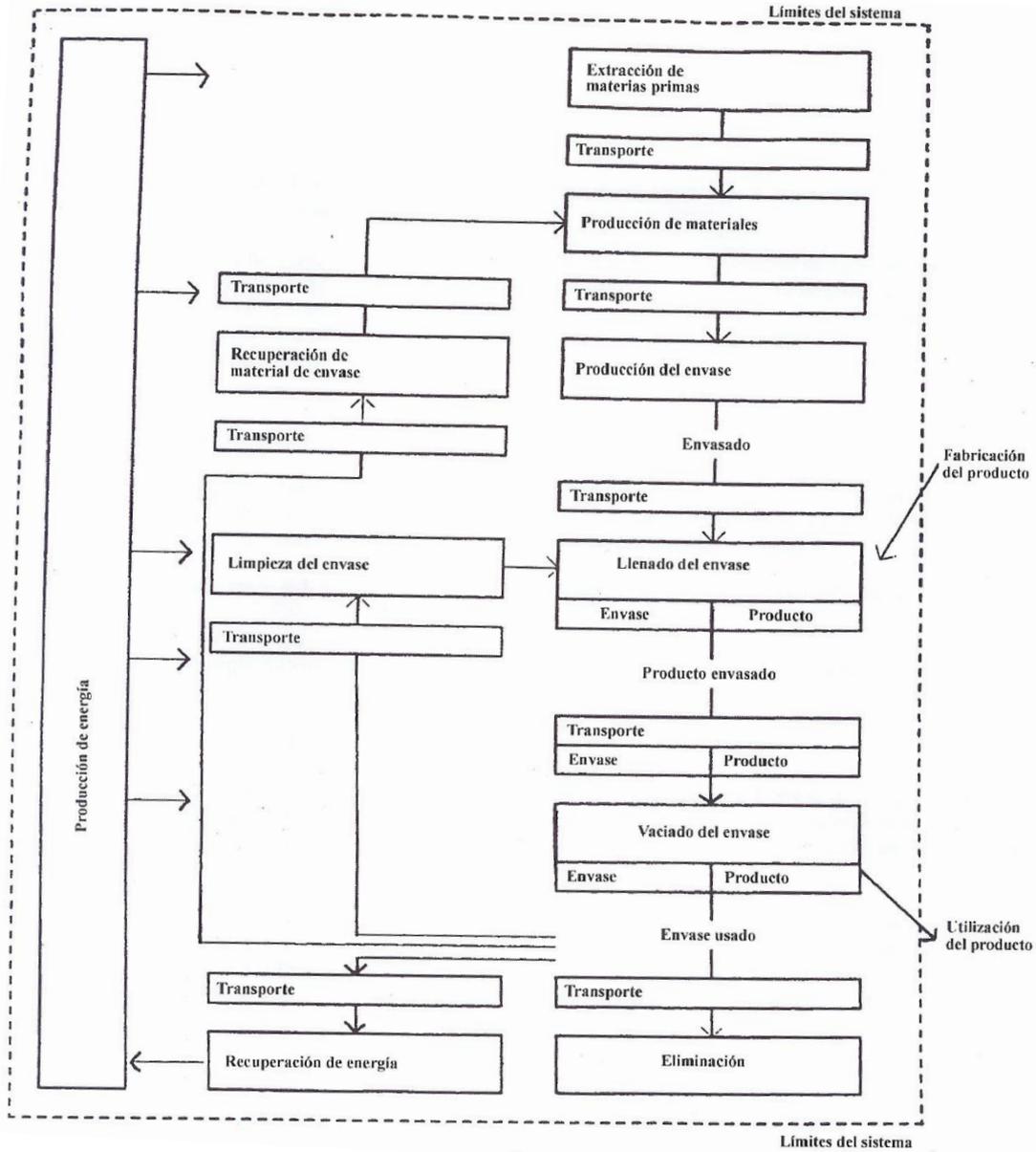
#### **2.1.1. Unidad Funcional**

La base del análisis del inventariado del ciclo de vida y del ACV es la unidad funcional. Normalmente se expresa en unidades de masa normalizadas de materiales de envase como unidad de volumen/unidad de masa/unidad de actividad de los productos envasados. La unidad de actividad se basa en la función definida del sistema; ej. para suministrar un litro de leche fresca a los consumidores. Así, para nuestro caso, la unidad funcional va a ser: envase para suministrar al consumidor final 200 ml de jarabe expectorante CINFATÓS.

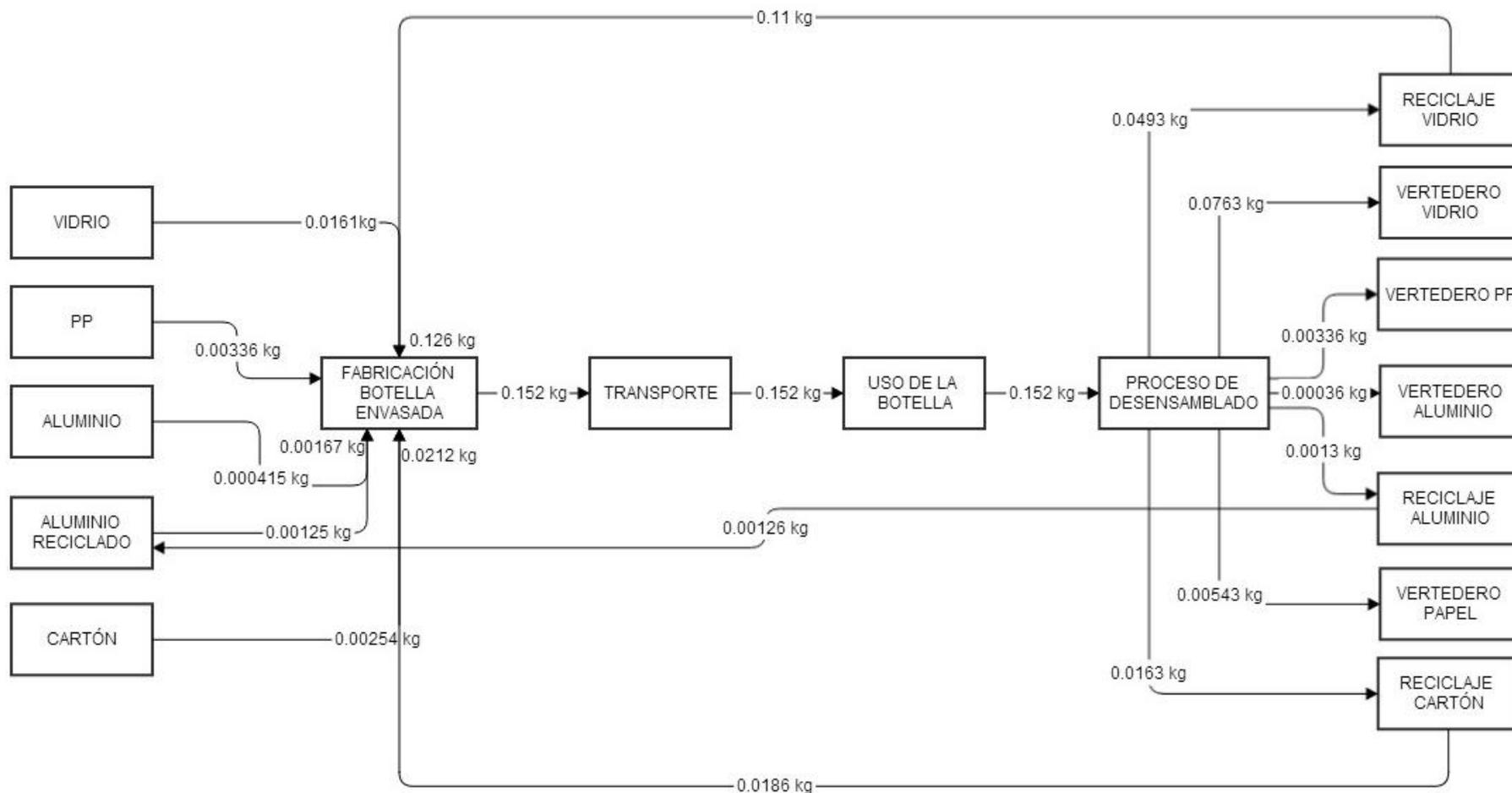
#### **2.1.2. Límites del sistema.**

Es importante diferenciar claramente los límites del sistema entre el envase y el producto envasado. El producto envasado (y los aspectos del procesado del mismo) no se incluyen normalmente en el análisis del ciclo de vida de un sistema de envasado [10]. En la Figura 8 se muestra un ejemplo de los límites del sistema de envasado suministrado por la norma. Como se puede ver, los impactos relacionados con el producto envasado se consideran fuera de los límites del sistema, no así todos los derivados del propio envase.

En la Figura 9 se muestra el diagrama de flujos del sistema a estudio, es decir, el envase de vidrio con su caja de cartón para la unidad funcional detallada en el apartado anterior.



**Figura 8-** Ejemplo de límites del sistema de envasado



**Figura 9-** Diagrama de flujos del sistema de envasado con botella de vidrio del jarabe CINFATÓS

### 2.1.3. Metodología de la evaluación del impacto ambiental

Una vez recogidos los datos del inventariado, se transforman todos los impactos a diversas categorías de impacto ambiental mediante los factores de caracterización [11, 12]. En este estudio todas las categorías de impacto ambiental se han tenido en cuenta: potencial de cambio climático, disminución de recursos naturales (minerales y fósiles), potencial de acidificación, potencial de eutrofización, ecotoxicidad (de sistemas fluviales, marinos y terrestres), toxicidad en humanos, disminución de la capa de ozono, y creación de ozono fotoquímico.

Los métodos de caracterización estándar desarrollados por Guinée (2002) [12] son los utilizados en este trabajo para obtener los 11 índices de impacto ambientales. A continuación, se detallan estos métodos para los 11 indicadores.

- **Cambio climático.** Modelo de caracterización: desarrollado por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático definiendo el potencial del de calentamiento global de diferentes gases efecto invernadero. Factor de caracterización: potencial del calentamiento global, GWP (Global Warming Potential) en sus siglas en inglés, para un horizonte de tiempo de 100 años para cada emisión de gas al aire [en kilogramos equivalentes de CO<sub>2</sub>].

- **Disminución de recursos abióticos fósiles y minerales.** Modelo de caracterización: han sido utilizados una reserva basada en concentraciones y un índice aproximado de desacumulación. El potencial de disminución abiótico, ADP (Abiotic Depletion Potential) en sus siglas en inglés, de recursos fósiles, es calculado basándose en el total de reservas de energía y en las extracciones anuales de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). Factores de caracterización: potencial de disminución de los recursos fósiles abióticos para cada extracción de combustibles fósiles,  $ADP_{fossil}$  [en megajulios (MJ) equivalentes]; y potencial de disminución de los recursos minerales abióticos para cada extracción de mineral,  $ADP_{elem}$  [en kilogramos de Sb equivalentes].

- **Acidificación.** Modelo de caracterización: modelo RAINS10, desarrollado por IIASA (International Institute for Applied System Analysis), que describe el destino y deposición de sustancias acidificadoras adaptadas al ACV. Factor de caracterización: potencial de acidificación, AP en sus siglas en inglés (Acidification Potential) para cada emisión acidificante al aire [en kilogramos SO<sub>2</sub> equivalentes].

- **Eutrofización.** Modelo de caracterización: procedimiento estequiométrico que identifica la equivalencia entre nitrógeno y fósforo para sistemas terrestres y acuáticos. Factor de caracterización: potencial de eutrofización, EP (Eutrophication Potential) en sus siglas en inglés, para cada emisión eutrofizante al aire, agua y tierra [en kilogramos (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> equivalentes].

- **Ecotoxicidad de agua dulce, agua marina y terrestre.** Modelo de caracterización: modelo USES 2.0 desarrollado por RIVM que describe el destino, exposición y efectos de las sustancias tóxicas, adaptadas al ACV. Factor de caracterización: potencial de ecotoxicidad en agua dulce, FAETP (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential) en sus siglas en inglés, de agua marina, MAETP (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential) en sus siglas en inglés, y terrestre (TETP) para cada emisión de sustancia tóxica emitida al aire, agua y/o tierra [en kilogramos de diclorobenceno equivalentes (DCB)].

- **Toxicidad humana.** Modelo de caracterización: modelo USES 2.0 desarrollado por RIVM que describe el destino, exposición y efectos de las sustancias tóxicas, adaptadas al ACV. Factor de caracterización: potencial de toxicidad humana, HTP (Human Toxicity Potential) en sus siglas en inglés, para cada emisión de sustancia tóxica para cada emisión de sustancia tóxica emitida al aire, agua y/o tierra [en kilogramos de diclorobenceno equivalentes (DCB)].

- **Disminución del ozono estratosférico.** Modelo de caracterización: el modelo de la Organización Mundial Meteorológica, que define el potencial de disminución de ozono para diferentes gases. Factor de caracterización: potencial de disminución de ozono, ODP (Ozono Depletion Potential) en sus siglas en inglés, en estado estacionario para cada emisión al aire [en kilogramos equivalentes de R11].

- **Formación de fotooxidantes.** Modelo de caracterización: Modelo UNECE de recorrido. Factor de caracterización: modelo de creación de ozono fotoquímico para cada emisión de compuestos volátiles orgánicos o carbono monóxido al aire. El potencial de creación de ozono fotoquímico, POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) en sus siglas en inglés, se mide en [kilogramos equivalentes de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>].

### 2.1.4. Tipos y fuentes de datos.

Los distintos pesos de los materiales del envase se han obtenido directamente por medida del producto suministrado por CINFA. Los datos medioambientales relacionados con el consumo de materias y emisiones para cada material y la energía usada, se han obtenido principalmente de las bases de datos del programa GaBi® 6.0 Pro. En el apartado siguiente de inventariado se especifican varias hipótesis que se han tenido que realizar, así como fuentes bibliográficas que se han utilizado.

## 2.2. Análisis del Inventariado.

La Tabla 2 muestra el peso de los distintos materiales que conforman el envase estudiado:

**Tabla 2-** Tipo y peso de los materiales del envase.

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>
Botella de vidrio	126,1 g
Tapón de aluminio	1,67 g
Dosificador de polipropileno	3,4 g
Prospecto (papel)	1,9 g
Estuche de cartón	19,4 g

En la Tabla 3 se muestra la fuente de los datos utilizados por el software para obtener todas las entradas y salidas de producción de cada uno de los materiales.

**Tabla 3-** Bases de datos utilizadas para el inventariado de datos.

Proceso	Fuente de datos del ICV
Botella vidrio	PE International 2012
Cajas de cartón	PE International 2013
Extrusión lingote aluminio	PE International 2010
Perfil extruido de aluminio	PE International 2009
Polipropileno, moldeo por inyección	PlasticsEurope (2012)
Polietileno de alta densidad, gránulos	PlasticsEurope (2009)
Inyección piezas de plástico	PE International 2012
Film PVC	PlasticsEurope (2006)
Electricidad (Mix España)	PE International 2013
Reciclaje de aluminio	PE International 2011
Botella PET	PlasticsEurope 2010
Vertedero papel	PE International 2012
Vertedero PP	PE International 2012
Vertedero vidrio	PE International 2012

A continuación se detallan las hipótesis que se han realizado en este trabajo:

- GaBi<sup>®</sup> 6.0 Pro dispone de un proceso de obtención de botellas de vidrio (Tabla 3) que es el que se ha utilizado en este trabajo. Este proceso asume para un kg de botellas de vidrio, 45 % de su peso es obtenido a partir de vidrio reciclado. También dispone de un proceso de creación de cajas de cartón. A diferencia del vidrio, en este caso, el proceso de creación de cajas de cartón utiliza un 87 % de cartón reciclado por kg de caja producido.

- Como se ve en la Tabla 2, el peso del prospecto es muy pequeño, y se ha asumido al del estuche de cartón.

- El transporte se ha realizado en camiones diésel una distancia media de 100 km.

- Con respecto al fin de vida, y fijándonos en las tasas de reciclado para estos materiales que existen en la actualidad, se decidió en un principio reciclar el 75 % del cartón y del vidrio, y llevar el resto del porcentaje al vertedero. Con el aluminio se decidió reciclar el 78 %. A continuación se detalla qué proceso se ha seguido con el reciclaje para cada uno de los materiales.

