



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN ENVASE BIOACTIVO PARA LA CONSERVACIÓN DE CREMA PASTELERA FRESCA

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: Raisa Tinitana Bayas

TUTORA ACADEMICO: Neus Sanjuán Pellicer
COTUTOR: Rafael Gavara Clemente
DIRECTORA EXPERIMENTAL: Laura Settier-Ramírez

***Curso Académico:
2018-2019***

VALENCIA, julio 2019



EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN ENVASE BIOACTIVO PARA LA CONSERVACIÓN DE CREMA PASTELERA FRESCA

R.M. Tinitana Bayas¹, N. Sanjuán Pellicer¹, R. Gavara Clemente², L. Settier-Ramirez²

¹Departamento de Tecnología de Alimentos. ² Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA)

RESUMEN

Alrededor de la tercera parte de la comida producida globalmente para el consumo humano se pierde o desecha a lo largo de la cadena de producción y consumo y las soluciones para enfrentar el problema aún no están completamente definidas. Entre dichas soluciones, el aumento de la vida útil de los productos alimentarios puede tener un rol clave para reducir el desperdicio de alimentos. Concretamente, el desarrollo de envases activos, especialmente los antimicrobianos, permite inhibir/matar los microorganismos que causan el deterioro de los alimentos y por lo tanto extender la vida útil del producto. El objetivo de este estudio es evaluar mediante análisis de ciclo de vida (ACV) las consecuencias para el medio ambiente derivadas de la aplicación de un recubrimiento antimicrobiano en un envase para crema pastelera, teniendo en cuenta la reducción de los desperdicios de este producto. El envase activo (EA) presenta un recubrimiento que contiene bacterias ácido-lácticas (*Lactococcus lactis subsp. lactis*); el mismo que va incorporado sobre láminas de polietileno. El uso del EA supone un incremento de 3 a 16 días en la vida útil de la crema pastelera, con la consecuente disminución del desperdicio del alimento y del tratamiento de residuos que ello implica. Los datos de producción de crema pastelera, producción EA, desperdicio de alimentos, transporte, almacenamiento, y fin de vida tanto del producto como del envase fueron obtenidos del laboratorio de envases del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, estudios previos y la base de datos Ecoinvent 3.5. La evaluación de impactos se realizó mediante el método ReCiPe 2016. Los resultados mostraron que el EA puede reducir los impactos ambientales respecto a los de un envase convencional. Además, la relación entre el diseño del envase y el desperdicio de alimentos es un aspecto clave en la sostenibilidad ambiental de los sistemas alimento-envase y, por tanto, debe ser considerada en los ACV.

Palabras clave: Análisis de ciclo de vida (ACV), vida útil, desperdicio de alimentos, envase activo

ABSTRACT

About a third part of global food produced for human consumption is lost or wasted along the supply chain; moreover, solutions to completely address the problem are not still available. It is well known that shelf life extension could play a key role for reducing food waste. Specifically, the development of active packaging, especially antimicrobial packaging, enables actively inhibiting/killing the microorganisms that cause food spoilage and thus extending the product's shelf life. The aim of this study is to assess through life cycle



assessment (LCA) the environmental consequences arising from the application of an antimicrobial coating to a packaging for fresh buttercream, also considering the reduction in buttercream's waste. The active packaging (AP) has a coating which contains lactic acid bacteria (*Lactococcus lactis subsp. lactis*); which is incorporated onto polyethylene films. The use of AP allows the fresh buttercream's shelf life to be extended from 3 to 16 days, with the consequent reduction in food waste and waste treatment. Data related to buttercream processing, AP production, food waste, refrigeration transports, storage, and end of life of both product and packaging were obtained from the packaging laboratory of the Institute of Agrochemistry and Food Technology, previous studies and Ecoinvent database 3.5. The ReCiPe 2016 method was used to assess the impacts. The results show that the AP can reduce the environmental impacts with respect to those of conventional packaging. Furthermore, the relation between packaging design and food waste is an important aspect in the environmental sustainability of food and packaging systems and thus it should be considered in LCA.

Key words: Life Cycle Assessment (LCA), shelf life, food waste, active packaging

RESUM

Al voltant de la tercera part del menjar produït globalment per al consum humà es perd o desaprofita al llarg de la cadena de producció i consum, i les solucions per enfrontar el problema encara no esten completament definides. Entre aquestes solucions, l'augment de la vida útil dels productes alimentaris pot tindre un rol clau per a reduir el desaprofitament d'aliments. Concretament, el desenvolupament d'envasos actius, especialment els antimicrobians, permet inhibir/matar els microorganismes que causen el deteriorament dels aliments i per tant estendre la vida útil del producte. L'objectiu d'aquest estudi es avaluar mitjançant anàlisi de cicle de vida (ACV) les conseqüències per al medi ambient derivades de la aplicació d'un recobriment antimicrobià a l'envàs d'una crema pastissera, tenint en compte la reducció dels residus d'aquest producte. L'envàs actiu (EA) present un recobriment que conté bacteries àcid-làctics (*Lactococcus lactis subsp. lactis*); aquest va incorporat sobre làmines de polietilè. L'ús de l'envàs actiu (EA) suposa un increment de 3 a 16 dies en el temps de vida útil de la crema pastissera, con una conseqüent disminució dels residus generats. Les dades corresponents a la producció de la crema pastissera, producció de l'envàs, desaprofitament d'aliments, transport, emmagatzemament, i fi de vida tant del producte com de l'envàs foren obtinguts del laboratori d'envasos de L'Institut d'Agroquímica i Tecnologia d'Aliments, d'estudis previs i de la base de dades Ecoinvent 3.5. Per a l'avaluació d'impactes es va usar el mètode ReCiPe 2016. Els resultats mostren que l'aplicació de EA pot reduir el impactes ambientals a l'utilitzar un envàs convencional. A més a més, la relació entre el disseny de l'envàs i el desaprofitament d'aliments és un aspecte important en l'avaluació ambiental dels sistemes aliment-envàs i, per tant, ha de ser considerada en els ACV.

Paraules clau: Anàlisi de cicle de vida (ACV), vida útil, desaprofitament d'aliments, envàs actiu

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Desperdicio en el mundo y España

Alrededor de una tercera parte de la comida producida para el consumo humano se pierde o desperdicia en todo el mundo, lo que equivale a cerca de 1300 toneladas al año. Los alimentos se pierden o se desperdician a lo largo de la cadena de suministro, desde la etapa agrícola hasta el consumo final en los hogares (FAO, 2011). Las pérdidas de alimentos tienen un gran impacto sobre la seguridad alimentaria, el desarrollo económico y sobre el medio ambiente. La huella de carbono de los alimentos producidos y no consumidos globalmente se estima en 3.3 Gt de CO₂ equivalentes. En Europa, según el estudio *Estimates of European food waste levels*, en 2012 se estimaron pérdidas y desperdicio de alimentos de aproximadamente 89 millones de toneladas de alimentos al año, esto es, 173 kg de comida por persona. Los costos asociados con el desperdicio de alimentos en la UE en 2012 se estimaron en 143 mil millones de euros (Grunow, Rüsing, Becker, & Melkonian, 2016).

En respuesta a estas grandes pérdidas de comida, en uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible Global (ODS 12.3) se incluye que para 2030 se debe reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita a nivel de minorista y consumo, así como reducir las pérdidas de alimentos a lo largo de las cadenas de producción y suministro, incluidas las posteriores a la cosecha (United Nations, 2015). En España, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación puso en marcha en 2014 la estrategia “Más alimento, menos desperdicio” con la finalidad de reducir el desperdicio alimentario.

Actuar sobre la vida útil del producto podría evitar gran parte de desperdicios, ya que algunos alimentos no son utilizados antes de su fecha de caducidad (WRAP, 2008). Los productos lácteos son altamente perecibles por esta razón el desperdicio es alto en la fase de consumo (FAO, 2011). Concretamente, en España el 87,5% del total de alimentos tirados a la basura se debe al desecho de alimentos tal y como se compraron, que se tiran por deterioro o caducidad sin haberse llegado a utilizar. Los lácteos son el tercer grupo de alimentos desperdiciados, tras las frutas, verduras y hortalizas, con 140,7 millones de kg, lo que representa el 13,1% del volumen total de desperdicios (MAPAMA, 2018).

