



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
**CIENCIAS
AGRARIAS**

TESINA DE GRADO DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN
EXTRA TOMANDO COMO BASE LA OBTENCION EN LA
FÁBRICA EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS (UNCUYO, MENDOZA)**

Tesista: María del Pilar FERNÁNDEZ RIVERA

Directora: Ing. Paula Daniela RODRÍGUEZ

Co-directora: Dra. Ing. Bárbara CIVIT

Dedicatoria

A mis padres por darme la vida y la libertad para elegir mi camino.

A mi hermana Sofía.

A mi hermana María que me acompaña desde el cielo.

A mis amigas y amigos, hoy colegas, sin los cuales el camino universitario no hubiese sido lo mismo.

A Adriana y Micaela, amigas de la vida que siguen al lado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	IV
PALABRAS CLAVE	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ABREVIATURAS Y SIGLAS	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Importancia del aceite de oliva para Argentina y Mendoza.....	1
1.2. Generalidades acerca del Análisis de Ciclo de Vida.....	7
1.3. Antecedentes de estudios de ACV de aceite de oliva.....	8
1.4. Objeto de estudio	11
1.5. Objetivos del estudio	12
1.5.1. Objetivo general.....	12
1.5.2. Objetivos particulares.....	12
1.6. Hipótesis de trabajo.....	12
2. METODOLOGÍA	13
2.1. Definición del objetivo y el alcance.....	13
2.1.1. Unidad funcional y flujo de referencia del sistema-producto.....	13
2.1.2. Enfoque, descripción y límites del sistema-producto.....	14
Recepción de las aceitunas.....	15
Preparación de las aceitunas	15
Procesamiento de las aceitunas.....	16
Depuración del aceite.....	17
Fraccionamiento del aceite.....	17
Limpieza de la maquinaria.....	17
2.2. Descripción del inventario de ciclo de vida	21
2.3. Selección de categorías y métodos de evaluación de impactos.....	24
3. RESULTADOS	26
3.1. Impactos sobre el cambio climático	27
3.2. Impactos por eutrofización de agua dulce.....	29
3.3. Impactos por escasez de recursos minerales	31
3.4. Impactos por escasez de recursos fósiles	34
3.5. Consumo de agua	36
3.6. Demanda acumulada de energía.....	38
3.7. Normalización de los resultados	40
4. DISCUSIÓN.....	42
5. CONCLUSIONES	44

6. BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS.....	51
Anexo 1. Encuesta en línea a 204 personas: hábitos de consumo.....	51
Anexo 2. Adaptación de inventarios de ciclo de vida.....	52
2.1. Adaptación del inventario de ciclo de vida de producción de aceitunas	52
2.2. Adaptación del inventario de ciclo de vida de producción de botellas de vidrio.....	54
2.3. Adaptación del inventario de ciclo de vida de producción de botellas de PET	56
2.4. Adaptación del inventario de ciclo de vida de la producción evitada de botellas de vidrio.....	58
2.5. Adaptación del inventario de ciclo de vida de reciclado de PET.....	60

RESUMEN

En este trabajo se evalúan los impactos ambientales derivados de la producción, distribución y disposición del aceite de oliva virgen extra (AOVE) variedad *Arauco*, tomando como referencia el proceso de obtención realizado en la planta piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO). Se identifican las etapas y los procesos críticos del ciclo de vida del producto para diferentes categorías de impacto; y se compara el impacto ambiental del envasado en botellas de vidrio y de polietileno tereftalato (PET), considerando dos alternativas de fin de vida: reciclado de los envases o disposición en vertedero.

La metodología empleada fue el Análisis de Ciclo de Vida, según los requerimientos de las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006. La unidad funcional escogida fue “obtener, distribuir y disponer 500 ml de AOVE var. *Arauco* envasado (en vidrio y PET)”. El análisis, realizado con enfoque “de la cuna a la tumba” y “de la cuna a la cuna”, se basó en datos de campo, tomados de la planta piloto. Además, se utilizaron inventarios contenidos en la base de datos Ecoinvent v.3.5. La evaluación de impactos se realizó con el método ReCiPe 2016 Midpoint (H) para las categorías cambio climático, eutrofización de agua dulce, consumo de agua, escasez de recursos minerales y escasez de recursos fósiles. Se utilizó el método Demanda Acumulada de Energía para evaluar el consumo de energía primaria. Para el análisis del sistema-producto se consideraron 4 escenarios: Vidrio-Vertedero, Vidrio-Reciclado, PET-Vertedero y PET-Reciclado. Finalmente, se llevó a cabo una normalización de resultados para comparar la magnitud de los impactos entre categorías.

Los resultados evidenciaron que la etapa de obtención del aceite, y en particular el proceso de producción de las aceitunas, tuvo el mayor impacto en todas las categorías evaluadas. A su vez, los escenarios con envasado en PET mostraron mejor desempeño ambiental en 4 de las 6 categorías estudiadas. En cuanto a la gestión de los envases en el fin de vida, el reciclado presentó claras ventajas frente a la disposición en vertedero. La comparación entre categorías evidenció que el consumo de agua y la eutrofización del agua dulce registraron los impactos con mayor importancia relativa.

En conclusión, se recomienda el uso de envases de PET. Sin embargo, si se optara por utilizar envases de vidrio, se sugiere la elección de envases de menor peso y color verde, lo que podría mejorar su desempeño ambiental. Además, se recomienda la práctica de reciclado de los envases. Por su parte, aunque los impactos dentro de la planta piloto no fueron puntos críticos, se aconseja la instalación de calderas de biomasa para la utilización de los residuos orgánicos, que permita obtener energía para disminuir el uso de combustibles fósiles. Asimismo, se sugiere la elección de proveedores locales, a fin de disminuir la carga ambiental de los traslados de los insumos. Por último, se propone la divulgación de los beneficios del reciclado para estimular esta práctica en los consumidores del producto.

Finalmente, se destaca que este estudio aporta información relevante sobre el impacto ambiental de un producto de importancia para Mendoza y Argentina, donde ha sido poco evaluado y donde no se registran precedentes acerca del impacto de su empaquetado primario.

PALABRAS CLAVE

Impacto ambiental, cambio climático, consumo de energía, producción agroindustrial, reciclaje, fin de vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. Paula Daniela Rodríguez, por su dedicación, paciencia y gentileza para enseñarme y acompañarme a lo largo de este trabajo final. Por su compromiso y entusiasmo que me permitieron alcanzar esta meta.

A la Dra. Ing, Bárbara Civit por ofrecerme el espacio para realizar esta tesina.

A la Lic. Mónica Mirábile, por brindarme todos los datos y documentos concernientes a la planta piloto de la FCA.

Al Sr. Simoni Martín y resto del equipo de trabajo de la planta piloto, por explicarme y brindarme información del proceso de obtención de aceite de oliva.

Al Sr. David Crespo, por recibirme en el centro de acopio Favorable S.A. explicarme y brindarme información.

Al Sr. Raúl Peña, por recibirme en la cristalería Cattorini hnos. S.A., explicarme y brindarme información del proceso de reciclado del vidrio.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), en especial el grupo CLIOPE por brindarme las herramientas para realizar esta tesina.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, por brindarme la educación superior y formarme como futura ingeniera.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la superficie mundial cultivada con olivos por regiones.....	2
Figura 2. Regiones olivícolas argentinas.....	2
Figura 3. Principales productores de aceite de oliva en miles de toneladas (período 2016/2017, 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021).....	3
Figura 4. Principales exportadores de aceite de oliva en miles de toneladas (período 2016/17, 2018/19, 2019/2020, 2020/2021).	3
Figura 5. Distribución de la superficie cultivada con olivo por región de la Provincia de Mendoza.....	4
Figura 6. Porcentaje de la superficie cultivada con olivo en la Provincia de Mendoza según el destino de la producción (años 1992 y 2010).	5
Figura 7. Superficie cultivada con olivo por variedad en la Provincia de Mendoza.....	5
Figura 8. Principales países consumidores de aceite de oliva en miles de toneladas (período 2020/2021).	6
Figura 9. Ciclo de vida tradicional de un producto, representado por el aceite de oliva virgen extra (AOVE). Se muestran los diferentes enfoques de un ACV.	8
Figura 10. Fases de un ACV.....	13
Figura 11. Ubicación (punto gris) de la planta piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO (Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina).	14
Figura 12. Recepción de aceitunas.....	15
Figura 13. Preparación de las aceitunas. A) Tolla receptora y cinta transportadora, B) Despalilladora, y C) Cuba de lavado.	15
Figura 14. Procesamiento de las aceitunas. A) Molino y termoamasador, B) 2° amasador, C) Centrífuga horizontal o decanter, D) Centrífuga vertical.	16
Figura 15. Separación de los componentes de la pasta de la aceituna en centrífuga horizontal.....	16
Figura 16. Depuración del aceite.	17
Figura 17. Depuración del aceite. A y B) Tanques de decantación, C) Camisas de filtración.....	17
Figura 18. Fraccionamiento del aceite.	18
Figura 19. Diagrama de flujo de los procesos unitarios considerados en la etapa de obtención en la FCA.	19
Figura 20. Distribución de envases hacia plantas recicladoras. A) Recepción del PET en el acopiador, B) Recepción del vidrio en el acopiador, C) PET listo para ser transportado a la recicladora, D) Camión con vidrio para ser transportado a la recicladora.....	20
Figura 21. Límites del sistema-producto.	21
Figura 22. Resultados de la evaluación de impactos para cada categoría según los escenarios analizados. A) Cambio climático, B) Eutrofización de agua dulce, C) Escasez de recursos minerales, D) Escasez de recursos fósiles, E) Consumo de agua, F) Demanda acumulada de energía.....	26
Figura 23. Contribución por etapas a los impactos sobre el cambio climático.....	27
Figura 24. Contribución por etapas a la eutrofización de agua dulce.	30

Figura 25. Contribución por etapas a la escasez de recursos minerales.....	32
Figura 26. Contribución por etapas a la escasez de recursos fósiles.	34
Figura 27. Contribución por etapas al consumo de agua.	37
Figura 28. Contribución por etapas a la demanda acumulada de energía.....	39
Figura 29. Resultados normalizados (expresados en persona.año) de la evaluación de impactos para cada categoría, según los escenarios analizados.	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del inventario de ciclo de vida para la unidad funcional considerada, de acuerdo a los 4 escenarios propuestos.....	22
Tabla 2. Categorías de impacto seleccionadas, indicadores de categoría y unidades de medición de los indicadores de categoría.	25
Tabla 3. Emisiones de gases de efecto invernadero (kg CO ₂ eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.	28
Tabla 4. Emisiones de sustancias fosforada (kg P eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.....	31
Tabla 5. Consumo de minerales (kg Cu eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.....	33
Tabla 6. Consumo de recursos fósiles (kg oil eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.....	35
Tabla 7. Consumo de agua (m ³) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.	37
Tabla 8. Consumo de energía primaria (MJ) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.....	39
Tabla A1. Encuesta sobre hábitos de consumo realizada en línea.	51
Tabla A2.1. Inventario de ciclo de vida de la producción de aceitunas. Adaptación del inventario “Olive production, ES”, disponible en Ecoinvent 3.5.....	52
Tabla A2.2. Inventario de ciclo de vida de la producción de botellas de vidrio. Adaptación del inventario “Packaging glass production, white, RoW”, disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.	54
Tabla A2.3. Inventario de ciclo de vida de la producción de botellas de PET. Adaptación del inventario “Polyethylene terephthalate production, granulate, bottle grade, RoW”, disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.	56
Tabla A2.4. Inventario de ciclo de vida de la producción de botellas de vidrio verde. Adaptación del inventario “Packaging glass production, green, RoW”, disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.	58
Tabla A2.5. Inventario de ciclo de vida del proceso de reciclado de PET. Adaptación del inventario “Recycling of PET, GLO”, disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.....	60

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida.
AOVE	Aceite de Oliva Virgen Extra.
DAMSU	Departamento de Asistencia Médico Social Universitario.
EICV	Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida.
FCA	Facultad de Ciencias Agrarias.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
HDL	High Density Lipoprotein.
ICV	Inventario de Ciclo de Vida.
IDR	Instituto de Desarrollo Rural.
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i>
MAGyP	Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación.
RIVM	Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente
SAGyP	Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación.
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenibles.
PET	Polietileno tereftalato.
UF	Unidad Funcional.
UNCUYO	Universidad Nacional de Cuyo.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos, ligada al crecimiento poblacional mundial, hace necesaria la optimización de la cadena de suministro alimentaria desde diversas esferas. Este propósito debe abarcar la consolidación de productos crudos, el procesamiento y envasado, la distribución y el final de su vida útil. Desde el punto de vista ambiental, el diseño, la planificación y la mejora constante de las cadenas de suministro en la industria agroalimentaria son claves para abordar problemas ambientales a nivel mundial, dada la importancia y el impacto de esta industria (Accorsi et al., 2015).

La República Argentina se ha caracterizado históricamente por ser un país agrícola y agroindustrial. En la actualidad, el sector de la agroindustria compone el 25 % de la industria manufacturera y representa el 40 % de las exportaciones a nivel nacional (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2020). En este contexto, las industrias de producción y procesamiento de alimentos cobran relevancia en relación a los impactos generados sobre el ambiente.

Particularmente, la Provincia de Mendoza, ubicada en la Región de Cuyo (centro-oeste argentino), se ha destacado por sus viñedos, y por la elaboración y comercialización de vinos de alta calidad. Sin embargo, en el territorio provincial conviven otras actividades agrícolas y agroindustriales, como el cultivo y procesamiento de aceitunas, frutas y hortalizas (Gobierno de Mendoza, 2017).

1.1. Importancia del aceite de oliva para Argentina y Mendoza

El aceite de oliva es un aceite vegetal extraído de la aceituna, fruto del olivo (*Olea europaea*). Su principal uso es culinario, aunque también se lo utiliza en cosmética, en lámparas de aceite y para conservación de alimentos (Saiz Vinet, 2014). El consumo de este producto está fuertemente ligado a la dieta mediterránea. A su vez, se considera que el aceite de oliva es muy beneficioso para la salud (Godoy Gutiérrez, 2017; MAGyP, s.f.; COI, 2020), principalmente por su contenido de triglicéridos, en particular el contenido de ácido oleico. Este es un ácido graso monoinsaturado que frena la penetración de ácidos grasos en las paredes arteriales y reduce la tasa de colesterol total, al elevar la tasa del llamado colesterol bueno (HDL). Asimismo, por su contenido de tocofenoles (Vitamina E) y polifenoles, tiene capacidad antioxidante, eliminando radicales libres responsables del daño y la muerte celular (Araniti, 2013; Behe Menendez, 2000).

Se estima que el cultivo del olivo alcanza 11,4 millones de hectáreas a nivel mundial (Etchevehere, 2018), el cual se encuentra históricamente ligado a la zona geográfica de la cuenca del Mediterráneo (Figura 1) (Saiz Vinet, 2014; COI, 2020). En América se introdujo oficialmente en el año 1930, en Argentina (Borgatti Lanzarini, 2017), aunque hay relatos incas que indican su introducción por los españoles durante la colonización en Perú, luego en Chile, y de allí a la actual Región de Cuyo, Argentina (Velasco, 1949). Actualmente, se considera al aceite de oliva como Alimento Nacional argentino¹ (MAGyP, s.f.). A su vez, en el país la producción oleícola se centra en las zonas cordilleranas, como lo son Catamarca, La Rioja, San Juan, y Mendoza, y en algunas zonas de Córdoba, Río Negro y el sur de la provincia de Buenos Aires (Figura 2) (Godoy Gutiérrez, 2017; Otero et al., 2020; COI, 2020).

A nivel mundial, la industria del olivo produce más de 3,2 millones de toneladas de aceite de oliva y 3,0 millones de toneladas de aceitunas de conserva (COI, 2020). España siempre ha sido el mayor contribuyente, llegando a 1,6 millones de toneladas de aceite de oliva en previstas para 2020-2021, seguido de Grecia, con 265 mil toneladas, y por Italia en tercer lugar con 255 mil toneladas (COI, 2020). Por su parte, Argentina, pese a la gran concentración de la industria en la zona Mediterránea y a su escasa influencia en las cifras a nivel internacional, es el principal productor y exportador olivícola del continente americano y el principal productor contra-estación (Figura 3 y Figura 4) (MAGyP, s.f.; Borgatti Lanzarini, 2017; Cámara Olivícola de San Juan, 2017). En el año 2017 Argentina se posicionó entre

¹ En el año 2012 se sanciona la ley 26.839 que lo considera Alimento Nacional (MAGyP, s.f.).

los primeros 10 productores y 5 exportadores de aceite del mundo. Esta cifra ha disminuido ya que durante el período 2017/2020, el país pasó de producir 45 a 30 mil toneladas de aceite, convirtiéndose en el 7° productor mundial de aceite de oliva² y en el 7° exportador mundial de aceitunas de mesa, alcanzando el 11° lugar como productor mundial. Los restantes 10 productores pertenecen a la cuenca del Mediterráneo (COI, 2020).