- Reciclado del vidrio. En realidad el proceso de reciclado de vidrio es tan sólo su recogida y trituración, para volver a llevarlo a la planta de fabricación. Como se ha dicho, GaBi<sup>®</sup> 6.0. Pro. dispone de un proceso para la simulación de producción de botellas de vidrio que tiene como materias primas un 40 % de vidrio reciclado, es decir, que la reducción del impacto por reciclado ya lo tiene en cuenta el programa. Lo único que se ha hecho, entonces, es cerrar el ciclo llevando el vertido como materia prima a la fabricación del vidrio, para así no tener que llevarlo al vertedero. El problema era que al reciclar de esta manera todo el vertido de vidrio (75 % del generado), el software daba problemas ya que el proceso de generación de botellas recalculaba el peso de botellas generado en función del flujo de vidrio reciclado introducido. Como este era mayor que el 40 % necesario para producir 0.126 kg, los flujos se distorsionaban.

Así que lo que se decidió fue crear dos procesos de formación de botellas. Uno con el 40 % del flujo de vertido, generándose 0.11 kg de botellas, es decir el 87 % del total. Y el proceso original se mantuvo para generar 0.0161 kg de botellas, es decir, el 13 % restante. Este proceso no tiene flujo de entrada de vidrio reciclado, aunque sí que lo tiene en cuenta a la hora de realizar los balances. Se podían haber ajustado los porcentajes más y conseguir que casi el 99 % de las botellas utilizasen el flujo de vidrio reciclado. Sin embargo, lo importante es resaltar que el software ya tiene en cuenta la disminución de los impactos ambientales por el uso de vidrio reciclado. Al final, el porcentaje de vidrio llevado al vertedero fue del 60%, aunque esto, como se verá, no tendrá importancia en los resultados finales.

- Reciclado del cartón. Este caso es similar al del vidrio, ya que el proceso de fabricación de cajas de cartón tiene también un porcentaje de cartón reciclado. En este caso se mantuvo que el 87 % (el mismo que para el vidrio) de las cajas se crearan con la entrada de cartón reciclado. El proceso de fabricación de cajas ya asume los impactos propios del reciclaje, así que estos no se han tenido en cuenta. Para más información de cómo se han realizado estos cálculos, consultar el documento que el software ha tomado como base [13].

- El Polipropileno del tapón dosificador se ha considerado que se lleva a vertedero. De todas maneras, el impacto que pueda tener esta tratamiento en mínimo ya que las cantidades son muy pequeñas (0,0034 kg).

- Reciclado de Aluminio. A diferencia de las botellas de vidrio y las cajas de cartón, no existe un proceso de generación de piezas de aluminio que tenga como entrada aluminio reciclado. GaBi<sup>®</sup> 6.0. Pro. dispone de un proceso para simular el proceso de obtener un lingote de aluminio a partir de virutas de residuo de aluminio. Este es el proceso que aparece en la Figura 9 como “Reciclaje de aluminio”. Se introduce en este proceso el 78 % del vertido de aluminio ya que el software en su base de datos informa que esta es la tasa de reciclado de este metal. El 22 % restante se lleva al vertedero. Obtenemos del proceso de reciclado un aluminio para nuevo uso de un peso de 1.26 g. Este se introduce en un proceso de conformado de piezas de aluminio. Como el peso del tapón de aluminio es de 1.67 g, lo que resta se ha obtenido a partir de material virgen (0.41g).

- No se han considerado en este estudio el impacto que puedan tener las tintas de impresión presentes en el estuche de cartón.

### **2.3. Evaluación del impacto ambiental.**

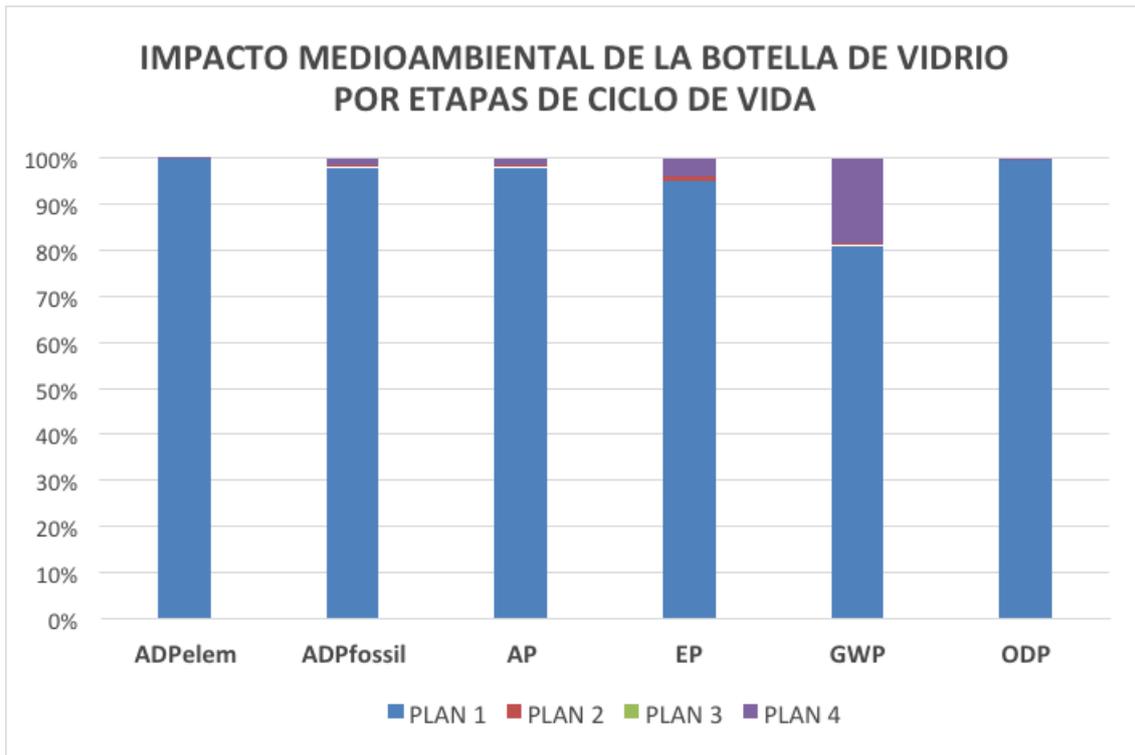
Tal y como se ha especificado, se han transformado todas las entradas y salidas del proceso de creación del envase de jarabe a unos indicadores ambientales mediante los factores de caracterización correspondientes. El objeto de este apartado es determinar qué fase del ciclo de vida del envase es la más impactante para proceder a su rediseño. Esta fase es realizada automáticamente por el software.

## 2.4. Interpretación

En la Figura 10 se presentan los datos obtenidos de forma que se puedan interpretar con facilidad. En esta figura se han presentado los porcentajes de contribución de cada etapa de ciclo de vida al total de la unidad equivalente de cada indicador. Por ejemplo, para el indicador de Cambio Climático (GWP) [kg de CO<sub>2</sub>Eq.] se ha presentado el porcentaje con el que contribuye cada etapa al valor global del ciclo de vida. Con esta representación podemos comparar los distintos indicadores, ya que al tener distintas unidades, no se pueden comparar en una misma gráfica. Para esta representación, y con el objetivo de hacerla más clara, se han representado sólo los indicadores ADP<sub>elem</sub>, ADP<sub>fossil</sub>, AP, EP, GWP, y ODP.

Como se puede observar, y también como cabría esperar, es la etapa de extracción de materias primas la etapa más contaminante con diferencia para todos los indicadores estudiados. En este punto hay que resaltar que las etapas denominadas en la Figura 9 como reciclaje de vidrio y cartón no se han tenido en cuenta como fin de vida, sino como etapa 1 de extracción y fabricación, ya que simplemente son la fabricación de estos componentes teniendo en cuenta que usan un determinado porcentaje de reciclado.

Resulta curioso observar que el indicador del calentamiento global (GWP) muestre un mayor impacto en la etapa 4 de fin de vida. Esto se debe a la incineración del dosificador de polipropileno. De todo el CO<sub>2</sub> que se crea en la etapa 4, casi el 85% se debe únicamente a este material.



**Figura 10-** Porcentaje de contribución de las distintas etapas del ciclo de vida al porcentaje de cada indicador (PLAN 1- Extracción de Materias primas; PLAN 2- Transporte; PLAN 3- Uso; PLAN 4- Fin de Vida).

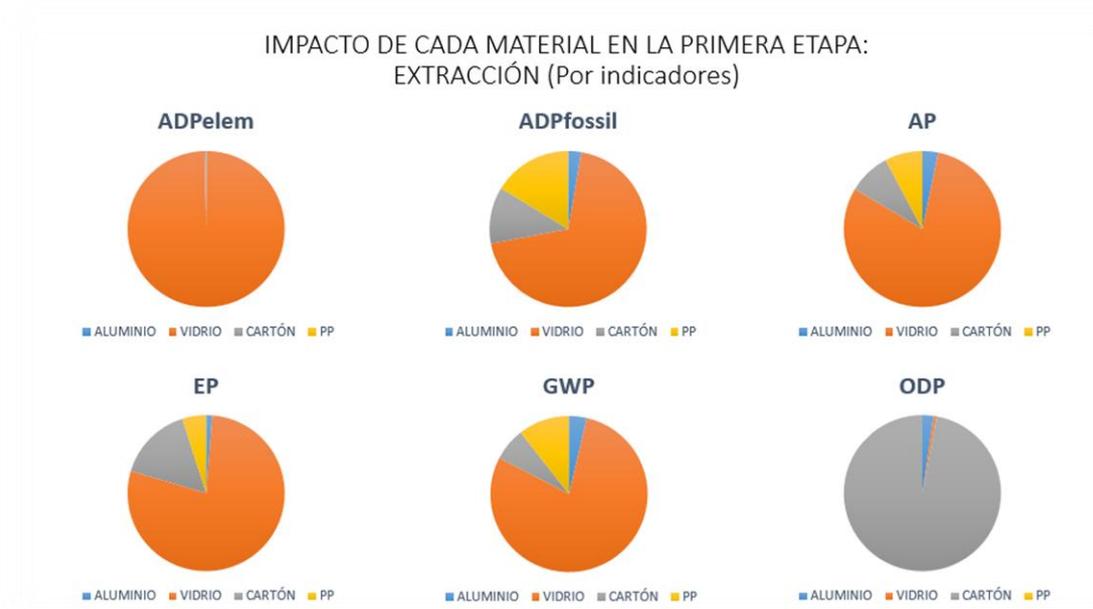
Dado que la etapa de extracción de materiales es la suma de varios procesos, se va a proceder a estudiar cuál es la contribución de cada uno de ellos. La etapa de extracción la conforman: fabricación de botellas de vidrio, fabricación de piezas de aluminio, fabricación de la pieza de PP, y fabricación de cajas de cartón. En la Figura 11 se presentan estos datos.

Se han representado en esta figura en varios diagramas de sectores la contribución de cada uno de estos cuatro procesos al valor global de cada indicador para esta etapa. Para el caso del indicador  $ADP_{elem}$ , que mide el uso de recursos naturales no fósiles, casi el total de indicador (>99.99 %) se debe al proceso de creación de las botellas de vidrio. Los motivos para esto son dos, primero, el peso de la botella es mucho mayor que el resto de elementos, y segundo, que las materias primas utilizadas en la obtención de vidrio son principalmente arena de sílice y otros elementos inorgánicos.

Si nos fijamos ahora en el indicador  $ADP_{fossil}$ , relacionado con el consumo de recursos naturales fósiles, vemos de nuevo que el proceso de creación de las botellas es el proceso más impactante con casi el 75 % del total del valor del indicador. El proceso de creación de vidrio se realiza en un horno a muy altas temperaturas y que funciona en continuo. En estos hornos se consigue la fusión de las arenas para obtener un fundido que por enfriamiento controlado dará el vidrio. Estos hornos, para obtener estas altas temperaturas, requieren gran cantidad de combustible, generalmente, gas natural. Además, en este proceso también se ha tenido en cuenta la energía utilizada para la inyección y conformado de la botella. Así, se puede entender que la fabricación de las botellas sea el proceso más impactante con respecto a este indicador. El proceso de obtención de aluminio también es muy costoso energéticamente, pero como el peso utilizado de material virgen es pequeño, apenas contribuye al valor total. Con respecto a los otros dos procesos, la fabricación de cartón y de PP, vemos que contribuyen con un 12 % cada uno respectivamente.

Si nos fijamos ahora en el indicador de Potencial de Acidificación, vemos que de nuevo es el proceso de fabricación de las botellas de vidrio lo más impactante. En este caso, con una contribución de casi el 80 % del total. Los causantes de este indicador son gases emitidos durante la producción del vidrio, derivados de la combustión del gas natural,  $SO_2$  y  $NO$ .

Para el caso del indicador de Potencial de Eutrofización, volvemos a observar la misma tendencia. Derivados de la combustión del gas natural para la obtención de energía en el horno, se emiten  $NO$  y  $NO_x$ , responsables del incremento de este indicador. Nuevamente, la emisión de  $CO_2$  resultante de la combustión del gas natural es la responsable del alto porcentaje del proceso de fabricación de vidrio en el total del indicador GWP.



**Figura 11-** Influencia de cada uno de los procesos de fabricación en el valor total de los indicadores en la etapa de la fabricación del envase de botella de vidrio.

El único indicador que no sigue la tendencia del vidrio es el ODP de disminución de la capa de ozono. Este indicador muestra que el material más impactante es el proceso de fabricación de las cajas de cartón. Son las emisiones orgánicas halogenadas, principalmente el Halon 1301, a la atmósfera los principales responsables del valor en Kg de R11 Eq. de este indicador. Estos gases son emitidos con el uso de pesticidas en el proceso de obtención de las materias primas para la fabricación del cartón [14]. El monobromotrifluorometano conocido comúnmente con el nombre de halón 1301, es un material incoloro y virtualmente inodoro. El bromo que contienen los halones reacciona con las moléculas de ozono de la estratosfera produciendo una pérdida de espesor en la capa de ozono.

Con estos datos podemos casi asegurar que es el proceso de fabricación de las botellas de vidrio es el más impactante de todas las actividades realizadas para obtener el envase del jarabe. Pero también puede verse que el proceso de obtención de las cajas tiene importancia según el indicador de disminución de la capa de ozono. Para determinar la importancia que tiene un indicador y transformar todos los valores a una unidad equivalente se realiza la etapa de normalización.

La ISO 14044:2006 define el proceso de normalización como “el cálculo de la magnitud relativa de cada indicador en relación a una referencia”. El principal objetivo de este proceso es determinar la importancia que tiene cada indicador. Para realizarlo lo que se hace es dividir los valores de los indicadores por una magnitud denominada “factor de normalización”. El valor de un índice normalizado representa el impacto relativo causado por el producto al impacto total en un área geográfica determinada. Una de las ventajas de la normalización es que permite la conversión de los valores de los distintos indicadores a una única unidad equivalente [11].

En la Tabla 4 se muestran los valores de los factores de normalización utilizados en este trabajo. Como se puede observar, con estos factores de normalización para Europa del Oeste se da importancia a indicadores como el de ecotoxicidad marina o disminución de recursos fósiles. Los motivos de esto es que Europa Oeste tiene una amplia parte de su superficie rodeada de mar y muchos de los contaminantes tóxicos emitidos a los ríos y atmósfera se acumulan en los océanos. El otro motivo es obvio, Europa no dispone apenas de recursos fósiles y por eso se prima el impacto del indicador  $ADP_{fossil}$ .