1.2 Envases activos y antimicrobianos

Un sistema de envasado eficiente reduce el desperdicio de los alimentos y, con ello, el impacto ambiental de los alimentos en su cadena de distribución. El envase debe proteger al producto del daño físico, químico, biológico y microbiológico, permitir su vaciado completo con facilidad, y tener el tamaño adecuado para evitar sobras. Además, debe proporcionar la información correcta (contenido, fecha de consumo preferente, etc.) acerca del alimento para evitar tirar comida fresca a la basura.

Por tanto, además de presentar todas las funciones fundamentales (protección, conveniencia, comunicación), el diseño de envases debe a orientarse a la disminución de las pérdidas de comida (Williams y Wikström,



2011). Por ello, las preocupaciones ambientales sobre el envasado deben ir enfocadas no solo a los impactos ambientales directos (producción del material de envase y fin de vida del envase), sino que también se deben considerar aspectos indirectos, como la reducción del desperdicio de alimento, ya que muchas veces estos aspectos son más influyentes al analizar todo el sistema ambiental (Wikström et al., 2016).

Los procesos de producción y envasado tienen un rol fundamental en la determinación del tiempo de vida útil del producto. Generalmente son dos los principales factores que influyen en la vida útil de los alimentos:

- Deterioro microbiano: contaminación causada por microorganismos patógenos y alterantes.
- Deterioro no microbiano: deterioro químico y sensorial, por ejemplo, pérdidas de color, textura o sabor.

El envasado antimicrobiano ha ganado interés en los últimos años por sus ventajas en la preservación de los alimentos, ya que la incorporación de agentes activos en el material de envase permite combatir uno o los dos tipos de deterioro. El desarrollo de un envasado activo, especialmente el envasado antimicrobiano, permite inhibir/matar los microorganismos que causan el deterioro de los alimentos y, por lo tanto, prolongar la vida útil del producto (Zhang et al., 2015).

Entre los principales agentes antimicrobianos usados para incorporar en películas poliméricas activas se encuentran las bacteriocinas, las mismas que son utilizadas como aditivos en el procesado de alimentos. Las bacteriocinas son péptidos antimicrobianos sintetizados por muchas bacterias. Las bacteriocinas más comunes estudiadas para aplicaciones en preservación de alimentos son aquellas producidas por las bacterias ácido-lácticas (BAL) (Sánchez-González et al., 2013). Las BAL se han usado ampliamente en la industria alimentaria por su habilidad de mejorar las características organolépticas y la inocuidad de los alimentos. El incremento de la demanda por los consumidores de aditivos alimentarios naturales ha despertado el interés en el uso de estos compuestos en la industria alimentaria. Las bacteriocinas de BAL son consideradas bioconservantes naturales y se asume que éstas son degradadas por las proteasas del tracto gastrointestinal. Las BAL y algunos de sus metabolitos son generalmente reconocidos como seguros (GRAS, por sus siglas en inglés) por la FDA y la UE (Silva et al., 2002). Algunos de estos antimicrobianos inhiben notoriamente el crecimiento de bacterias patógenas Gram-positivas como la *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* y *Clostridium botulinum* debido al efecto de uno o al sinergismo entre varios mecanismos, como pueden ser la competencia por nutrientes, la disminución de pH, la producción de metabolitos antimicrobianos como el ácido láctico, ácido acético, peróxido de hidrógeno, dióxido de carbono y otros compuestos moleculares de bajo peso molecular, la composición de los gases de la atmósfera o la producción de sustancias antimicrobianas como las bacteriocinas (Gialamas et al., 2010; Sánchez-González et al., 2013).

Los compuestos antimicrobianos, y en particular las bacteriocinas, presentan gran efectividad cuando se añaden a películas, en lugar de incorporarlos directamente al producto; por ello, en los últimos años se están



desarrollando películas bioactivas enriquecidas con bacteriocinas (Kristo et al., 2008). Existe una amplia gama de biopolímeros que pueden usarse como soporte para las BAL, ya que presentan adecuadas propiedades barrera y mecánicas. Por ejemplo, los derivados de celulosa aparecen como compuestos formadores de películas, no solo por ser biodegradables sino también por ser inodoros e insípidos, buena barrera contra lípidos, oxígeno y el dióxido de carbono. Las proteínas de la leche, como el caseinato, son otros compuestos utilizados en las películas por sus propiedades barrera, son incoloros, no proporcionan sabor y presentan un elevado valor nutricional (Sánchez-González et al., 2013).

1.3 Sostenibilidad ambiental de los envases

La adopción de una herramienta científica de confianza es esencial para evaluar la sostenibilidad ambiental real de un producto o sistema de envase. El análisis de ciclo de vida (ACV) es una metodología cuantitativa regulada por estándares ISO 14040 (2006a) y 14044 (2006b) para evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a un producto, proceso, o actividad (Manfredi y Vignali, 2015). El ACV aborda aspectos ambientales desde la adquisición de la materia prima, hasta la producción, el uso, el tratamiento al final de la vida útil, el reciclaje y la eliminación final (*from cradle to grave*).

Un ACV consta de cuatro fases: a) definición del objetivo y alcance, b) análisis de inventario, c) evaluación de impactos, y d) interpretación. Este método ha sido ampliamente utilizado para evaluar la sostenibilidad ambiental de alimentos, incluyendo su envase. Así, en los últimos 15 años se han desarrollado múltiples aplicaciones en sistemas alimentarios para apoyar la toma de decisiones desde el punto de vista ambiental (Marco et al., 2016).

La conexión entre el diseño del envase y el desperdicio de alimentos debe ser reconocida e incluida en el ACV, ya que un envase diseñado como respetuoso con el medio ambiente pero inefectivo en la protección de los alimentos puede significar un mayor problema ambiental, lo que supone que un envase que ayude a reducir el desperdicio alimentario puede ser una mejor alternativa ambiental (Williams et al., 2012). No obstante, en algunos casos, los cambios en el material de envase con el fin de alargar la vida útil del producto suponen un mayor impacto ambiental. Sin embargo, dichos cambios pueden implicar una reducción en el desperdicio de alimentos, al durar más tiempo (Williams y Wikström, 2011). Por todo esto, Wikström et al. (2014) destacan la importancia de incluir el desperdicio de alimentos en los ACV al evaluar la sostenibilidad real de los sistemas de envasado.

Wikström et al. (2016), en un estudio comparativo sobre la influencia de atributos del envase sobre el reciclaje y los desperdicios de comida, analizaron dos tipos de envase (tarrina plástica y film plástico). Estos autores concluyeron que la lámina plástica es una mejor alternativa ambiental si solo se toma en cuenta los efectos directos, mientras que si se toma en cuenta los efectos indirectos la tarrina es mejor debido a que el desperdicio de alimentos durante el vaciado es menor y las tasas de reciclaje son mayores. Los resultados del estudio realizado por Manfredi et al. (2015) mostraron que la reducción del desperdicio de leche debido al uso de una película



antimicrobiana genera más beneficios medioambientales que impactos causados por el ciclo de vida del recubrimiento debido al ahorro de leche.

Los envases activos antimicrobianos son una alternativa novedosa para extender la vida útil de los productos y reducir el desperdicio de alimentos y que implica la adición de uno o varios componentes al material de envase. Puesto que la introducción de un proceso adicional para la producción de un envase activo es una fuente adicional de impactos sobre el medio ambiente, al evaluar la sostenibilidad ambiental del mismo se debe tener en cuenta, no solo el impacto que genera su producción, sino también los beneficios ambientales que conlleva la potencial reducción del desperdicio alimentario.