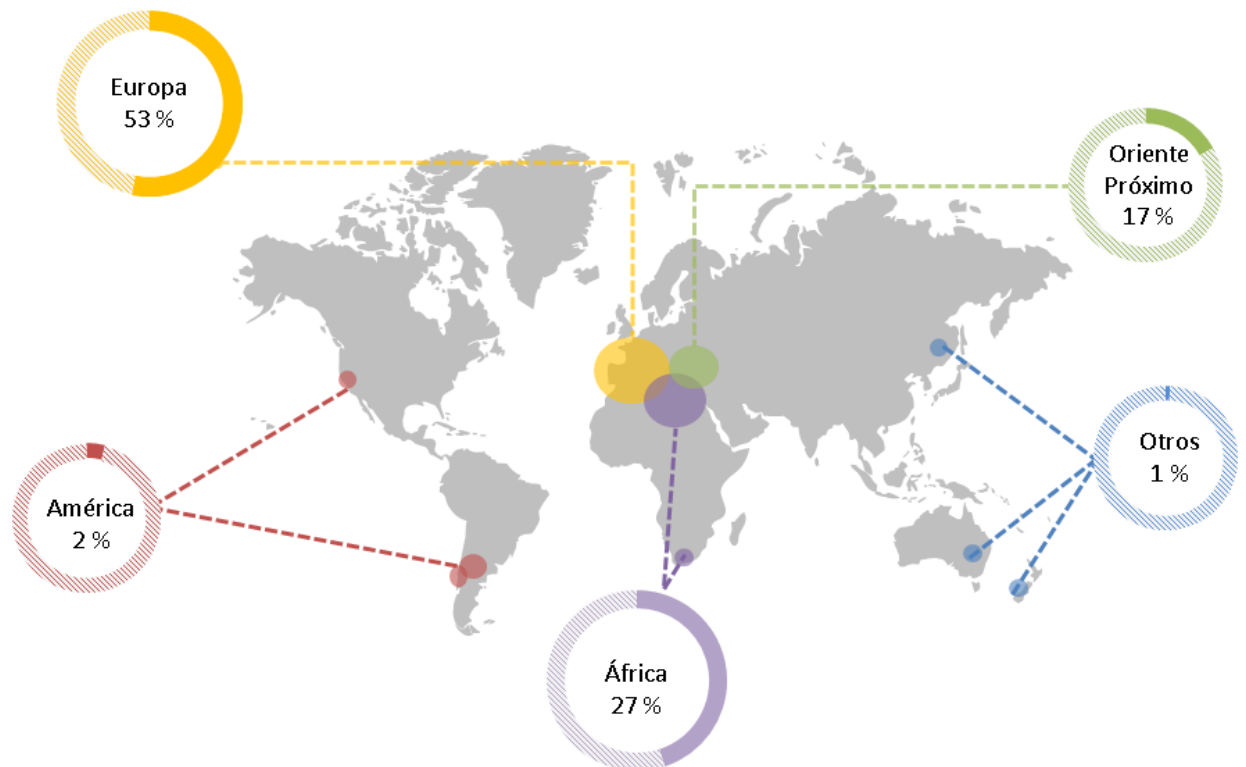


Figura 1. Distribución de la superficie mundial cultivada con olivos por regiones. Fuente: elaboración propia, con base en Vita Serman et al. (2013).



Figura 2. Regiones olivícolas argentinas. Fuente: Otero et al. (2020).

² Los principales destinos de exportación son Estados Unidos y Brasil. (Tagarelli, 2010; Secretaría de Agregado de Valor y Subsecretaría de Alimentos y Bebidas, 2017; COI, 2020).

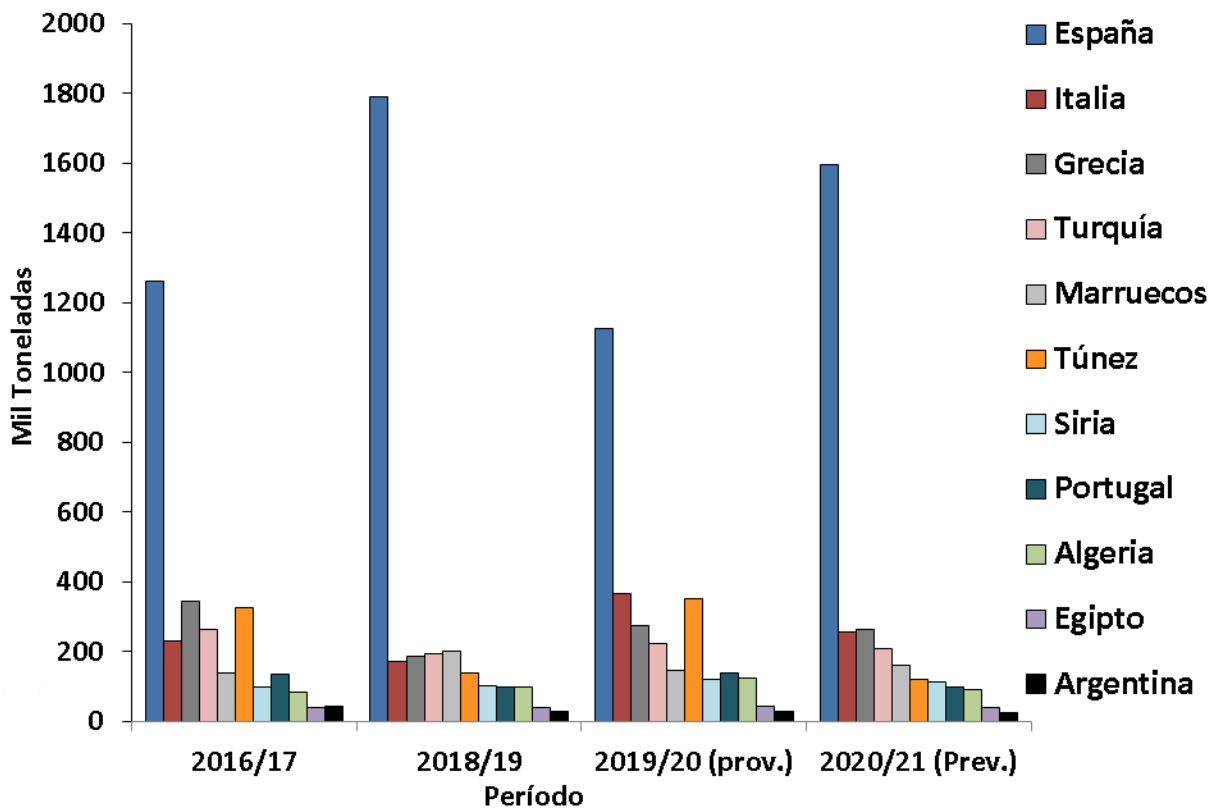


Figura 3. Principales productores de aceite de oliva en miles de toneladas (período 2016/2017, 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021). Fuente: elaboración propia, con base en datos de COI (2020).

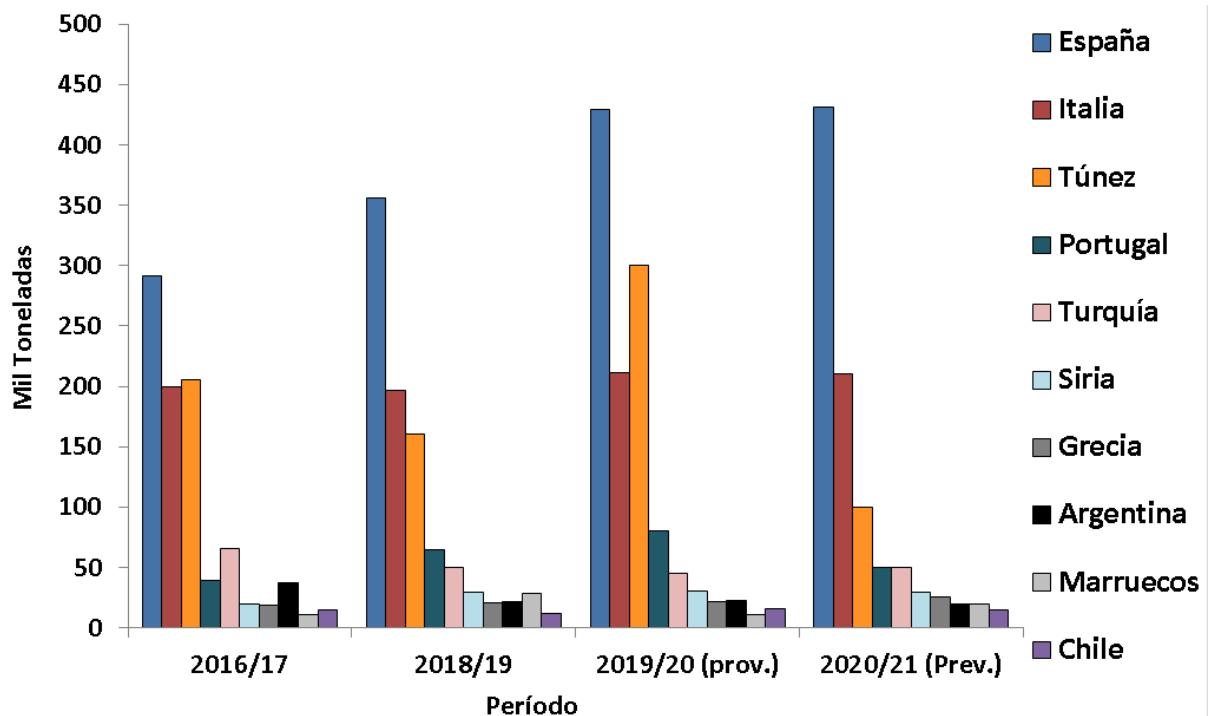


Figura 4. Principales exportadores de aceite de oliva en miles de toneladas (período 2016/17, 2018/19, 2019/2020, 2020/2021). Fuente: elaboración propia, con base en datos de COI (2020).

Sin duda, la olivicultura está vinculada a la realidad histórica y cultural de la Provincia de Mendoza, siendo actualmente la segunda producción agrícola más importante, luego de la viticultura. Esto es posible gracias a que la provincia muestra excelentes condiciones climáticas y edafológicas para la producción de olivos, lo que permite la obtención de productos de gran calidad (Baroni, 2010; Gallegos, s.f.). Sin embargo, no fue hasta fines del siglo XX que este cultivo tuvo su gran expansión, gracias a las leyes de promoción industrial³ (Cáceres, 2009). A inicio de la década de los 90', la polarización entre provincias era muy evidente: Mendoza producía el 70 % del total del aceite de oliva. Sin embargo, año a año, Mendoza fue perdiendo espacio frente a otras provincias, ocupando, en el año 2014, el cuarto lugar de hectáreas plantadas luego de Catamarca, La Rioja y San Juan. Actualmente, el cultivo se encuentra distribuido en casi toda la provincia (excepto en los departamentos del oasis del Valle de Uco): el oasis Norte cuenta con el 40 % de la superficie implantada, siguiendo el oasis Sur con el 37 %, y en tercer lugar el oasis Este con el 22 % (Godoy Gutiérrez, 2017) (Figura 5).

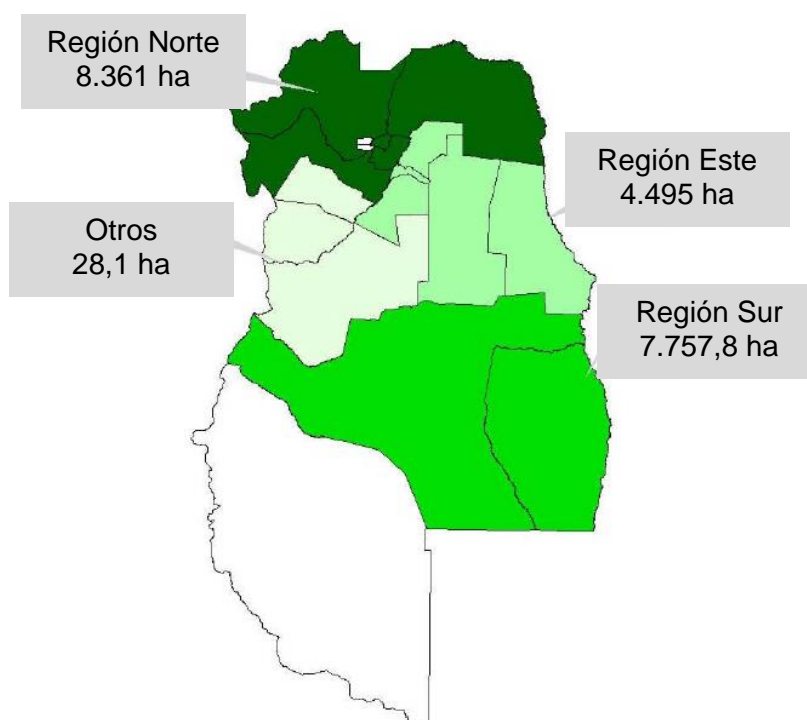


Figura 5. Distribución de la superficie cultivada con olivo por región de la Provincia de Mendoza. Fuente: Censo Frutícola Provincial (2010).

En el contexto provincial, las manufacturas de origen agropecuario son las más importantes dentro del sector industrial y las que presentan mayor dinámica en los últimos años. La agroindustria olivícola en particular ha tenido una evolución muy importante, principalmente en el sector del aceite de oliva (Cáceres, 2009; COI, 2020). En efecto, la industria del olivo tradicionalmente estaba orientada a la conserva. Sin embargo, como muestra la Figura 6⁴, esta tendencia se ha revertido y, actualmente, el aceite es el principal producto obtenido.

³ La Ley N° 22.021 contempla que empresas de cualquier sector pueden diferir el pago de impuestos nacionales durante un período determinado, utilizando este monto para realizar inversiones en el sector agropecuario. En el cultivo del olivo el lapso es de 16 años, después de los cuales se comienza la devolución sin intereses. Las provincias que cuentan con el beneficio de la Ley en todo su territorio son: Catamarca, La Rioja, San Juan y San Luis (en esta última sólo se pueden presentar proyectos de turismo y no productivos). El beneficio también alcanza al norte de Mendoza y al oeste de Córdoba (Cáceres, 2009; Vita Serman et al., 2013).

⁴ El último censo provincial de la provincia de Mendoza data del año 2010 (Fernández et al., 2019).

Este hecho ha fortalecido a la economía de Mendoza, ya que al mismo tiempo que aumenta el valor agregado, diversifica la matriz productiva de la provincia (Fernández et al., 2019).

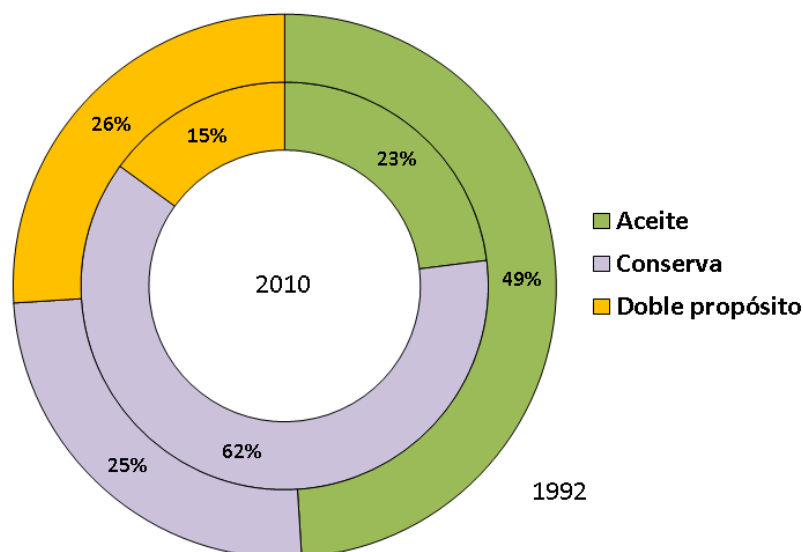


Figura 6. Porcentaje de la superficie cultivada con olivo en la Provincia de Mendoza según el destino de la producción (años 1992 y 2010). Fuente: Censo Frutícola Provincial (2010).