**Tabla 4-** Factores de Normalización para países de Europa del Oeste (GaBi® 6.0. Pro.)

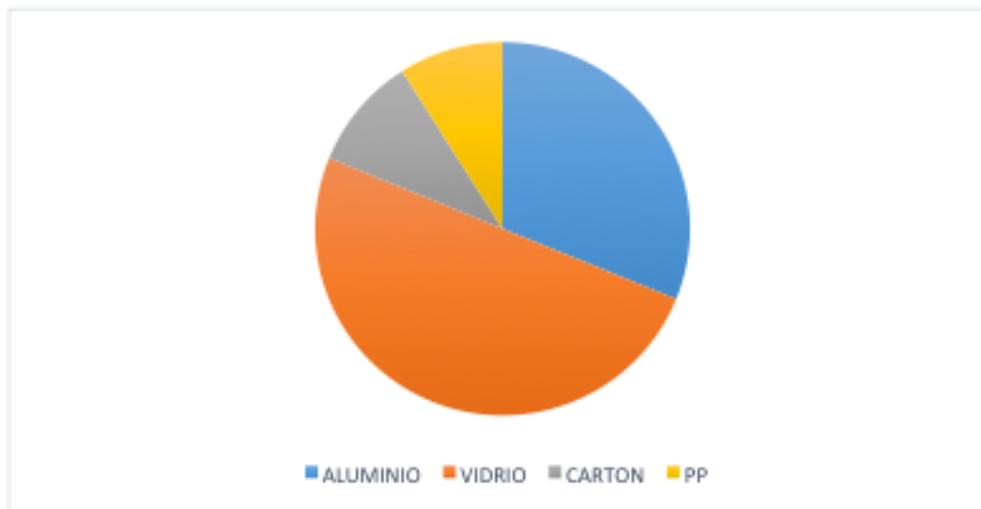
Indicador	Factor de normalización
GWP	1.92E-13
ADP elements	1.66E-07
ADP fossil	2.85E-14
AP	5.94E-11
EP	5.40E-11
FAETP	4.79E-12
MAETP	2.25E-14
TETP	8.62E-12
HTP	2.00E-12
ODP	9.80E-08
POCP	5.78E-10

Hay que resaltar que para la obtención de los valores normalizados sí que se han tomado los de todos los indicadores detallados en el apartado 2.1.3 del Capítulo 1. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 12 para el ciclo de vida total y en la Figura 13 para la etapa de Fabricación.



**Figura 12-** Datos normalizados para el ciclo de vida de la botella de vidrio de jarabe.

Como se puede ver, la etapa 1 de fabricación sigue siendo la más impactante, como es lógico observando la Figura 10.



**Figura 13-** Datos normalizados para la etapa de fabricación de la botella de vidrio de jarabe.

Como se ve en la Figura 13, el vidrio sigue teniendo un impacto muy grande para los datos normalizados. En concreto, la fabricación de la botella de vidrio contribuye en un 50 % al valor total del impacto normalizado. Pero un resultado que no cabría esperar de los datos sin normalizar es el valor normalizado del proceso de fabricación del aluminio, que contribuye con el 31 % al valor total.

Si investigamos en los datos obtenidos a partir de GaBi, vemos que es el indicador MAETP el causante de este mayor impacto. Este valor viene dado por emisiones a la atmósfera de HF. Como ya hemos visto en la Tabla 4 el normalizado prima este indicador por encima de otros para países de Europa del Oeste. El proceso de fundición de aluminio utiliza criolita sintética  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Se emplea fundida como fundente de la alúmina en la obtención de este metal por electrólisis. Las grandes cantidades de este mineral utilizadas en la industria no pueden ser obtenidas de los yacimientos naturales, por esto se produce este material artificialmente a partir de sales de aluminio y ácido fluorhídrico. Es el proceso de obtención del lingote de aluminio a partir de recursos naturales (0.000415 kg) el responsable de este valor, no el de obtención del lingote por aluminio reciclado. A pesar del pequeño peso del lingote virgen, se emite una pequeña cantidad de ácido fluorhídrico que da cierto valor al indicador MAETP. Al normalizar este valor se engrandece y da importancia a este material como causante del 30 % del proceso de fabricación y, por tanto, del ciclo de vida global del envase de vidrio.

### **3. Identificar las estrategias de mejora ambiental**

Existen varias estrategias de mejora ambiental en función de cuál sea la etapa más impactante del ciclo de vida del producto. En este caso, se ha determinado que la etapa más impactante con diferencia es la de Fabricación y extracción de los distintos componentes del envase, y dentro de estos, se ha encontrado que la fabricación de las botellas de vidrio y del tapón de aluminio, han sido los procesos más impactantes. Por tanto, las estrategias de mejora ambiental van a ir encaminadas a reducir los impactos generados por estos dos procesos. Así, se han elegido realizar las siguientes medidas:

*Medida 1.* Cambiar el material de la botella por Polietileno de tereftalato. Este polímero es ampliamente utilizado para el envasado de plásticos y, tras consultarlo con la empresa y con las normas de seguridad para productos farmacéuticos, se eligió este nuevo material para la botella de jarabe.

*Medida 2.* Cambiar el material del tapón de la botella de jarabe de aluminio a polipropileno.

*Medida 3.* Aunque la etapa de fabricación del envase de cartón no es muy impactante, se ha añadido esta última mejora ya que es fácil de realizar y podría reducir un cierto porcentaje todos los indicadores.

### **4. Desarrollar soluciones técnicas**

En esta última etapa del proceso del Ecodiseño se van a realizar ACVs de los distintos envases con las 3 medidas seleccionadas y se va a determinar el porcentaje de reducción o aumento de los indicadores para poder saber si las medidas reducen o aumentan los indicadores de impacto ambiental.

## 4.1. Medida 1. Botella de PET.

La primera mejora que se propone es sustituir la botella de vidrio por una botella de PET, manteniendo el tapón de aluminio, el dosificador de polipropileno y el estuche de cartón. La unidad funcional del estudio va a ser la misma que para el caso de la botella de vidrio.

El polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas. Estas son algunas de las características de este material, que lo hacen adecuado para contener el medicamento líquido:

- Actúa como barrera contra los gases, como el CO<sub>2</sub>, humedad y el O<sub>2</sub>.
- Es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes.
- Liviano, permite que una botella pese 20 veces menos que su contenido.
- Impermeable.
- Inerte (al contenido).

En la Tabla 5 se muestran los pesos de los materiales que conforman el nuevo envase de PET. Los datos se han obtenido directamente de una botella de jarabe de las mismas características que la de vidrio, pero de PET. Como se puede observar, el peso de la botella de PET es mucho menor que la de vidrio.

**Tabla 5-** Materiales y pesos de la botella de jarabe de PET.

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>
Botella de PET	28,3 g
Tapón de aluminio	1,7 g
Dosificador de polipropileno	3,4 g
Prospecto	1,9 g
Estuche de cartón	19,4 g

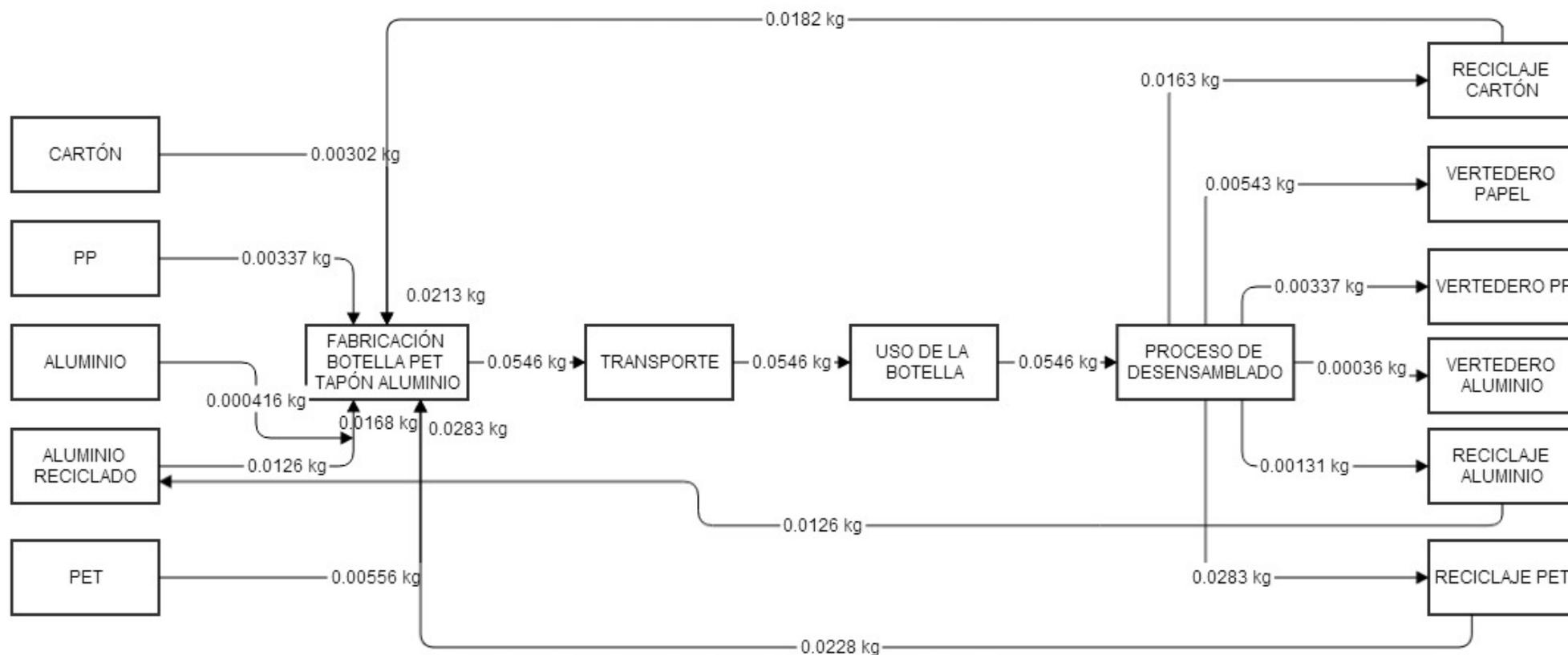


Figura 14- Diagrama de flujos del sistema de envasado con botella de PET del jarabe CINFATÓS

GaBi no tiene un proceso para el reciclado del polietileno de tereftalato, por eso, se ha creado uno a partir de bibliografía[15]. En el Anexo I se muestran las entradas y salidas para este proceso. Estos datos se han introducido directamente el programa. Los gránulos de PET obtenidos en el proceso de reciclado se utilizan como materia prima del proceso de fabricación de piezas de PET por inyección. Teniendo en cuenta las actuales tasas de reciclaje de PET, se ha considerado que para la fabricación de las botellas, el 80 % de la materia prima, es PET reciclado.

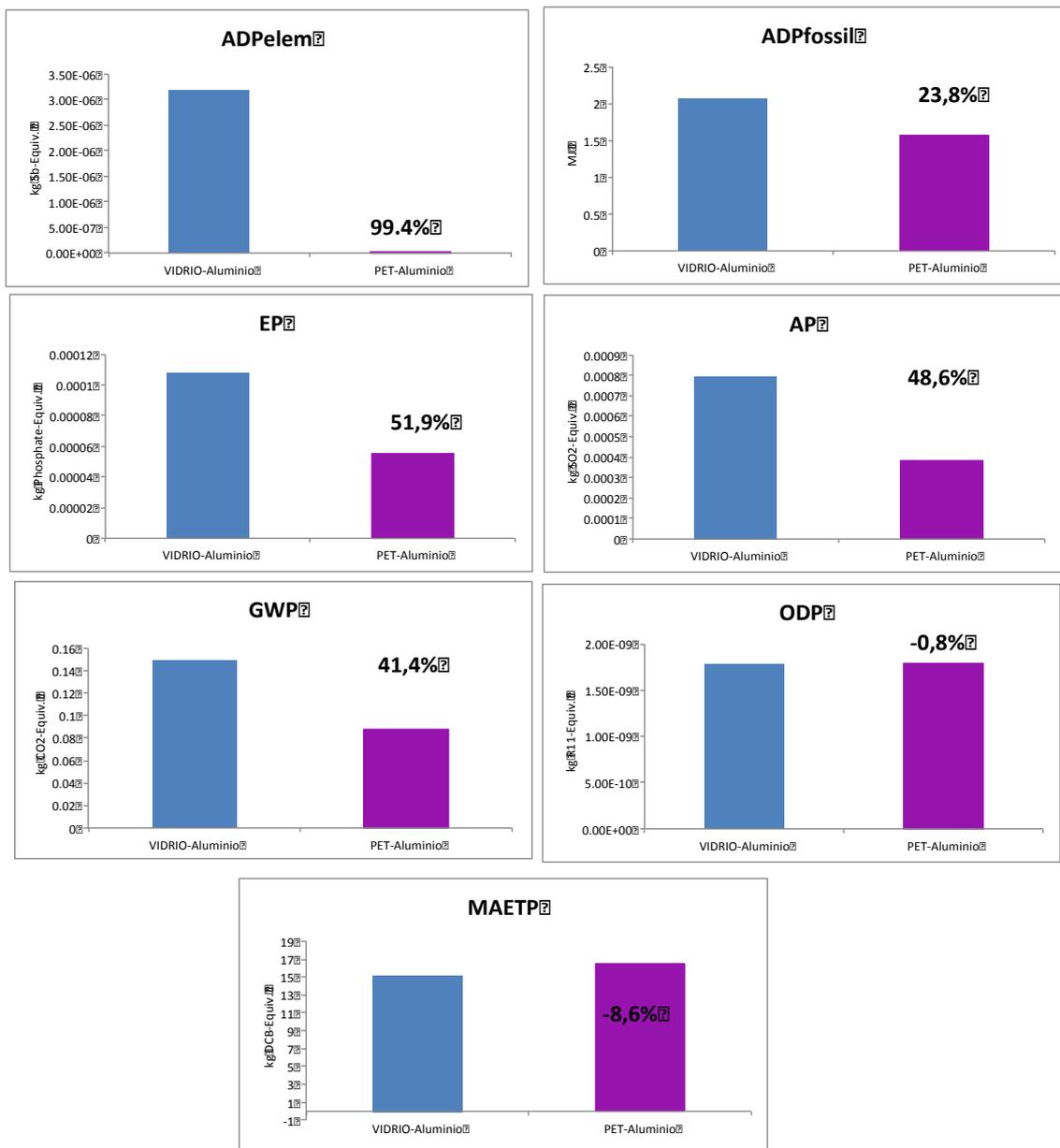


Figura 15 – Comparación entre los indicadores ambientales para la botella de jarabe CINFATÓS de vidrio (azul), y PET (morado).

En la Figura 15 se muestran los resultados obtenidos para los indicadores seleccionados. Además, viendo la relevancia que ha tenido para el análisis anterior, se ha incluido también el indicador MAETP. En la figura se muestran los porcentajes de reducción o aumento de cada uno de ellos.

Como se puede observar se han reducido los valores de todos los impactos, salvo para los indicadores MAETP y ODP. Los motivos para la reducción son claros: el peso de la botella de PET es mucho menor. El indicador que más se reduce es el  $ADP_{elem}$  ya que el proceso de producción de vidrio utiliza muchos materiales no fósiles. El indicador  $ADP_{fossil}$  se reduciría al evitar el uso de gas natural para el horno de la industria vidriera, pero al tener el PET un origen fósil, se mantiene en el mismo nivel. En realidad, el  $ADP_{fossil}$  es mucho más grande para la generación del mismo peso de PET, pero al ser menor el peso, el indicador se compensa.

Para el caso de los indicadores AP y EP, en el caso de la botella de vidrio se debían principalmente a la emisión de óxidos de nitrógeno y sulfuro en la combustión del gas natural para el horno de la vidriera. Estos indicadores en este caso se han reducido en un 48.6 % y en un 51.9 %, respectivamente. El motivo para esta reducción es claro, el proceso de generación de botellas de PET no requiere tanta energía.