El objetivo de este estudio fue evaluar mediante ACV el efecto sobre el medioambiente derivado de la aplicación de un recubrimiento que tiene BAL con propiedades antimicrobianas en un envase para crema pastelera, teniendo en cuenta la reducción de los desperdicios de este producto, comparado con crema pastelera en un envase convencional. El envase convencional considerado fueron bolsas plásticas de polietileno (LDPE).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ANALIZADO

A continuación, se describen la composición del recubrimiento antimicrobiano añadido al sistema convencional de envasado, así como la vida útil del producto y la cantidad de desperdicio de crema para el envase activo y el convencional.

2.1.1. Composición del recubrimiento activo antimicrobiano con BAL

Para la conservación del alimento envasado, en este estudio la BAL utilizada fue *Lactococcus lactis subsp lactis*, debido a su habilidad de producir nisina. Esta bacteriocina es un polipéptido con propiedades bactericidas. *L. lactis* inhibe el crecimiento de ciertas bacterias Gram+, como *Listeria monocytogenes*, un patógeno que produce listeriosis una grave enfermedad transmitida por alimentos (Deegan et al., 2006). El polivinilo alcohol (PVOH) es un polímero sintético completamente biodegradable y biocompatible, soluble en agua y presenta excelentes propiedades de formación de película, emulsionantes y adhesivas. Las películas y recubrimientos de PVOH son fácilmente obtenidas por casting, y tienen buena flexibilidad y resistencia mecánica. Además, su uso está aprobado por la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) y por la FDA (*Food and Drugs Administration*) de los EEUU. La gelatina y el caseinato de sodio son proteínas comestibles de origen animal ampliamente usadas en la industria alimentaria. Por lo tanto, el uso de matrices de PVOH, combinadas con estas proteínas o sus hidrolizados, como portadores de *L. lactis* y la incorporación de extracto de levadura, podrían mejorar la viabilidad de las bacterias (Settier-Ramírez et al., 2019).

Las disoluciones formadoras de películas (DFP) se prepararon disolviendo 10% de PVOH (Gohsenol A17, Nippon Synthetic Chemical Company, Osaka, Japón) en agua destilada, siendo esta la matriz polimérica principal, y un 10% de hidrolizado de caseína (peptona de caseína, por digestión enzimática,



Sigma-Aldrich, Francia). El PVOH y el hidrolizado de caseína se mezclaron a 75°C por 15 min y se enfriaron a temperatura ambiente. Las DFP se prepararon en una proporción de masa 1:1. Las células de *L. lactis* se recuperaron por centrifugación a 2500 rpm durante 15 min a 4 °C y se lavaron dos veces con agua de peptona. Posteriormente, se incorporaron a la DFP para obtener 8 log UFC/ml. Adicionalmente, para ampliar el alcance del recubrimiento y que sea efectivo contra Gram (-), se preparó otra DFP como se mencionó anteriormente y se añadió ácido fólico (solución de ácido fólico 50% w/w, Sigma-Aldrich, Francia) en una cantidad de 1,92 µL/mL de crema pastelera. Las películas, tanto las que contenían bacterias como las que llevaban ácido fólico, fueron obtenidas por casting, las DFP se colocaron sobre láminas de polietileno (PE) por separado y se secaron a 60°C durante 3 s. Una cara del envase para crema pastelera contenía la DFP con bacterias y en la otra cara estaba la DFP con el ácido fólico. El envase se formó por termosellado a 180°C durante 1,5 s. Finalmente, la bolsa se rellenoó con crema pastelera y se selló el envase.

Las películas con recubrimiento tuvieron un espesor aproximado de 15 µm. Debido a que la proporción de polímeros fue 1:1, cada cm de envase llevó aproximadamente 1·10⁻³ g PVOH/cm² de recubrimiento, más 1·10⁻³ g de hidrolizado de caseína/cm² de recubrimiento. La cantidad de BAL fue de alrededor de 10⁷ UFC/mL de alimento.

2.1.2. Determinación de la vida útil de la crema pastelera envasada en el envase activo

La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, hasta que se produce una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas y sufre un cambio en su perfil microbiológico (Carrillo Inungaray y Reyes Munguía, 2013). Es decir, es el período de tiempo durante el cual la calidad del alimento envasado permanece aceptable.

Para definir la vida útil de la crema pastelera con envase convencional (CP-EC), se tomó en cuenta la concentración de los microorganismos aerobios mesófilos, y el punto de corte se fijó en el día en el que el crecimiento de las bacterias se dispara, es decir, en el día 3. Para definir la vida útil de la crema pastelera con envase activo (CP-EA) el procedimiento fue más complejo, ya que la CP-EA pasa a ser un nuevo producto, esta crema se consideró como un producto fermentado, ya que contiene BAL vivas. Esto implicó diferencias a la hora de catalogar este producto a nivel legislativo y a la hora de buscar un indicador para determinar su vida útil. Por ejemplo, en la CP-EA, los aerobios mesófilos se disparan desde el día cero ya que las bacterias ácido-lácticas que se inoculan a través del envase contaron como aerobias mesófilas. Además de aerobias mesófilas, se estudiaron otros géneros de bacterias patógenas y alterantes de alimentos como *Listeria*, *Salmonella*, *Enterobacterias*, *Pseudomonas* y las propias bacterias lácticas. El envase activo aportó a la CP un efecto bacteriostático por lo que se logró inhibir el crecimiento de dichas bacterias. Por otro lado, este envase modificó las características sensoriales de la CP, debido sobre todo a la reducción de



pH. Este fenómeno se dio ya que el propio ácido fólico bajó el pH; además, conforme pasó el tiempo las bacterias ácido-lácticas bajaron el pH debido a la generación de ácido láctico. Por lo tanto, el factor limitante a la hora de definir el tiempo de vida útil del alimento con EA fue más la variación sensorial del alimento que la carga microbiana. Para ello, se cató la CP disminuyendo el pH artificialmente con ácido láctico comestible para detectar a qué valor se produce un cambio drástico del sabor. Además, se midió el pH durante los días de almacenamiento y se detectó que el pH a partir del cual pasa de ser una CP con un toque ácido a una crema pastelera que ya no conserva sus características organolépticas iniciales se producía el día 16, lo que determinó la vida útil del producto con EA.

2.1.3. Cuantificación del desperdicio de crema pastelera y su potencial reducción

Para la cuantificación del porcentaje de desperdicio de alimentos en las diferentes etapas del ciclo de vida, excepto en la distribución y consumo del producto, se utilizaron los porcentajes de desecho de alimento que reporta la FAO (2011) para Europa para productos lácteos: 3,5% en la producción ganadera de la leche; 0,5% en el posterior almacenamiento; y en el procesado y envasado 1,2%.

Por otro lado, existe una relación inversa entre la vida y la cantidad de desperdicio generado, por lo que la utilización de un envase antimicrobiano que extienda la vida útil del producto puede reducir el desperdicio de alimentos (Spada et al., 2018). Para determinar el porcentaje de crema pastelera que se desperdicia en función de su vida útil y, por tanto, según el tipo de envase que la contenga, se utilizó la relación propuesta para ambas variables (ecuación 1) en estudios previos realizados en leche y queso (Valsasina et al., 2017; WRAP, 2013).

$$\%D = 142.17 \times e^{-0.428 \times VU} \quad (1)$$

Donde: %D= Porcentaje de desperdicio y VU= vida útil (días). Según esta relación, el desperdicio de crema pastelera durante su almacenamiento (tanto en el supermercado como en el hogar) pasaría del 39% al 0,15% al incrementar el tiempo de vida útil de 3 a 16 días. Además, se asume un consumo completo del producto, es decir, el producto se utiliza en varias ocasiones, así como un 8% de pérdidas de producto tras su consumo, debido al producto que no se puede vaciar del envase (Lebersorger y Schneider, 2011).

2.2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

2.2.1. Objetivo y alcance

El objetivo del presente estudio es realizar un análisis comparativo de los perfiles ambientales del ciclo de vida del envasado de una crema pastelera en un envase convencional y en un envase antimicrobiano. Se denominó "CP-EC" a la crema envasada con un envase de PE convencional y "CP-EA" a aquella cuyo envase incorpora un recubrimiento de BAL.