Del abanico de variedades cultivadas en la provincia, la variedad *Arauco*, propia de Mendoza y la única autóctona de Argentina (Pereyra, 2017), representa un 20 % de la superficie cultivada, ocupando el segundo lugar de mayor importancia, luego de la variedad *Arbequina*. Además, la var. *Arauco* se encuentra ampliamente distribuida en la provincia, a diferencia de la var. *Arbequina*, que está concentrada en pocos lugares. Por esta razón, la var. *Arauco* ha sido considerada como la más representativa del cultivo olivícola de toda la provincia (Fernández et al., 2019) (Figura 7).

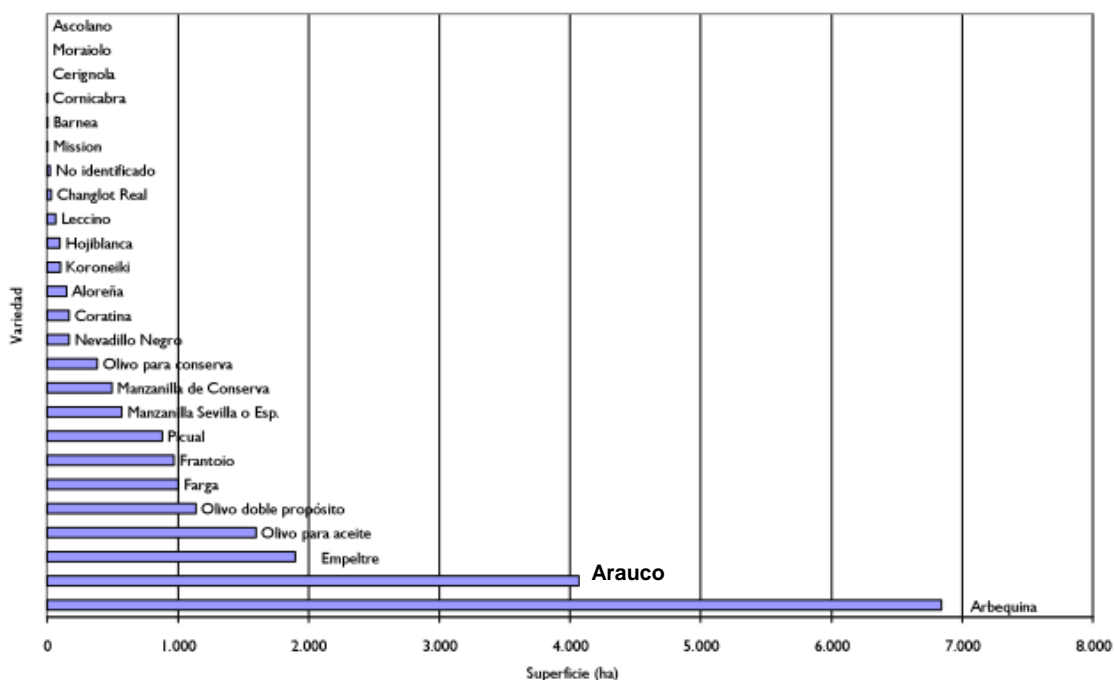


Figura 7. Superficie cultivada con olivo por variedad en la Provincia de Mendoza. Fuente: Censo Frutícola Provincial (2010).

En relación al envasado del producto, la estructura del mercado nacional señala que los envases de 500 ml son los más vendidos, ya que comprenden el 89 % del mercado. Con respecto al material empleado, los envases de polietileno tereftalato (PET) y de lata son los más vendidos en el mercado, dejando en tercer lugar a los envases de vidrio. Esta situación podría deberse a que el mayor costo de estos últimos recae en el precio comercial. En cuanto a la presentación, en el mercado predominan las formas cilíndricas y cuadradas. En relación al color, predominan las botellas transparentes o “*Flint*”, que permiten visualizar el color del aceite, aunque el menor ingreso de luz favorece la mantención de la calidad del aceite. En efecto, los envases de color verde, frecuentes en supermercados, conservan mejor el aceite de los rayos ultravioleta. A su vez, en Argentina el vidrio se impone como envase mejor estimado por los consumidores (Ambrosini, 2013). Esta elección puede deberse a que se suele utilizar al vidrio para envasar aceites varietales, y al PET, para aceites *blend*, lo cual responde a estrategias de *marketing* y de presentación del producto. Dichas estrategias de envasado conducen a los consumidores a relacionar al vidrio con el aceite de mejor calidad (varietal), y al plástico con el aceite de calidad menor (*blend*) (Araniti, 2013; Accorsi et al., 2015). Paralelamente, existe una tendencia generalizada para considerar una mayor inocuidad ambiental de los envases de vidrio (al ser inerte) sobre los envases de plástico (Rivero Lastre, 2017). No obstante, en Mendoza no existen estudios que permitan afirmar la superioridad ambiental de un material sobre otro para el envasado de productos agroalimentarios, particularmente, del aceite de oliva. De la misma manera, tampoco se encontraron estudios en el resto del país donde se hubiera analizado diferencias en el impacto ambiental debido al material de envasado del aceite.

Por último, el consumo de aceite de oliva de países productores está ligado a la producción de cada país, (a excepción de Estados Unidos y Brasil, entre otros países, que no son fuertes productores pero sí consumidores). Por ejemplo, el consumo a nivel local es muy bajo en comparación al de España, que se ubica como mayor productor y consumidor a nivel mundial. Se estima que el consumo por persona por año es menor a 250 ml en Argentina, mientras que en España supera los 12 litros. Esto podría deberse a que el aceite de oliva en los hogares argentinos suele utilizarse mayoritariamente como un condimento, y en bajas cantidades para cocinar. Otra razón del bajo consumo de este producto en el país se debe a su precio elevado a comparación del resto de los aceites. Sin embargo, su consumo ha mantenido una tendencia creciente en los últimos años (Godoy Gutiérrez, 2017; COI, 2020) (Figura 8).

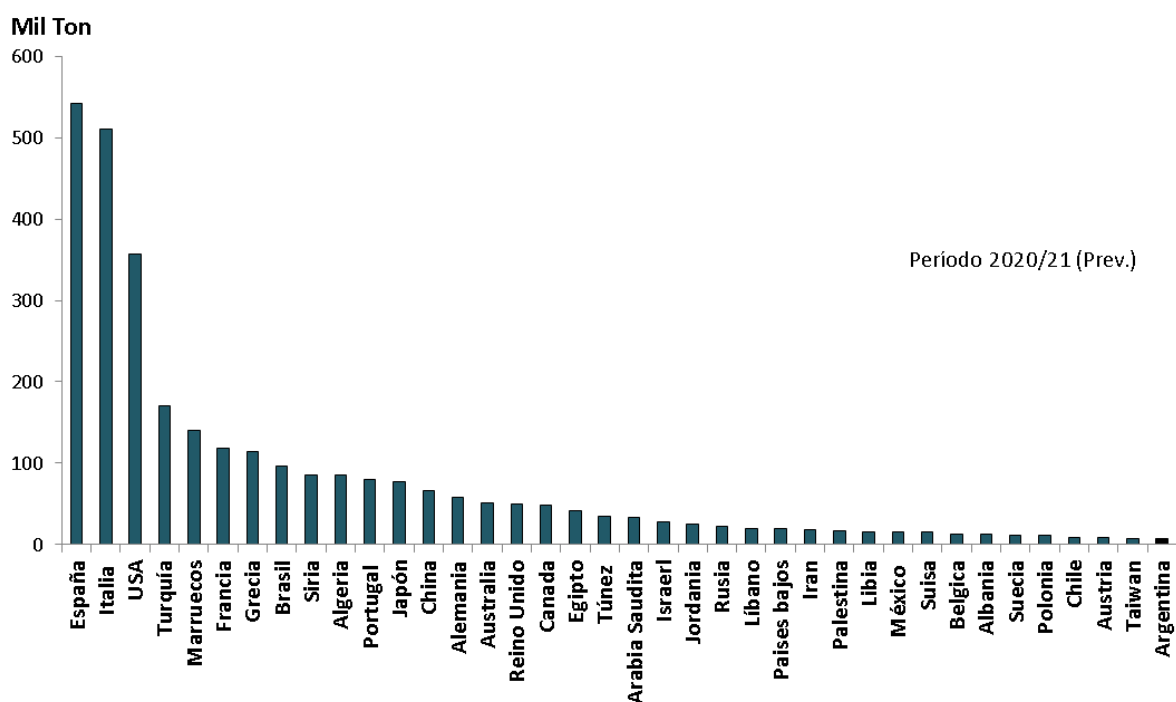


Figura 8. Principales países consumidores de aceite de oliva en miles de toneladas (período 2020/2021). Fuente: elaboración propia, con base en datos de COI (2020).

1.2. Generalidades acerca del Análisis de Ciclo de Vida

A pesar de ser un producto relevante para la economía y el mercado provincial y nacional, la producción de aceite de oliva está asociada a varios efectos adversos sobre el medio ambiente (Guarino et al., 2019). A nivel general, existen estudios que analizan el impacto ambiental de alguna etapa o aspecto relevante de la producción de aceite de oliva de manera aislada (por ejemplo, del proceso agrícola, de algún efluente en particular), aunque no se han hallado estudios que evalúen toda la cadena productiva del aceite de oliva en Mendoza.

Según la ley provincial de ambiente N° 5961 (Legislatura de Mendoza, 1992) se entiende por impacto ambiental a las consecuencias o efectos que acciones o proyectos públicos o privados puedan causar al equilibrio ecológico, al mantenimiento de la calidad de vida y a la preservación de los recursos naturales [...]. En este sentido, es importante destacar que el impacto ambiental de un producto comienza con la extracción de su materia prima, siguiendo por todos los insumos y flujos energéticos necesarios para su obtención, y continúa cuando éste se convierte en desechos (Abraham, 2019). Es decir que los impactos se desarrollan de manera consecutiva y a lo largo de toda la cadena productiva o ciclo de vida del producto.

Por tanto, la evaluación integral de los impactos ambientales causados por la producción de aceite de oliva requiere el uso de técnicas específicas, como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). El ACV es una herramienta que permite un abordaje sistémico para la evaluación ambiental de productos⁵, dando lugar al rediseño y al ajuste de los puntos críticos para mejorar la eficiencia de los procesos productivos. Además, esta herramienta es de utilidad para brindar información a los consumidores o usuarios, mediante distintas estrategias – como el ecoetiquetado–, que colaboran con la comunicación del producto, dando mayor transparencia y mejorando la imagen de la organización (Abraham, 2019).

El ACV es una de las varias técnicas de gestión ambiental (entre otras, como la evaluación de riesgos, la evaluación del desempeño ambiental, la auditoría ambiental y la evaluación del impacto ambiental) y puede ayudar a:

- Identificar oportunidades para mejorar el rendimiento ambiental de los productos en varios puntos de su ciclo de vida (por ejemplo, uso de recursos y disminución de emisiones).
- Mejorar o diseñar productos.
- Alcanzar una producción más limpia, generando una ventaja competitiva en el mercado.
- Informar tanto a los tomadores de decisiones (industria, organismos gubernamentales y no gubernamentales, etc.) como a los consumidores.
- Facilitar la comercialización y comunicación del producto.
- Elaborar indicadores de desempeño ambiental (ISO, 2006a).

Los principios y requerimientos para realizar estudios de ACV se encuentran estandarizados en las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006. En ellas se explicita que la evaluación de los impactos ambientales implica la asociación de los datos de las intervenciones ambientales originadas por el producto (por ejemplo, la extracción de alguna materia prima o la emisión de una sustancia) con categorías de impactos ambientales específicas. Estas categorías representan diversos asuntos ambientales de interés, como la contribución al cambio climático, a la eutrofización de agua dulce o al agotamiento de los recursos fósiles, y se cuantifican por medio de los indicadores de categoría. La elección de una u otra categoría para la evaluación de impactos depende de las particularidades del caso, pudiendo seleccionar una o más de una de categoría entre las opciones disponibles hasta la actualidad. En general, los modelos para el cálculo de los indicadores se agrupan en

⁵ El término incluye bienes o servicios (ISO, 2006a).

métodos, que permiten la determinación del impacto ambiental en diversas categorías. Algunos ejemplos de estos métodos son ReCiPe 2016 Midpoint, IMPACT 2002+, TRACI 2.1, EDIP 2003, entre otros.

Si bien el espíritu del ACV es analizar de manera completa el ciclo de vida del sistema del producto, en la aplicación de este método existen diferentes enfoques con sus respectivos alcances, como se muestra en la Figura 9 y se explica a continuación:

- De la *puerta a la puerta*: considera únicamente aquellos procesos de la etapa productiva, es decir aquellos que ocurren dentro de las “puertas de la fábrica”.
- De la *cuna a la puerta*: considera los procesos abarcados desde la etapa de extracción de materias primas hasta la etapa productiva, inclusive.
- De la *cuna a la tumba*: considera todos los procesos asociados al sistema del producto, es decir desde la etapa extractiva de la materia prima, su producción, su distribución, su uso, y el fin de vida.
- De la *cuna a la cuna*: considera todos los procesos asociados al sistema del producto, desde la etapa extractiva de materia prima hasta el fin de su vida útil, pero asumiendo que, en ésta última etapa, los flujos de salida pueden ser incorporados a un nuevo ciclo de vida (reúso, recupero, reciclaje).

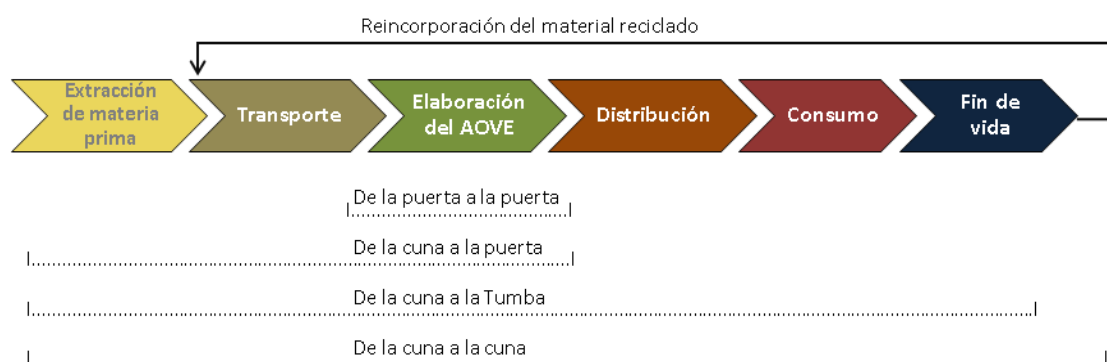


Figura 9. Ciclo de vida tradicional de un producto, representado por el aceite de oliva virgen extra (AOVE). Se muestran los diferentes enfoques de un ACV. Fuente: elaboración propia.

1.3. Antecedentes de estudios de ACV de aceite de oliva

A continuación, se ofrece una recopilación y análisis bibliográfico de estudios que evalúan los impactos ambientales asociados a la producción de aceite de oliva, utilizando la metodología del ACV.

En primer lugar, se analiza el trabajo de Espadas-Aldana et al. (2019), quienes presentaron una revisión bibliográfica del análisis y las tendencias para la evaluación del aceite de oliva mediante el ACV. El trabajo se basó en 23 estudios (ninguno del continente americano) de ACV sobre producción de aceite de oliva o cultivo de aceitunas. Los resultados evidenciaron que la fase agrícola fue la más impactante en el ciclo de vida del aceite de oliva, principalmente debido a la fertilización, el tratamiento con pesticidas y el riego. Asimismo, la gestión y distribución de residuos también representaron un punto crucial en la ocurrencia de impactos ambientales.

Del mismo modo, Figueiredo et al. (s.f.) realizaron una revisión bibliográfica de estudios de ACV de aceite de oliva y/o aceitunas basado en 10 estudios (ninguno del continente americano). Los autores concluyeron que el proceso con mayores impactos ambientales fue el cultivo del olivo, siendo la producción y uso de fertilizantes los principales contribuyentes. Además, llevaron a cabo una comparación entre cultivo tradicional y orgánico, cuyos resultados fueron contradictorios en términos de impactos ambientales.

Por su parte, Avraamides et al. (2008) realizaron un análisis de inventario de ciclo de vida⁶, con el fin de estudiar el consumo de recursos y las emisiones al aire, al agua y al suelo de la producción de aceite de oliva en Chipre. Los autores dividieron el proceso en 2 subsistemas: el agrícola y el de procesamiento de las aceitunas, sin considerar el proceso de envasado. Los resultados del inventario mostraron que la etapa agrícola genera el mayor consumo de recursos y las mayores emisiones, en particular como consecuencia de los procesos de fertilización, control de plagas (incluyendo en cada caso su producción, transporte y aplicación) y manejo del suelo. Por su parte, en la etapa de procesamiento de las aceitunas, el consumo de recursos se originó principalmente en los procesos de generación de energía, mientras que las emisiones estuvieron relacionadas mayoritariamente a la eliminación de desechos líquidos.