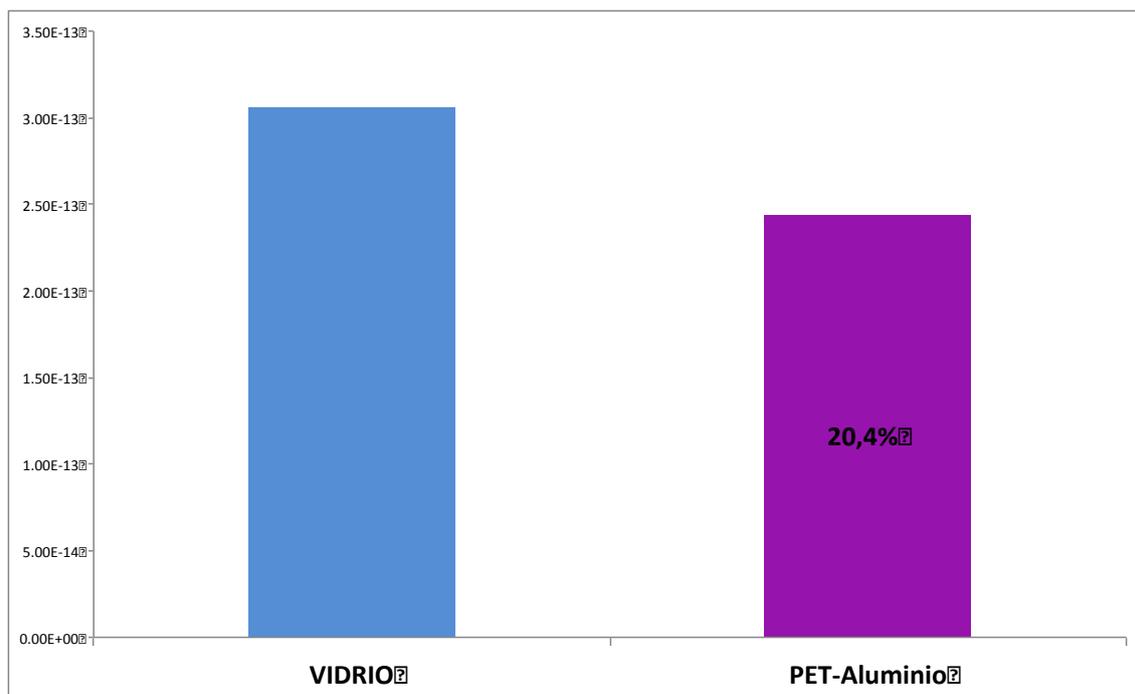
El indicador del Cambio Climático se ve reducido en un 41.4 % por el mismo motivo, es decir, porque ya no necesita tanta energía para generar el material. En realidad, para crear la misma cantidad de botellas de vidrio que de PET (considerando su tasa de reciclaje), el  $CO_2$  emitido es mayor para el caso del PET, pero al ser menos peso, el proceso genera menos cantidad de  $CO_2$ .

Aunque en estos resultados no se vea, al profundizar en ellos se podría sacar la conclusión de que el proceso de obtención de PET virgen es más impactante que el proceso de obtención de PET reciclado, ya que los impactos en este estudio del PET virgen son menores. Pero esto es debido a que su peso es mucho menor. Se ha hecho un estudio para comparar impactos de obtención de la misma cantidad de PET virgen y reciclado y los impactos del primero son mucho mayores para todos los indicadores.

El caso del indicador MAETP es importante de resaltar ya que luego, como se va a ver, va a adquirir importancia. Como se ve, para las botellas de PET aumenta un 8.6 %, debido principalmente a que GaBi asigna una cantidad de HF emitida cuando se fabrican los gránulos de PET.

Así, se puede ver que la mayoría de los indicadores bajan, pero el MAETP sube un porcentaje apreciable. Al ser este indicador magnificado por el proceso de normalización, puede ser que el proceso global normalizado indique que el cambio a PET no sea tan beneficioso. Lo pasamos a comprobar en la Figura 16, en el que se observa el impacto normalizado del envase de botella de PET comparado con el de la botella de vidrio. Se puede ver que, efectivamente, los impactos normalizados totales del ciclo de vida de PET son menores que los impactos de la botella de vidrio. En concreto, el impacto normalizado decrece un 20.4 %. Esta bajada se debe principalmente a los valores del indicador  $ADP_{elem}$  que provoca un descenso del valor normalizado global del 61.4%. Como ya se ha dicho, esto es provocado al dejar de usar vidrio como materia prima. Otros indicadores que adquieren importancia son el descenso del  $ADP_{fossil}$ , AP, y GWP, ya que se gasta menos energía para producir la botella de PET. Los indicadores MAETP y POCP provocan que aumente el valor normalizado, pero su aumento se ve compensado por el descenso del resto de indicadores.

Por tanto, conseguimos con el normalizado ver que los impactos generales descienden. De todas maneras, vemos que para los dos casos, vidrio y PET, el proceso de obtención de aluminio virgen es el que genera mayores impactos en el proceso de normalizado. Pero mientras en el caso del vidrio, su porcentaje es de 64.5 %, para el caso del PET es del 59,4 %. Como consecuencia, pasamos a realizar la mejora segunda para ver si podemos reducir en algo el impacto mediante la sustitución del tapón de aluminio por uno de PP. Con estos resultados, se ha decidido mantener la botella de PET para sucesivos cambios.



**Figura 16**– Impactos normalizados de los ciclos de vida de las botellas de vidrio y de PET.

## 4.2. Medida 2. Botella de PET con tapón de polipropileno

Como ya se ha visto, con la botella de PET conseguimos mejoras significativas en la calidad ambiental del envase ya que, fundamentalmente, gastamos menos energía y no reducimos las reservas naturales de elementos no fósiles. Sin embargo, también se ha comprobado que el máximo responsable de los valores normalizados es el aluminio virgen que se utiliza para la fabricación del tapón. Es por esto que, manteniendo la botella de PET, se va a cambiar el material del tapón.

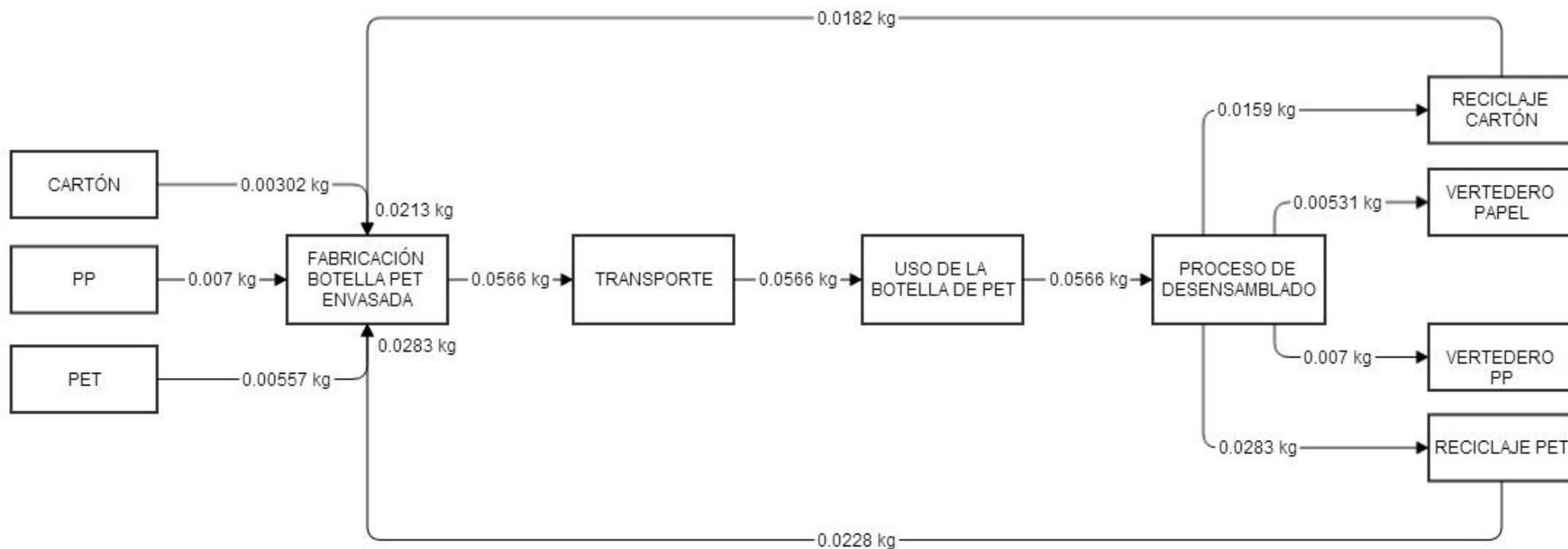
El Polipropileno es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Este material se moldea por inyección. Este proceso consiste en la fusión del material, junto con colorantes o aditivos, para luego forzarlo bajo presión dentro de un molde. Este molde es refrigerado, el material se solidifica y el artículo final es extraído. Este método es usado para hacer muchos tipos de artículos, como por ejemplo frascos, tapas, muebles plásticos, cuerpos de electrodomésticos, aparatos domésticos y piezas de automóviles.

Su gran resistencia al ataque químico lo sitúa en diversos elementos en construcciones químicas, farmacéuticas, mineras y maquinas en general que no solicite altos esfuerzos de fricción.

En la Tabla 6 se muestran los pesos de los materiales del nuevo producto de envasado y en la Figura 17 el nuevo diagrama de flujos del sistema. Como se ve, el proceso se va simplificando con las nuevas medidas. Se ha considerado que el tapón de PP se lleva al vertedero junto con el dosificador. El peso del tapón de PP es mayor que el tapón de aluminio.

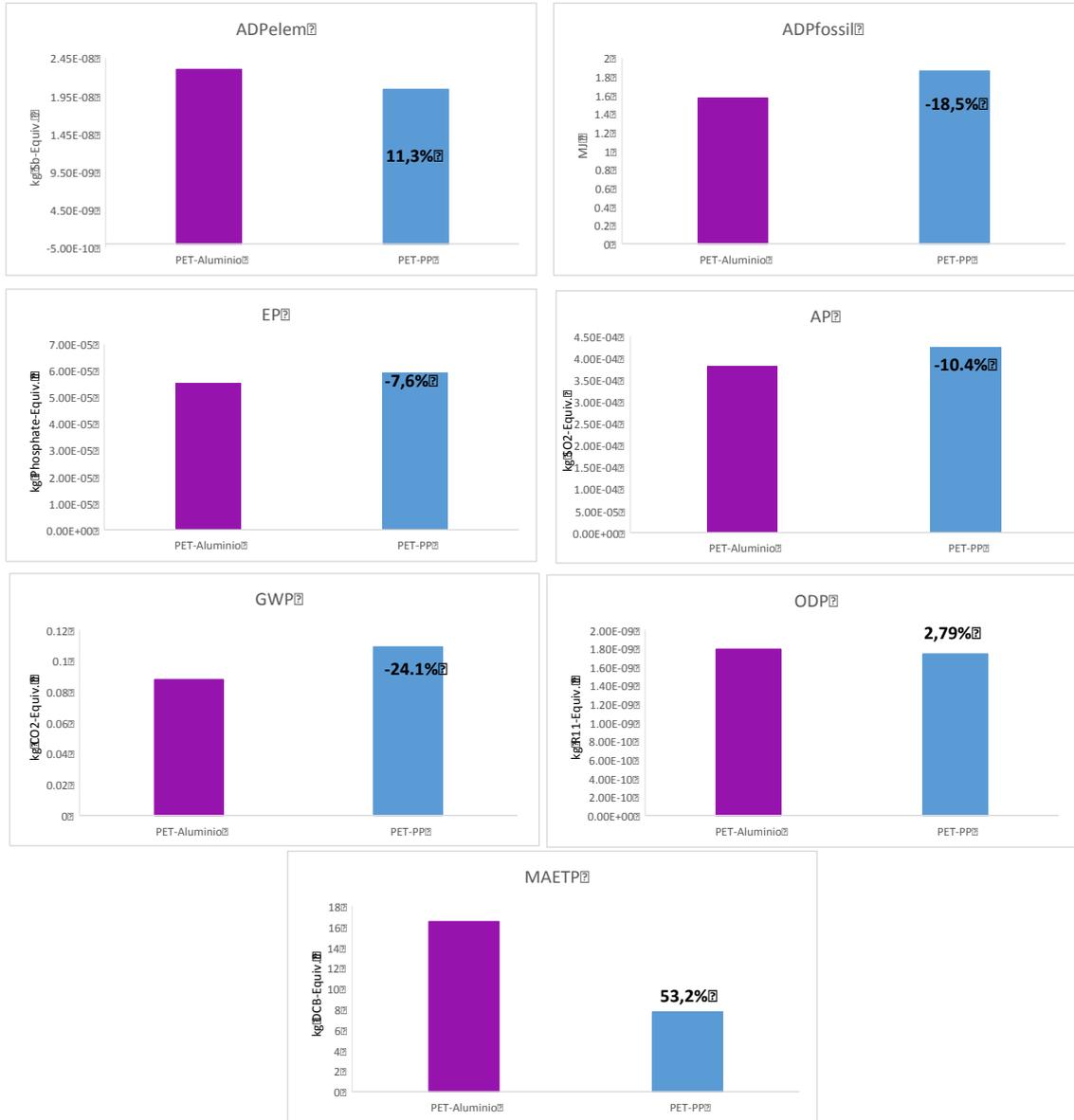
**Tabla 6-** Materiales y pesos de la botella de jarabe de PET y tapón de PP.

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>
Botella de PET	28,3 g
Tapón de polipropileno	3,5 g
Dosificador de polipropileno	3,4 g
Prospecto	1,9 g
Estuche de cartón	19,4 g



**Figura 17-** Diagrama de flujos del sistema de envasado con botella de PET y tapón de PP del jarabe CINFATÓS

Como se ha hecho anteriormente, se representan a continuación los indicadores ambientales seleccionados en la Figura 18.

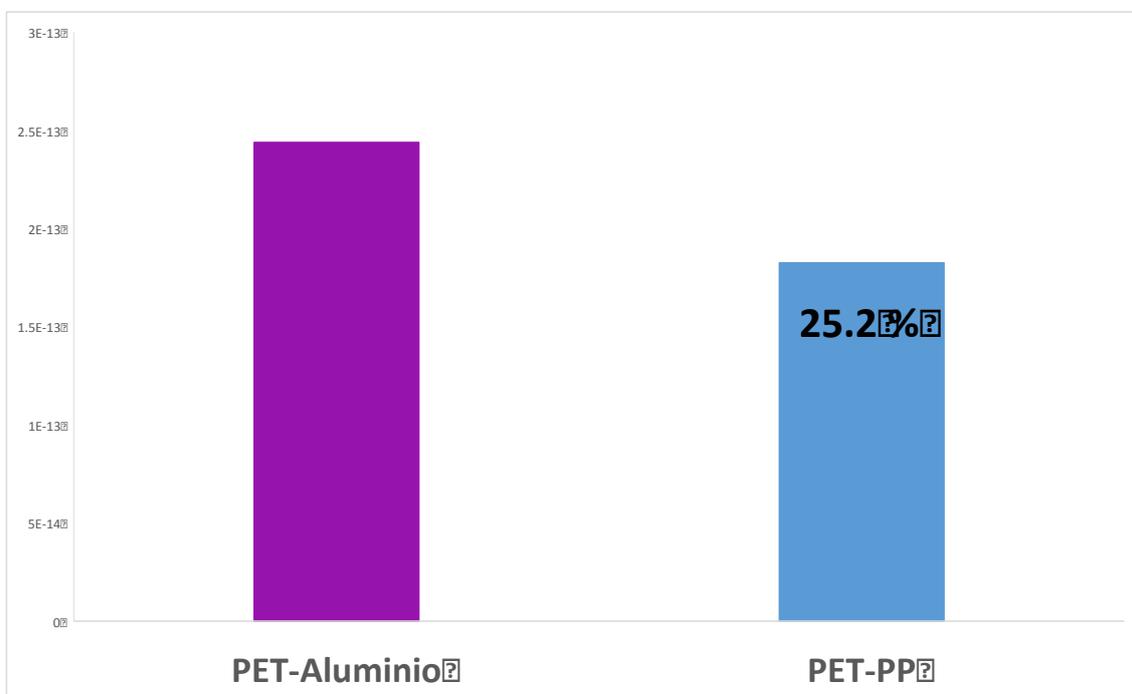


**Figura 18-** Reducción de los valores de los indicadores ambientales entre la botella de PET con tapón de aluminio y tapón de PP.

En este caso se ve que se reducen considerablemente los indicadores de  $ADP_{elem}$  y de MAETP, ya que era el aluminio el principal responsable de ellos en la botella de PET. Por otro lado, el indicador  $ADP_{fossil}$ , AP, EP y GWP, relacionados con el origen fósil y el uso de energía para la fabricación de la pieza de PP, incrementan. El indicador del GWP aumenta un 24.1 %. El nuevo tapón de PP supone el 16.1 % del valor del GWP total del ciclo de vida del nuevo modelo, mientras que el tapón de aluminio suponía un 4.1 %. Esto puede ser debido a que su peso es mayor (el aluminio tiene un alto porcentaje de reciclado (78%) y el PP no se recicla).