2.2.1.1 UNIDAD FUNCIONAL

La unidad funcional (UF) es una unidad de referencia, en base a la cual se expresan los datos de entrada y salida, así como los resultados de la evaluación de impactos, por lo que es importante que la UF esté claramente definida y sea medible (ISO 14040, 2006b). La UF adoptada en este estudio es un envase de 200 mL de crema pastelera.

2.2.1.2. LÍMITES DEL SISTEMA

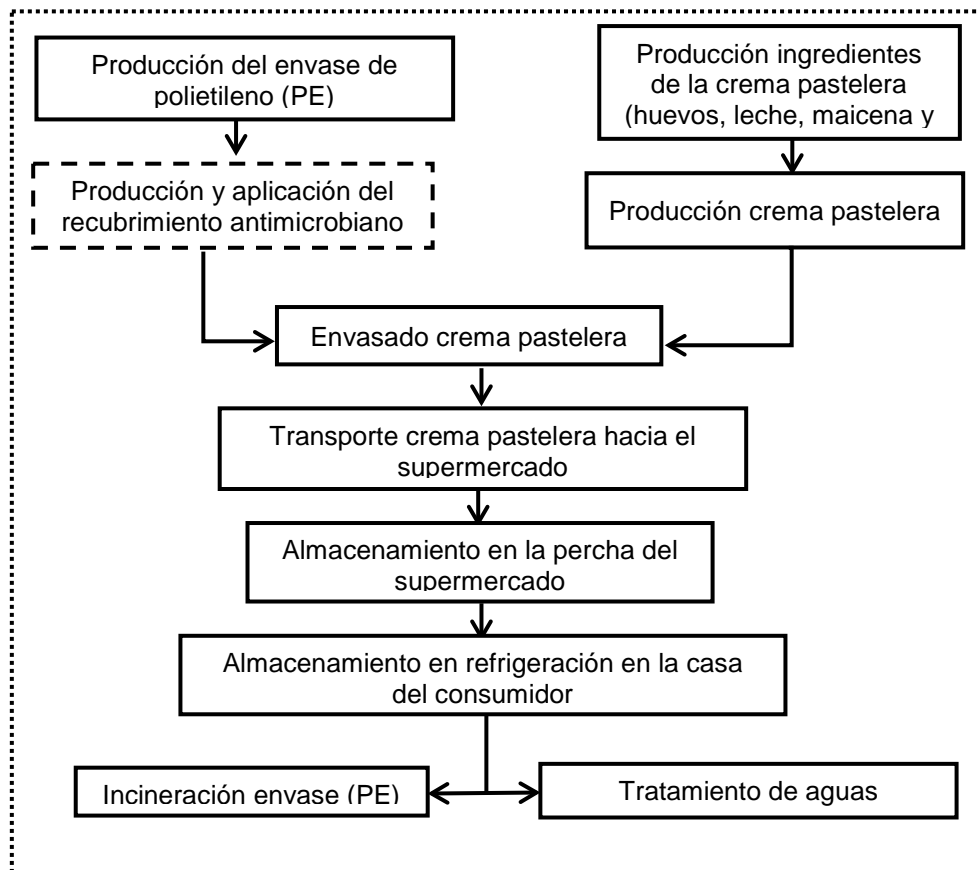


Figura 1. Límites del sistema de los dos sistemas de producto (el proceso "producción y aplicación de recubrimiento" solo se da en el caso de CP-EA).

Los límites del sistema permiten determinar qué etapas del ciclo de vida del sistema de producto se van a incluir en el estudio. En el presente caso de estudio se ha considerado la producción del envase, la producción de la crema pastelera, el transporte y el almacenamiento en refrigeración del producto en el supermercado y en el hogar, y los tratamientos de los residuos de envase y producto desperdiciado (Figura 1). El proceso de la producción del recubrimiento y su aplicación solo tiene lugar para el caso del envase bioactivo, todas las demás etapas son comunes para los dos sistemas analizados.

2.2.1.3. FLUJOS DE REFERENCIA

En un ACV, el flujo de referencia se refiere a la cantidad concreta de producto, incluyendo sus partes, que se necesita para que un sistema de producto proporcione la eficiencia descrita mediante la UF (Weidema et al., 2004). En el presente caso de estudio el flujo de referencia es diferente para cada sistema de envase (convencional y bioactivo) ya que depende de la cantidad de producto desperdiciado. Por ello, partiendo de la UF, 200 mL de crema y teniendo en cuenta los porcentajes de desperdicio alimentario de la sección 2.1.3, se calcularon los flujos de referencia. En la tabla 1 se presenta la cantidad de crema que debe ser producida, procesada, transportada al supermercado y comprada por cada paquete de crema consumida. Los flujos de referencia se han calculado partiendo de las ecuaciones de Wikström et al., (2014).

$$e = B - BL \quad (2)$$

Donde: B: cantidad de alimento adquirido, L: fracción de alimento desperdiciado (0-1), e: cantidad de alimento consumido.

Tabla 1. Fracción de crema pastelera desperdiciada (L) y cantidad necesaria en cada etapa para cada tipo de envase por cada 200 mL de crema consumida.

Flujos en las diferentes etapas del ciclo de vida	L _{EC} (%)	CP-EC (mL)	L _{EA} (%)	CP-EA (mL)
Crema consumida		200		200
Desperdicio de crema tras el consumo	8,00	17	8,00	17
Crema comprada para consumir 200 mL de crema en casa		217		217
Desperdicio durante el almacenamiento en el supermercado y/o hogar	39,00	139	0,15	0
Crema almacenada en el supermercado y/o hogar para consumir 200 mL de crema en casa		356		218
Desperdicio en el procesado	1,20	4	1,20	3
Crema comprada por el supermercado para consumir 200 mL de crema en casa		361		220
Pérdidas en producción	4,00	15	4,00	9
Total, de crema producida para consumir 200 mL de crema en casa incluyendo pérdidas y desperdicios		376		230

(EC: envase convencional; EA: envase activo)

2.2.2. Inventario de ciclo de vida

El análisis de inventario cuantifica el uso de los recursos y energía, así como las emisiones al medio ambiente asociadas con el sistema evaluado (ISO, 2006). Los datos de inventario correspondientes a las entradas y salidas de materia y energía se muestran en la tabla 2.

Los datos relacionados con los ingredientes para la elaboración de la crema pastelera (leche, azúcar y maicena) se obtuvieron de la base de datos para ACV Ecoinvent 3.5 (Wernet et al., 2016); excepto la producción de huevos (Abín et al., 2018). Los datos de los materiales para la producción de



los envases se obtuvieron de Ecoinvent 3.5. La producción de ácido fólico no está disponible en Ecoinvent 3.5, por lo que se seleccionó un compuesto genérico, EDTA. Para la preparación de las DFP se tomó en cuenta el consumo de energía tomando como referencia que a nivel industrial se utilizan tanques de calentamiento de 200 L con un motor mezclador de 0,17 kWh durante 8 min a 90°C. Los datos de inventario para la producción de las BAL obtuvieron de Pénicaud et al. (2018). La producción de energía eléctrica (mix español) y térmica se tomó de Ecoinvent 3.5. El consumo de energía requerido para almacenar productos en refrigeración está entre 30 y 50 kWh/m³/año (Duiven y Binard, 2002).

Tabla 2. Datos de inventario para el ACV de crema pastelera envasada.

