

Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático



Fecha: Diciembre 2017
Por encargo de: ARECO



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



• UNESCO Chair
• in Life Cycle and
• Climate Change



La **Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático ESCI_UPF** se crea por convenio entre la **Escola Superior de Comerç Internacional (ESCI)** de la Universitat Pompeu Fabra (UPF) y la **Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)** el 17 de diciembre de 2010. En mayo de 2011 el **Dr. Pere Fullana i Palmer** es ratificado como su Director.

La idea de la creación de la Cátedra UNESCO ESCI-UPF surge de la voluntad del **Grupo de Investigación en Gestión Ambiental (GiGa)**, fundado en ESCI en 2004 por el Dr. Fullana i Palmer, de expandir e intercambiar conocimientos de Ciclo de Vida y su aplicación a la prevención del cambio climático en una dimensión más internacional. GiGa es, a partir de 2011, la Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático. Cabe destacar que, en octubre de 2010, se modifican los estatutos de ESCI-UPF quedando en su artículo primero c), como objetivo: “La prestación de servicios de formación e investigación dentro del área internacional de la empresa que alcance cualquier ámbito de la gestión empresarial, de la gestión ambiental, de la sostenibilidad y de las relaciones internacionales”.

La Cátedra UNESCO ESCI-UPF ha participado y/o coordinado numerosos proyectos nacionales e internacionales de análisis de ciclo de vida (ACV), ecodiseño, compra verde y comunicación ambiental de productos (ecoetiquetas), huellas de carbono e hídrica, gobernanza en la gestión ambiental e integración de aspectos sociales y económicos en las evaluaciones ambientales. Estos proyectos, financiados tanto por entidades públicas como privadas, aportan soluciones compatibles con las exigencias del mercado, las expectativas sociales y el respeto hacia el entorno, integrando los tres ámbitos de la sostenibilidad.

La misión de la Cátedra UNESCO ESCI-UPF es la de promover la investigación, la educación, el establecimiento de redes de colaboración y la generación de documentación orientados al desarrollo sostenible de productos y procesos a nivel internacional. Esto permite una mejora sustancial de todas aquellas metodologías de ciclo de vida aplicadas al cambio climático y su prevención, añadiendo valor al estado del arte actual. Asimismo, la Cátedra UNESCO ESCI-UPF tiene una clara vocación internacional y, por consiguiente, promueve actividades en un contexto transnacional, facilitando la colaboración entre investigadores de renombre internacional y los docentes de universidades y otras instituciones de Europa, Asia, América Latina, Caribe y África y otras regiones del mundo.

© 2017 Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático ESCI-UPF.

Está prohibida toda reproducción, distribución, transformación, presentación, total o parcial, del contenido, datos y modelos presentados de este documento o de alguno de sus elementos, de forma directa o indirecta. Para ordenar copias de este documento consulte con la Cátedra UNESCO a unescochair@esci.upf.edu

Los autores del documento son responsables de la elección y presentación de la información contenida en él, así como de las opiniones expuestas en el mismo, que no son necesariamente aquellas de UNESCO y no corresponsabilizan a la misma.

Título del documento:

RESUMEN EJECUTIVO: Análisis comparado de diferentes opciones de distribución de frutas y hortalizas en España mediante el Análisis de Ciclo Vida (ACV)

Realizado por:

DRA. ALBA BALA
DR. PERE FULLANA

Passeig Pujades, 1
E-08003 Barcelona
NIF: Q5856335D

unescochair@esci.es
www.unescochair.esci.upf.edu
Tel.: +34 932954710

Ciente:

ARECO

Avenida Al Vedat, nº 55, 3º, 6
46900 Torrent (Valencia)

comunicación@areco.org.es
www.areco.org.es

Tel. +34 91 351 36 36

Lugar y fecha:

Barcelona, 22 de diciembre de 2017

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN	6
2. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y DEL ALCANCE DEL ESTUDIO.....	7
2.1 Objetivo.....	7
2.2 Sistemas analizados y sus funciones	7
2.2.1 Escenarios investigados.....	9
2.2.2 Unidad funcional (o unidad de comparación).....	9
2.2.3 Límites del sistema de estudio	9
2.2.4 Expansión del sistema	11
2.2.5 Tratamiento del CO ₂ biogénico	11
2.2.6 Selección de las categorías de impacto relevantes	12
2.2.7 Recolección de información y fuentes de datos	12
2.2.8 Base de datos de GaBi (actualización).....	13
2.2.9 Validación de datos	13
2.2.10 Herramientas de cálculo y simulación	13
2.2.11 Revisión crítica	13
3. RESULTADOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1.1 Resultados globales	14
3.1.2 Escalado de resultados a la movilización de cajas anuales en España.....	16
3.1.3 Contribución de las diferentes fases en el ciclo de vida de las dos opciones	17
3.1.4 Contribución de procesos de la producción de cajas de cartón.....	20
3.1.5 Relevancia de los diferentes parámetros e influencia en los resultados	21
4. CONCLUSIONES.....	24
5. BIBLIOGRAFÍA.....	25

LISTADO DE ACRÓNIMOS

ADEME	Agencia ambiental y de la energía francesa
ARECO	Asociación de Operadores Logísticos de Elementos Reutilizables Ecosostenibles
CML	Centre for Environmental Science at Leiden University
CO ₂	Dióxido de Carbono
EP-NR	Uso de energía primaria (no renovable)
EP-R	Uso de energía primaria (renovable)
ESCI	Escuela Superior de Comercio Internacional
FEFCO	Asociación Europea de Fabricantes de Cartón Ondulado
ISO	Organización Internacional de Estandarización
ITENE	Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística
LBP	Chair of Building Physics. Universidad de Stuttgart
MJ	Mega Julios
PA	Potencial de Acidificación
PARA	Potencial de Agotamiento de Recursos Abióticos
PCG	Potencial de Calentamiento Global
PDCO	Potencial de Destrucción de la Capa de Ozono
PE	Potencial de Eutrofización
PEAD	Polietileno de Alta Densidad
PFOF	Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos
PP	Polipropileno
PT	Potencial de Toxicidad
SIM	Fundación para Sistemas Reutilizables (<i>Stiftung Initiative Mehrweg</i>)

1. Antecedentes e introducción

Los envases y embalajes desempeñan un papel fundamental en la cadena de distribución y logística de las frutas y las verduras. Estos protegen al producto y también sirven como soporte para el etiquetado, con información del producto, y para poder apilar su contenido. En los últimos años existe una preocupación creciente por la gran cantidad de envases y embalajes que circulan y por su impacto ambiental asociado.

Fruto de esta preocupación, de los resultados controvertidos de otros estudios (ADEME, 2000) y de conocer en detalle el impacto ambiental asociado a la logística de distribución de frutas y hortalizas en Europa, en 2004 Stiftung Initiative Mehrweg (SIM) encargó la realización del estudio *“The Sustainability of Packaging Systems for Fruit and Vegetable Transport in Europe based on Life-Cycle-Analysis- 2004”*, que fue sido posteriormente actualizado en 2009. El estudio fue desarrollado por el Fraunhofer Institute for Building Physics (LBP), la Universidad de Stuttgart y PE International. La Escuela Superior de Comercio Internacional (ESCI-UPF) participó como colaborador aportando datos para España, analizando las opciones de distribución mediante cajas de cartón y madera de un solo uso y mediante cajas de plástico reutilizables.