Cabe resaltar el alto porcentaje de reducción del indicador de ecotoxicidad marina, lo que a buen seguro, va a producir una reducción de los valores normalizados del ciclo global. En concreto, este indicador se ha reducido un 53.2 %. Ahora el tapón sólo contribuye un 0.1 % al valor total sin normalizar de este indicador, mientras que antes, con el aluminio, contribuía un 59.7 %.

En efecto, en la Figura 19 vemos que se ha producido una reducción de 25.2 % en el valor con respecto a la botella de PET con tapón de aluminio tan sólo eliminando el tapón de aluminio. Es de resaltar que esta medida que en principio hubiera parecido sin importancia, obtiene una reducción del impacto ambiental muy importante.



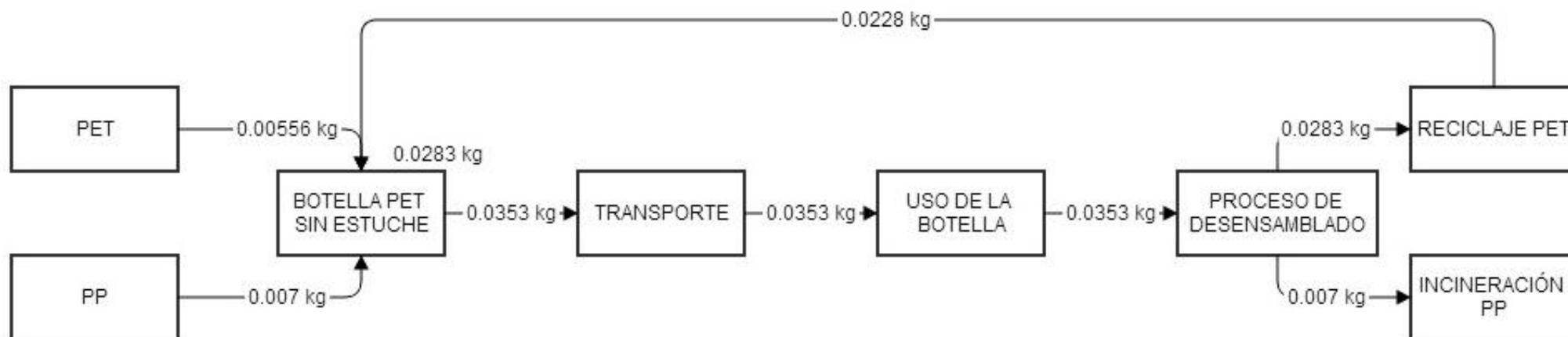
**Figura 19-** Comparación entre los valores normalizados de los ciclos globales de la botella de PET con tapón de aluminio y tapón de PP

### 4.3. Medida 3. Botella de PET-Polipropileno sin estuche

El último cambio que se propone con el objetivo de mejorar aún más el impacto medioambiental del envase del fármaco consiste en eliminar el estuche de cartón en el que viene la botella. De esta forma, se plantea vender únicamente la botella con el medicamento dentro.

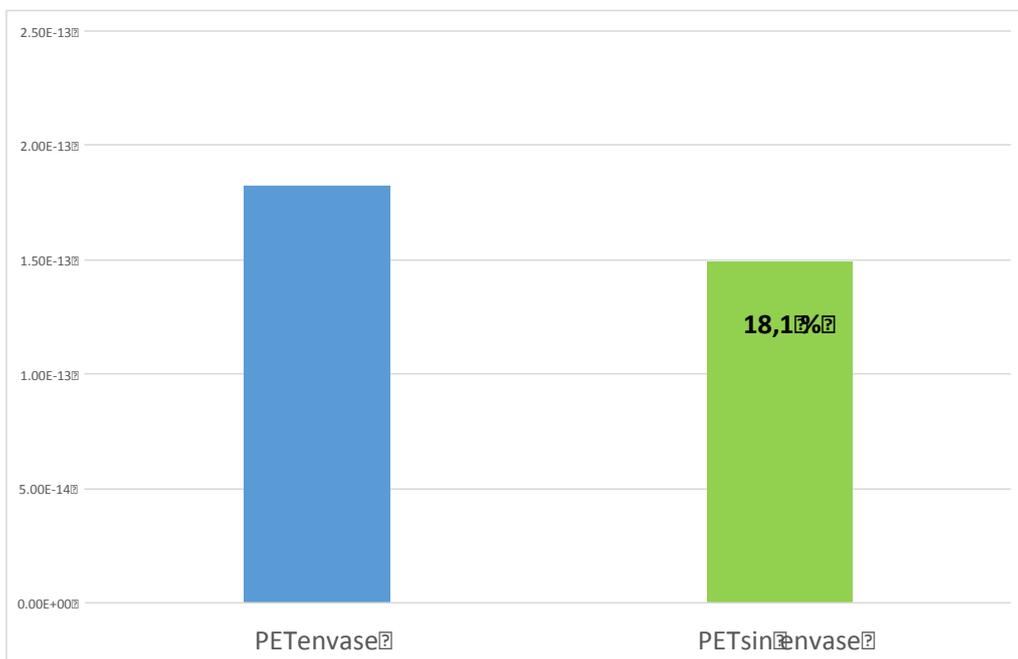
Esta decisión hace que se tenga dificultades para incluir el prospecto. Se propone introducir el prospecto en forma de etiqueta desplegable alrededor de la botella. En este caso no se ha incluido la tabla con los pesos de los distintos componentes ya que serían los mismos que en el caso anterior pero quitando el componente del cartón. El diagrama del nuevo proceso se representa en la Figura 20.

La figura con los valores de los indicadores seleccionados, en este caso, se muestra en los anexos. Lógicamente, al no tratarse de una sustitución de un material, sino tan sólo de la eliminación de un material, todos los indicadores disminuyen. Cabe resaltar que el indicador de  $ADP_{elem}$ , ya que eliminamos el uso de materiales inorgánicos en la fabricación de las cajas, disminuye un 44.6 %. Otro indicador que disminuye es el potencial de disminución de la capa de ozono, con un 99.9 %. Ya se ha comentado para el caso del envase con botella de vidrio, que el mayor responsable de este indicador era el proceso de la caja de cartón. En concreto, los pesticidas utilizados en la fase de producción. Al eliminar estos pesticidas, este indicador se reduce hasta casi cero. Por otro lado, también se produce una reducción del 39.3 % en el indicador de toxicidad terrestre. En el proceso de creación de cajas de cartón, las bases de datos de GaBi asignan un alto valor a la emisión de  $Cromo^{+3}$  al suelo industrial a este proceso. Este vertido es el responsable de la ecotoxicidad terrestre. Al eliminar las cajas, se reduce el nivel de este indicador.



**Figura 20-** Diagrama de flujos del sistema de envasado con botella de PET y tapón de PP y sin envase de cartón del jarabe CINFATÓS

En la Figura 21 se muestra la reducción del impacto global normalizado con esta medida. Se observa que disminuye un 18.1%. De nuevo, el mayor responsable de esta reducción del impacto normalizado es una reducción del indicador MAETP. A pesar de que el valor en kg de DCBs equivalentes de este indicador tan sólo se reduce en un 25%, al ser normalizado se convierte en el causante del menor impacto. El proceso de fabricación de cajas de cartón emite ácido fluorhídrico. No se ha encontrado información acerca de que este proceso requiera HF, así que se supone asociado a los procesos energéticos necesarios para generar la electricidad necesaria en la fabricación de las cajas.



**Figura 21-** Comparación de los valores normalizados entre el envase de jarabe de PET con tapón de PP con y sin caja de cartón.

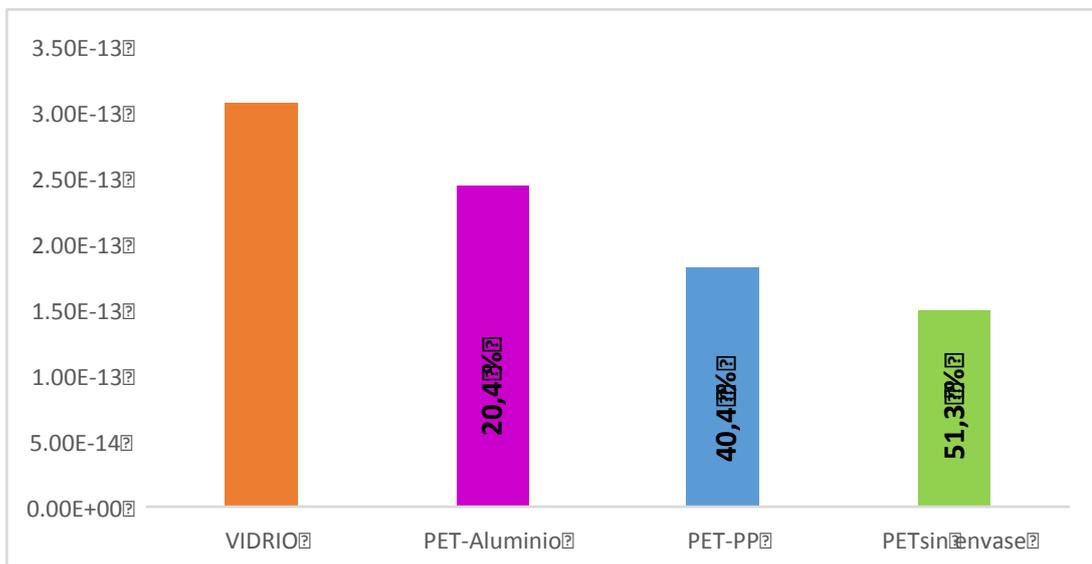
## 5. Conclusiones

Se ha realizado el Ecodiseño del envase de jarabe CINFATÓS según los pasos marcados por la norma de Ecodiseño. En el paso 1 se especificaron las funciones del producto. En el paso 2 se realizó un ACV detallado del producto determinando que la etapa más impactante era la de extracción y fabricación del vidrio y del aluminio para el bote y el tapón respectivamente.

En el paso 3 del proceso de Ecodiseño se enumeraron las tres estrategias a seguir para reducir el impacto medioambiental de este envase. Finalmente, en el paso 4 se diseñaron los nuevos envases y se cuantificaron sus impactos. La primera medida fue fabricar el bote de PET. Esta medida redujo algunos indicadores importantes como el  $ADP_{elem}$ , AP o EP, pero aumentó el indicador MAETP. El proceso de normalización nos indica que el impacto global normalizado de este envase se reduce un 20.4 %.

En la segunda medida de Ecodiseño se pasó a fabricar el tapón de PP manteniendo el bote de PET ya que son más fáciles de manejar y su impacto es menor. El cambio de material en el tapón produjo el aumento de algunos indicadores, como el  $ADP_{fossil}$  o el GWP, pero produjo una disminución del  $ADP_{elem}$  y del MAETP. El descenso de este indicador fue significativo y propició un descenso del valor global normalizado del 25.2% con respecto al envase de botella de PET con tapón de aluminio, y del 40,4% con respecto al envase inicial (Figura 22).

Por último, se eliminó la caja de cartón del envase. Esta medida redujo el impacto normalizado un 18,2 % con respecto al envase de PET y tapón de PP, y de 51,3 % con respecto al envase inicial de vidrio.



**Figura 22-** Comparación del impacto global normalizado de los cuatro envases estudiados.



# **CAPÍTULO 3. ECODISEÑO DEL ENVASE DE LA CREMA PARA PIELS ATÓPICAS Y MUY SECAS Be+**



## 1. Especificar las funciones del producto

El siguiente producto que se ha analizado es el bote de crema hidratante para pieles muy secas y atópicas. El bote de crema consta de un tubo de Polietileno de Alta Densidad (HDPE, en sus siglas en inglés) y un tapón bisagra de polipropileno (PP). El bote de crema va introducido en un estuche donde se incluye el prospecto (Figura 23).

El estuche va envuelto en film de polivinilo de cloruro, PVC. El tapón del bote de crema lleva un cierre de inviolabilidad, para asegurar que el producto que consume el cliente no ha sido utilizado previamente. Este cierre es también un film de PVC.



**Figura 23-** Envase de la crema junto con el estuche.

Las funciones del producto son proveer un envase seguro para la comercialización y uso del producto. El estuche de cartón cumple una función más estética.

## **2. Evaluación de los aspectos ambientales.**

Tal y como se ha especificado en el Capítulo 1 de introducción a este trabajo, se va a realizar la evaluación de los aspectos ambientales del envase mediante un Análisis de Ciclo de Vida. Para su realización se ha utilizado el Software GaBi 6.0<sup>®</sup> Pro. De nuevo, tal y como se especifica en la Figura 6 de la introducción, se va a realizar el ACV siguiendo la metodología especificada en la Norma ISO 14044:2006 y detalladas en el apartado 4.1. del Capítulo 1. También se han seguido las recomendaciones de la Norma CR 12340:1996 “Envases. Recomendaciones para realizar el análisis de inventario de ciclo de vida de sistemas de envasado” [10].

### **2.1. Objetivo y alcance del ACV.**

#### **2.1.1. Unidad Funcional**

Como se ha explicado en el capítulo anterior, la base del análisis del inventariado del ciclo de vida y del ACV es la unidad funcional. En este caso, la unidad funcional va ser: envase para suministrar al consumidor final 200 ml de crema para pieles atópicas y muy secas de la línea cosmética Be+.

#### **2.1.2. Límites del sistema.**

En la Figura 24 se muestra el diagrama de flujos del sistema a estudio, es decir, el envase de polietileno de alta densidad con su estuche de cartón para la unidad funcional detallada en el apartado anterior.

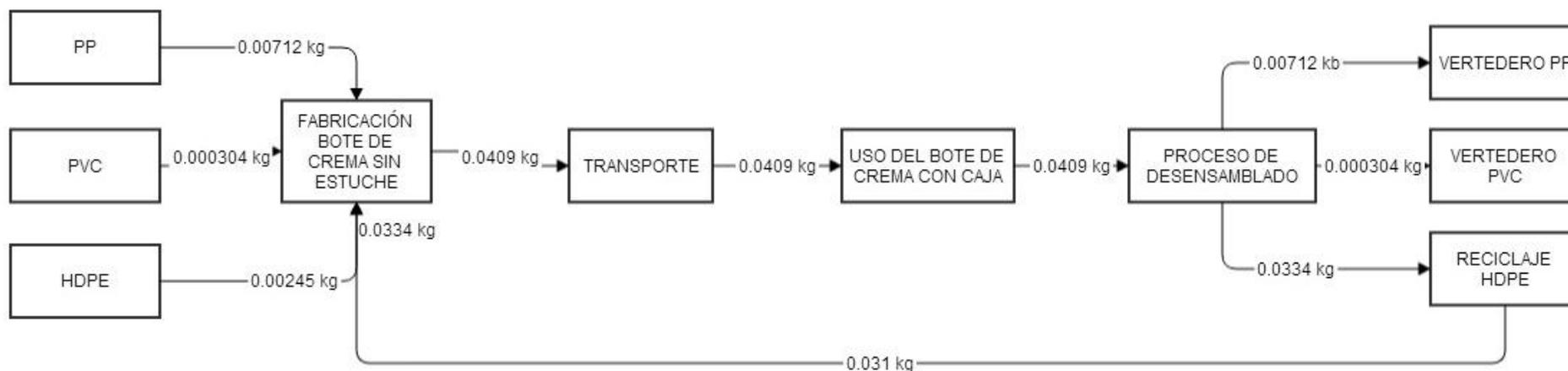


Figura 24- Diagrama de flujos del sistema de envasado de la crema para pieles atópicas y muy secas.

### **2.1.3. Metodología de la evaluación del impacto ambiental**

En este apartado se han vuelto a utilizar los mismos indicadores que en el capítulo anterior. Estas categorías son: Potencial de Cambio climático, disminución de recursos naturales (minerales y fósiles), potencial de acidificación, potencial de eutrofización, ecotoxicidad (de sistemas fluviales, marinos y terrestres), toxicidad en humanos, disminución de la capa de ozono, y creación de ozono fotoquímico.

### **2.1.4. Tipos y fuentes de datos.**

Los distintos pesos de los materiales del envase se han obtenido directamente pesando el producto suministrado por CINFA, exceptuando el tubo de HDPE. Para obtener este dato, primero se pesó el tubo lleno de crema y tras calcular la densidad de la crema, se obtuvo el peso del tubo.