Un estudio realizado en Dinamarca por Schmidt (2014) permitió evaluar las ventajas ambientales de la producción de aceite de oliva frente a otros aceites. Se utilizó el ACV para evaluar y comparar el desempeño ambiental de la producción de 4 aceites vegetales, con un enfoque “de la cuna a la puerta” (es decir, sin considerar las etapas de distribución, uso y disposición final). Los aceites estudiados fueron el aceite de palma, el aceite de soja, el aceite de oliva y el aceite de cacahuete. Los resultados mostraron mejor desempeño ambiental para el aceite de colza y el aceite de oliva en relación a los impactos por calentamiento global. Con respecto al uso de la tierra, el aceite de palma y el aceite de soja evidenciaron el menor impacto, mientras que el aceite de oliva y el aceite de maní fueron los aceites con mayor ocupación de tierras. Finalmente, en relación al consumo de agua (utilizando el índice de estrés hídrico), el aceite de oliva fue el de menor impacto. Inclusive se halló un ahorro neto de agua, puesto que sus subproductos –es decir las harinas oleaginosas– desplazan a la harina de soja, de cebada y de aceite de palma, las cuales requieren riego para su obtención. Por lo tanto, el uso neto de agua se tornó negativo, lo que evidencia un beneficio ambiental en cuanto al consumo de agua.

Asimismo, Stillitano et al. (2019) propusieron otra perspectiva de análisis de ciclo de vida al evaluar los impactos ambientales y económicos de tecnologías innovadoras en la extracción de aceite de oliva virgen extra en Italia. El enfoque elegido fue “de la puerta a la puerta”, sin incluir el proceso de envasado. Se comparó la eficiencia en calidad, y el desempeño ambiental y económico de dos sistemas de extracción del aceite: el escenario convencional y el escenario innovador, incluyendo en cada caso al orujo como coproducto⁷. Las categorías ambientales evaluadas fueron demanda de energía y consumo de agua. Los resultados mostraron que el escenario innovador tuvo una mejora en la calidad del aceite obtenido, aunque elevó en un promedio de 4,5 % los impactos ambientales en todas las categorías. Económicamente, el escenario innovador tuvo mayor costo de inversión y menor rentabilidad, aunque podría lograrse un retorno positivo por el aumento del precio considerando la mejor calidad del aceite y la gran variedad de oferta en el mercado. Esto evidencia que, en determinados casos, la mejora de un proceso o un producto puede implicar un aumento de los impactos ambientales provocados, a la vez que demuestra la bondad del ACV para identificar dichas variaciones.

Otro análisis es el que ofrecen El Hanandeh et al. (2016), quienes evaluaron la eficiencia ambiental de la producción de aceite de oliva por pequeños y micro agricultores en el norte de Jordania, con un enfoque “de la cuna a la puerta”, incluyendo el envasado del producto. Para ello, analizaron impactos sobre cambio climático, ocupación de tierras agrícolas, acidificación de suelos, formación material particulado y toxicidad humana. Sus resultados mostraron que la etapa agrícola es el contribuyente más importante a los impactos ambientales, en particular por el uso de tractores. El estudio también reveló que las prácticas de manejo de suelo son importantes contribuyentes a los impactos ambientales

⁶ La norma ISO 14044:2006 distingue entre la realización de análisis de ciclo de vida (estudios de ACV) y análisis de inventarios de ciclo de vida (estudios de ICV). Los estudios de ICV son similares a los de ACV, pero excluyen la fase de evaluación de impactos de ciclo de vida, que se describirá oportunamente en la sección de Metodología.

⁷ La norma ISO 14044:2006 define coproducto como “cualquier producto de entre dos o más productos provenientes del mismo proceso unitario o sistema del producto”.

analizados. Por otra parte, en comparación con otras prácticas de producción de aceite de oliva, los impactos ambientales analizados (principalmente sobre cambio climático) fueron menores que los reportados por otros estudios de la región del Mediterráneo, sugiriendo mayor eficiencia de las pequeñas y micro producciones respecto a producciones de escala industrial. Su eficiencia se debe al bajo consumo de agua, energía y productos químicos en la fase agrícola, sumado al uso de materiales de desecho para la producción de energía, que reemplazan el uso de combustibles fósiles.

Por su parte, Pattara et al. (2016) estudiaron el impacto sobre el cambio climático derivado de la producción de aceite de oliva en el centro de Italia, con un enfoque "de la cuna a la puerta", incluyendo el proceso de envasado. Los autores concluyeron que la etapa agrícola es al menos tres veces más impactante que el envasado, principalmente como consecuencia del uso de plaguicidas y fertilizantes.

Adicionalmente, Rinaldi et al. (2014) evaluaron la huella de carbono y el rendimiento energético de la cadena del aceite de oliva virgen extra en la provincia de Perugia, Umbría, Italia, con un enfoque "de la cuna a la tumba". Los resultados mostraron que el proceso con mayor impacto fue la distribución, principalmente por emplear transporte aéreo (para las exportaciones). Otros puntos críticos encontrados fueron la fertilización del olivar, la congelación del aceite de oliva durante su almacenamiento y la fabricación de la botella de vidrio.

En otro estudio, desarrollado por Navarro Diarte (2017), se analizó la producción de aceite de oliva en España, con enfoque "de la cuna a la tumba", comparando tres materiales para el embalaje primario: vidrio, plástico y estaño o acero. Las conclusiones resaltan que la etapa agrícola presenta el mayor impacto en todo el ciclo de vida, especialmente por el proceso de cosecha. Por su parte, la etapa de envasado muestra alto impacto ambiental, ubicándose en segundo lugar.

Otros estudios se centran en los impactos derivados de la producción de aceitunas, como el de Guarino et al. (2019), donde se evaluó el desempeño energético y ambiental de la producción de aceite de oliva en la región de Calabria, sur de Italia, con enfoque "de la cuna a la puerta", comparando diferentes escenarios agrícolas: cultivo tradicional vs. cultivo orgánico; cultivo en llanura vs. cultivo en colinas; y diferentes técnicas de operación. Las conclusiones de este trabajo mostraron que, dentro de la etapa agrícola, el uso de fertilizantes tiene mayor impacto, seguido por la emisión de material particulado y el uso del suelo.

En relación estricta al envasado, Accorsi et al. (2015) estudiaron los impactos provenientes del envasado de aceite de oliva en la cuenca del Mediterráneo. Los autores evaluaron seis escenarios alternativos, considerando envasado primario (EP) y envasado secundario (ES): vidrio (EP) + paquete térmico (ES); vidrio (EP) + paquete no térmico (ES); PET (EP) + paquete no térmico (ES); PET (EP) + paquete de poliéster (ES); PET reciclado (EP) + paquete no térmico (ES); y PET reciclado (EP) + paquete de poliéster (ES). Los resultados demostraron que el PET presenta mayor rendimiento, ya que es posible producir 28 botellas de 1 L a partir de 1 kg de PET, mientras que sólo es posible generar 2 botellas de 1 L a partir de 1 kg de vidrio. No obstante, de acuerdo a la energía necesaria para el proceso productivo, se halló que la cadena productiva del PET posee muchas estaciones de trabajo automatizado, máquinas de soplado, tubería de aire, refrigeración, aspiración, etc., que elevan el consumo de energía. En contraposición, la fabricación de botellas de vidrio consume menos energía, mejorando su desempeño energético en relación a la de PET. Además, combinando distintos indicadores de impacto, este estudio reveló que las opciones que consideran envasado en vidrio presentan menor producción de residuos dedicados al reciclaje. Sin embargo, las alternativas que contemplan el uso de PET reciclado muestran menor impacto sobre el calentamiento global.

Por su parte, en el estudio de El Hanandeh et al. (2016) se consideraron dos escenarios de envasado: utilización de contenedores plásticos (100 %), y utilización de contenedores mixtos (50 % plástico y 50 % acero estañado). Los resultados mostraron que la etapa de envasado fue muy eficiente debido al uso de envases a granel, y también que el sistema es

poco sensible al tipo material de envasado. Por el contrario, el trabajo de Pattara et al. (2016) mostró una variación en los resultados al considerar distintos materiales de envasado. En este caso, los autores hallaron que el envasado en vidrio posee mayor carga ambiental que la utilización de otros materiales, como metal o PET. En este sentido, Navarro et al. (2018) mostraron que existen variaciones en los impactos del aceite. La comparación de los distintos materiales para el envasado mostró que, si bien el vidrio produce menor cantidad de residuos para la disposición final por su alta tasa de reciclado, este material resulta el más impactante, seguido por el estaño y, por último, por el PET.

Finalmente, Saleh (2015) evaluó los impactos producidos en el ciclo de vida de contenedores de plástico y estaño utilizados para envasar y almacenar aceite de oliva en Palestina. El enfoque de este estudio fue “de la cuna a la tumba” (considerando su disposición final en vertedero y reciclado). Las 5 categorías evaluadas fueron demanda de energía, consumo de agua, uso de tierra, toxicidad humana, y otros (ruido industrial). Los resultados mostraron que los envases de plástico tuvieron mejor desempeño ambiental en cuanto al consumo de agua y al ruido industrial, mientras que los envases de hojalata evidenciaron mejores resultados en las demás categorías.

Lo expuesto anteriormente revela que el ACV ha sido empleado para el estudio de los impactos sobre el ambiente ocasionados por la producción de aceite de oliva, principalmente en la cuenca mediterránea europea. Los diferentes estudios se centran en diversos aspectos, como la evaluación del proceso agrícola o del tipo de envase en el que se comercializa, y analizan distintas categorías de impacto.

A nivel regional, Saiz Vinet (2014), estudió los impactos ambientales de la producción de aceite de oliva en Chile, utilizando la metodología de ACV, así como la evaluación económica de medidas para su mitigación. El enfoque usado fue “de la cuna a la tumba” y se plantearon diferentes escenarios: cambio de fertilizantes, cambio de herbicidas, cambios de insecticidas, compostaje del alperujo (desecho orgánico de la obtención del aceite), incineración de carozos como fuente de energía y cambios de envases primarios (Vidrio, Vidrio eco (de menor peso), Hojalata y PET). En la etapa de disposición final, se asumió la disposición en vertedero para todos los escenarios y, adicionalmente, se consideró una tasa de reciclaje del 13 % para alternativas que utilizan vidrio. Los resultados mostraron que el proceso agrícola contribuyó con el 51 % de los impactos ambientales, y señalaron como mejor alternativa de mejora el uso del carozo de la aceituna en una caldera de biomasa. Por su parte, el proceso de envasado aportó el 30 % de los impactos totales. En este caso, entre los escenarios propuestos, el autor recomienda el uso de PET, puesto que redujo el 24 % de los impactos ambientales normalizados. Además, los resultados evidenciaron una disminución de los impactos al utilizar la alternativa vidrio eco, de forma proporcional a la disminución de la masa de vidrio utilizada. Por último, el uso de envases de hojalata frente a los de vidrio resultó favorable en casi todas las categorías evaluadas (a excepción del deterioro de la capa de ozono).

Como corolario de la revisión bibliográfica realizada y analizada precedentemente, se expresa que estos estudios proveen una aproximación sobre diversos impactos ambientales ocasionados en el ciclo de vida del aceite de oliva. Además, permiten dilucidar los procesos que presentan mayor contribución a los impactos ambientales originados por la producción de aceite de oliva. Sin embargo, no es posible obtener a partir de ellos conclusiones generales aplicables a nivel local, como consecuencia de las diferentes características regionales y las prácticas culturales de cada sitio, sumadas a las disparidades metodológicas que existen entre los estudios de ACV.

1.4. Objeto de estudio

Al considerar la importancia de la mejora continua de los sistemas agroindustriales y, en particular, de la producción del aceite de oliva en la provincia de Mendoza, con el fin de disminuir los impactos producidos sobre el ambiente, surge la necesidad de profundizar en el estudio detallado e integral de este producto. Por ello, en este trabajo se analizan los impactos ambientales generados en el ciclo de vida del aceite de oliva virgen extra (AOVE)

variedad *Arauco*, tomando como referencia su obtención en la planta piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA)-UNCUYO. La selección del AOVE para desarrollar este estudio responde, en primer lugar, a la relevancia del producto a nivel regional y provincial; y, en segundo lugar, a su importancia como producto alimenticio por su gran valor nutricional, que ha puesto en auge su consumo hace varios años, tanto a nivel mundial (Navarro et al., 2018) como local.

Asimismo, como consecuencia de la variación que puede representar el material del envase utilizado en los impactos a nivel general, se plantea la comparación del envasado del AOVE en botellas de vidrio y de polietileno tereftalato y, además, la consideración de dos escenarios de fin de vida, que contemplan el reciclado de los envases o su disposición en vertederos.

Este estudio aporta información relevante sobre el impacto ambiental de un producto agroalimentario de importancia para Mendoza, donde ha sido poco evaluado y donde no se registran precedentes acerca del impacto de su empaquetado primario. Además, se identifican puntos críticos en su ciclo de vida para realizar propuestas que permitan desarrollar alternativas de mejora. Los resultados y conclusiones obtenidos son de relevancia para la generación de información inexistente hasta la actualidad en la Provincia de Mendoza.

Por último, cabe destacar que este trabajo persigue las mismas guías de acción buscadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que Argentina se compromete a cumplir, como son el ODS 12 “producción y consumo responsable” y el ODS 13 “acciones por el clima”.

1.5. Objetivos del estudio

Para la realización de este trabajo, se plantearon los siguientes objetivos:

1.5.1. Objetivo general

Determinar los impactos sobre el ambiente derivados de la producción, distribución y disposición de aceite de oliva virgen extra, envasado en vidrio y PET, tomando como referencia el proceso de obtención de la fábrica experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO).

1.5.2. Objetivos particulares

A fin de alcanzar el objetivo general, se determinaron los siguientes objetivos particulares:

- Identificar las etapas y procesos del ciclo de vida de la producción de aceite de oliva que se consideren puntos críticos para cada una de las categorías de impacto ambiental evaluadas.
- Comparar el impacto sobre el ambiente derivado del envasado del aceite de oliva en botellas de vidrio y de PET.
- Comparar el impacto sobre el ambiente derivado del reciclaje y la disposición final de los envases de vidrio y de PET.

1.6. Hipótesis de trabajo

La producción de aceitunas, que ingresa como un insumo para la obtención de aceite de oliva virgen extra en la fábrica experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO), genera los mayores impactos sobre el ambiente en el ciclo de vida de este producto. Por su parte, la utilización de PET para el envasado del aceite genera mayores impactos sobre el ambiente que el uso de vidrio.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la realización de este trabajo fue el Análisis de Ciclo de Vida, descrito en los estándares internacionales ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. La norma ISO 14040:2006 define al ACV como una “recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida”.

Los estudios de ACV constan de cuatro fases, que se retroalimentan constantemente dada su naturaleza iterativa (Figura 10):

- Definición del objetivo y el alcance;
- Análisis del inventario de ciclo de vida (ICV);
- Evaluación de los impactos de ciclo de vida (EICV);
- Interpretación.

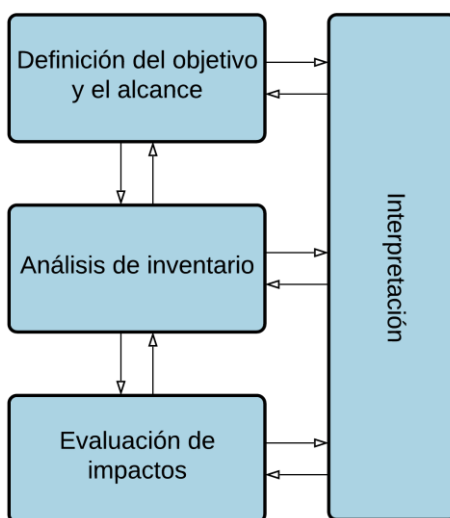


Figura 10. Fases de un ACV. Fuente: Elaborado con base en ISO (2006a).

2.1. Definición del objetivo y el alcance

En esta fase se definen los objetivos del estudio (ya descrito en el apartado 1.5) y se estipula el alcance. Este consta de diversos elementos, como la definición de la unidad funcional (UF), el flujo de referencia, el enfoque y los límites del sistema, los cuales se detallan a continuación.

2.1.1. Unidad funcional y flujo de referencia del sistema-producto

La UF se entiende como “el desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia en un estudio de ACV” (ISO, 2006a). Por tanto, su correcta determinación es de vital importancia, puesto que todo el análisis será referido a esta unidad. En este estudio, la UF escogida fue “producir, distribuir y disponer 500 ml de AOVE var. *Arauco* envasado (en vidrio y PET)”⁸.