En el año 2005 la Universidad Politécnica de Valencia, en colaboración con ITENE, realizó un estudio comparativo sobre cajas de cartón y cajas de plástico plegables para España (Capuz y Aucejo, 2005). Los resultados de este estudio concluyen que las cajas de cartón reciclables son la mejor opción desde el punto de vista ambiental y económico. Sin embargo, estos resultados son opuestos a los obtenidos en los estudios de ADEME (2000) y de SIM (2004), en los que las cajas de plástico reutilizables son las que tienen un menor impacto ambiental y un menor coste.

Por los motivos mencionados en el párrafo anterior, la Asociación de Operadores Logísticos de Elementos Reutilizables Ecosostenibles (ARECO) encargó a la Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático (ESCI-UPF) una **revisión en profundidad de los estudios existentes y la adaptación a la realidad española y actualización del estudio desarrollado para SIM en 2009**. Puesto que en España el uso de cajas de madera para la distribución de frutas y verduras es testimonial, solo se realiza la comparativa entre cajas de plástico y cajas de cartón. En cuanto al análisis, este se centra en la dimensión ambiental.

2. Definición del objetivo y del alcance del estudio

2.1 Objetivo

El propósito del presente estudio es obtener información objetiva y con base científica del impacto ambiental asociado a la distribución de frutas y verduras en el mercado interno español (peninsular), comparando dos soluciones de embalaje: cajas de cartón de un solo uso y cajas de plástico reutilizables.

Para ello, se ha utilizado la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permite analizar el impacto ambiental asociado a todas las etapas de la vida de las cajas, desde que se extraen las materias primas para su fabricación hasta que éstas se convierten en un residuo. Esta metodología está regulada por las normas ISO 14040 y 14044 y está avalada por la Unión Europea como la mejor herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

2.2 Sistemas analizados y sus funciones

Los sistemas de distribución de frutas y verduras comparados, además de garantizar una correcta distribución del producto, deben garantizar un buen etiquetado del mismo, unas condiciones de higiene y seguridad mínimas y unas condiciones ergonómicas (no sobrepasando los límites de peso permitidos por la legislación), entre otras características típicas de los sistemas de envasado.

Los tipos de cajas considerados se recogen en la Figura 1.



Figura 1. Ejemplo de cajas de cartón y de plástico consideradas en este estudio.

Fuente: UNIQ¹, 2016. ARECO², 2016.

¹ www.grupouniq.com UNIQ es el nuevo Sello de Calidad Agrícola promovido por la Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón ONDULADO (AFCO). Sustituye al anterior sello Plaform. Agrupa a los 15 mayores productores del sector en España.

² Imágenes aportadas por los integrantes de ARECO: Euro Pool Systems, IFCO y Logifruit.

Las características principales de los dos sistemas de distribución comparados se detallan en la Tabla 1.

Las cajas de cartón se fabrican y son transportadas a los productores locales de frutas y verduras (fase de producción). Una vez llenas, éstas son transportadas a los puntos de descarga y/o de consumo (vida de servicio). Una vez finalizado su cometido, son gestionadas como residuos.

Las cajas de plástico, por el contrario, después de la vida de servicio son recogidas, inspeccionadas, lavadas, reparadas (en el caso de que sea necesario) y distribuidas de nuevo entre los productores locales de fruta para un segundo uso. Una vez ya han cubierto toda su vida útil y ya no pueden repararse y ser reutilizadas, las cajas son gestionadas como residuo y repuestas por cajas nuevas.

Tabla 1. Principales características de los sistemas analizados.

	Caja de cartón representativa	Caja de plástico promedio
Material	Cartón	Polipropileno (PP) y polietileno (PEAD)
Tipo de servicio	Un solo uso	Reutilizable
Reutilización	-	Logística inversa y lavado
Tratamiento de fin de vida	80% reciclaje ³ 20% Incineración	100% reciclaje ⁴
Peso de la caja (kg)	0,807 ⁵	1,87
Dimensiones (mm)	600x400x180 ⁶	600x400x187
Peso de carga (kg)	15	15
Cajas llenas por palé	48	48
Capas por palé	12	12
Palés por camión	33	33
Cajas por palé plegadas	-	264

³ Según datos de REPACAR (2014) aproximadamente el 80% de las cajas de cartón son recicladas cada año en España. No se han encontrado datos específicos sobre las cajas de distribución de frutas y verduras. Aunque se sospecha que el porcentaje de reciclado puede ser menor en este caso, por contaminación por materia orgánica del cartón, como escenario conservador se ha asumido el destino de tratamiento promedio de las cajas de cartón en general; es decir, **se ha mantenido el 80% de reciclaje**.

⁴ Dato proporcionado por las empresas integrantes de ARECO.

⁵ Según comunicación personal de SAICA (27/06/2016), las cajas con el sello UNIQ de medidas 600x400x180 con tejadillo tienen un peso variable en función del gramaje y acabado del cartón que oscila entre 0,797 y 0,817 kg. En este estudio se ha cogido el promedio entre los dos: 0,807 kg.

⁶ Según la norma UNE 137005:2005 (Acuerdo internacional estandarización de medidas de cajas de cartón ondulado), la referencia CF1 corresponde a unas medidas de 600x400 mm en la base y a una altura variable en función del tipo de producto. En el presente estudio, y para hacerla funcionalmente equivalente a la caja de plástico, se ha considerado una altura de 180 mm, correspondiente a los datos disponibles de la referencia CF1 de FEFCO (2012).

2.2.1 Escenarios investigados

En este estudio se analizan dos escenarios posibles en relación a los parámetros que definen la vida de servicio del producto de las cajas de plástico:

- **Escenario conservador (base):** 10 años de vida útil, 10 rotaciones por año
- **Escenario técnico:** 15 años de vida útil, 10 rotaciones por año

Nota: Puesto que los resultados en los dos escenarios han resultado ser muy similares, **en este resumen ejecutivo sólo se mostrarán los datos y resultados del escenario conservador.**

2.2.2 Unidad funcional (o unidad de comparación)

La **unidad funcional** es la medida de la función de los sistemas analizados que nos permite hacer una comparación entre los mismos. En este caso, la unidad funcional de partida es la siguiente:

«La distribución de 1.000 toneladas de frutas y verduras en cajas de cartón (un solo uso) o cajas de plástico (reutilizables)».

Para traducir esta unidad funcional a flujos de referencia (es decir, a número de cajas de plástico y de cartón necesarias), se ha tenido en cuenta que cada caja puede transportar 15 kg de producto. Esto implica que **para transportar estas 1.000 toneladas se necesitan 66.667 unidades de cajas**. En el escenario conservador, las cajas de plástico tienen 10 años de vida y hacen 10 rotaciones al año. Esto significa que **durante los 10 años vida útil de las cajas de plástico, éstas podrán realizar 6.666.700 llenados**.