Los datos medioambientales relacionados con el consumo de materias y emisiones para cada material y la energía usada, se han obtenido principalmente de las bases de datos del programa GaBi<sup>®</sup> 6.0 Pro. que se detallan en la Tabla 3. En el apartado siguiente de inventariado se especifican varias hipótesis que se han tenido que realizar así como fuentes bibliográficas que se han utilizado.

## **2.2. Análisis del Inventariado.**

La Tabla 7 muestra los pesos de los distintos materiales que conforman el producto envasado. A continuación se detallan las hipótesis asumidas en la realización de este trabajo:

- Como se ve en la Tabla 7, el peso del prospecto es muy pequeño, y se ha asumido al del estuche de cartón.
- El transporte se ha realizado en camiones diésel una distancia media de 100 km.
- GaBi<sup>®</sup> 6.0 Pro no dispone de ningún proceso de reciclado de HDPE. Por eso, se ha creado un proceso nuevo de acuerdo a la Tabla A.II del Anexo I y que está basada en la bibliografía [15].

- El Polipropileno del tapón se ha considerado que se lleva a vertedero. De todas maneras, el impacto que pueda tener este tratamiento es mínimo ya que las cantidades son muy pequeñas (0,00712 kg).

- Con el polivinilo de cloruro del plástico que recubre a la caja de cartón se ha tomado la misma decisión. Al ser las cantidades de este material bastante pequeñas, se ha considerado que se lleva a vertedero.

- El estuche de cartón sigue el mismo proceso de reciclado que el explicado en el Capítulo 2.

**Tabla 7.** Materiales y pesos del bote de crema con estuche.

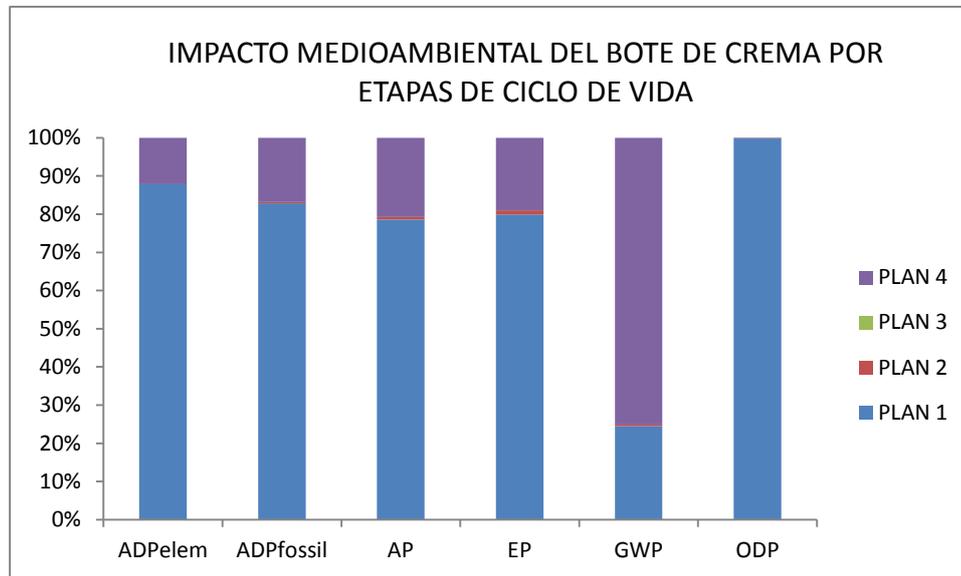
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>
Tubo de HDPE	33,4g
Tapón de polipropileno (PP)	7,1g
Plástico recubre estuche	1,9 g
Plástico recubre tapón	0,3 g
Prospecto (papel)	6,0 g
Estuche de cartón	36 g

### **2.3. Evaluación del impacto ambiental.**

Como se ha mencionado anteriormente, el objeto de este apartado es determinar qué fase del ciclo de vida del envase es la más impactante para proceder a su rediseño. Esta fase la realiza automáticamente el programa transformando las entradas y salidas en indicadores ambientales.

## 2.4. Interpretación

En la Figura 25 se presentan los datos obtenidos de forma que se puedan interpretar con facilidad. En esta figura se han presentado los porcentajes de contribución de cada etapa de ciclo de vida al total de la unidad equivalente de cada indicador.



**Figura 25-**Porcentaje de contribución de las distintas etapas del ciclo de vida al porcentaje de cada indicador para el bote de crema con estuche.

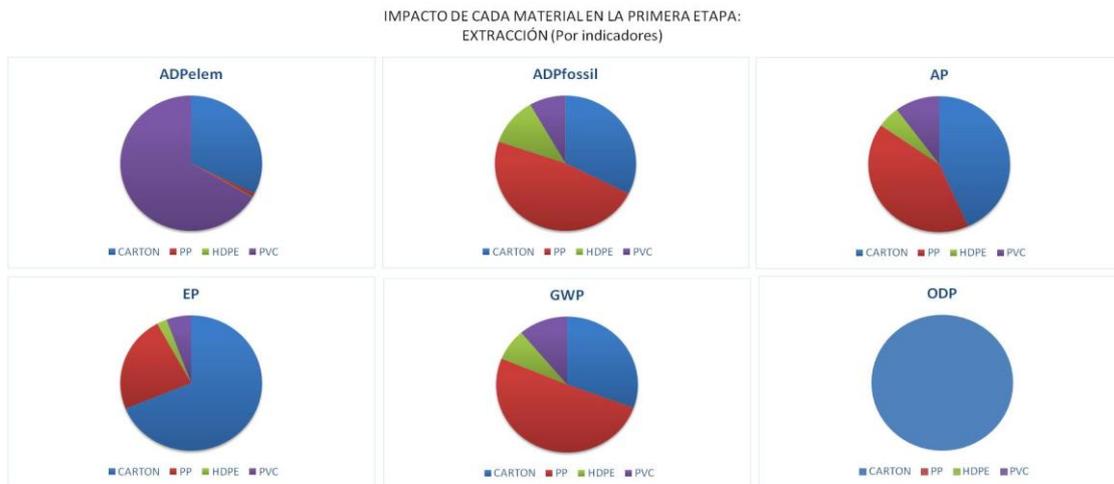
Como se observa en todos los indicadores, la etapa más impactante es la primera. Al igual que ocurría en con la botella de CINFATÓS, la extracción y fabricación del producto es la etapa que más afecta.

Cabe resaltar el caso del GWP (Global Warming Potential). En este indicador es mucho mayor la etapa 4, ya que en el reciclado del HDPE se libera una gran cantidad de dióxido de carbono. Esto es debido a la energía necesaria para el proceso.

Se analiza qué material o materiales son los principales causantes de tener una etapa 1 tan elevada. Para eso, se observa el impacto que tiene cada material en los distintos indicadores. Estos resultados se muestran en la Figura 26.

Se aprecia que cada indicador tiene una tendencia diferente. Como se ve, para el indicador  $ADP_{elem}$  el material más impactante es la fabricación del film de PVC, a pesar de la pequeña cantidad que se utiliza. El PVC adquiere relevancia ya que el cloro utilizado para la fabricación de PVC se obtiene de la extracción de sal de las rocas de halita, y esto provoca que este indicador sea elevado.

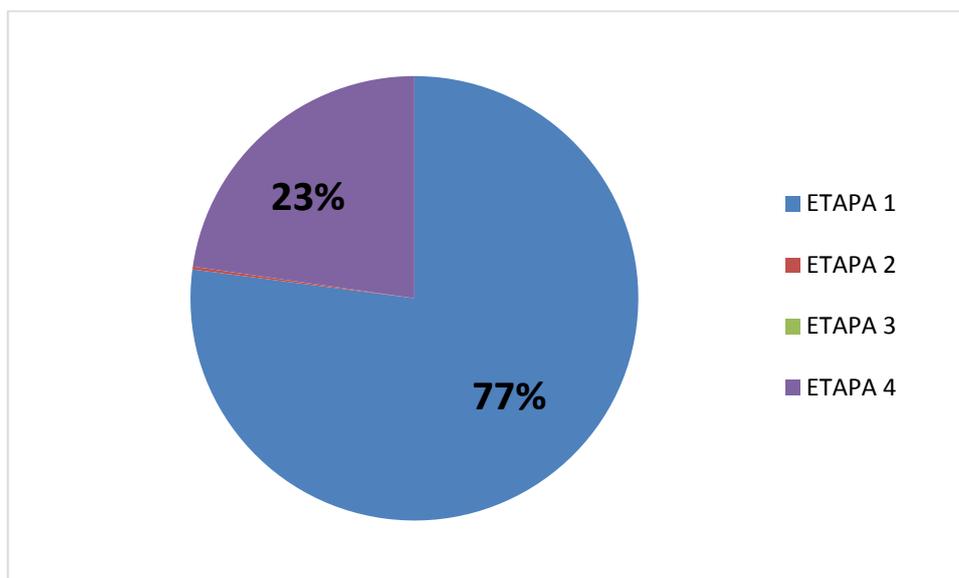
Para los indicadores  $ADP_{fossil}$ , AP y GWP, tenemos que es la pieza de HDPE la más impactante debido a su origen fósil y a que se utiliza gran cantidad de energía para su reciclado. Los dos últimos indicadores estarían ligados a la obtención de energía. Por último, vemos que la obtención de la caja de cartón tiene una gran influencia en los indicadores ODP y EP. El motivo por el que influye en el indicador ODP ya lo hemos explicado en el capítulo anterior. El indicador de eutrofización es debido al proceso de fabricación de las cajas, que libera contaminación tanto a la atmósfera como al medio acuático que aumenta el valor de este indicador.



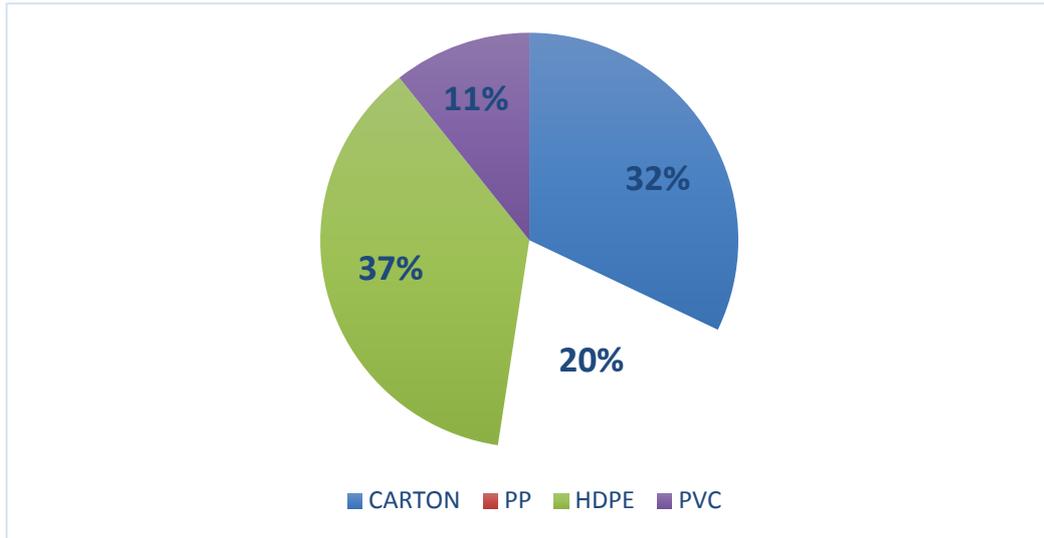
**Figura 26**-Influencia de cada uno de los procesos de fabricación en el valor total de los indicadores en la etapa de la fabricación del envase del bote de crema.

Con estos datos es difícil asegurar qué proceso es el más impactante en la etapa de extracción y fabricación del bote de crema. Para determinar la importancia de un indicador y transformar todos los valores a una unidad equivalente se realiza la etapa de normalización. Para la obtención de estos valores normalizados se han tomado todos los indicadores detallados en el apartado 2.1.3 del Capítulo 2. Los factores de Normalización aparecen en la Tabla 4. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 27 para el ciclo de vida total y en la Figura 28 para la etapa de Extracción y Fabricación.

En el resto de indicadores el elemento más importante es la extracción del cartón. Para decidir cuál de estos materiales es el más contaminante, se utilizan los datos normalizados que se muestran en la siguiente figura. Como se puede observar en ellos, el cartón y la pieza de HDPE son los elementos que más impactan en esta primera etapa de extracción y fabricación del producto.



**Figura 27-** Datos normalizados para el ciclo de vida total del bote de crema.



**Figura 27-** Datos normalizados para la etapa de fabricación del bote de crema.

El gráfico muestra que tras el HDPE, el material más impactante es el cartón. Esto es debido principalmente a los valores de los indicadores  $ADP_{fossil}$  y MAETP. Dentro de la pieza de HDPE, el proceso que más impacto tiene es la energía para el reciclado, pero de nuevo hay que resaltar que en impactos normalizados es mucho más perjudicial en términos medioambientales producir grana virgen que reciclada.

### **3. Identificar las estrategias de mejora ambiental**

Existen varias estrategias de mejora ambiental en función de cuál sea la etapa más impactante del ciclo de vida del producto. En este caso, se ha determinado que la etapa más impactante con diferencia es la de Fabricación y Extracción de los distintos componentes del envase, y dentro de estos, se ha encontrado que la fabricación del estuche de cartón y la pieza de HDPE son las más impactantes. Por tanto, las estrategias de mejora ambiental van a ir encaminadas a reducir los impactos generados por estos dos procesos. Ya que el envase de HDPE es difícil de cambiar según la empresa farmacéutica, se ha mantenido. Así, se han elegido realizar las siguientes medidas:

*Medida 1.* Eliminar el estuche de cartón. Dado que el cartón es uno de los materiales más impactantes en la primera etapa se ha decidido realizar esta mejora, que además es muy fácil de realizar. Hay que resaltar que al eliminar el cartón también eliminamos el film de PVC que lo recubre.

*Medida 2.* Cambiar el material del tapón del bote de crema de polipropileno a HDPE. De este modo conseguimos tener un producto monomaterial y facilitamos su reciclado.

## 4. Soluciones técnicas

En esta última etapa del proceso del Ecodiseño se van a realizar ACV de los distintos envases con las medidas seleccionadas y se va a determinar el porcentaje de reducción o aumento de los indicadores para poder determinar si las medidas son buenas o malas desde el punto de vista medioambiental.

### 4.1. Medida 1. Eliminación del estuche.

El primer cambio que se propone con el objetivo de mejorar el impacto medioambiental del producto consiste en eliminar el estuche de cartón en el que viene el bote de crema. De esta forma, se plantea vender únicamente el bote de crema, sin estuche. Esta decisión viene influenciada por el hecho de que el mismo tubo de crema pero para un volumen superior (400 ml), se comercializa actualmente sin estuche de cartón. Al igual que en el caso anterior, se plantea un problema con el prospecto del producto.

Para solucionarlo se propone la misma medida: introducir el prospecto en forma de etiqueta desplegable. Al eliminar el estuche, se elimina el recubrimiento de plástico que lleva. No se incluye la tabla de materiales y pesos ya que es igual a la tabla 7 pero eliminando el cartón y el PVC que recubre el estuche.

En la Figura 29 se representa el diagrama de flujos del proceso y se comparan los nuevos indicadores con los obtenidos para el producto original. Estos datos se muestran en el Anexo. Como se observa, todos los indicadores disminuyen su valor en mayor o menor proporción ya que eliminamos material. El descenso más significativo viene dado por el Ozono Depletion Potential (>99%), debido a que eliminamos el cartón, como ya se ha explicado anteriormente. Otro indicador que disminuye significativamente es el  $ADP_{elem}$ , debido fundamentalmente a que eliminamos el film de PVC que ya hemos visto es el mayor responsable de este indicador.