En concordancia con la UF se establece el “flujo de referencia”, es decir la cantidad de producto que se obtiene de las salidas de los procesos en un sistema-producto determinado, que permite obtener la UF escogida (ISO, 2006b). En este estudio el flujo de referencia corresponde a 500 ml de AOVE var. *Arauco* envasado.

⁸ La disposición se refiere al envase del AOVE, puesto que el producto en sí no requiere tratamiento ni disposición final.

2.1.2. Enfoque, descripción y límites del sistema-producto

En esta investigación se realizó un ACV del sistema-producto considerando la extracción y transporte de las materias primas, la etapa agrícola (producción de las aceitunas), el proceso de obtención y fraccionamiento del aceite (en envases de vidrio y de PET) realizado en la planta piloto de la FCA, la distribución, y el fin de vida, donde se evaluó alternativamente el reciclaje de los envases y su disposición final. Por lo tanto, se utilizaron dos enfoques: “de la cuna a la tumba”, cuando se consideró hasta la disposición final del envase y “de la cuna a la cuna”, cuando se abordó el reciclaje de los envases, ya que el material reciclado puede ingresar en el ciclo de vida de otro producto.

Por su parte, los límites del sistema definen los “procesos unitarios” considerados dentro del estudio de ACV. Se define al proceso unitario como el “menor elemento considerado en el análisis de inventario de ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida” (ISO, 2006a).

Los procesos incluidos dentro de los límites del sistema se agruparon como sigue:

- Procesos de primer plano: procesos de obtención del AOVE en la fábrica de la FCA, procesos de distribución del producto, procesos de gestión de fin de vida de los envases (disposición en vertedero y reciclado), cuyos datos fueron utilizados para la confección del inventario de ciclo de vida. Estos procesos se agruparon en las etapas de obtención del AOVE, la distribución y comercialización del producto, y el fin de vida del envase, considerando la disposición en vertedero y el reciclado de los mismos (tal como se sintetiza en la Figura 21).
- Procesos de fondo: extracción y procesamiento de materias primas, producción y distribución de los insumos materiales (aceitunas, botellas, detergente, tierras filtrantes y agua de red), generación y distribución de la energía utilizada. Los mismos se obtuvieron de inventarios de ciclo de vida contenidos en la base de datos Ecoinvent v. 3.5.

De toda la cadena de suministro alimentaria, un eslabón pertenece al proceso de obtención y fraccionamiento del aceite. El proceso de obtención se estudió a partir de los procesos unitarios llevados a cabo en la fábrica de la FCA (cuya ubicación se muestra en la Figura 11), que se describen a continuación y se sintetizan en la Figura 19.



Figura 11. Ubicación (punto gris) de la planta piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo (Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina). Fuente: elaboración propia basada en imagen de Google Earth (2017). WGS 84- EPSG 3857.

Recepción de las aceitunas

Las actividades desarrolladas por la planta piloto de la FCA comienzan con la recepción de aceitunas. Las aceitunas provienen de fincas privadas situadas en Lavalle, Maipú y Luján de Cuyo (Mendoza), que los productores entregan a la Facultad a cambio de un porcentaje de aceite (modalidad de trabajo por fasón). En la fábrica se reciben aproximadamente 10 productores por día (Figura 12), ya que la máxima capacidad de producción son 3000 kg de aceitunas/día, durante toda la temporada (6 semanas aproximadamente). En cada ingreso, se estima que el 60 % del total recibido por temporada pertenece a la variedad *Arauco* (utilizada para la producción del varietal estudiado). Luego de la recepción, se pesa el material recibido y se realiza un control de calidad de la aceituna para determinar si es apta para la molienda.



Figura 12. Recepción de aceitunas. Fuente: Araniti (2013).

Preparación de las aceitunas

Una vez ingresadas las aceitunas, comienza el circuito (ilustrado en la Figura 13) de obtención de aceite correspondiente al equipo operativo "Oliomio". En primer lugar, las aceitunas son acondicionadas, para lo cual se las coloca en una tolva de descarga, que agiliza su ingreso mediante una cinta transportadora hacia la despalladora. Luego, las aceitunas son depositadas en una máquina lavadora a fin de eliminar las impurezas (tales como piedras, tierra, etc.), que pueden acompañar al fruto.



Figura 13. Preparación de las aceitunas. A) Tolva receptora y cinta transportadora, B) Despalladora, y C) Cuba de lavado. Fuente: Chumbita (2017).

Procesamiento de las aceitunas

La preparación de la pasta comienza cuando el molino, alimentado por un sinfín, recibe los frutos y rompe los tejidos vegetales para liberar las gotas de aceite. Esta pasta ingresa en el primer amasador, de doble camisa (termo amasador), conectado a un termotanque que mantiene el agua recirculando entre los 30 y 32 °C. Las paletas giratorias y el aumento de la temperatura facilitan la separación del aceite (se vuelve menos viscoso al aumentar la temperatura) del resto de la pasta. De allí la pasta se envía a un segundo amasador que continúa la agitación. A continuación, la pasta ingresa a una centrífuga horizontal (*decanter*) de dos fases que, por acción de fuerza centrífuga (alcanza 4500 rpm), y en casos con ayuda de agua inyectada de la red (para mejorar el rendimiento del *decanter*), separa la fase oleosa (más liviana, que se ubica en el anillo interno) de la fase acuosa (alpechín o agua de vegetación) y de la fase sólida (orujo o restos de exocarpo, pulpa y carozo), llamada en conjunto "alperujo" (más densa, que se ubica hacia el exterior del *decanter*), tal como se muestra en la Figura 14. Los productos que se obtienen son, por un lado, el alperujo, como residuo semisólido al que en muchos casos debe adicionarse una pequeña cantidad de agua para facilitar su movilidad hacia un contenedor ubicado fuera de la planta piloto; y, por otro lado, el mosto oleoso (aceite sucio por tener agua de vegetación emulsionada). Este aceite sucio se redirecciona a la centrífuga vertical para sacar borras y restos de agua vegetal. Para ello, se inyecta agua de red que facilita la separación de las dos fases líquidas: aceite y alpechín (que se envía a la planta de tratamiento) (Figura 15).



Figura 14. Procesamiento de las aceitunas. A) Molino y termoamasador, B) 2° amasador, C) Centrífuga horizontal o decanter, D) Centrífuga vertical. Fuente: elaboración propia.

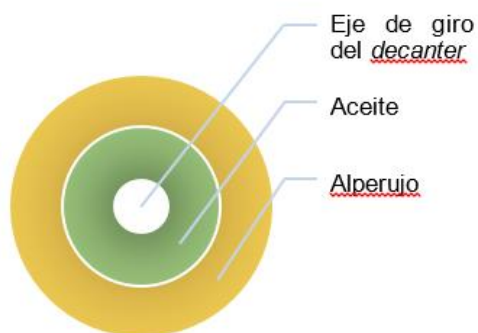


Figura15. Separación de los componentes de la pasta de la aceituna en centrífuga horizontal. Fuente: elaboración propia.

Depuración del aceite

Una vez obtenido el aceite, éste pasa por un tamiz y de allí se bombea a tanques de decantación, donde se deja reposar por 30 días. Allí, la mayor parte de las partículas se separan por decantación natural. El resto de las partículas deben eliminarse mediante el proceso de filtración con tierras filtrantes, donde quedan retenidas las impurezas, obteniéndose un aceite limpio y brillante (Figura 16 y Figura 17).



Figura16. Depuración del aceite. Tamiz. Fuente: Chumbita (2017).

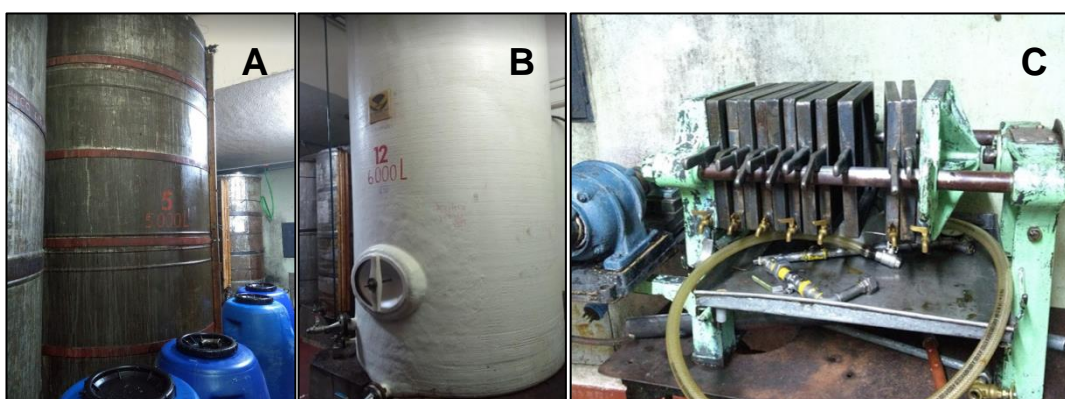


Figura17. Depuración del aceite. A y B) Tanques de decantación, C) Camisas de filtración. Fuente: elaboración propia.

Fraccionamiento del aceite

Finalmente, el aceite obtenido está listo para ser envasado. Para tal fin, el aceite es bombeado hacia un tanque de acero inoxidable con un dosificador que facilita el llenado de los envases, tarea que se realiza manualmente (Figura 18). De esta manera, el producto obtenido está listo para continuar a la etapa de distribución.

Limpieza de la maquinaria

Al terminar cada turno de trabajo, se realiza la limpieza del recinto. Para ello se dispone de agua y detergente, que luego se convierten en efluentes líquidos y son tratados en la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Agrarias.



Figura 18. Fraccionamiento del aceite. Fuente: elaboración propia.

La Figura 19 sintetiza el proceso de obtención y fraccionamiento del AOVE descrito anteriormente.

A continuación se describen procesos de distribución y comercialización del AOVE.

En la etapa de distribución se consideró el transporte del AOVE envasado hasta los dos puntos donde se lo comercializa: la Facultad de Ciencias Agrarias y el DAMSU⁹. En el caso de la FCA (que comercializa el 65 % del total de la producción) no se contabilizó ninguna distancia de transporte, por encontrarse emplazada junto a la fábrica. Sin embargo, sí se consideró el trayecto de transporte hasta el DAMSU (que recibe el 35 % del total producido), ya que se encuentra ubicado en la ciudad universitaria (a 20 km de distancia de la fábrica). Hasta aquí se detallaron los procesos a cargo de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Por otra parte, se tuvo en cuenta el traslado en automóvil (como movilidad del consumidor del AOVE) del aceite envasado desde los puntos de venta hacia el hogar del consumidor. Para ello, se supuso que el hogar del consumidor se sitúa en el “km 0” de la Ciudad de Mendoza. De esta manera, se contabilizó la distancia desde la FCA hasta el “km 0” y desde el DAMSU hasta el “km 0”. Por otra parte, con el objeto de asignar los procesos de transporte del aceite (esto es, contabilizar la proporción de un proceso de transporte que le correspondería al aceite y no a otros productos), fue necesario conocer los hábitos de compra de los consumidores. A tal fin, se realizó una encuesta en línea a 204 personas, que permitió estimar la proporción de consumidores que usarían el automóvil para llegar a los puntos de venta. Adicionalmente, se consideró la proporción de consumidores que viajarían exclusivamente a los puntos de venta para la compra de productos, teniendo en cuenta la cantidad mínima de productos que justificarían dicho viaje. De este modo, se obtuvo un factor de ponderación para asignar los procesos de transporte en automóvil ocasionados por la compra del AOVE (Anexo 1).

En las etapas de almacenamiento y uso del AOVE solo se consideró la producción del residuo del envase, puesto que no se realizan otros procesos, como el uso de materiales o energía (por ejemplo, energía para refrigeración o para cocción) y no se producen emisiones o desperdicios significativos del producto.

⁹ DAMSU: Departamento de Asistencia Médico Social Universitario, perteneciente a la UNCUYO, y ubicado en el predio universitario de la Ciudad de Mendoza.

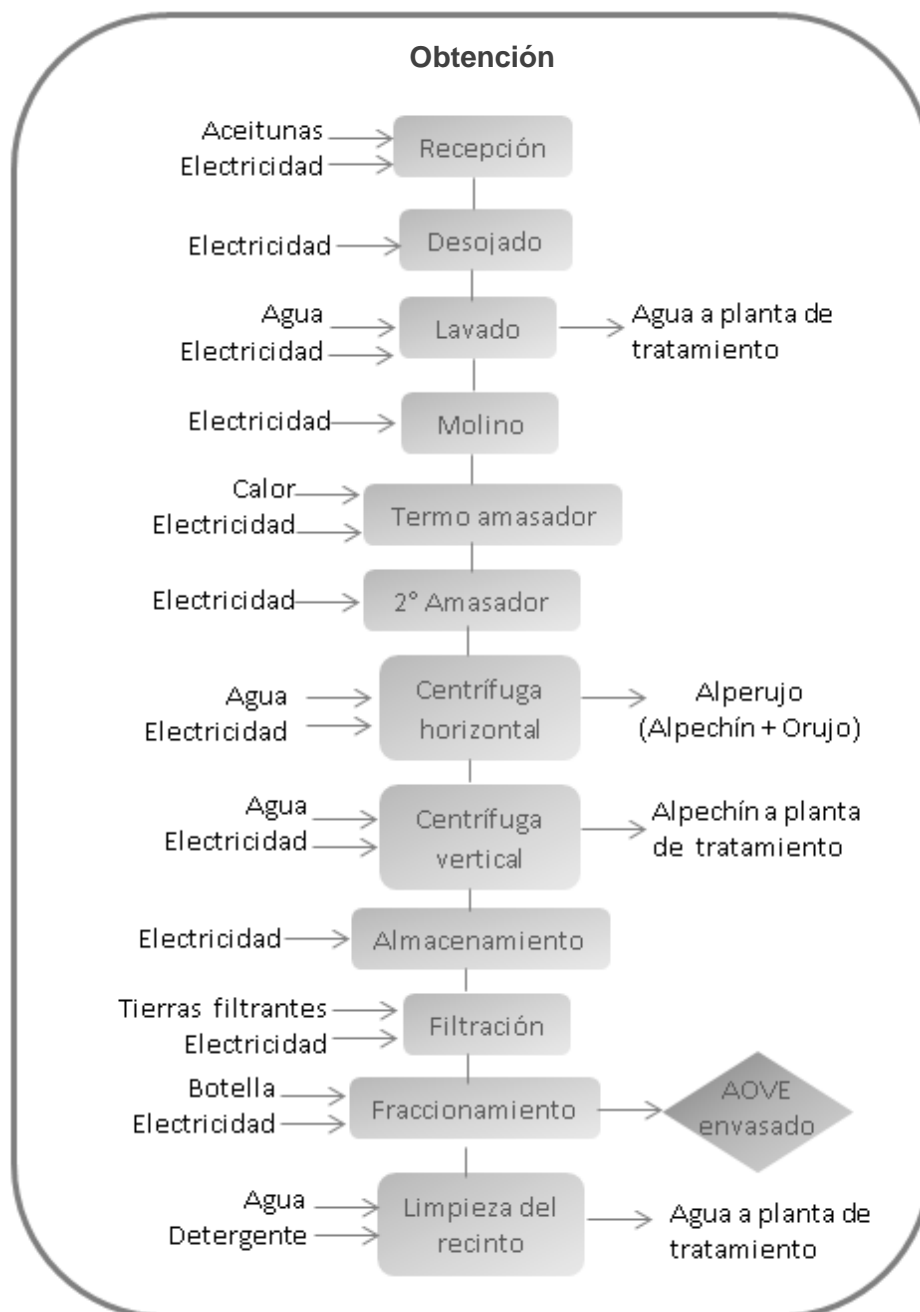


Figura 19. Diagrama de flujo de los procesos unitarios considerados en la etapa de obtención en la FCA. Fuente: elaboración propia

Si bien la FCA no lleva adelante la etapa de gestión de fin de vida de los envases de AOVE, para considerar dicha etapa se propusieron dos procesos alternativos: disposición en vertedero y reciclado. Para la disposición en vertedero, se consideró el traslado del envase (a cargo de una unidad municipal de recolección de residuos) desde el hogar hasta el vertedero municipal “El Borbollón” (emplazado en el Departamento de Las Heras, Mendoza) y el proceso propio de la degradación de los envases allí. Por su parte, para evaluar el reciclado de los envases, se consideró su transporte hasta los centros de reciclado más los impactos propios del proceso de reciclaje. El transporte se estructuró en dos tramos: el primer trayecto se midió desde el hogar del consumidor hasta el acopiador de materiales reciclables “Favorable S.A.” (ubicado en el Departamento de Las Heras, Mendoza). Para este trayecto se estandarizó el vehículo de los recolectores urbanos, utilizando una unidad

motorizada con acoplado¹⁰. El segundo flete correspondió al trayecto desde el acopiador hasta las plantas recicladoras (Figura 20). En el caso del vidrio, se consideró la recicladora “Cattorini hnos. S.A.”¹¹, que se encuentra en el Departamento de Maipú, Mendoza. En el caso del PET, se consideró la planta recicladora de PET con la cual trabaja Favorable S.A, denominada “Ecopek”, que se ubica en General Pacheco, Provincia de Buenos Aires.