Para poder tener en cuenta el efecto de las rotaciones y la vida útil de las cajas de plástico, la unidad funcional de partida se ha transformado para el escenario conservador en:

«La distribución de 6.666.700 cajas llenas de frutas y verduras, con un peso transportado de 15 kg por caja, en cajas de cartón (un solo uso) o cajas de plástico (reutilizables)».

2.2.3 Límites del sistema de estudio

El estudio incluye el ciclo de vida completo de los dos sistemas de distribución, considerando las etapas de extracción de las materias primas para fabricar las cajas, el proceso de producción, el de distribución y uso, y las de reciclaje o disposición final en un vertedero o una incineradora una vez finalizada su vida útil. Los sistemas auxiliares como el transporte de materias primas para la fabricación de las cajas, la obtención de energía eléctrica de fuentes de energía primaria, la

extracción y quema de combustibles para el transporte de las cajas o el transporte de los residuos, también se incluyen dentro del análisis, con una óptica de ciclo de vida.

Quedan fuera de los límites del sistema la producción de bienes capitales (equipamientos, maquinaria, camiones) dado que, en general, no son relevantes en el análisis debido a la amortización por producto fabricado o transportado.

Una vez los residuos de las cajas son gestionados como residuos, éstos conllevan la disposición de material secundario para ser reutilizado en otros productos (reciclaje de cajas de plástico) y también la recuperación de energía en forma de electricidad en el caso de que los residuos de las cajas de plástico o cartón sean incinerados o dispuestos en un vertedero. Este hecho conlleva la incorporación de nuevas funciones a nuestro sistema, adicionalmente al del transporte de las frutas y verduras, como son disponer de una cierta cantidad de material reciclado y/o electricidad.

Este “problema metodológico” de añadir nuevas funciones al sistema se resuelve en el caso del ACV mediante la “expansión del sistema” (ver apartado 2.2.4). Sólo si se realiza esta expansión del sistema, los dos sistemas de distribución serán comparables, puesto que estaremos asegurando que ambos cumplan con la misma unidad funcional.

En la Figura 2 se esquematizan los límites de los sistemas analizados, los iniciales y los expandidos.

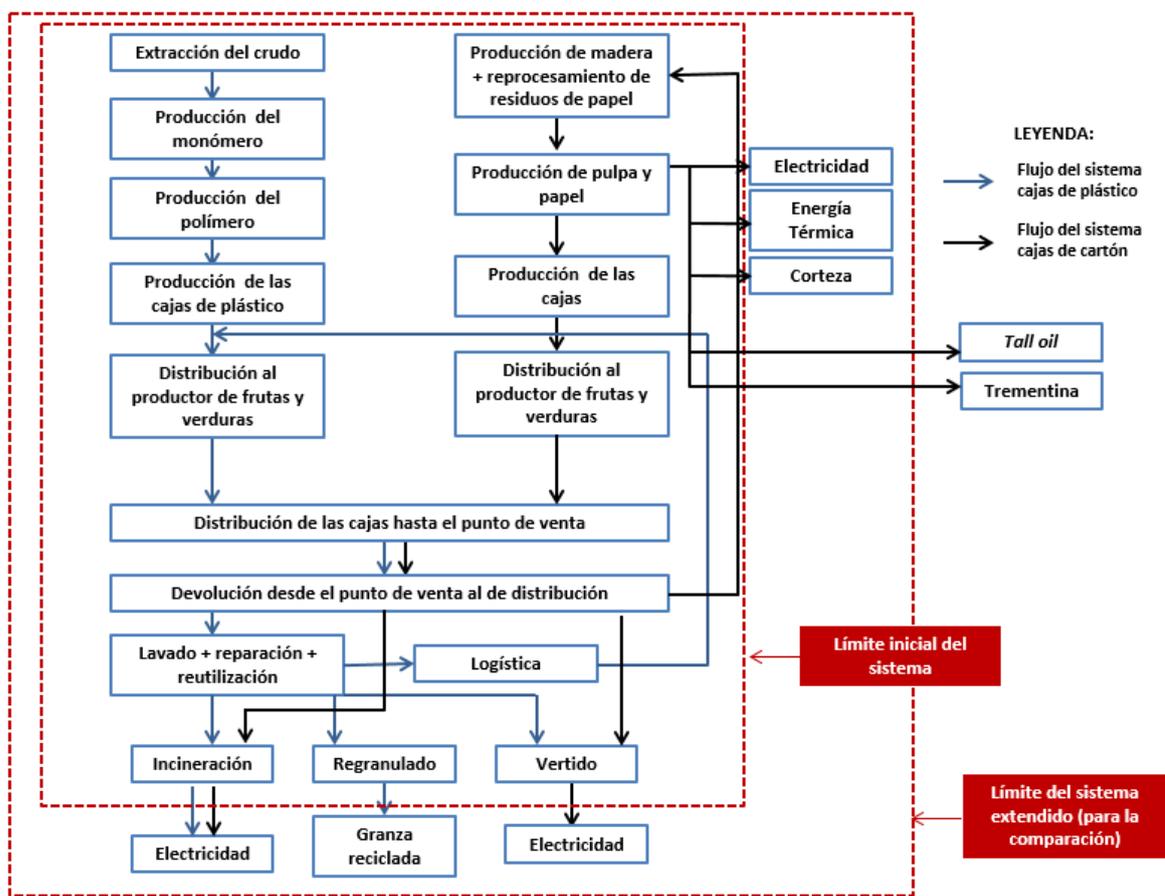


Figura 2. Límites del sistema.

2.2.4 Expansión del sistema

La recuperación de materiales y de energía a través de los flujos de residuos de cajas tratadas supone añadir nuevas funciones a la función principal de transporte y distribución de frutas y verduras del sistema objeto de estudio. Para que las dos alternativas de transporte sean equivalentes, es necesario asignar (o repartir) el impacto ambiental entre las diferentes funciones que produce el sistema y contabilizar sólo en el cómputo del impacto ambiental la parte correspondiente a la función principal que comparten los dos sistemas.

Siempre que sea posible, la norma UNE-EN ISO 14044:2006⁷ recomienda evitar la asignación mediante la expansión de los límites del sistema estudiado de manera que se incluya la obtención (en este caso del material o la energía) a partir de fuentes de producción alternativas (ver cuadro 1, sección 2.2.6). Esto es lo que se llama realizar una “expansión del sistema”, lo que significa abstraer el impacto ambiental asociado a la obtención de materiales y energía a partir de otras fuentes de producción. En la Figura 3 se esquematiza el proceso de expansión del sistema (ejemplarizado en el caso de la energía).