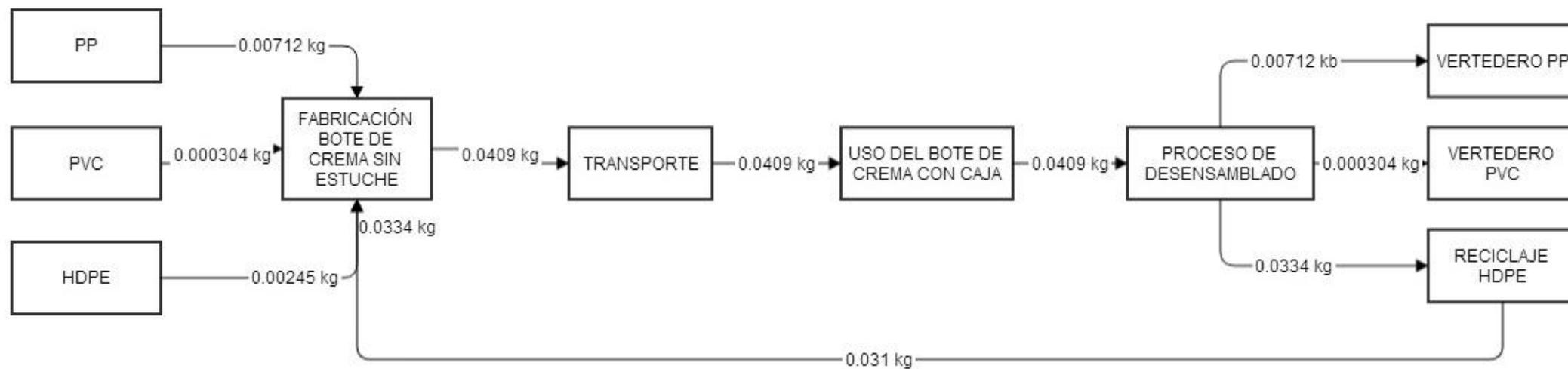
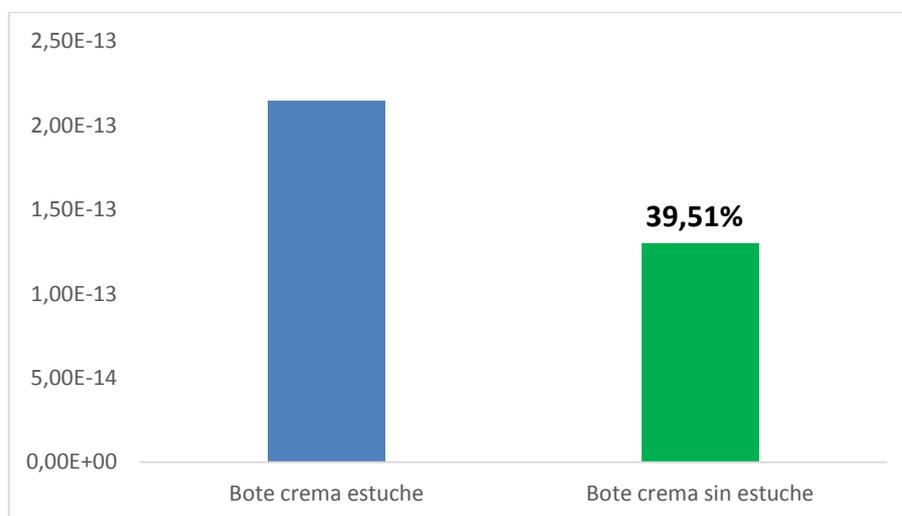


Figura 29- Diagrama de flujos del sistema de envasado de la crema para pieles atópicas y muy secas sin estuche.

No hay duda de que el impacto del producto sin estuche es muchísimo menor ya que la caja de cartón tenía un porcentaje del 32 % en el valor total del impacto normalizado. Para cuantificar ese valor se utilizan los valores normalizados. La Figura 30 muestra la reducción que se ha conseguido.



**Figura 30-** Comparación de los valores normalizados entre el envase de jarabe de PET con tapón de PP con y sin caja de cartón.

Al eliminar el estuche de cartón y el PVC que lleva con él, se logra disminuir el impacto medioambiental en un 39.51%. La mayores contribuciones a esta reducción son debidas al descenso de los valores normalizados de los indicadores MAETP y  $ADP_{fossil}$ , que como vimos en la Tabla 4 eran los que más se engrandecían en la etapa de normalización. El descenso del valor del MAETP se debe a la eliminación de las cajas de cartón ya que, como ya se ha dicho en el capítulo anterior, GaBi en su base de datos asigna una emisión de HF al proceso de producción de las cajas probablemente asociado al uso de energía. El  $ADP_{fossil}$  principalmente disminuye por las cajas de cartón, aunque el PVC también lo disminuye con un 25% de contribución de toda la disminución de este indicador.

## 4.2. Medida 2. Bote de crema con tapón de HDPE.

Se plantea otra posible mejora del producto. El reciclaje es más efectivo cuando se trata de envases monomateriales. Esto es, envases realizados con el mismo material, en este caso, un envase realizado por completo de HDPE. Se propone cambiar el tapón de PP por otro de HDPE de forma que se facilite el reciclado del envase final.

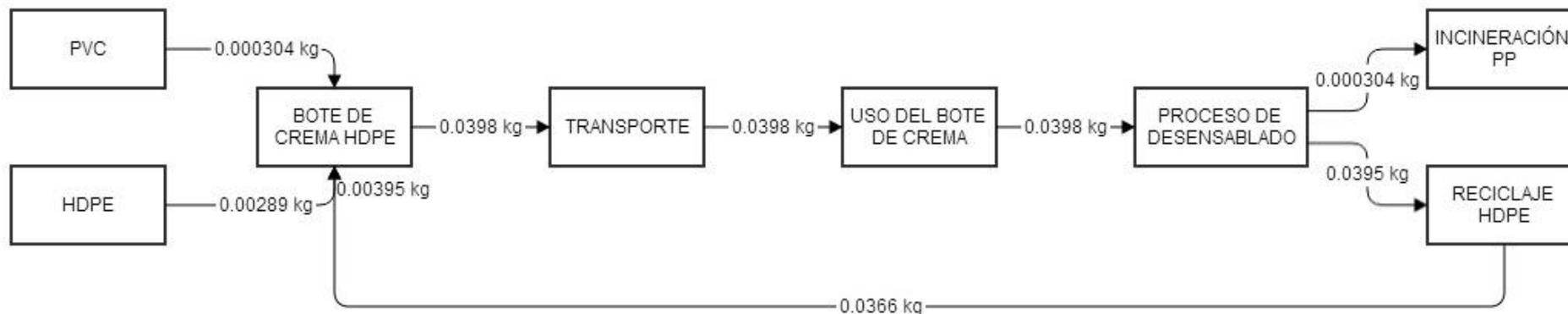
El polietileno de alta densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos (como el polipropileno), o de los polietilenos. Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, *High Density Polyethylene*). Este material se utiliza, entre otras cosas, para la elaboración de envases plásticos desechables. Este material se caracteriza por su excelente resistencia térmica y química, por su ligereza y por su fácil procesabilidad, entre otras cosas.

Un punto importante a resaltar en este análisis es que ahora sí que vamos a reciclar el tapón junto con el cuerpo del bote de crema ya que al ser del mismo material las facilidades para ellos son mucho mayores. Recordemos que antes el tapón de PP lo llevábamos al vertedero.

En la Tabla 8 se muestran los pesos de los materiales del nuevo producto de envasado y en la Figura 31 el nuevo diagrama de flujos del sistema. El peso del tapón de HDPE se ha estimado con la densidad de este material y el volumen del tapón de polipropileno original.

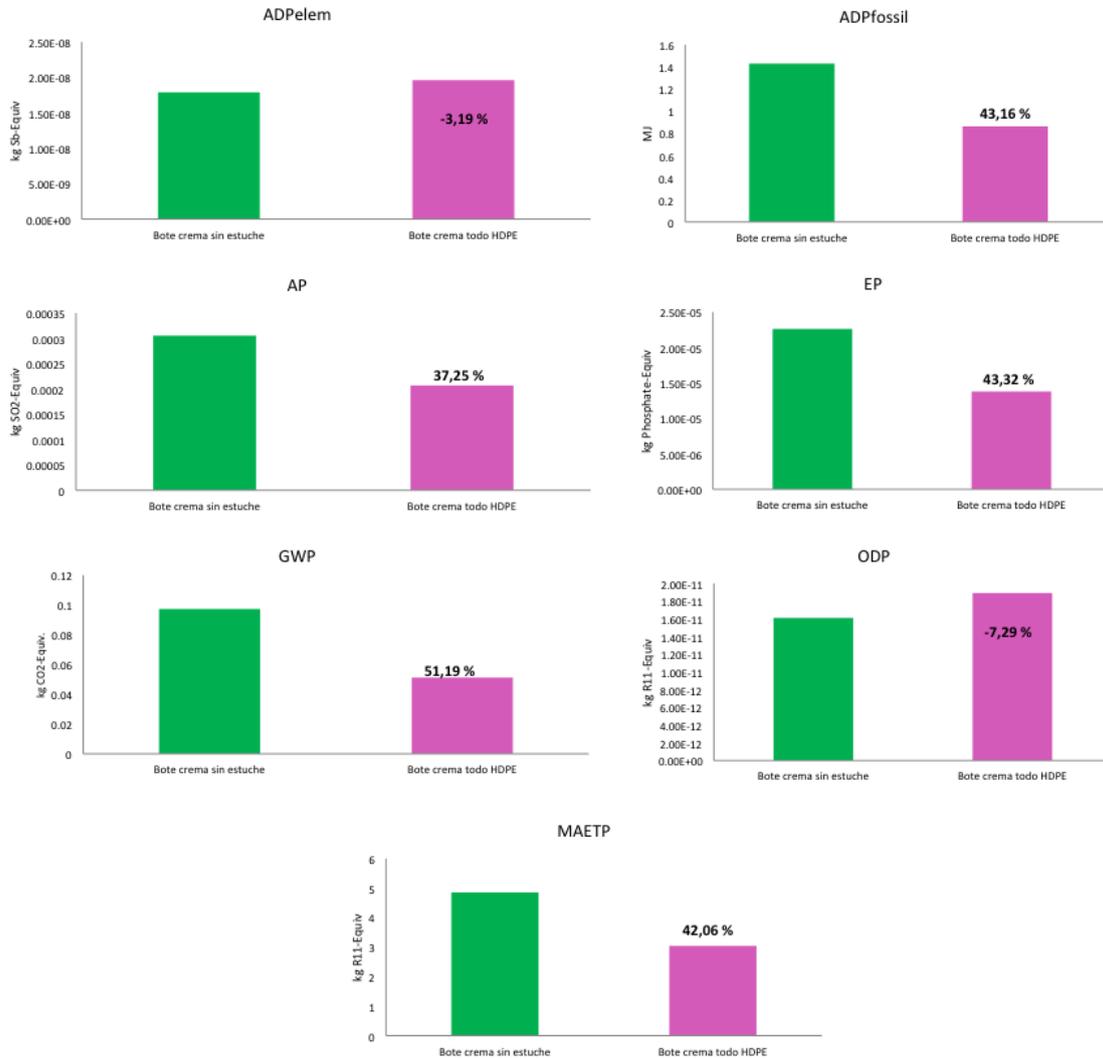
**Tabla 8-** Materiales y pesos del bote de crema hecho de HDPE sin estuche.

MATERIALES	PESO
Tubo de crema de HDPE	33,4 g
Tapón de crema de HDPE	6,0 g
Plástico recubre tapón (PVC)	3,0 g

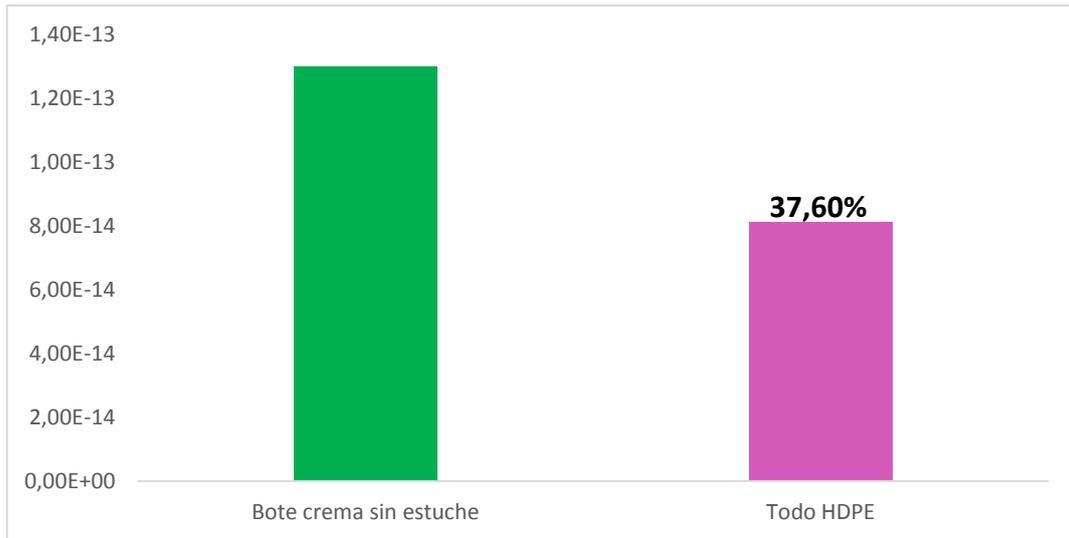


**Figura 31-** Diagrama de flujos del bote de crema con tubo y tapón de polipropileno sin estuche.

Como se ha hecho anteriormente, se representan a continuación los indicadores ambientales en la Figura 32, comparando los datos obtenidos con el tapón de polipropileno y con el tapón de HDPE.



Como se observa, prácticamente todos los indicadores se reducen exceptuando el ADP<sub>elem</sub> y el ODP. Los motivos para estos descensos son principalmente que reciclamos también el tapón y eso conlleva que se gaste menos material y un descenso de todos los indicadores. Se ha realizado un análisis adicional de producir la misma cantidad de gránulos de HDPE y PP, y se ha comprobado que producir PP es menos impactante en términos normalizados (15.3 % menos impactante). Por tanto, el principal motivo de la reducción de los indicadores es que ahora reciclamos el tapón mientras que antes lo llevábamos al vertedero.



**Figura 33-** Comparación entre los valores normalizados de los ciclos globales del bote de crema con tapón de polipropileno y el bote de crema con tapón de HDPE.

Tal y como muestra la figura 33, al cambiar el tapón de polipropileno por polietileno de alta densidad, se ha obtenido una mejora del 37.6%. Es una mejora muy significativa teniendo en cuenta que al eliminar el estuche de cartón la disminución es menor. Las mayores reducciones del impacto normalizado se deben de nuevo a la reducción de los indicadores normalizados  $ADP_{elem}$  y MAETP.

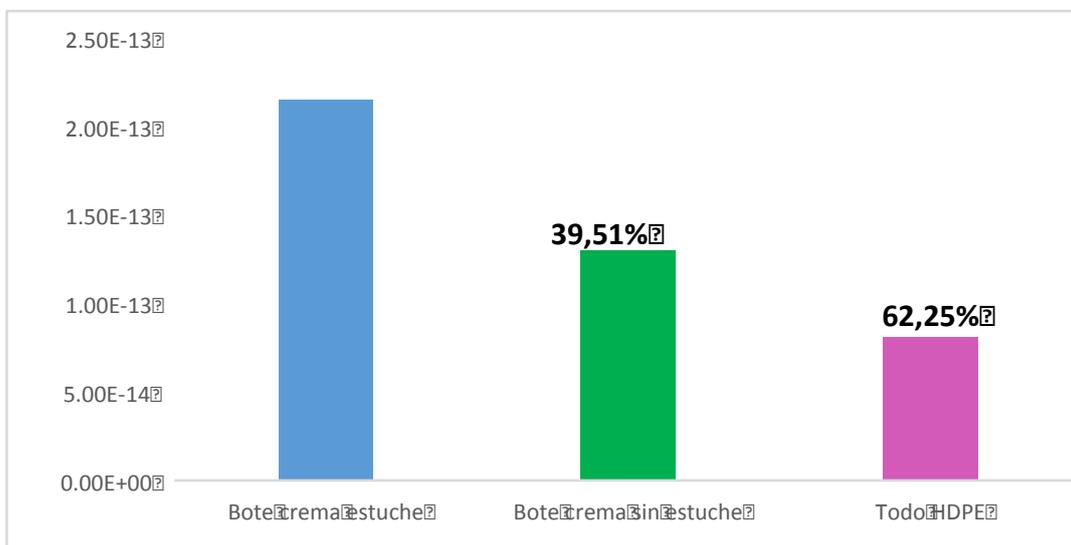
Como ya se ha dicho, se hizo el cambio de material buscando facilidad a la hora de reciclar, y se ha visto que más que el cambio de material el causante de las reducciones ha sido el reciclaje de la pieza entera. Por tanto, siempre que sea posible, se intentará realizar sistemas con monomateriales.