Por último, en cuanto al proceso de reciclado, se consideró únicamente el consumo energético asociado, puesto que no se disponía de datos de insumos materiales utilizados para el reciclaje del PET en el inventario contenido en la base de datos Ecoinvent v. 3.5. En el caso del vidrio, no se halló un inventario disponible en la base de datos usada. Por consiguiente, se elaboró un ICV consignando el consumo energético para el reciclaje de vidrio. Los datos fueron provistos por Cattorini hnos. S.A. En ambos casos, se estimó una tasa de reemplazo de 100 %, es decir, que los materiales reciclados son capaces de sustituir la misma cantidad del material virgen correspondiente.



Figura 20. Distribución de envases hacia plantas recicladoras. A) Recepción del PET en el acopiador, B) Recepción del vidrio en el acopiador, C) PET listo para ser transportado a la recicladora, D) Camión con vidrio para ser transportado a la recicladora. Fuente: elaboración propia.

A partir de las consideraciones descriptas, se construyeron 4 escenarios alternativos para el análisis del sistema-producto, que surgen de la combinación de 2 opciones de material de envase y de 2 opciones de gestión de fin de vida de los envases. Los escenarios se denominaron como: Vidrio-Vertedero, Vidrio-Reciclado, PET-Vertedero y PET-Reciclado. Para cada escenario se consideró el 100 % de factibilidad, sin considerar la tasa actual de reciclaje de cada material, ni los hábitos de la ciudadanía hacia el reciclaje o la disposición en vertedero.

¹⁰ Se tomó como base el vehículo considerado en el “Programa de Sustitución de Vehículos de Tracción Animal”, regido por la ordenanza municipal 6357 del Departamento de Godoy Cruz, Mendoza.

¹¹ Única empresa de vidrio que compra vidrio para reciclar, en Mendoza. (Bobillo et al 2017)

La Figura 21 presenta los límites del sistema-producto, mostrando las etapas que integran el ciclo de vida del producto evaluado, y diferenciando los procesos de primer plano y de fondo.

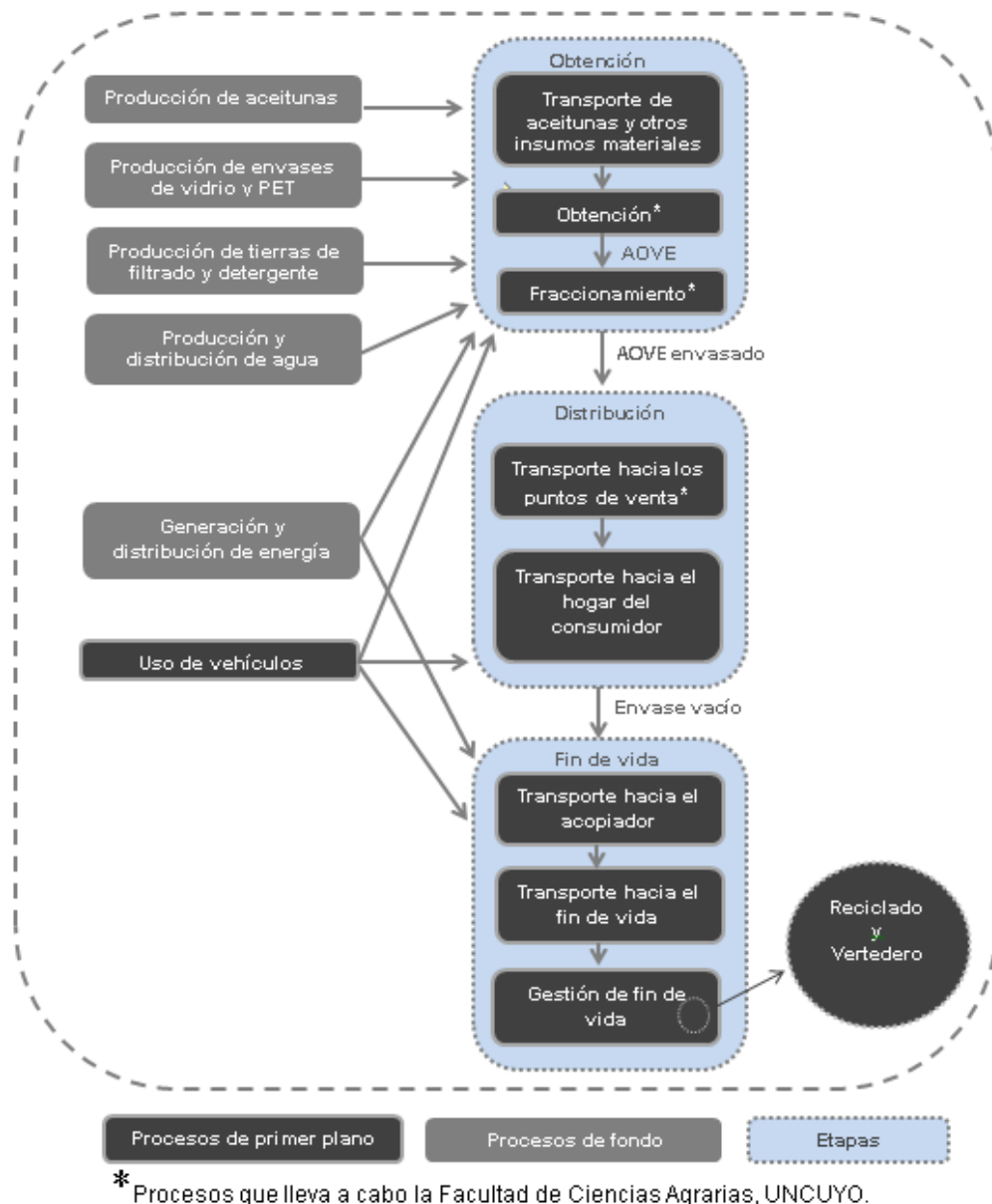


Figura 21. Límites del sistema-producto. Fuente: elaboración propia.

2.2. Descripción del inventario de ciclo de vida

Para la confección del inventario de ciclo de vida de un sistema-producto deben considerarse todos los procesos y los flujos incluidos en los límites del sistema. Para excluir algún proceso, entrada o salida (siempre que su exclusión no altere las conclusiones del estudio), deben determinarse los "criterios de corte" y justificarse debidamente (ISO, 2006b). En virtud de los datos suministrados por la fábrica de la FCA, se confeccionó el ICV del sistema-producto descrito, estableciendo una regla de corte de 1 % en base a la masa para las entradas de insumos materiales.

Los resultados del ICV se presentan en la Tabla 1. Para su confección fue necesario definir el procesamiento total de aceitunas en toda una temporada. Debido a que en el corriente año la planta piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias no pudo elaborar AOVE, se accedió a documentación de los últimos 3 años de obtención de aceite. Estos evidenciaron la variabilidad en la cantidad de aceitunas procesadas en cada temporada: en 2017, se

procesaron 65.000 kg; en 2018, 210.000; y en 2019, 100.000 kg. Por este motivo, se decidió promediar estos valores y se consideró el procesamiento de 125.000 kg de aceituna/temporada. Otro dato necesario para los cálculos del ICV fue la duración de la temporada, la cual varía año a año. Se estimó una temporada de trabajo de 42 días hábiles (que correspondería con una temporada que inicia a mediados del mes de mayo y finaliza a mediados del mes de julio) a partir de los siguientes datos: capacidad máxima de procesamiento por día (3.000 kg/turno), realización de un turno por día, duración de la jornada por turno (11 horas, ya que 1 hora se destina a la limpieza del recinto), eficiencia real del sistema operativo “Oliomio” (promedio de 270 kg/hora), y procesamiento total de aceitunas (1250.000 kg/temporada).

Tabla 1. Resultados del inventario de ciclo de vida para la unidad funcional considerada, de acuerdo a los 4 escenarios propuestos.

ENTRADAS	Unidad	Vidrio Vertedero	Vidrio Reciclado	PET Vertedero	PET Reciclado
INSUMOS					
Aceitunas	kg	3,57E+00	3,57E+00	3,57E+00	3,57E+00
Agua para lavado de aceitunas	L	1,53E+00	1,53E+00	1,53E+00	1,53E+00
Agua inyectada en centrífuga horizontal	L	3,89E-01	3,89E-01	3,89E-01	3,89E-01
Agua inyectada en centrífuga vertical	L	6,09E-03	6,09E-03	6,09E-03	6,09E-03
Tierras para dosificación (filtración)	kg	2,50E-04	2,50E-04	2,50E-04	2,50E-04
Tierra precapa (filtración)	kg	1,75E-04	1,75E-04	1,75E-04	1,75E-04
Agua para limpieza de recinto	L	2,40E-01	2,40E-01	2,40E-01	2,40E-01
Detergente	kg	2,86E-04	2,86E-04	2,86E-04	2,86E-04
Envases	kg	3,70E-01	3,70E-01	1,50E-02	1,50E-02
TRANSPORTE					
Aceitunas de Luján a FCA	kgkm	1,71E+00	1,71E+00	1,71E+00	1,71E+00
Aceitunas de Maipú a FCA	kgkm	1,86E+01	1,86E+01	1,86E+01	1,86E+01
Aceitunas de Lavalle a FCA	kgkm	9,28E+01	9,28E+01	9,28E+01	9,28E+01
Tierra para dosificación, flete largo de Chile a distribuidora Chirca	kgkm	5,29E-01	5,29E-01	5,29E-01	5,29E-01
Tierra para precapa, flete largo de Chile a distribuidora Chirca	kgkm	3,70E-01	3,70E-01	3,70E-01	3,70E-01
Detergente, flete largo de Bs As a distribuidora Chirca	kgkm	2,93E-01	2,93E-01	2,93E-01	2,93E-01
Tierra para dosificación, flete corto de distribuidora Chirca a FCA	kgkm	3,94E-03	3,94E-03	3,94E-03	3,94E-03
Tierra precapa, flete corto de distribuidora Chirca a FCA	kgkm	2,76E-03	2,76E-03	2,76E-03	2,76E-03
Detergente, flete corto de distribuidora Chirca a FCA	kgkm	4,86E-03	4,86E-03	4,86E-03	4,86E-03
Botella vacía, flete largo de	kgkm	3,97E+02	3,97E+02	1,01E+01	1,01E+01

fábrica a Distribuidora Envases Mza					
Botella vacía, flete corto de Distribuidora Envases Mza a FCA	kgkm	5,92E+00	5,92E+00	2,40E-01	2,40E-01
Producto envasado desde la FCA hasta el DAMSU	kgkm	5,85E+00	5,85E+00	3,36E+00	3,36E+00
Producto envasado desde el DAMSU hasta el hogar (Mza)	km	1,86E-01	1,86E-01	1,86E-01	1,86E-01
Producto envasado desde la FCA hasta el hogar (Mza)	km	1,13E+00	1,13E+00	1,13E+00	1,13E+00
Botella vacía de desde el hogar (Mza) hasta el acopiador Favorable S.A.	personakm	-	2,33E-03	-	9,43E-05
Botella vacía desde el acopiador Favorable S.A. hasta recicladora	kgkm	-	5,55E+00	-	1,55E+01
Botella vacía desde el hogar (Mza) hasta el vertedero El Borbollón	kgkm	5,18E+00	-	2,10E-01	-
ELECTRICIDAD (según equipamiento)					
Cinta transportadora	kWh	1,08E-02	1,08E-02	1,08E-02	1,08E-02
Despalilladora	kWh	1,05E-02	1,05E-02	1,05E-02	1,05E-02
Lavadora	kWh	5,37E-03	5,37E-03	5,37E-03	5,37E-03
Sinfín	kWh	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03
2° Sinfín (ingreso al molino)	kWh	1,05E-02	1,05E-02	1,05E-02	1,05E-02
Molino	kWh	5,76E-02	5,76E-02	5,76E-02	5,76E-02
1° Amasador	kWh	2,16E-02	2,16E-02	2,16E-02	2,16E-02
Motor que mueve la bomba de agua (doble camisa)	kWh	5,37E-03	5,37E-03	5,37E-03	5,37E-03
Pasaje del 1° al 2° amasador	kWh	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03
Elevación de la pasta	kWh	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03
2° amasador	kWh	2,16E-02	2,16E-02	2,16E-02	2,16E-02
Pasaje al decantar	kWh	2,16E-02	2,16E-02	2,16E-02	2,16E-02
<i>Decanter</i>	kWh	7,92E-02	7,92E-02	7,92E-02	7,92E-02
Motor que saca el alperujo	kWh	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03	5,33E-03
Pasaje desde el decantador de aceite hasta la tolva	kWh	7,20E-03	7,20E-03	7,20E-03	7,20E-03
Centrífuga vertical	kWh	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02
Pasaje de centrífuga a tanques	kWh	7,20E-03	7,20E-03	7,20E-03	7,20E-03
Pasaje de los tanques a los filtros	kWh	1,07E-02	1,07E-02	1,07E-02	1,07E-02
Filtros	kWh	1,15E-02	1,15E-02	1,15E-02	1,15E-02
Pasaje de los filtros a tanques	kWh	1,61E-02	1,61E-02	1,61E-02	1,61E-02

Pasaje a fraccionamiento	kWh	1,07E-02	1,07E-02	1,07E-02	1,07E-02
Salida del alpechín a la planta de tratamiento	kWh	1,61E-02	1,61E-02	1,61E-02	1,61E-02
Elevación del alperujo	kWh	2,51E-04	2,51E-04	2,51E-04	2,51E-04
CALOR					
Termotanque	kcal	2,67E+00	2,67E+00	2,67E+00	2,67E+00
SALIDAS					
EMISIONES AL AGUA					
Agua del lavado de aceitunas	L	1,53E+00	1,53E+00	1,53E+00	1,53E+00
Agua inyectada en la centrífuga vertical	L	6,09E-03	6,09E-03	6,09E-03	6,09E-03
Agua del lavado del recinto	L	2,40E-01	2,40E-01	2,40E-01	2,40E-01
Detergente	kg	2,86E-04	2,86E-04	2,86E-04	2,86E-04
EMISIONES AL SUELO					
Alperujo (alpechín + orujo) del decanter	kg	2,72E+00	2,72E+00	2,72E+00	2,72E+00
Alpechín de la centrífuga vertical	kg	3,58E-01	3,58E-01	3,58E-01	3,58E-01
FLUJO FINALES DE RESIDUOS					
Material (tierra de lavado)	kg	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04
Palitos y hojas (despalilladora)	kg	6,60E-02	6,60E-02	6,60E-02	6,60E-02

Los inventarios para los procesos de fondo (tomados de la base de datos Ecoinvent v. 3.5) fueron adaptados al contexto local siempre que fue pertinente, tal como se detalla en el Anexo 2. En este punto es necesario destacar que el proceso de producción de aceitunas reviste una importancia particular, por ser un insumo clave para la obtención de aceite de oliva. Sin embargo, la confección de un inventario de ciclo de vida para este proceso se encuentra fuera de los alcances de este trabajo. Por esta razón, se tomó un inventario contenido en la base de datos mencionada, que describe la producción convencional de aceitunas bajo riego en España, con un rendimiento promedio de 5 ton/ha, utilizando fertilizantes y pesticidas químicos. Las actividades incluidas abarcan todas las realizadas durante un año de la fase productiva del cultivo.

2.3. Selección de categorías y métodos de evaluación de impactos

La Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida (EICV) toma los resultados del ICV para analizar los impactos ambientales potenciales asociados al sistema-producto estudiado (ISO, 2006b).

La norma ISO 14044:2006 establece que la EICV posee elementos obligatorios y elementos opcionales. Entre los elementos obligatorios se encuentra la selección de las “categorías de impacto” que serán evaluadas, ya que en conjunto describirán el “perfil ambiental” del producto estudiado. Por su parte el impacto ambiental del producto analizado en cada categoría se expresa a través de “indicadores de categoría”. Éstos se calculan utilizando “modelos de caracterización”, que representan los mecanismos ambientales o cadenas de causa-efecto por la cuales se vinculan las intervenciones ambientales cuantificadas en los ICV con los efectos ambientales o impactos potenciales. Para llevar a cabo la EICV se utilizó el software SimaPro ® v.9.0.0.32, que contiene diferentes métodos de evaluación de

impactos desarrollados en el marco del ACV. En este trabajo, se recurrió al método ReCiPe 2016 Midpoint (H) (Huijbregts et al., 2016) para evaluar las siguientes categorías de impacto:

- Cambio climático;
- Eutrofización de agua dulce;
- Consumo de agua;
- Escasez de recursos minerales;
- Escasez de recursos fósiles.