	Componente	CP-EA	CP-EC	Unidad
Producción Envase	Polietileno (PE)	$3,43 \cdot 10^{-3}$	$3,43 \cdot 10^{-3}$	kg
	Alcohol polivinílico (PVOH)	$4,00 \cdot 10^{-4}$	-	kg
	Hidrolizado de caseína	$4,00 \cdot 10^{-4}$	-	kg
	Lactococcus lactis subsp. lactis	$1,56 \cdot 10^{-5}$	-	kg
	Ácido fólico al 50% en agua	$4,99 \cdot 10^{-4}$	-	kg
	Electricidad	$1,58 \cdot 10^{-5}$	$7,88 \cdot 10^{-6}$	MJ
Producción Crema	Leche semidesnatada	$1,53 \cdot 10^{-1}$	$2,50 \cdot 10^{-1}$	kg
	Maicena	$1,53 \cdot 10^{-2}$	$2,50 \cdot 10^{-02}$	kg
	Huevos	$5,97 \cdot 10^{-2}$	$9,77 \cdot 10^{-02}$	kg
	Azúcar	$3,06 \cdot 10^{-2}$	$5,01 \cdot 10^{-02}$	kg
	Electricidad	$6,39 \cdot 10^{-1}$	$3,90 \cdot 10^{-01}$	MJ
Transporte - supermercado	Distancia	25	25	km
Almacenamiento - supermercado	Electricidad	$3,51 \cdot 10^{-4}$	$3,51 \cdot 10^{-4}$	MJ
Almacenamiento hogar	Electricidad	$8,60 \cdot 10^{-3}$	$8,60 \cdot 10^{-3}$	MJ
Fin de vida	Desecho de envase			%
	Reciclaje	39,9	39,9	
	Incineración	31,4	31,4	
	Vertedero	28,7	28,7	
	Desecho de crema			%
	Supermercado	0,15	39	
	Hogar	8	8	

*CP-EA: Crema pastelera con envase activo.

*CP-EC: Crema pastelera con envase convencional.

En cuanto al almacenamiento y transporte de producto se tuvieron en cuenta las hipótesis de Manfredi et al. (2015). Así, se consideró 4 días de almacenamiento en el supermercado con un promedio de consumo de energía de 40 kWh/m³/año. La distancia de transporte de la crema del centro de producción al supermercado fue de 25 km y se utilizó un transporte



refrigerado de Ecoinvent 3.5. Para el almacenamiento en el hogar se consideró un refrigerador clase A de 298 L con un consumo medio de 292 kWh/año (Manfredi et al., 2015). Para la fase de fin de vida (EoL) del envase se consideraron los porcentajes de reciclaje, incineración y desecho en vertedero para residuos de envases plásticos en la UE28 en 2015 (Eurostat, 2018b, 2018a). Los procesos de tratamiento de aguas residuales, incineración de PE, desecho en vertedero y reciclaje se tomaron de Ecoinvent 3.5.

2.2.3. Evaluación de impactos

Los datos recogidos en el análisis de inventario son la base para la evaluación de impactos, cuyo objetivo es evaluar el impacto ambiental potencial del sistema estudiado provocado por el consumo de recursos y por las emisiones al medio ambiente en las etapas consideradas en los límites del sistema (ISO, 2006a). En este estudio se utilizó el método ReCiPe 2016 v1.1 (Huijbregts et al., 2016), el cual define indicadores de nivel medio (*midpoint indicators*) y final (*endpoint indicators*). Los indicadores de nivel medio incluyen 18 categorías de impacto: cambio climático, formación de materia fina particulada, agotamiento de combustibles fósiles, uso del agua, ecotoxicidad en agua dulce, eutrofización de agua dulce, toxicidad humana, radiación ionizante, uso del suelo, ecotoxicidad marina, eutrofización marina, agotamiento de metales, formación de ozono fotoquímico, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación y ecotoxicidad terrestre. Además, se consideran tres categorías de impacto para el nivel final: daño a la salud humana, daño a los ecosistemas y daño a la disponibilidad de los recursos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan las diferencias en la sostenibilidad ambiental del sistema producto-envase debido a la introducción de un envase activo para el envasado de crema pastelera fresca. Los resultados se reportan en la tabla 3.

En general, la CP-EA muestra un impacto ambiental menor que la CP-EC para cada una de las categorías de impacto analizadas. Las diferencias entre los dos sistemas analizados son de alrededor del 40%. Las mayores diferencias se observan para las categorías de impacto cambio climático y agotamiento de metales (figura 2). El agotamiento de metales se refiere a la disminución de la disponibilidad de recursos minerales mientras que el cambio climático es causado por los gases de efecto invernadero que provoca el calentamiento del planeta (Hans, 2015).

Tabla 3. Impactos ambientales totales (nivel medio) para CP-EA y CP-EC.

Impacto ambiental	Unidades	CP-EA	CP-EC
Cambio climático (CC)	kg CO ₂ eq.	$3,59 \cdot 10^{-1}$	$6,89 \cdot 10^{-1}$
Formación de materia fina particulada (FMFP)	kg PM _{2.5} eq.	$5,34 \cdot 10^{-4}$	$8,69 \cdot 10^{-4}$
Agotamiento fósil (AF)	kg aceite eq.	$5,92 \cdot 10^{-2}$	$9,47 \cdot 10^{-2}$
Consumo de agua dulce (CA)	m ³	$1,28 \cdot 10^{-2}$	$2,08 \cdot 10^{-2}$
Ecotoxicidad en agua dulce (Eaa)	kg 1,4 DB eq.	$3,48 \cdot 10^{-3}$	$5,67 \cdot 10^{-3}$
Eutrofización en agua dulce (EuA)	kg P eq.	$7,72 \cdot 10^{-5}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$
Toxicidad humana (TH)	kg 1,4 DB eq.	$9,67 \cdot 10^{-2}$	$1,55 \cdot 10^{-1}$
Radiación ionizante (RI)	Bq C-60 eq. al aire	$6,75 \cdot 10^{-3}$	$1,09 \cdot 10^{-2}$
Uso del suelo (US)	m ² ·año	$3,46 \cdot 10^{-1}$	$5,67 \cdot 10^{-1}$
Ecotoxicidad marina (EM)	kg 1,4 DB eq.	$3,43 \cdot 10^{-3}$	$5,58 \cdot 10^{-3}$
Eutrofización marina (EuM)	kg N eq.	$5,48 \cdot 10^{-4}$	$8,96 \cdot 10^{-4}$
Agotamiento de metales (AM)	kg Cu eq.	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$2,23 \cdot 10^{-3}$
Formación de ozono fotoquímico (FOF)	kg NO _x eq.	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$2,04 \cdot 10^{-3}$
Agotamiento del ozono estratosférico (AOE)	kg CFC-11 eq.	$2,66 \cdot 10^{-6}$	$4,36 \cdot 10^{-6}$
Acidificación terrestre (AT)	kg SO ₂ eq.	$2,19 \cdot 10^{-3}$	$3,56 \cdot 10^{-3}$
Ecotoxicidad terrestre (ET)	kg 1,4 DB eq.	$5,77 \cdot 10^{-1}$	$9,40 \cdot 10^{-1}$

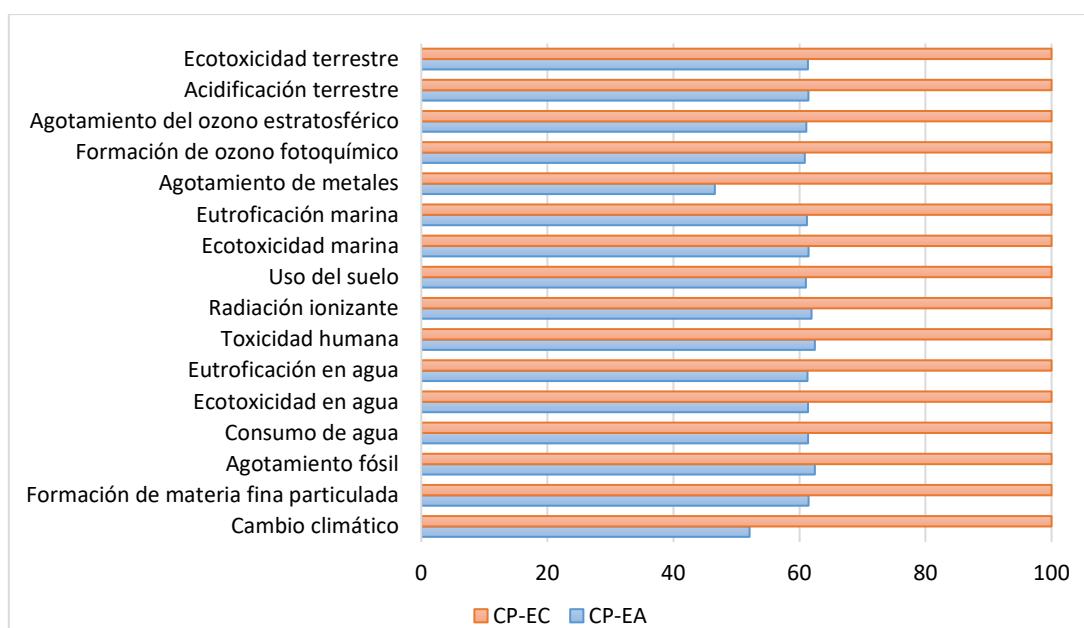


Figura 2. Comparación de los impactos totales (*midpoint*) para CP-EA y CP-EC.