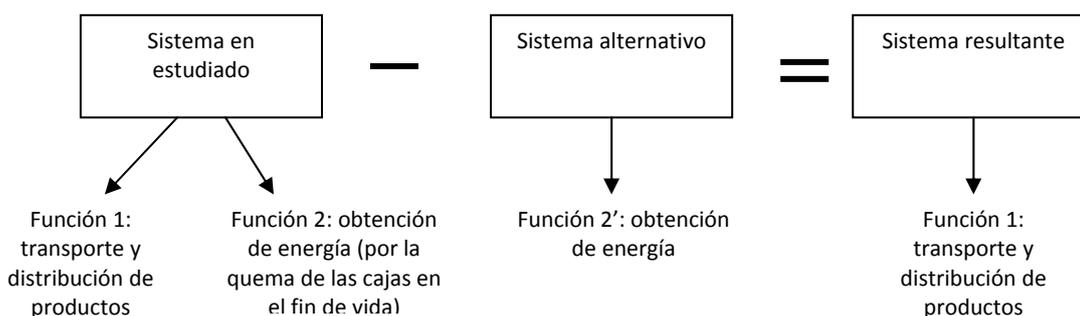


Figura 3. Esquema de expansión del sistema

2.2.5 Tratamiento del CO₂ biogénico

Siguiendo las recomendaciones de la ILCD (2011), en este estudio la absorción y emisión de CO₂ de origen biogénico se ha considerado neutra. Para ellos, se han contabilizado tanto la absorción de CO₂ de origen biogénico en la obtención del papel y cartón necesario para las cajas de cartón, como su emisión una vez finalizada su vida útil mediante la incineración de los residuos generados.

⁷ UNE EN ISO 14044. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

2.2.6 Selección de las categorías de impacto relevantes

Las categorías de impacto ambiental analizadas en este estudio se recogen en la Tabla 22. Éstas han sido desarrolladas por el Centre for Environmental Science at Leiden University (CML) [Heijungs et al, 1992; Guinée et al., 2001] actualizados en abril de 2015, excepto para la categoría de Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos en los que se han usado los factores de caracterización del IMPACT 2000+ [Jolliet et al, 2003]:

Tabla 2. Categorías de impacto ambiental consideradas

Categoría de impacto	Unidad de medida	Acrónimo
Uso de energía primaria (renovable)	MJ	EP-R
Uso de energía primaria (no renovable)	MJ	EP-NR
Potencial de Calentamiento Global	kg CO ₂ - eq.	PCG
Potencial de Destrucción de la Capa de Ozono	kg R11 – eq.	PDCO
Potencial de Acidificación	kg SO ₂ – eq.	PA
Potencial de Eutrofización	kg Fosfato – eq.	PE
Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos	kg Eteno – eq.	PFOF

2.2.7 Recolección de información y fuentes de datos

Para las etapas de producción de las cajas de plástico y de cartón se han utilizado los datos obtenidos del informe del SIM (2009)⁸, pero han sido actualizados con la base de datos GaBi (2016). Esto significa, por ejemplo, que el consumo de energía eléctrica para producir las cajas ha sido actualizado al mix de producción eléctrico representativo para el período 2012-2018, en lugar del período 1998-2003 incluido en el estudio del SIM.

Del mismo modo, las materias primas o algunos materiales auxiliares utilizados en el proceso también han sido actualizados con la misma base de datos, con el fin de incluir los datos disponibles más recientes.

Para las fases de distribución y logística inversa (en el caso de las cajas de plástico reutilizables) se han utilizado datos proporcionados por las empresas asociadas a ARECO correspondientes al año 2015 para la distribución de frutas y verduras en España.

⁸ Los datos del estudio del SIM (2009) fueron recopilados a través de cuestionarios enviados a los socios del proyecto así como a compañías industriales (FEFCO para la producción de cajas de cartón, German Umweltbundesamt para la producción de polímeros de plástico, y Bekuplast, Didac Injection y SchoellerArcaSystems - los mayores proveedores de IFCO y EUROPOOL - para la producción de las cajas de plástico). La representatividad a nivel Europeo se garantizó mediante la participación de socios de apoyo internacionales (FEBE EcoLogic, Escola Superior de Comerç Internacional (ESCI-UPF) y Bio Intelligence Services) que proporcionaron datos específicos para Italia, España y Francia, respectivamente. Los datos *background* relevantes sobre energía, transporte y materiales auxiliares fueron extraídos de la base de datos GaBi 4 correspondientes al período 1998-2003. Adicionalmente, también se consultó con otros actores involucrados (productores de cajas, federaciones, fabricantes de tintas, productores de frutas y vegetales) para completar el inventario de datos.

2.2.8 Base de datos de GaBi (actualización)

Las base de datos de ACV de GaBi utilizada en el estudio del SIM de 2009, GaBi 2008, ha sido actualizada a la versión GaBi 2016⁹. En esta base de datos están actualizados, entre otros, los mixes energéticos para la producción de electricidad y combustibles, que son representativos para el período 2012-2018, así como los datos de producción de materiales de 20 asociaciones empresariales respecto a la versión GaBi 2013.

2.2.9 Validación de datos

Los datos utilizados en este estudio para los procesos de producción fueron recogidos por industrias, partners y asociados al proyecto del SIM (2009) y validados por Thinkstep (antiguamente denominada PE International) y LBP. Los datos recogidos fueron validados utilizando datos existentes y publicados de diferentes fuentes (ej. EYERER 1996, EYERER & REINHARDT 2000, GaBi 2003, IKP 2005, GaBi 2008) o utilizando el conocimiento en ingeniería de expertos de PE International y LBP.

Los datos sobre los procesos de distribución y logística de las cajas proporcionados por los socios de ARECO han sido tratados y validados por expertos en ACV de la Cátedra UNESCO de ciclo de vida y cambio climático (ESCI-UPF).

2.2.10 Herramientas de cálculo y simulación

Para la modelización y obtención de resultados se ha utilizado el software de ingeniería de Análisis de Ciclo de Vida GaBi 7, desarrollado por la *Chair of Building Physics* (LBP en alemán) del departamento de Ingeniería de Ciclo de Vida de la Universidad de Stuttgart y Thinkstep (anteriormente denominada PE International).

2.2.11 Revisión crítica

Para cumplir con los requisitos establecidos por la ISO 14040 para aseveraciones comparativas abiertas al público, se ha realizado una revisión crítica externa por parte de un panel formado por 3 expertos independientes. Los expertos pertenecen a la Universidad de Cantabria, a la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) y al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

⁹ Para más información se puede consultar la página web de Thinkstep: <http://www.gabi-software.com/support/latestupdate/>, donde se detallan las novedades que incluye esta nueva actualización respecto a versiones anteriores.

3. Resultados

En este apartado se presentan los resultados del estudio, analizando los resultados en términos absolutos y relativos, y haciendo un análisis de contribución por etapas del ciclo de vida. También se realiza un análisis de sensibilidad de los datos y parámetros más relevantes del estudio para ver su efecto en los resultados.

3.1.1 Resultados globales

En la Tabla 3 se presentan los resultados desagregados, separando entre emisiones e impacto evitado o incorporado, y agregados (emisiones – evitado) para el escenario conservador. Como puede observarse, **para todas las categorías de impacto las cajas de plástico tienen un mejor comportamiento ambiental que las de cartón**. También en los resultados agregados referentes al consumo de energía (Tabla 4) se observa que el consumo de energía primaria de fuentes renovables y no renovables (EP-R + EP-NR) es inferior en el caso de las cajas de plástico, lo que está estrechamente asociado a un menor consumo de materiales de origen renovable y no renovable en su conjunto que las de cartón.