Además, se utilizó el método Demanda Acumulada de Energía (en inglés, *Cumulative Energy Demand*) (Jungbluth y Frischknecht, 2007) para evaluar el consumo de energía primaria en el ciclo de vida del sistema-producto.

La elección de dichas categorías se basó en los impactos asociados al proceso de obtención de aceitunas, como consumo de agua, eutrofización de agua dulce (Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca 2000; Papadakis, 2006) y cambio climático (Proietti, 2014), así como los impactos ligados a la obtención de envases, como son la extracción de recursos minerales y de recursos fósiles. A su vez, se tuvo en cuenta que todo el proceso productivo es dependiente del uso de energía.

En la Tabla 2 se detallan los indicadores de categoría que se determinaron para analizar el perfil ambiental del AOVE envasado botellas de 500 ml de vidrio y de PET, según las categorías de impacto seleccionadas.

Tabla 2. Categorías de impacto seleccionadas, indicadores de categoría y unidades de medición de los indicadores de categoría.

Categoría de impacto	Indicador de categoría	Unidad de medición
Cambio climático	Incremento del forzamiento radiativo	kg CO ₂ eq
Eutrofización de agua dulce	Incremento de la concentración de fósforo en el agua dulce	kg P eq
Consumo de agua	Incremento del consumo de agua	m ³
Escasez de recursos minerales	Disminución de la ley del mineral	kg Cu eq
Escasez de recursos fósiles	Uso de energía según poder calorífico superior	kg oil eq
Demanda acumulada de energía	Uso de energía primaria	MJ

Por otra parte, la norma ISO 14044:2006 incluye dentro de los elementos opcionales a la normalización de los resultados de los indicadores de categoría. La normalización consiste en dividir los resultados de cada categoría evaluada por un factor de normalización. Ello transforma a los resultados en valores relativos y unifica las unidades, permitiendo la comparación de impactos entre categorías. Con el fin de contribuir a la interpretación de los resultados y de establecer la importancia relativa de las categorías evaluadas, en este estudio se normalizaron los resultados de todas las categorías evaluadas con el método ReCiPe 2016 Midpoint (H), utilizando los factores de normalización provistos por el mismo método (RIVM, 2019). De este modo, los resultados normalizados para todas las categorías quedan expresados en la unidad “persona.año”. Los resultados de la categoría “Demanda acumulada de energía” no fueron normalizados puesto que no se hallaron factores de normalización.

3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación de impactos originados en el ciclo de vida del aceite de oliva virgen extra, obtenido en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO). Se evaluaron 4 escenarios según el tipo de envase utilizado y su gestión en el fin de vida: 1) Vidrio-Vertedero; 2) Vidrio-Reciclado; 3) PET-Vertedero; y, 4) PET-Reciclado. Los impactos se analizaron en 6 categorías: cambio climático, eutrofización de agua dulce, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles, consumo de agua y demanda acumulada de energía, cuyos resultados se muestran en la Figura 22.

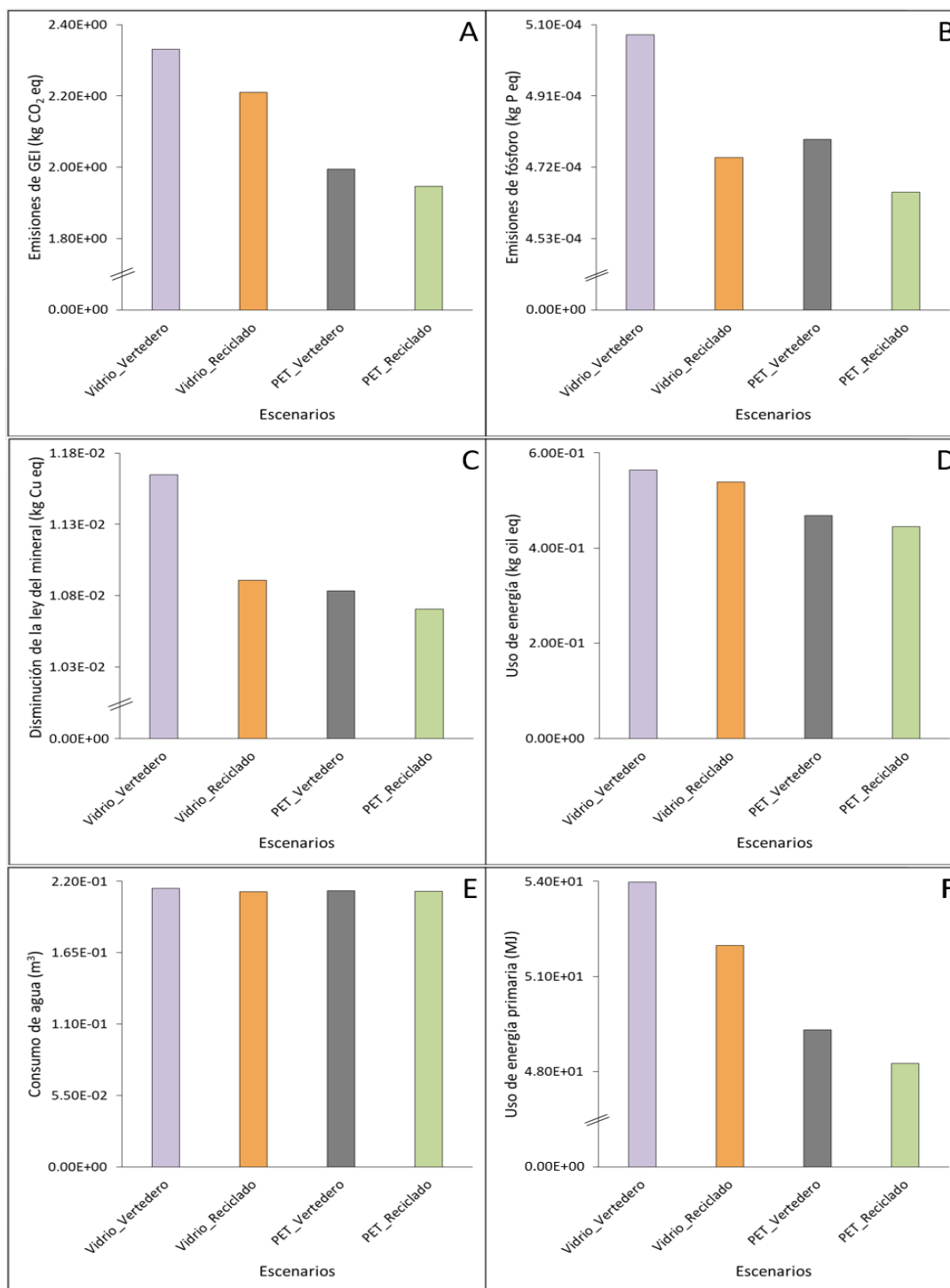


Figura 22. Resultados de la evaluación de impactos para cada categoría según los escenarios analizados. A) Cambio climático, B) Eutrofización de agua dulce, C) Escasez de recursos minerales, D) Escasez de recursos fósiles, E) Consumo de agua, F) Demanda acumulada de energía.

A continuación, se ofrece un análisis detallado de los impactos por categoría.

3.1 Impactos sobre el cambio climático

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) del sistema-producto evaluado variaron según los escenarios analizados, como muestra la Figura 22A. Los resultados reflejaron menores emisiones de GEI en los escenarios que contemplan envasado en PET, en relación a los que consideran envasado en vidrio. Del mismo modo, los escenarios con fin de vida reciclado exhibieron mejores resultados que los correspondientes a vertedero. El mejor desempeño ambiental se halló en el escenario PET-Reciclado y el peor, en el escenario Vidrio-Vertedero.

La Figura 23 muestra la contribución de cada etapa del ciclo de vida a los impactos sobre el cambio climático. La etapa de obtención evidenció la mayor contribución al impacto total en los 4 escenarios, siendo 20,5 % mayor en los dos escenarios de envasado en vidrio frente a los de envasado en PET. La etapa de distribución del producto se ubicó en segundo lugar, mostrando un leve aumento del impacto para los escenarios de envasado en vidrio, que fue 0,5 % superior en relación a los de envasado en PET. Finalmente la etapa de fin de vida exhibió la menor contribución al impacto total. Dentro de esta etapa, los escenarios con disposición en vertedero mostraron contribuciones menores al 1 % del total, mientras que los escenarios de reciclado presentaron una disminución al impacto total del ciclo de vida, de hasta 5 %.

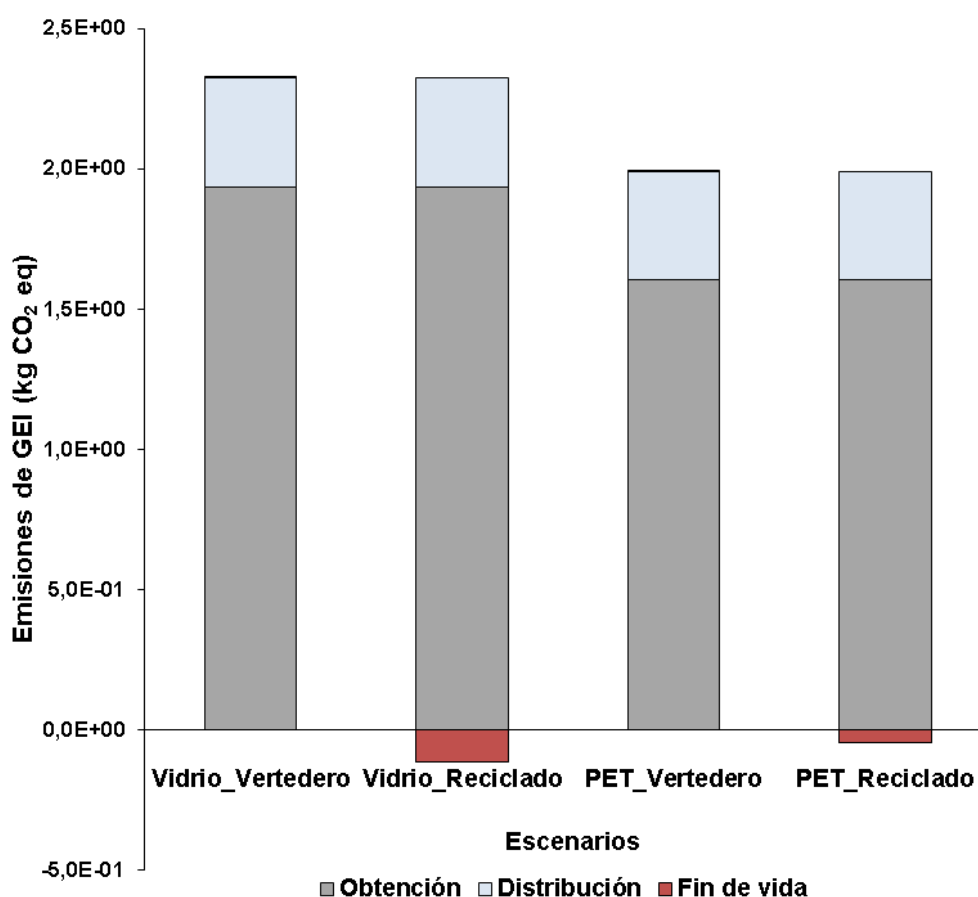


Figura 23. Contribución por etapas a los impactos sobre el cambio climático.

La mayor contribución de la etapa de obtención es consecuencia del proceso de producción de las aceitunas, que ingresan como insumo en esta etapa para la fabricación del aceite. En efecto, como muestra la Tabla 3, la producción de las aceitunas mostró una alta contribución al impacto sobre el cambio climático, que alcanzó entre 55,8 y 66,7 % del impacto total, según el escenario. En todos los casos, este aporte se debe en mayor medida al uso de

fertilizantes nitrogenados. Por su parte, el consumo de energía (tanto de electricidad como de calor) representó entre 8,5 y 10,1 % del impacto total, según el escenario, mientras que los procesos de producción de agua e insumos materiales (a excepción de las botellas de vidrio), y de transporte de aceitunas e insumos mostraron contribuciones menores. Sin embargo, los procesos de producción y transporte de la botella de vidrio (desde la fábrica hasta el distribuidor y desde este hasta la FCA) contabilizaron el 16,4 y el 17,3 % del impacto total en esta categoría para los escenarios Vidrio-Vertedero y Vidrio-Reciclado, respectivamente. Además, estos implicaron emisiones de GEI 7 veces superiores en relación a la producción y transporte de la botella de PET. Este resultado explica la diferencia de impacto observada entre los escenarios de envasado en vidrio y los escenarios de envasado en PET durante la etapa de obtención del aceite.

Tabla 3. Emisiones de gases de efecto invernadero (kg CO₂ eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.

Etapa	Procesos	Escenarios			
		Vidrio Vertedero	Vidrio Reciclado	PET Vertedero	PET Reciclado
Obtención	Producción de aceitunas	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00
	Producción y distribución de agua	1,54E-03	1,54E-03	1,54E-03	1,54E-03
	Producción de tierras de filtrado	1,58E-05	1,58E-05	1,58E-05	1,58E-05
	Producción de detergente	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04
	Producción de botella	3,13E-01	3,13E-01	5,08E-02	5,08E-02
	Transporte de aceitunas	5,82E-02	5,82E-02	5,82E-02	5,82E-02
	Transporte de insumos	2,04E-04	2,04E-04	2,04E-04	2,04E-04
	Transporte de botella	6,90E-02	6,90E-02	1,81E-03	1,81E-03
	Generación y distribución de electricidad	1,97E-01	1,97E-01	1,97E-01	1,97E-01
	Generación de calor	8,63E-04	8,63E-04	8,63E-04	8,63E-04
Distribución	Transporte al punto de venta	3,01E-03	3,01E-03	1,73E-03	1,73E-03
	Transporte al hogar	3,84E-01	3,84E-01	3,84E-01	3,84E-01
Fin de vida	Transporte fin de vida	6,69E-03	7,58E-04	2,71E-04	1,41E-03
	Fin de vida	1,66E-03	-1,14E-01	2,36E-03	-4,71E-02
Total		2,33E+00	2,21E+00	1,99E+00	1,95E+00

En cuanto a la etapa de distribución, el mayor impacto se asoció al proceso de transporte del producto al hogar, como consecuencia primaria de las emisiones asociadas a la producción y consumo del combustible empleado por el automóvil. Este proceso representó entre 16,5 y 17,4 % del impacto total para los escenarios de envasado en vidrio, y entre 19,3 y 19,7 % para los escenarios de envasado en PET.

Por último, respecto a la etapa de fin de vida, al analizar la disposición en vertedero, se observó mayor impacto para el escenario de envasado en vidrio, que fue 217,9 % superior respecto al escenario de envasado en PET. Esto se explica por el mayor impacto originado por el transporte de la botella de vidrio como consecuencia de su mayor peso, puesto que las emisiones de GEI en el vertedero son mayores para la botella de PET. Por su parte, al considerar el reciclado, los escenarios de envasado en vidrio mostraron mejor comportamiento, ya que la disminución de las emisiones de GEI fue 146,6 % superior que

en los escenarios de envasado en PET. Esta diferencia se debe principalmente a que la cantidad de materiales vírgenes que se evita extraer y procesar en el futuro es mayor en el caso del reciclado de las botellas de vidrio que en las botellas de PET, ya que el diseño de las primeras implica el uso de mayor cantidad de material.

A partir de los resultados descritos, se evidencia que la diferencia en el impacto sobre el cambio climático entre los escenarios que consideran envasado en vidrio y los que consideran envasado en PET se originaron en los procesos de fabricación y transporte de las botellas. Efectivamente, las emisiones de GEI por botella fueron mayores en la fabricación de las botellas de vidrio, mayoritariamente como consecuencia de la producción y utilización de ceniza de soda (carbonato de sodio) y otros compuestos químicos inorgánicos. Por su parte, en la fabricación de botellas de PET, las emisiones de GEI ocurrieron principalmente como consecuencia de la obtención y el uso de PET granulado. Asimismo, el mayor peso de las botellas de vidrio repercutió en los impactos asociados a los procesos de transporte (tanto de las botellas vacías, como del producto envasado).