En la figura 3, se presenta la contribución relativa de cada elemento del sistema producto-envase considerado al total de cada categoría de impacto. Concretamente, *Envase*, que incluye la producción del envase; *Crema pastelera*, que incluye la producción de las materias primas (huevos, leche, maicena y azúcar), el procesado de la CP, su envasado y transporte al punto

de distribución, así como el almacenamiento tanto en el supermercado como en el hogar; y *Fin de vida de CP envasada*, donde se incluye la gestión de los residuos que se generan en el supermercado y en el hogar.

La producción de la crema pastelera es la principal causa de los impactos, representando el 90-99% del total de cargas ambientales para todas las categorías de impacto en el caso de la CP-EA, y entre el 75-99% en el caso de la CP-EC. En otros estudios de ACV de envases se han obtenido resultados parecidos. Concretamente, Pierucci et al. (2017) estudiaron queso mozzarella envasado, y el impacto de la leche representó el 50% del total de las cargas ambientales. González-García et al. (2013), para queso gallego, exponen que la contribución del producto a envasar fue entre el 63 y 89% del total de cargas ambientales. Manfredi et al. (2015) evaluaron un envase antimicrobiano para leche fresca. En este caso, la producción de leche representó entre el 60-87% del total de impactos.

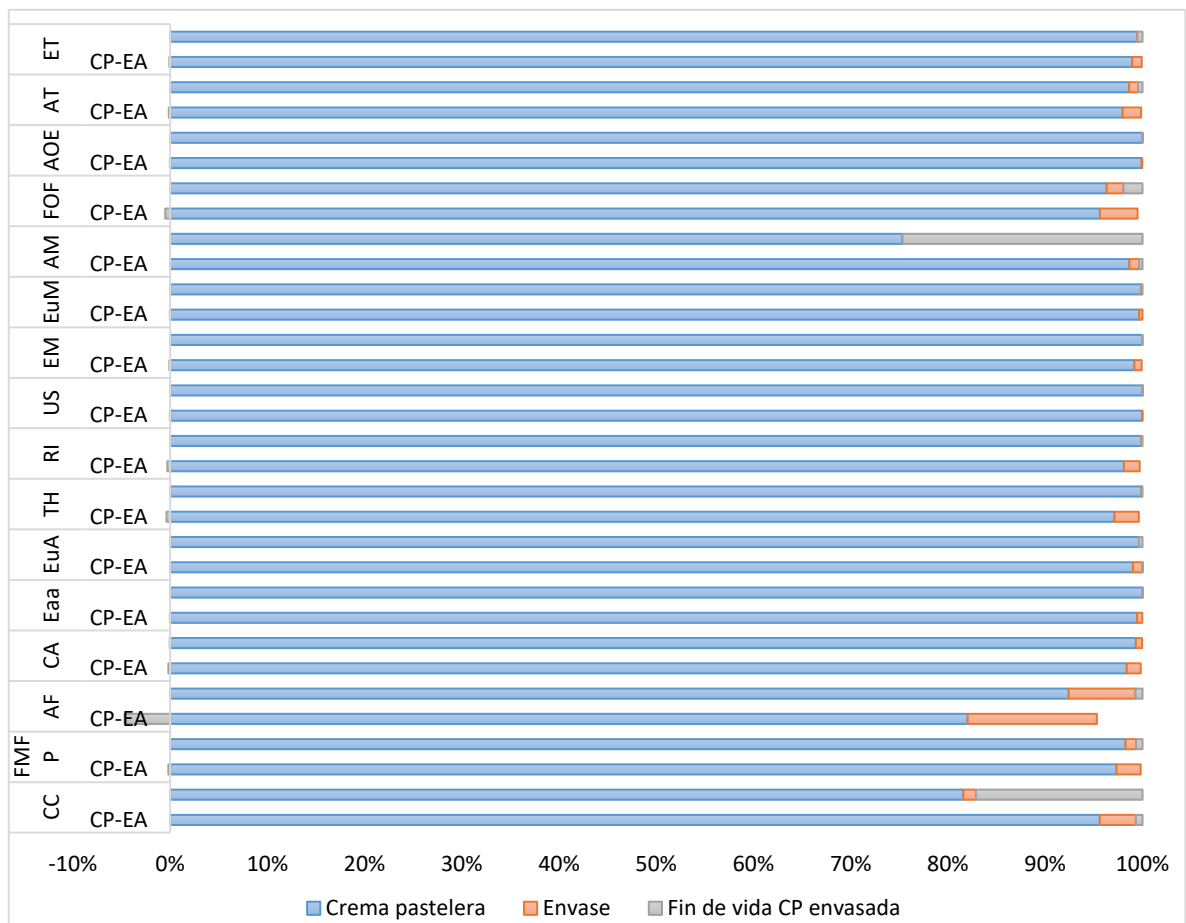


Figura 3. Contribución de los elementos del sistema producto-envase a las categorías de impactos (*midpoint*) para la CP-EA y la CP-EC.

La producción del envase es la segunda fuente de todos los impactos estudiados, contribuye entre el 1-15%, en el caso de la CP-EA, y el 1-7% para CP-EC. En lo que corresponde a los impactos causados por el tratamiento EoL de los residuos, supone un pequeño porcentaje en la mayoría de las



categorías de impacto, excepto en la formación de ozono fotoquímico y formación de materia particulada que supone cerca de un 20% del total de dichas categorías en CP-EC. Por otro lado, supone una reducción sobre los impactos ambientales (signo negativo) para muchas de las categorías de impacto en la CP-EA, especialmente en agotamiento de recursos fósiles y formación de ozono fotoquímico. Si bien en este estudio se han considerado distintos tratamientos para los residuos de envase, se debería de estudiar de forma más detallada cuál es el que supone mayores beneficios ambientales.

Los impactos de la producción de crema pastelera con el EC son un 61% mayores que para CP-EA; esto es debido, principalmente, a la mayor cantidad de CP que se debe producir para tener la misma cantidad de CP en el mercado. Con el EA se necesitan 230 mL de crema/UF y con el EC se deberá producir 376 mL de crema/UF. Los ingredientes que más influyen en la producción de CP son la producción de leche con un 42-79% y la producción de huevos con 18-48%. Por otro lado, en el *fin de vida de la CP envasada*, los impactos ambientales son mayores en la CP-EC; como se mencionó en el apartado 2.2.1.3, el porcentaje de desperdicio de CP con el envase activo es del 0,15% en el almacenamiento en el supermercado y el hogar, cantidad considerablemente más baja que para la CP-EC, 39%.

Los impactos ambientales de la producción del envase son, en promedio, más bajos que aquellos causados por la producción de la CP. La producción del EDTA es la que más contribuye a la ecotoxicidad terrestre, marina y en aguas dulces y eutrofización marina y en aguas dulces; con valores entre 85-93%. Mientras que la producción del LDPE es el principal responsable de la acidificación terrestre, agotamiento de recursos fósiles, consumo de agua, formación de ozono fotoquímico y materia particulada y cambio climático, la contribución ronda entre 67-78%. La producción de las BAL influye entre 3-43% al total de impactos, principalmente al uso de suelo y agotamiento de metales y ozono estratosférico.