En la Figura 4 se presentan los resultados relativos al escenario conservador. Los resultados han sido normalizados con la caja que más contribuye a cada una de las categorías de impacto en cuestión.

Tabla 3. Resultados de impacto ambiental absoluto

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	Cajas plástico	Cajas cartón
EMISIONES			
PA	kg SO ₂ -eq	4.924	18.505
PE	kg Fosfato-eq.	1.011	6.164
PCG	kg CO ₂ -eq.	1.638.163	32.279.558
PDCO	kg R11-eq.	0,002	0,081
PFOF	kg Eteno-eq.	496	1.640
EVITADO O INCORPORADO			
PA	kg SO ₂ -eq.	912	13.638
PE	kg Fosfato-eq.	108	3.789
PCG	kg CO ₂ -eq.	290.450	21.413.737
PDCO	kg R11-eq.	0,000	0,004
PFOF	kg Eteno-eq.	30	777
EMISIONES-EVITADO			
PA	kg SO ₂ -eq.	4.012	4.867
PE	kg Fosfato-eq.	902	2.376
PCG	kg CO ₂ -eq.	1.347.713	10.865.821
PDCO	kg R11-eq.	0,002	0,077
PFOF	kg Eteno-eq.	466	863

Tabla 4. Resultados absolutos de los indicadores de energía

INDICADOR	UNIDAD	Cajas plástico	Cajas cartón
CONSUMOS			
EP-R+EP-NR	MJ	36.157.015	229.069.722
EP-NR	MJ	33.098.358	79.062.871
EP-R	MJ	3.058.656	150.006.851
AHORROS			
EP-R+EP-NR	MJ	10.132.653	168.764.773
EP-NR	MJ	9.951.176	129.884.217
EP-R	MJ	181.477	38.880.555
CONSUMOS-AHORROS			
EP-R+EP-NR	MJ	26.024.361	60.304.949
EP-NR	MJ	23.147.182	-50.821.347
EP-R	MJ	2.877.179	111.126.296

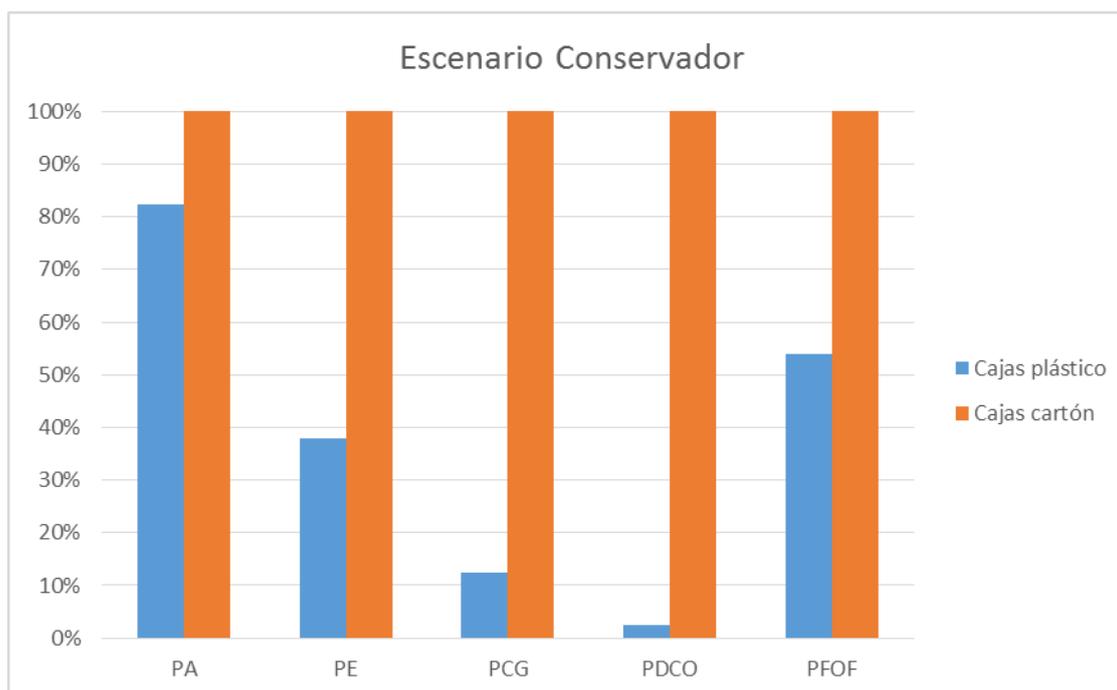


Figura 4. Resultados relativos de la comparación de las cajas

En referencia a los resultados de energía recogidos en la Tabla 4, cabe destacar que la energía empleada en la fabricación y distribución de las cajas que es recuperada en la fase de fin de vida, supone un 28% en el caso de las cajas de plástico y un 74% en el de las cajas de cartón en el escenario conservador.

Para analizar la influencia del impacto de los sistemas analizados, los resultados de impacto ambiental se han normalizado a las emisiones promedio de diferentes regiones de Europa de los 25 (+3) para el año 2000 (ver Figura 5). Se ha realizado para las categorías de impacto analizadas con el CML 2015 para las que se disponía de estas emisiones promedio.

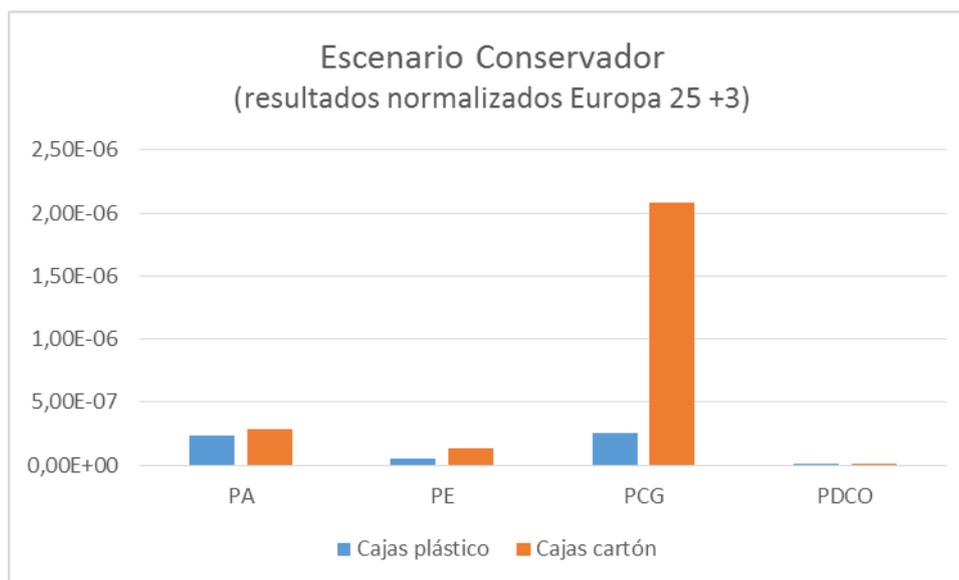


Figura 5. Resultados de impacto ambiental normalizados a las emisiones regionales promedio de Europa 25 (+3) para el año 2000

De los resultados mostrados en la Figura 5, se desprende que las categorías de impacto a las que más contribuyen los sistemas analizados respecto a las emisiones promedio regionales en Europa son el Potencial de Calentamiento Global y el Potencial de Acidificación. Sobre el Potencial de Eutrofización tienen una contribución mucho menor, y prácticamente nula sobre el Potencial de Destrucción de la Capa de Ozono.