## 5. Conclusiones

Se ha realizado el Ecodiseño del bote de crema para pieles atópicas y muy secas de la línea Be+ según los pasos marcados por la norma de Ecodiseño. En el paso 1 se han especificado las funciones del producto. En el paso 2 se ha realizado un ACV detallado del producto determinando que la etapa más impactante es la extracción y fabricación del cartón y de la pieza de HDPE.

En el paso 3 del proceso de Ecodiseño se han enumerado las dos estrategias a seguir para reducir el impacto medioambiental del producto envasado. Finalmente, en el paso 4 se han diseñado los nuevos envases y se cuantificado sus impactos. La primera medida ha sido eliminar el estuche de cartón, reduciendo principalmente el indicador ODP. El impacto global se ha reducido en un 39,51%.

En la segunda medida se ha fabricado el tapón de polietileno de alta densidad en vez de polipropileno. Esto ha provocado el aumento de alguno de los indicadores como el GWP o el ODP, pero ha disminuido el resto. Los valores normalizados han mostrado un descenso del 62,25% respecto al envase original. El descenso se deba más al hecho de hacer el tapón reciclable que al hecho de cambiar de material.



**Figura 34-** Comparación del impacto global normalizado entre los tres envases estudiados.

# **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES FINALES**



En los últimos años el problema medioambiental de los envases ha adquirido importancia. Por eso, la mayoría de países en el mundo han adoptado leyes expresamente concebidas para regular el uso de los envases y la basura que estos generan. Una de las medidas que se promueven es la de evitar generar envases como residuos y promover la reutilización y reciclaje de los mismos. Es decir, prevenir la generación de contaminación desde el diseño del producto. En definitiva, ecodiseñar el producto.

La norma de Ecodiseño está orientada hacia el ciclo de vida del producto, y se tiene en cuenta todos los impactos medioambientales creados a lo largo de la vida del mismo. La norma UNE-EN ISO 14006 muestra como incorporar el ecodiseño al sistema de gestión ambiental de una empresa, siguiendo cuatro etapas.

En este trabajo, se han seguido estas etapas para mejorar el impacto medioambiental del envase del jarabe expectorante CINFATÓS y el bote de la crema para pieles atópicas y muy secas de la línea Be+.

Primero se han especificado las funciones del producto y luego se han definido los parámetros ambientales significativos mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Después se han identificado las estrategias pertinentes de mejora ambiental y finalmente se han desarrollado algunas soluciones técnicas.

En el caso del jarabe CINFATÓS, se ha observado que la etapa más impactante en su ciclo de vida es la correspondiente a la etapa 1, extracción y fabricación de la botella, y el material causante de esto es el vidrio. También se ha visto que si bien la cantidad del tapón de aluminio es pequeña influye mucho en el indicador MAETP que al ser normalizado adquiere mucho peso. Por eso, el segundo material más impactante es el aluminio. Se ha decidido realizar tres mejoras; en la primera se ha sustituido la botella de vidrio por una de PET. Se ha obtenido una reducción del 20.4%. En general, el PET es más contaminante que el vidrio, pero al ser necesaria una menor cantidad el impacto es menor.

La segunda medida ha sido sustituir el tapón de aluminio por el de polipropileno manteniendo la botella de PET. Esto ha hecho que algunos indicadores como el  $ADP_{fossil}$  o el GWP aumenten, mientras ha disminuido otros como el  $ADP_{elem}$  o el MAETP. Con este cambio se ha obtenido una mejora del 40.4% respecto del envase inicial de vidrio con tapón de polipropileno.

La última medida ha sido eliminar el estuche de cartón, una medida sencilla pero muy eficiente ya que se ha obtenido una reducción del 51.3% respecto del envase inicial. Esto es, mediante tres medidas se ha conseguido una reducción del impacto medioambiental del jarabe CINFATÓS de más del 50%.

En el caso del bote de crema se ha visto que la etapa correspondiente a la extracción de los materiales vuelve a ser la más impactante. En este caso causada por la extracción del HDPE, cartón y polipropileno. El tubo de HDPE no se puede modificar, por eso, las dos medidas que se han tomado han sido: eliminar el estuche de cartón del bote de crema y cambiar el tapón de polipropileno por uno de HDPE.

Con la primera medida se ha obtenido una mejora del 39.51% siendo el indicador que más se ha reducido el ODP. Con la segunda medida hemos creado un producto monomaterial facilitando muchísimo su reciclado. Se ha conseguido una reducción del 62.25% respecto del envase original.

En resumen, se ha demostrado la eficacia del Ecodiseño a la hora de reducir el impacto de los envases en el medio ambiente y se ha iniciado el proceso de implantación de la Norma de Ecodiseño en el sistema de gestión ambiental de la empresa farmacéutica.

# **BIBLIOGRAFÍA**



- [1] AENOR, AENOR. (2011).
- [2] AENOR (2006).
- [3] F. Giudice, in: Kauffman, J. and Kun-Mo, L. (Eds.), Handbook of Sustainable Engineering, Springer, 2013, pp. 323.
- [4] Gobierno de España, BOE. 99 (1997) 13270-13277.
- [5] Gobierno de España, BOE. 181 (2011) 85650-85705.
- [6] Horizon 2020, Work Programme 2014-2015 (2013).
- [7] J.V. Joan Rieradevall, Ecodiseño Y Ecoproductos, Rubes, 1999.
- [8] S. CapuzRizo, Ecodiseño: Ingeniería De Ciclo De Vida Para El Desarrollo De ProductosSostenibles, Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- [9] IHOBE, Manual Práctico De Ecodiseño.Operativa De Implantación En 7 Pasos.,[www.ihobe.net](http://www.ihobe.net) ed., 2000.
- [10] AENOR (1996).
- [11] W. Wimmer, R. Züst, K.M. Lee, Ecodesign Implementation, Springer, 2004.
- [12] J. Guinée, Handbook on Life Cycle Assessment, Kluwer, Dordrecht, 2002.
- [13] European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO)2012.
- [14] A. Navajas, A. Bernarte, G. Arzamendi, Gandía L.M., Int J Life Cycle Assess. 19 (2014) 218-230.
- [15] THE PLASTICS DIVISION OF THE AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, INC (2010).



# **ANEXO I**

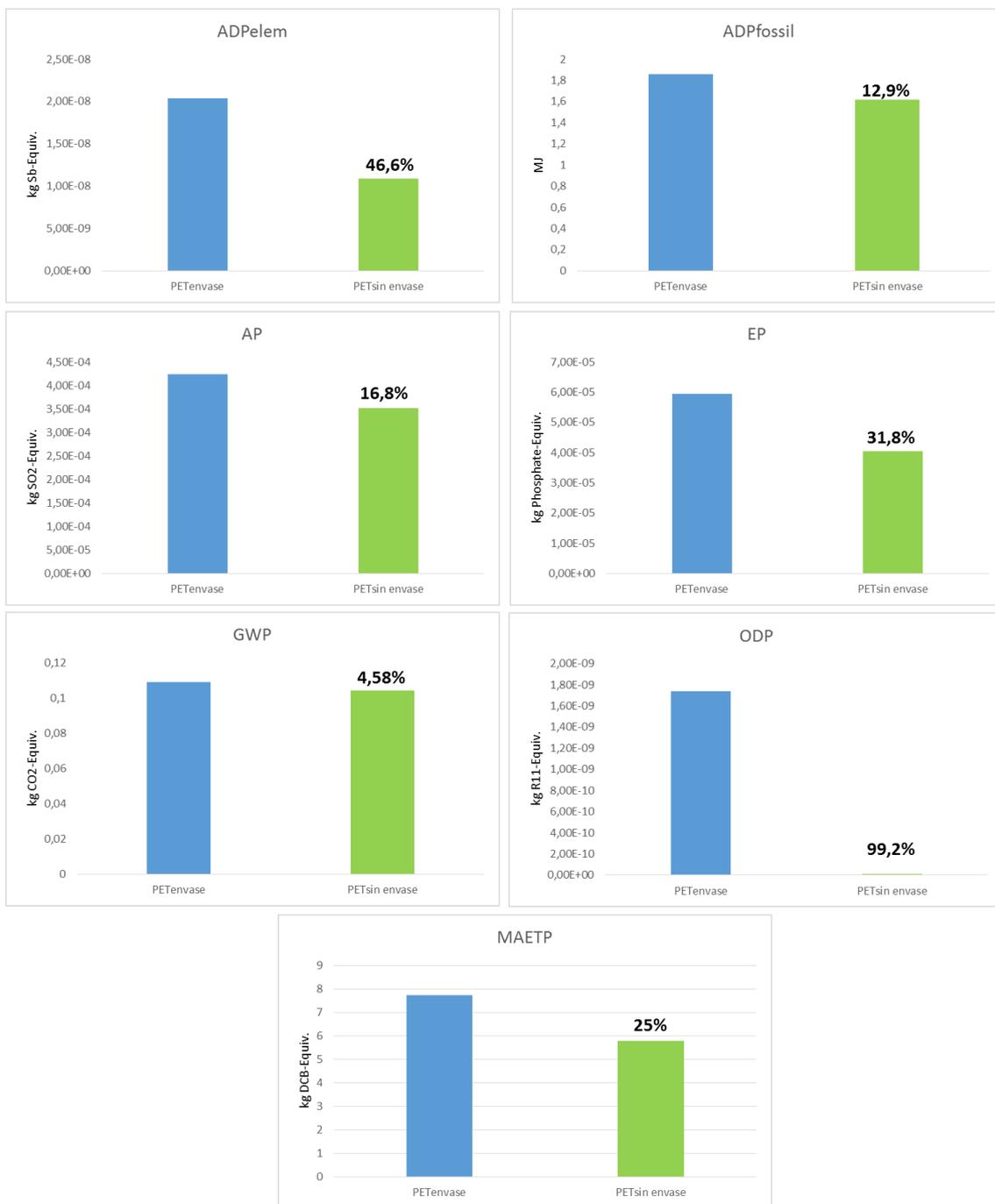


ENTRADAS		SALIDAS	
<b>SEPARACIÓN</b>		<b>SEPARACIÓN</b>	
○ Diésel	74.9 MBtu	○ Residuos sólidos a vertedero	87.1 lb
○ Electricidad	76.3 MBtu		
○ Gas Natural	0.04 MBtu		
○ Propano	32.6 MBtu		
<b>RECICLAJE</b>		<b>RECICLAJE</b>	
○ PET postconsumo	1250 lb	○ Emisiones atmosféricas	
○ Electricidad	418 kwh	- Particuladas	0.039 lb
○ Gas natural	1207 cu-ft	- Volátiles	0.037 lb
○ LPG	0.031 gal	○ Residuos sólidos a vertedero	220 lb
○ Propano	0.0053 gal	○ Emisiones al agua	
○ Diésel	438 MBtu	- DBO	7.26 lb
○ Agua	47.3 gal	- DQO	20.2 lb
		- Sólidos en suspensión	2.98 lb

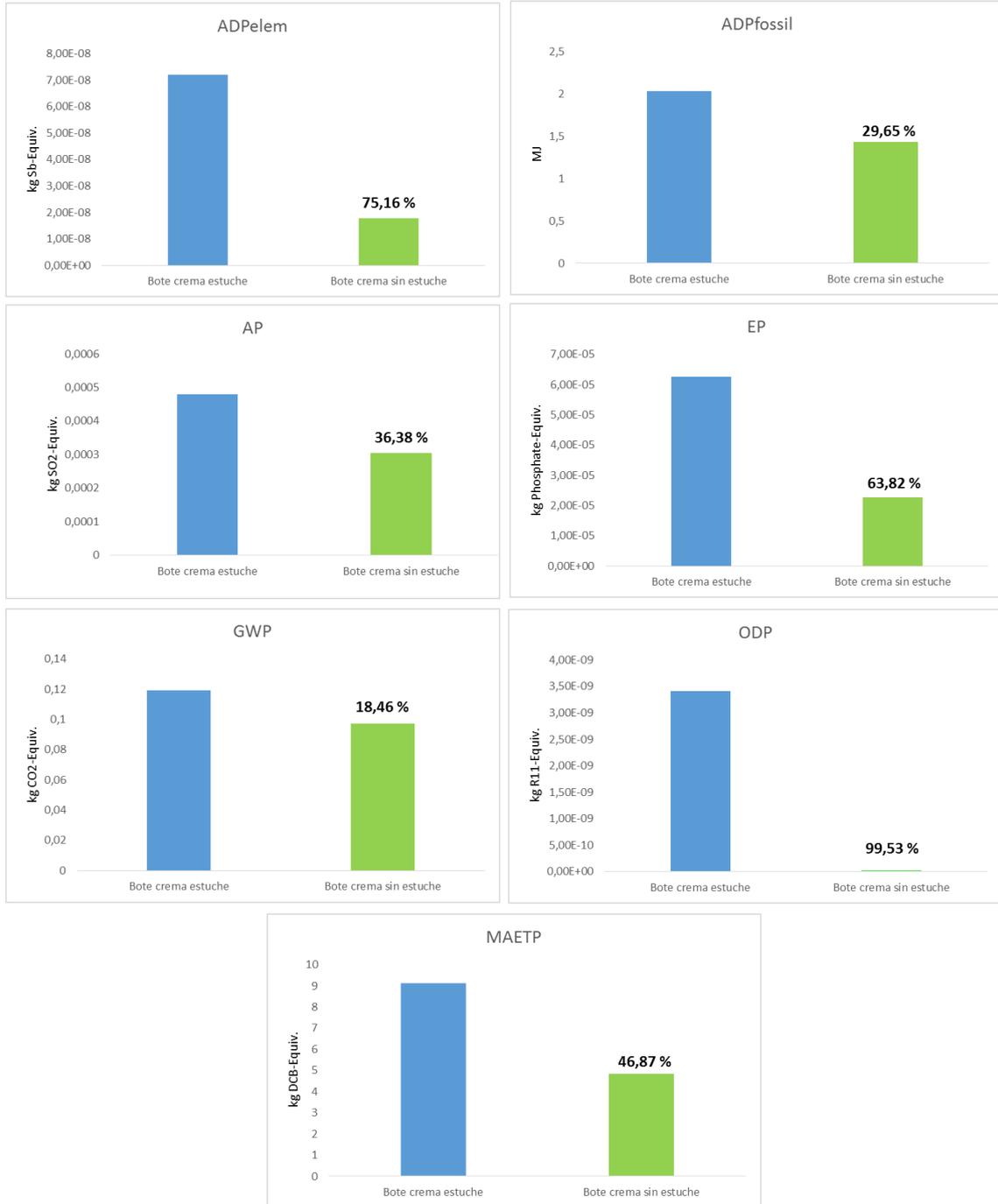
**Tabla AI.** Datos para procesar 1000 libras de gránulos de PET reciclado.

ENTRADAS		SALIDAS	
<b>SEPARACIÓN</b>		<b>SEPARACIÓN</b>	
○ Diésel	74.9 MBtu	○ Residuos sólidos a vertedero	87.1 lb
○ Electricidad	76.3 MBtu		
○ Gas Natural	0.04 MBtu		
○ Propano	32.6 MBtu		
<b>RECICLAJE</b>		<b>RECICLAJE</b>	
○ HDPE postconsumo	1079 lb	○ Emisiones atmosféricas	
○ Electricidad	2289 MBtu	- Partículas (PM10)	0.023 lb
○ Gas natural	138 MBtu	- Partículas (PM2.5)	0.015 lb
○ LPG	10.1 MBtu	○ Residuos sólidos a vertedero	65.7 lb
○ Propano	4.14 MBtu	○ Residuos sólidos (energizantes)	13.4 lb
○ Diésel	440.97 MBtu	○ Emisiones al agua	
○ Agua	53.3 gal	- DBO	0.30 lb
		- DQO	0.0015 lb
		- Sólidos en suspensión	0.29 lb
		- Sólidos disueltos	0.0091 lb

**Tabla AII.** Datos para procesar 1000 libras de gránulos de HDPE reciclado.



**Figura AI-** Comparación entre indicadores para la botella de PET con estuche de cartón y sin estuche.



**Figura AII-** Comparación entre indicadores para el bote de crema con estuche de cartón y sin estuche.