En la figura 4 se muestran los resultados de las categorías de daño en el nivel final. El impacto producido en la salud humana es de $1,14 \cdot 10^{-4}$ y $1,87 \cdot 10^{-4}$ DALY para la CP-EA y CP-EC, respectivamente. El impacto producido sobre los ecosistemas es de $3,70 \cdot 10^{-4}$ y $6,07 \cdot 10^{-4}$ especies-año para la CP-EA y la CP-EC. Finalmente, el impacto sobre los recursos en la CP-EA es de $\$1,31 \cdot 10^{-2}$ y en la CP-EC de $\$2,12 \cdot 10^{-2}$. Por tanto, los impactos producidos en todas las categorías *endpoint* son ligeramente mayores en el sistema CP-EC. Como era de esperar, la crema pastelera supone un mayor porcentaje; de manera que constituye casi el 100% del daño sobre la salud humana y los ecosistemas y contribuye al daño sobre los recursos con un 21% en el caso de EA y con un 10% en el EC.

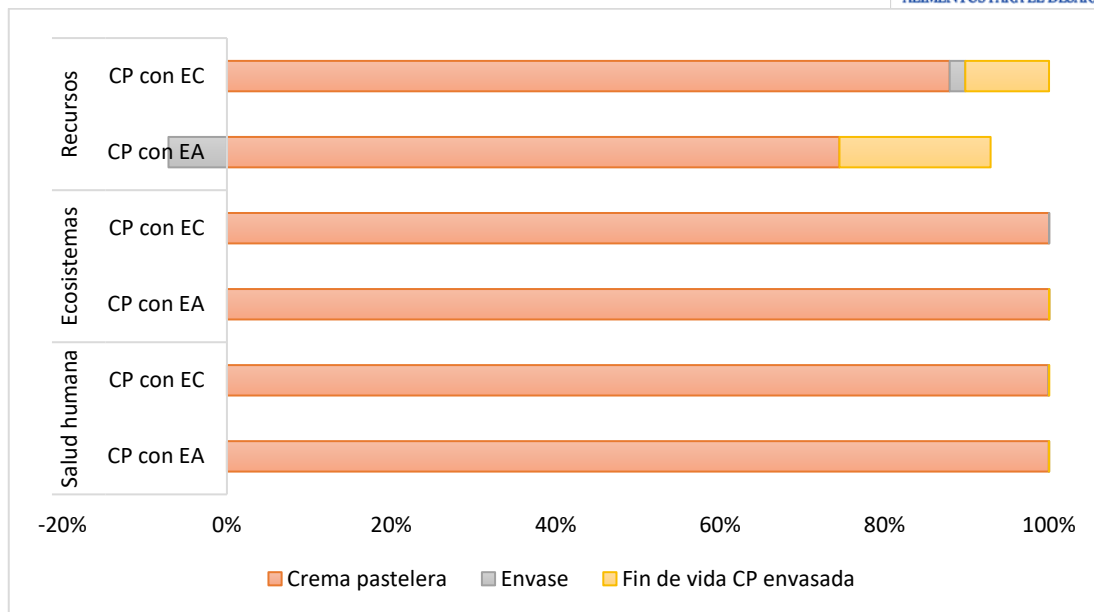


Figura 4. Impactos ambientales en la producción de crema pastelera con EA y EC, a nivel final (*endpoint*)*

*DALY (Año de vida ajustado según la discapacidad): medida de la gravedad general de una enfermedad, expresada como el número de años perdidos por enfermedad, discapacidad o muerte prematura. Especies-año: medida de la tasa de extinción, es decir la pérdida anual de especies. \$: medida de los costos excedentes de la producción futura de recursos en un marco de tiempo indefinido, considerando una tasa de descuento del 3%. La unidad es 2000 USD.

Como se mencionó en la sección 2.1.3, la evaluación de la reducción potencial del desperdicio al alargar la vida útil de la crema con el uso del EA se basó en literatura analizada y en consideraciones personales. Esta hipótesis tiene un alto grado de incertidumbre, debido a múltiples razones (comportamiento del consumidor, cultura, país, etc.), por lo tanto, se realizó un análisis de escenarios tomando en cuenta otros valores de desecho de CP en función de la vida útil del producto, basados en Conte et al. (2015). Según estos autores, la fracción de alimento desperdiciado y la vida útil del mismo están relacionados por un modelo exponencial, según el cual para el escenario alternativo (E2) la fracción desperdiciada sería del 90% para CP-EC y 58% para CP-EA. En la figura 5, se muestran los resultados obtenidos al comparar los escenarios inicial (E1) y alternativo (E2). Para los dos sistemas de envase, en todas las categorías de impacto el E2 produce mayor impacto ambiental que el E1, debido a que se genera mayor cantidad de residuos en las etapas finales y, por tanto, se requiere más cantidad de CP para tener la UF. Por ejemplo, en la categoría de impacto CC, para EA con el E1 la producción de CP supone un 96% del impacto total y la etapa EoL supone un 0,1%. Mientras que en el E2 el porcentaje sobre el total de impactos para estas mismas etapas sería del 75% y 23%, respectivamente. Es importante mencionar que el EA, tanto para el escenario 1 como para el escenario 2, supone una disminución de todas las categorías de impacto respecto al EC.

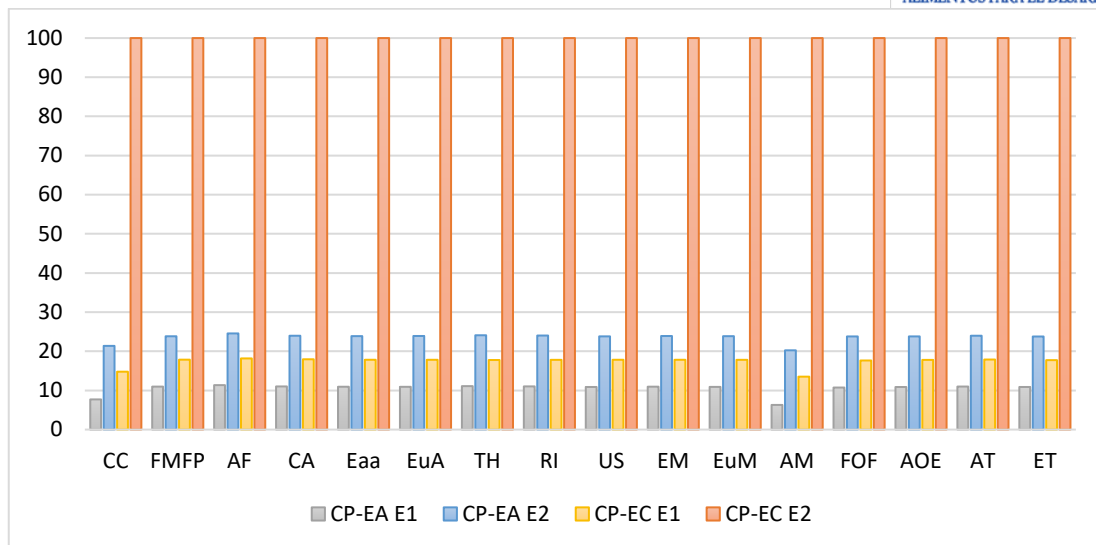


Figura 5. Variación de los impactos ambientales en las diferentes categorías para cada escenario.

4. CONCLUSIONES

Se ha comparado desde el punto de vista ambiental un envase convencional frente a un envase activo para el envasado de crema pastelera fresca desde el punto de vista ambiental mediante la metodología de ACV. El envase activo utilizado contiene BAL, lo que significa una extensión del tiempo de vida útil del producto envasado de 3 a 16 días, con la consecuente reducción del porcentaje de desperdicio de crema. La reducción del porcentaje de desperdicio es de 39 a 0,15%. El desperdicio de crema fue incluido en los límites del sistema, y su impacto ambiental resultó ser en promedio mayor que los impactos producidos por el envase, esto confirma la importancia de la inclusión de este parámetro en el estudio.