3.1.2 Escalado de resultados a la movilización de cajas anuales en España

Si se escala la diferencia entre las cajas de cartón de un solo uso y las de plástico reutilizable desde la unidad funcional aplicada al total de cajas movilizadas para la distribución organizada en España durante un año (aproximadamente 550 millones de llenados¹⁰), el impacto sobre la categoría de impacto más influyente, el PCG, supondría un ahorro anual de -785.239.967 kg de CO₂-eq. para el escenario conservador (10 reutilizaciones al año). En la Tabla 5 se detallan los cálculos realizados. Esto supone un 0,24% de las emisiones generadas por España en el año 2014 en ambos casos¹¹.

¹⁰ Dato proporcionado por ARECO (enero 2017).

¹¹ Las emisiones de CO₂ equivalente en España en el año 2014 fueron 328,926 millones de toneladas (MAGRAMA, 2016). La división de las toneladas que se han calculado que se podrían ahorrar entre este valor da un total de 0,24% de contribución (tanto para el escenario técnico como para el conservador).

Tabla 5. Escalado de resultados a los 550 millones de unidades de cajas movilizadas en España anualmente para la distribución organizada

INDICADOR	UNIDAD	Cajas plástico	Cajas cartón
RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ACV			
PCG/UF	kg CO ₂ -eq.	1.347.713	10.865.821
Llenados/UF	número	6.666.700	6.666.700
PCG/Llenado	kg CO ₂ -eq.	0,202	1,630
ESCALADO A 550 MILLONES DE UNIDADES ANUALES EN ESPAÑA			
Llenados/año	número	550.000.000	550.000.000
PCG/año	kg CO ₂ -eq.	111.185.757	896.425.724
Ahorro anual	kg CO ₂ -eq.	-785.239.967	

3.1.3 Contribución de las diferentes fases en el ciclo de vida de las dos opciones

En los apartados siguientes se muestran los resultados desagregados por etapas del ciclo de vida: producción, vida de servicio y fin de vida para cada una de las cajas. En ambos casos se muestran tablas con resultados absolutos y relativos, y tanto para las categorías de impacto como para los indicadores de consumo de energía seleccionados.

Cajas de plástico

En las Tablas 6 y 7 se muestran los resultados de contribución de cada una de las etapas del ciclo de vida de las cajas de plástico reutilizables.

Tabla 6. Resultados de contribución de indicadores ambientales por etapas de ciclo de vida para CAJAS DE PLÁSTICO

EMISIONES	UNIDAD	Subtotal Producción	Subtotal Vida de Servicio	Subtotal Fin de Vida	TOTAL
PA	kg SO ₂ -eq	17,0%	80,6%	2,4%	100%
PE	kg Fosfato-eq.	9,1%	89,2%	1,7%	100%
PCG	kg CO ₂ -eq.	24,5%	70,3%	5,2%	100%
PDCO	kg R11-eq.	2,0%	95,4%	2,7%	100%
PFOF	kg Eteno-eq.	50,2%	48,7%	1,1%	100%
EVITADO (INCORPORADO)					
PA	kg SO ₂ -eq.	0,0%	0,0%	100,0%	100%
PE	kg Fosfato- eq.	0,0%	0,0%	100,0%	100%
PCG	kg CO ₂ - eq.	0,0%	0,0%	100,0%	100%
PDCO	kg R11-eq.	0,0%	0,0%	100,0%	100%
PFOF	kg Eteno-eq.	0,0%	0,0%	100,0%	100%

Tabla 7. Resultados de contribución del consumo de energía por etapas de ciclo de vida para CAJAS DE PLÁSTICO

ACRÓNIMO	UNIDAD	Subtotal Producción	Subtotal Vida de Servicio	Subtotal Fin de Vida	TOTAL
CONSUMOS					
EP-R+EP-NR	MJ	43,6%	53,9%	2,5%	100%
EP-NR	MJ	46,2%	51,9%	1,9%	100%
EP-R	MJ	15,4%	76,2%	8,4%	100%
AHORROS					
EP-R+EP-NR	MJ	0,0%	0,0%	100,0%	100%
EP-NR	MJ	0,0%	0,0%	100,0%	100%
EP-R	MJ	0,0%	0,0%	100,0%	100%

Como puede observarse en los resultados, en el caso de las **cajas de plástico**, la mayoría de emisiones y, por lo tanto, **impactos ambientales se concentran en la etapa de vida de servicio**, seguida de la de producción de las cajas. En cuanto a los **ahorros**, éstos se concentran para todas las categorías de impacto en la **etapa de fin de vida**.

En referencia al consumo de energía, los consumos de energía renovable y no renovable totales se concentran en las etapas de producción (44%) y vida de servicio (54%). En cuanto a los ahorros, estos se concentran en su totalidad en la etapa de fin de vida.

Cajas de cartón

En las Tablas 8 y 9 se muestran los resultados de contribución de cada una de las etapas del ciclo de vida de las cajas de cartón de un solo uso.

Tabla 8. Resultados de contribución de indicadores ambientales por etapas de ciclo de vida para CAJAS DE CARTÓN

EMISIONES	UNIDAD	Subtotal Producción	Subtotal Vida de Servicio	Subtotal Fin de Vida	TOTAL
PA	kg SO ₂ -eq	82,8%	2,9%	14,3%	100%
PE	kg Fosfato-eq.	90,1%	2,2%	7,7%	100%
PCG	kg CO ₂ -eq.	38,2%	0,4%	61,4%	100%
PDCO	kg R11-eq.	99,8%	0,0%	0,2%	100%
PFOF	kg Eteno-eq.	93,0%	1,6%	5,4%	100%
EVITADO (INCORPORADO)					
PA	kg SO ₂ -eq.	0,7%	0,0%	99,3%	100%
PE	kg Fosfato- eq.	0,4%	0,0%	99,6%	100%
PCG	kg CO ₂ - eq.	56,9%	0,0%	43,1%	100%
PDCO	kg R11-eq.	0,1%	0,0%	99,9%	100%
PFOF	kg Eteno-eq.	2,6%	0,0%	97,4%	100%

Tabla 9. Resultados de contribución de consumo de energía por etapas de ciclo de vida para CAJAS DE CARTÓN

ACRÓNIMO	UNIDAD	Subtotal Producción	Subtotal Vida de Servicio	Subtotal Fin de Vida	TOTAL
CONSUMOS					
EP-R+EP-NR	MJ	95,0%	0,8%	4,2%	100%
EP-NR	MJ	88,3%	2,2%	9,5%	100%
EP-R	MJ	98,5%	0,1%	1,4%	100%
AHORROS					
EP-R+EP-NR	MJ	1,5%	0,0%	98,5%	100%
EP-NR	MJ	1,9%	0,0%	98,1%	100%
EP-R	MJ	0,0%	0,0%	100,0%	100%

Como puede observarse en los resultados, en el caso de las **cajas de cartón**, a excepción del PCG, para el resto de categorías **la mayoría de impactos ambientales se concentran en la etapa de producción de las cajas**. En el caso del PCG el impacto se reparte en un 38% en la etapa de producción y un 61% en la de fin de vida. En cuanto a los **ahorros**, excepto en el caso del PCG en que el mayor ahorro se produce en la etapa de producción de las cajas (por la absorción del CO₂ de origen biológico), para el resto de impactos los ahorros están **asociados a las etapas de fin de vida, prácticamente en su totalidad**.

En referencia al consumo de energía, los consumos de energía renovable y no renovable totales se concentran en una proporción del 95% en la etapa de producción y del 4% en la de fin de vida, siendo únicamente un 1% la contribución a este indicador en la etapa de vida de servicio. En cuanto a los ahorros, en un 98,5% se concentran en la etapa de fin de vida y en un 1,5% en la de producción.

3.1.4 Contribución de procesos de la producción de cajas de cartón

Puesto que el proceso que más contribuye al impacto ambiental y al consumo de energía de las cajas de cartón es el de la fabricación de las cajas, se ha realizado un análisis de contribución en mayor detalle de los subprocesos incluidos en el mismo. En particular, se han analizado por separado los subprocesos de:

- (1) silvicultura y suministro de madera,
- (2) fabricación de pasta de papel y obtención de materias primas secundarias. Este subproceso incluye tanto la fabricación de pasta semiquímica y papel Kraft como la obtención de papel reciclado y residuos de aserradero.
- (3) producción de las cajas de cartón.

Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 10. Como puede observarse, el proceso que menor contribución tiene en la fabricación de las cajas en todas las categorías de impacto es la silvicultura y suministro de madera. Por el contrario, el proceso que mayor contribución tiene en todos los casos es el que incluye la obtención de la pasta de papel. En cuanto al consumo de energía, la fabricación de pasta de papel es el que más contribuye al consumo de energía no renovable (81%) y la silvicultura al de energía renovable (64%).

Tabla 10. Contribución de los procesos incluidos en la fabricación de las cajas de cartón

CATEGORÍAS DE IMPACTO	UNIDAD	Silvicultura y suministro de madera	Fabricación de pasta de papel y obtención de materias primas secundarias	Producción de las cajas de cartón	TOTAL
PA	kg SO ₂ -eq.	6,4%	84,4%	9,2%	100%
PE	kg Fosfato-eq.	4,3%	85,6%	10,0%	100%
PCG*	kg CO ₂ -eq.	1,5%	93,2%	5,3%	100%
PDCO	kg R11-eq.	0,0%	80,0%	20,0%	100%
PFOF	kg Eteno-eq.	10,3%	78,8%	10,9%	100%
ENERGÍA					
EP-R+EP-NR	MJ	45,0%	46,8%	8,2%	100%
EP-NR	MJ	3,3%	80,8%	15,9%	100%
EP-R	MJ	64,0%	31,4%	4,7%	100%

* Para este análisis solo se ha considerado el CO₂ de origen fósil, no el CO₂ biológico.

3.1.5 Relevancia de los diferentes parámetros e influencia en los resultados

En este estudio se ha realizado un análisis de sensibilidad para ver el efecto en los resultados de algunos de los parámetros (y valores promedio o por defecto) que se han utilizado. El objetivo de esta fase es determinar la robustez de los resultados y ver si algunas de las variables pueden modificar o no la tendencia en los resultados obtenidos.

Los parámetros que se han variado han sido los identificados en la Tabla 11 como los principales parámetros que afectan a los resultados globales del estudio y a las fases de producción y fin de vida. Estos parámetros se han variado con los valores que se recogen en la misma tabla, donde se recoge el valor del escenario base y de la variación.

Tabla 11. Parámetros y valores sobre los que se han realizado análisis de sensibilidad

Ref.	Análisis de sensibilidad realizado	Escenario base	Variación
PARA LAS CAJAS DE CARTÓN			
P.1	Porcentaje de fluting virgen (<i>Semi-químico</i>) en la caja de cartón	63%	10%
P.1	Porcentaje de liner virgen (<i>Kraftliner</i>) en la caja de cartón	37%	21%
P.1	Porcentaje de fluting reciclado (<i>Wellenstoff</i>) en la caja de cartón	0%	33%
P.1	Porcentaje de liner reciclado (<i>Testliner</i>) en la caja de cartón	0%	33%
P.2	Porcentaje de cajas cartón que se reciclan al final de su vida útil	80%	100%
P.3	Valor del fibras secundarias de papel en relación al Wellenstoff	90%	100%
PARA LAS CAJAS DE PLÁSTICO			
P.4	Porcentaje de plástico reciclado en la producción de las cajas	0%	30%
P.5	Porcentaje de PEAD virgen en la producción de las cajas	57%	100%
P.6	Porcentaje de PP virgen en la producción de las cajas	43%	100%
P.7a	Pérdidas de granulado durante la producción de las cajas	2,75%	1,5%
P.7b	Pérdidas de granulado durante la producción de las cajas	2,75%	6%
P.8a	Índice de rotura de las cajas de plástico durante la vida de servicio	0,51%	0,2%
P.8b	Índice de rotura de las cajas de plástico durante la vida de servicio	0,51%	0,70%
P.9	Porcentaje de cajas de plástico recicladas al final de su vida útil	100%	50%
P.10	Valor del material secundario de plástico en relación al primario	70%	100%
P.11a	Número de rotaciones/año	10	12
P.11b	Número de rotaciones/año	10	8

En la Tabla 12 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad de todos los parámetros analizados. En la tabla se han identificado los escenarios de análisis y los indicadores de impacto ambiental, destacando cuál de las dos opciones (cajas de plástico reutilizables o cajas de cartón de un solo uso) son mejores en cada uno de los casos, con un grado de confianza del 25%. Es decir, que el impacto ambiental de las cajas para una determinada categoría de impacto es mayor o menor en un 25% a la otra de las opciones. Este se ha considerado un intervalo lo suficientemente amplio como para que queden contenidos efectos por la incertidumbre de los datos utilizados en el inventario.