Los resultados mostraron que la aplicación del EA puede reducir los impactos ambientales producidos al utilizar un EC.

La reducción en la cantidad de desperdicio de la CP no puede ser estimada con precisión debido a muchos aspectos variables: culturales, geográficos y factores técnicos. Por lo que es importante realizar un análisis de sensibilidad.

Este estudio demuestra la importancia de incluir el desperdicio de alimentos en los ACV de sistemas envasados, especialmente cuando el envase contribuye a un aumento en el tiempo de vida útil del producto. Sin duda alguna, se trata de un sistema de envasado capaz de reducir la cantidad de alimento desperdiciado, por lo que puede ser una solución interesante desde el punto de vista ambiental no solo durante su refrigeración en el supermercado, sino también en el hogar, ya que una vez abierto el envase continúa haciendo efecto el EA debido a sus propiedades antimicrobianas. Por lo tanto, las investigaciones futuras deberían enfocarse en mejorar los modelos para la estimación de la cantidad de desperdicio en función de la vida útil del producto, realizar estudios sobre EA para ver si efectivamente son siempre mejores ambientalmente y profundizar en la sostenibilidad económica de este tipo de envases.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abín, R., Laca, A., Laca, A., y Díaz, M. (2018). Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. *Journal of Cleaner Production*, 179, 160–168.
- Carrillo Inungaray, M. L., y Reyes Munguía, A. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2(3), 25.
- Conte, A., Cappelletti, G. M., Nicoletti, G. M., Russo, C., y Del Nobile, M. A. (2015). Environmental implications of food loss probability in packaging design. *Food Research International*, 78, 11–17.
- Deegan, L. H., Cotter, P. D., Hill, C., y Ross, P. (2006). Bacteriocins: Biological tools for bio-preservation and shelf-life extension. *International Dairy Journal*, 16(9), 1058–1071.
- Duiven, J. E., y Binard, P. (2002). Refrigerated Storage : New Developments by. *Construction*.
- Eurostat. (2018a). Recovery rates for packaging waste. consultado en Noviembre 11, 2018, Recuperado de <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=%0Atableyplugin=1yrcode=ten00062ylanguage=en>
- Eurostat. (2018b). Recycling rates for packaging waste. consultado en Noviembre 11, 2018, Recuperado de <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=%0Atableyplugin=1yrcode=ten00063ylanguage=en>
- FAO. (2011). *Global food losses and food waste - Extent, causes and prention*.
- Gialamas, H., Zinoviadou, K. G., Biliaderis, C. G., y Koutsoumanis, K. P. (2010). Development of a novel bioactive packaging based on the incorporation of *Lactobacillus sakei* into sodium-caseinate films for controlling *Listeria monocytogenes* in foods. *Food Research International*, 43(10), 2402–2408.
- González-García, S., Hospido, A., Moreira, M. T., Feijoo, G., y Arroja, L. (2013). Environmental life cycle assessment of a galician cheese: San Simon da Costa. *Journal of Cleaner Production*, 52, 253–262.
- Grunow, A., Rüsing, M., Becker, B., y Melkonian, M. (2016). *Estimates of European food waste levels* (Vol. 150, pp. 265–281). Vol. 150, pp. 265–281.
- Hans, J. (2015). Metodología Del Análisis Del Ciclo De Vida. *Metodología Del Análisis Del Ciclo De Vida*, 37. Disponible en <http://www.tdx.cat/bitstream/handle>.
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., ... y Van Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization.
- ISO. (2006). Iso 14044. *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guilelines*, (7), 652–668.



- Kristo, E., Koutsoumanis, K. P., y Biliaderis, C. G. (2008). Thermal, mechanical and water vapor barrier properties of sodium caseinate films containing antimicrobials and their inhibitory action on *Listeria monocytogenes*. *Food Hydrocolloids*, 22(3), 373–386.
- Lebersorger, S., y Schneider, F. (2011). Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. *Waste Management*, 31(9–10), 1924–1933.
- Manfredi, M., Fantin, V., Vignali, G., y Gavara, R. (2015). Environmental assessment of antimicrobial coatings for packaged fresh milk. *Journal of Cleaner Production*, 95, 291–300.
- Manfredi, M., y Vignali, G. (2015). Comparative Life Cycle Assessment of hot filling and aseptic packaging systems used for beverages. *Journal of Food Engineering*, 147, 39–48.
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente). (2018). Informe del consumo de alimentación en España. In *Gobierno de España*.
- Marco, D., I, Miranda, S., Riemma, S., y Iannone, R. (2016). Life cycle assessment of ale and lager beers production. *Chemical Engineering Transactions*, 49, 337–342.
- Pénicaud, C., Monclus, V., Perret, B., Passot, S., y Fonseca, F. (2018). Life cycle assessment of the production of stabilized lactic acid bacteria for the environmentally-friendly preservation of living cells. *Journal of Cleaner Production*, 184, 847–858.
- Pierucci, S., Klemeš, J. J., Piazza, L., Bakalis, S., Falcone, G., De Luca, A. I., Gulisano, G. (2017). Shelf Life Extension to Reduce Food Losses: the Case of Mozzarella Cheese. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1849–1854.
- Sánchez-González, L., Quintero Saavedra, J. I., y Chiralt, A. (2013). Physical properties and antilisterial activity of bioactive edible films containing *Lactobacillus plantarum*. *Food Hydrocolloids*, 33(1), 92–98.
- Settier-Ramírez, L., López-Carballo, G., Gavara, R., y Hernández-Muñoz, P. (2019). Antilisterial properties of PVOH-based films embedded with *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*. *Food Hydrocolloids*, 87(July 2018), 214–220.
- Silva, J., Carvalho, A. S., Teixeira, P., y Gibbs, P. A. (2002). Bacteriocin production by spray-dried lactic acid bacteria. *Letters in Applied Microbiology*, 34(2), 77–81.
- Spada, A., Conte, A., y Del Nobile, M. A. (2018). The influence of shelf life on food waste: A model-based approach by empirical market evidence. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3410–3414.
- United Nations. (2015). Sustainable Development Goals Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns. Retrieved September 25, 2018, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>
- Valsasina, L., Pizzol, M., Smetana, S., Georget, E., Mathys, A., y Heinz, V. (2017). Life cycle assessment of emerging technologies: The case of milk ultra-high pressure homogenisation. *Journal of Cleaner Production*.



- Weidema, B., Wenzel, H., Petersen, C., y Hansen, K. (2004). The product, functional unit and reference flows in LCA. *Environmental News*, 70, 1-46.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [en línea] 21(9), pp.1218–1230. Disponible en: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>>
- Wikström, F., Williams, H., y Venkatesh, G. (2016). The influence of packaging attributes on recycling and food waste behaviour – An environmental comparison of two packaging alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 137, 895–902.
- Wikström, F., Williams, H., Verghese, K., y Clune, S. (2014). The influence of packaging attributes on consumer behaviour in food-packaging life cycle assessment studies - A neglected topic. *Journal of Cleaner Production*, 73, 100–108.
- Williams, H., y Wikström, F. (2011). Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: A comparative analysis of five food items. *Journal of Cleaner Production*, 19(1), 43–48.
- Williams, H., Wikström, F., Otterbring, T., Löfgren, M., y Gustafsson, A. (2012). Reasons for household food waste with special attention to packaging. *Journal of Cleaner Production*, 24, 141–148.
- WRAP (Waste y Resources Action Programme). (2008). The food we waste. In *Food waste Report V2* (Vol. 2).
- WRAP (Waste y Resources Action Programme). (2013). The Milk Model: Simulating Food Waste in the Home. In *Wrap*.
- Zhang, H., Hortal, M., Dobon, A., Bermudez, J. M., y Lledo-Lara, M. (2015). The Effect of Active Packaging on Minimizing Food Losses: Life Cycle Assessment (LCA) of Essential Oil Component-enabled Packaging for Fresh Beef. *Packaging Technology and Science*, 28, 761–774.