Tabla 12. Resultado del análisis de sensibilidad de variables sobre las cajas de cartón de un solo uso

	PA	PE	PCG	PDCO	PFOF	EP-R+EP-NR
E. base						
P1						
P2						
P3						
P4						
P5						
P6						
P7a						
P7b						
P8a						
P8b						
P9						
P10						
P11a						
P11b						

	Mejor opción el plástico > 25%
	Opciones similares (<25%)
	Mejor opción el cartón > 25%

4. Conclusiones

- Los resultados del estudio muestran claramente que **las cajas de plástico reutilizables tienen un mejor comportamiento ambiental que las de cartón de un solo uso.**
- Esto ocurre **para todas las categorías de impacto e indicador de consumo de energía renovable y no renovable considerados, a excepción del Potencial de Acidificación (PA) en que,** teniendo en cuenta un margen de seguridad del 25% en los resultados para tener en cuenta la incertidumbre del modelo y los datos usados, **ambos tipos de cajas se puede considerar que tienen un impacto similar.**
- En el caso de las **CAJAS DE CARTÓN DE UN SOLO USO,** el **mayor impacto ambiental está asociado a la etapa de fabricación de las cajas** (silvicultura, suministro de materias primas y producción), mientras que los **ahorros se concentran en las etapas de fin de vida,** fundamentalmente asociadas a la recuperación de fibras de papel secundarias.
- En el caso de las **CAJAS DE PLÁSTICO REUTILIZABLES,** el **mayor impacto ambiental está asociado a la vida útil de las cajas,** incluyendo la vuelta de las cajas de las tiendas a los centros de distribución, los procesos de inspección e higienización y también el transporte de las cajas de nuevo a los fabricantes de frutas y verduras, seguida de la etapa de producción del polímero granulado en su fabricación. En cuanto a los **ahorros,** estos **se concentran también en la etapa de fin de vida** por la recuperación de granza de plástico reciclada.
- **El análisis de sensibilidad realizado en todos los parámetros sigue mostrando una clara preferencia por las cajas de plástico reutilizables en relación a las de cartón de un solo uso.** Excepto para el PA, el PE y el consumo de energía en dos de los supuestos analizados, para el resto de categorías y variaciones de parámetros, las cajas de plástico tienen siempre más de un 25% menos de impacto ambiental que las de cartón.

5. Bibliografía

ADEME, 2000.	Bilan environmental du chauffage collectif et industriel au bois (Environmental assessment of collective and industrial wood heating), BIO Intelligence Service for ADEMA, April, 2004.
BEKUPLAST, 2005	Bekuplast GmbH, Industriestraße 1, D-49824 Ringe; Personal Communication 25.10.2005.
Delgado-Aguilar, et al., 2015.	Delgado-Aguilar, M., Tarrés, Q., Pélach, M.A., Mutjé, P., Fullana-i-Palmer, P. Are Cellulose Nanofibers a Solution for a More Circular Economy of Paper Products? <i>Environmental Science and Technology</i> . 2015, 489, 12206-12213.
IBP et al., 2004.	Fraunhofer Institute for Building Physics, Chair of Building Physics-University of Stuttgart and PE International on behalf of Stiftung Initiative Mehrweg (SIM). The Sustainability of Packaging Systems for Fruit and Vegetable Transport in Europe based on Life-Cycle-Analysis- 2004.
IBP et al., 2009.	Fraunhofer Institute for Building Physics, Chair of Building Physics-University of Stuttgart and PE International on behalf of Stiftung Initiative Mehrweg (SIM). The Sustainability of Packaging Systems for Fruit and Vegetable Transport in Europe based on Life-Cycle-Analysis- Update 2009.
Capuz y Aucejo, 2005.	Capuz, S. y Aucejo, S. Comparative life cycle assessment of cardboard boxes and foldable polymer crates used for the export of fruit and vegetables. Desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia in colaboración con ITENE. 2005.
UNE EN ISO 14044:2006.	UNE EN ISO 14044. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.
Heijungs et al, 1992.	Heijungs R., Guinée J.B., Huppes G., Lankreijer R.M., Udo de Haes H.A., Wegener Sleeswijk A., Ansems A.M.M., Eggels P.G., van Diun R., de Goede H.P. <i>Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide and Backgrounds</i> ". Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, Leiden.
Guinée et al., 2001.	Guinée, J. (Ed.) et al., 2001. Handbook on Life Cycle Assessment — Operational Guide to the ISO Standards. Editorial in <i>The International Journal of Life Cycle Assessment</i> 6 (5), 255.
Eyerer, 1996.	Eyerer P. (Ed.), 1996. Ganzheitliche Bilanzierung – Werkzeuge zum Planen und Wirtschaften in Kreisläufen. Springer Verlag.
Eyerer and Reinhardt, 2000.	Eyerer P. and Reinhardt H.W (Eds.), 2000. Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden – Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung. Verlag Birkhäuser, Schweiz.
GaBi, 2003.	GaBi 4: Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung. IKP. Universität Stuttgart und PE Europe GmbH, Leinfelden-Echterdingen, April 2003.
GaBi, 2008.	PE, LBP: GaBi 4 Software-System and databases for Life Cycle Engineering. Copyright, TM. Stuttgart, Echterdingen. 1992-2008.
IKP, 2005.	Aktuelle Projektliste des Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde der Universität Stuttgart, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung. http://www.ikpgabi.uni-stuttgart.de/deutsch/projekte_d.html
Jolliet, 2003.	Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G. and

	Rosenbaum, R., 2003. IMPACT 2000+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. <i>Int. J. of LCA</i> 8 (6) 324-330.
KIWEB, 2005	Kunststoff Information Verlagsgesellschaft mbH, Saalburgstr. 157, D-Homburg. www.kiweb.de
MAGRAMA, 2016.	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. D. G. de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. S. G. de calidad del aire y medio ambiente industrial. Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España. Seria 1990-2014. Informe Resumen. Madrid, abril de 2016.
MARM, 2011.	Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para la Incineración de Residuos. Documento BREF. Traducción al español del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del documento “ <i>Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration</i> ”. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Sociedad Anónima de Fotocomposición. Madrid, 2011.
Ullmann's, 2005	Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry; Published by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; Release 2005, 7th Edition. 2005
Weissermel and Arpe, 2003	K. Weissermel K. y Arpe, H.J., 2003. <i>Industrial Organic Chemistry</i> ; Fourth, completely revised edition; WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA, March 2003.
ChemSystems, 1998	ChemSystems: Chemical Process Economics, London, 1988.
FEFCO et al., 2006	European Database for Cardboard Life Cycle Studies 2006, published by FEFCO (European Federation of Cardboard Manufacturers), GO (Groupement Européen des Fabricants de Papiers pour Ondulé) and ECO (European Containerboard Organisation).
FEFCO, 2012	European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies 2012, published by FEFCO (European Federation of Cardboard Manufacturers).
UNE 137005	UNE 137005:2005. Envases y embalajes de cartón ondulado. Envases y embalajes interapilables para frutas y hortalizas. Base modular de 600 mm x 400 mm (CF1) y base modular de 400 mm x 300 mm (CF2). Dimensiones y designación.
ILCD, 2011	European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. First edition November 2011. EUR 24571 EN. Luxemburg. Publications Office of the European Union; 2011
REPACAR, 2014	Asociación Española de Recuperadores de Papel y Cartón. Memoria de Actividades 2014. Disponible en: www.repacar.org