Por otra parte, las diferencias mostradas entre los escenarios de reciclado y los que consideran disposición final en vertedero (comparando el mismo material de envase) se asociaron a los impactos evitados por los procesos de reciclado de cada material. En efecto, si bien los procesos de reciclado implicaron emisiones de GEI originadas por el consumo de energía, existió una disminución neta de las emisiones al reducir la extracción, procesamiento y uso de materiales vírgenes.

3.2. Impactos por eutrofización de agua dulce

Las emisiones totales de compuestos fosforados al agua dulce variaron en cada escenario propuesto, tal como se ve en la Figura 22B. Entre los escenarios analizados, aquellos con fin de vida reciclado presentaron mejores resultados frente a aquellos con fin de vida en vertedero. La comparación entre las alternativas con fin de vida en vertedero muestra que el escenario con envasado en PET tuvo mejor desempeño que el envasado en vidrio; sin embargo, la comparación de escenarios con fin de vida reciclado enseña al escenario con envasado en vidrio como mejor alternativa frente al escenario envasado en PET. Nuevamente, el escenario PET-Reciclado resultó ser la mejor opción, seguido por Vidrio-Reciclado y por PET-Vertedero. Por su parte, el escenario Vidrio-Vertedero exhibió el peor desempeño ambiental en esta categoría.

La Figura 24 muestra el aporte a la eutrofización de las etapas del ciclo de vida del producto estudiado. La etapa de obtención presentó la mayor incidencia en el impacto total. En ella, las emisiones de compuestos fosforados fueron 6,6 % superiores en los escenarios de envasado en vidrio que en los escenarios de envasado en PET. En segundo lugar se ubicó la etapa de distribución del producto, siendo 0,3 % mayor el impacto en los escenarios de envasado en vidrio frente a aquellos de envasado en PET. Por último, la etapa de fin de vida mostró las menores emisiones de todo el ciclo de vida del sistema-producto. Además, en esta etapa se observaron variaciones en los resultados entre los 4 escenarios. Al comparar la gestión en el fin de vida, se observó que la disposición en vertedero genera emisiones de hasta 0,01 % del total, mientras que el reciclado provoca una disminución de emisiones de hasta 6,8 % respecto al impacto total en esta categoría. Este es un aporte positivo que resulta significativo, ya que deja a ambos escenarios con fin de vida reciclado como los menos contaminantes.

Todos los procesos que participan en el ciclo de vida del producto aportaron compuestos fosforados al agua dulce, tal como se muestra en la Tabla 4. Dentro de la etapa de obtención, el proceso más impactante fue la producción de aceitunas debido al uso de fertilizantes fosforados. Este proceso representó entre el 71,0 y 78,0 % del total de P eq emitido, de acuerdo al escenario. Por su parte, el transporte de las aceitunas desde fincas de Lavalle, Luján y Maipú hasta la fábrica de la FCA mostró un aporte de aproximadamente 1,3 % en todos los casos, en tanto que el consumo energético (eléctrico y calórico) representó entre 5,8 y 6,2 %, según el escenario. El proceso de producción de botellas (que ingresan como insumo de esta etapa), evidenció grandes diferencias según el material

empleado. En los escenarios de uso de vidrio, este proceso representó entre 7,2 y 7,7 % del impacto total para Vidrio-Vertedero y Vidrio-Reciclado, respectivamente. Sin embargo, su contribución al impacto total alcanzó 3,0 y 3,1 % para PET-Vertedero y PET-Reciclado, respectivamente. El transporte de las botellas, desde la fábrica hasta la puerta de la FCA, representó un impacto exiguo, que llegó a 1,1 % en los escenarios de vidrio, y a 0,03 % en los escenarios de PET. Finalmente, el resto de los procesos que participan de la obtención del aceite, tales como la producción de tierras filtrantes y detergentes, sus fletes, y la producción y distribución de agua de red, en conjunto aportaron 0,0001 % de las emisiones totales.

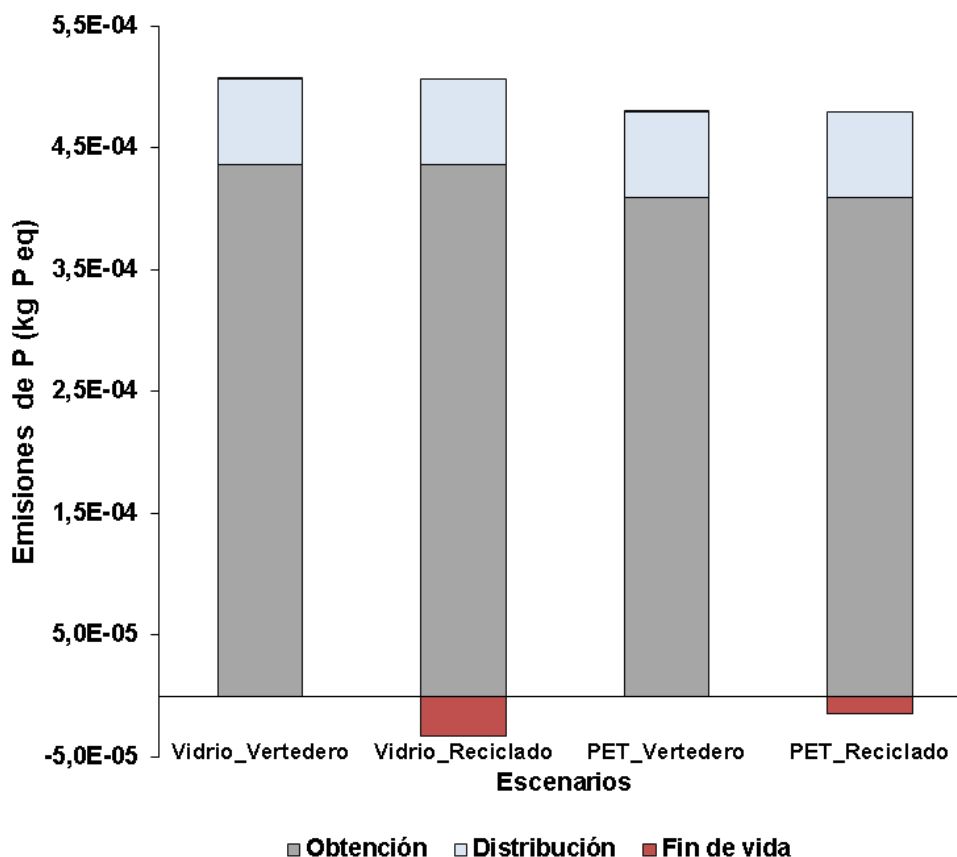


Figura 24. Contribución por etapas a la eutrofización de agua dulce.

Dentro de la etapa de distribución, el transporte del aceite desde los puntos de venta hacia el hogar del consumidor es el proceso que registró mayores emisiones de compuestos fosforados, alcanzando aproximadamente entre 13,9 y 15,1 % del total emitido, dependiendo del escenario. Las mayores emisiones se asociaron principalmente a la producción y utilización de combustible en el vehículo. En cambio, el transporte del aceite desde la puerta de la fábrica hasta sus puntos de venta presentó una contribución despreciable para todos los escenarios.

Finalmente, en la etapa de fin de vida, el proceso de transporte del envase hasta el sitio de gestión final presentó contribuciones menores al 0,05 % en todos los escenarios. Por otro lado, en los escenarios con disposición final en vertedero, si bien el envasado en vidrio generó emisiones 24,7 veces superiores al envasado en PET, en ambos casos las emisiones de compuestos fosforados debidas a la disposición final fueron despreciables. En cambio, los escenarios que consideran reciclado presentaron una importante disminución de las emisiones totales, en particular en el escenario Vidrio-Reciclado, donde la reducción fue 2,3 veces superior que en el escenario PET-Reciclado, como consecuencia de la mayor cantidad de material reciclado por unidad funcional.

De lo detallado hasta este punto, se denota que la diferencia en el impacto por eutrofización de agua dulce entre los escenarios que consideran envasado en vidrio y los que consideran envasado en PET se produjo mayoritariamente en los procesos de fabricación y transporte de las botellas. En efecto, las emisiones de compuestos fosforados por botella producida fueron mayores en la fabricación de las botellas de vidrio, como consecuencia primaria de la producción y utilización de químicos inorgánicos, como ceniza de soda (carbonato de sodio), mientras que en la fabricación de botellas de PET las mayores emisiones fueron consecuencia de la producción y utilización de tereftalato de polietileno y de compuestos orgánicos. Además, el mayor peso de las primeras implicó un aumento en los impactos originados por los procesos de transporte (tanto de las botellas vacías, como del producto envasado).

Por otra parte, las diferencias mostradas entre los escenarios de reciclado y los que consideran disposición final en vertedero (comparando el mismo material de envase) se atribuyen a los impactos evitados por los procesos de reciclado de cada material. Ciertamente, los procesos de reciclado provocaron una disminución neta de las emisiones de sustancias fosforadas al evitar la extracción, procesamiento y utilización de materiales vírgenes.

Tabla 4. Emisiones de sustancias fosforada (kg P eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.

Etapa	Procesos	Escenarios			
		Vidrio Vertedero	Vidrio Reciclado	PET Vertedero	PET Reciclado
Obtención	Producción de aceitunas	3,64E-04	3,64E-04	3,64E-04	3,64E-04
	Producción y distribución de agua	6,95E-07	6,95E-07	6,95E-07	6,95E-07
	Producción de tierras de filtrado	4,32E-09	4,32E-09	4,32E-09	4,32E-09
	Producción de detergente	1,56E-07	1,56E-07	1,56E-07	1,56E-07
	Producción de botella	3,66E-05	3,66E-05	1,45E-05	1,45E-05
	Transporte de aceitunas	6,25E-06	6,25E-06	6,25E-06	6,25E-06
	Transporte de insumos	1,61E-08	1,61E-08	1,61E-08	1,61E-08
	Transporte de botella	5,49E-06	5,49E-06	1,45E-07	1,45E-07
	Generación y distribución de electricidad	2,32E-05	2,32E-05	2,32E-05	2,32E-05
	Generación de calor	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08	2,67E-08
Distribución	Transporte al punto de venta	3,23E-07	3,23E-07	1,86E-07	1,86E-07
	Transporte al hogar	7,04E-05	7,04E-05	7,04E-05	7,04E-05
Fin de vida	Transporte fin de vida	1,86E-07	5,59E-08	7,53E-09	1,08E-07
	Fin de vida	7,45E-08	-3,25E-05	3,02E-09	-1,42E-05
Total		5,07E-04	4,75E-04	4,79E-04	4,65E-04

3.3. Impactos por escasez de recursos minerales

La escasez de recursos minerales generada en el ciclo de vida del producto evaluado se muestra en la Figura 22C. De los 4 escenarios estudiados, las opciones con envasado en PET presentaron los mejores resultados, mientras que los escenarios con envasado en vidrio mostraron el peor desempeño ambiental en esta categoría. Asimismo, los escenarios

cuya gestión final fue el reciclado tuvieron mejores resultados que aquellos con gestión en vertederos. La mejor alternativa se halló en el escenario PET-Reciclado y la peor, en el escenario Vidrio-Vertedero.

Al analizar los resultados por etapa, tal como se muestra en la Figura 25, la obtención del aceite presentó la mayor incidencia en el impacto total en todos los escenarios, siendo 8,9 % mayor para los escenarios de envasado en vidrio respecto a los de envasado en PET. Seguidamente se ubicó la etapa de distribución, donde se halló una leve diferencia entre escenarios según el material de envasado. Por último, la etapa de fin de vida nuevamente mostró las menores contribuciones al impacto total, registrando disminuciones en el impacto para los escenarios con reciclado.

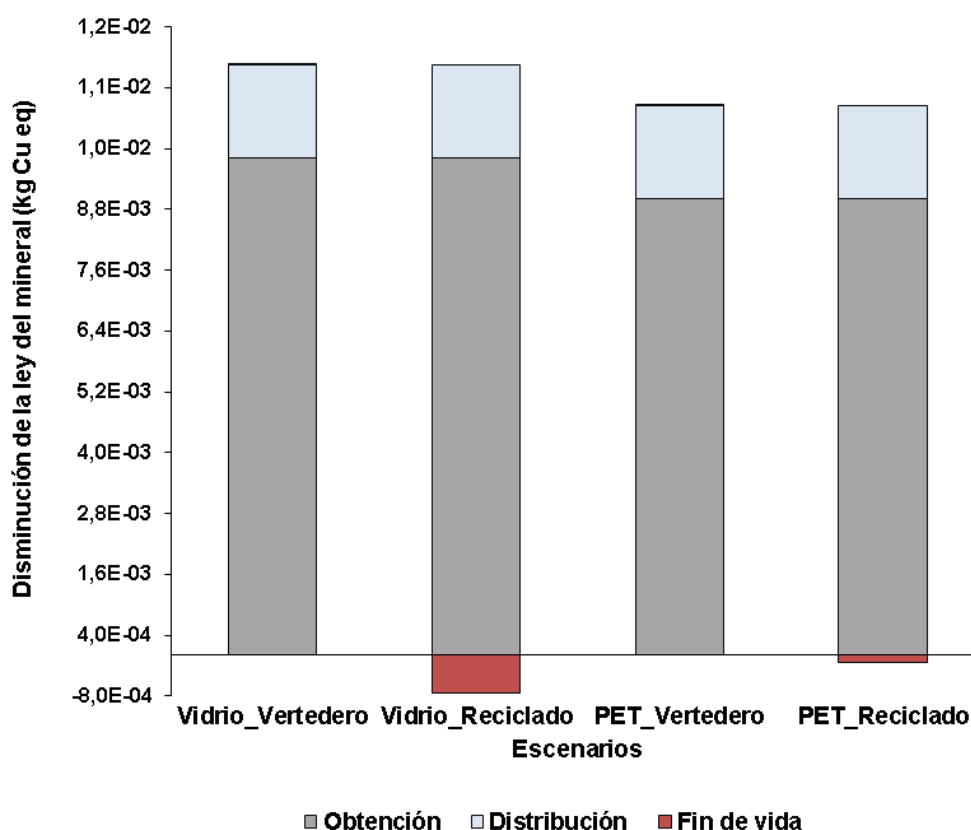


Figura 25. Contribución por etapas a la escasez de recursos minerales.

La Tabla 5 presenta el consumo de minerales de cada proceso considerado en el ciclo de vida del producto estudiado. El mayor impacto ocurrido en la etapa de obtención del aceite es consecuencia de la producción de aceitunas. Este proceso representó la mayor contribución al impacto total, alcanzando entre 72,7 y 79,1 % del consumo total de minerales, dependiendo del escenario. Este impacto se asoció principalmente al uso de fertilizantes fosforados y nitrogenados, que implican la utilización de minerales en su proceso de producción. Por su parte, el consumo de minerales en el proceso de producción de las botellas varió en función del material empleado. En los escenarios que utilizan vidrio, generó el 7,0 % del impacto total, mientras que en los escenarios que utilizan PET, sólo el 1,2 % del impacto total. Por último, el resto de los procesos, tales como el transporte de los insumos hasta la fábrica, la producción y distribución de la energía utilizada, la producción de detergentes y tierras filtrantes, y la producción y distribución de agua presentaron contribuciones menores al impacto en esta categoría.

Dentro de la etapa de distribución, tal como se observó para otras categorías de impacto, el proceso de transporte desde los puntos de venta hasta el hogar del consumidor presentó el mayor consumo para esta etapa, representando entre el 15,6 y 17,0 % del impacto total de acuerdo al escenario. Este impacto se debe mayoritariamente al uso de recursos minerales

asociados a la producción del combustible utilizado por el vehículo. Por su parte, los procesos de traslado del producto hasta los puntos de venta tuvieron una influencia despreciable sobre el consumo de minerales.

Por último, en la etapa de fin de vida, el proceso de transporte de las botellas vacías hasta el sitio de gestión final mostró una contribución exigua a la escasez de recursos minerales en todos los escenarios. Asimismo, si bien en los escenarios que consideran disposición en vertedero existió un impacto debido al proceso de disposición, este fue despreciable en relación a los impactos de otros procesos descritos previamente. No obstante, al considerar el reciclado, se observó una disminución del impacto por consumo de minerales. En este caso, el escenario Vidrio-Reciclado mostró el mejor desempeño, presentando una reducción del impacto 5,7 veces mayor que en el escenario PET-Reciclado. Esta diferencia se debe principalmente a que la cantidad de material recuperada en el reciclado del vidrio supera a la del PET.

Tabla 5. Consumo de minerales (kg Cu eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.

Etapa	Procesos	Escenarios			
		Vidrio Vertedero	Vidrio Reciclado	PET Vertedero	PET Reciclado
Obtención	Producción de aceitunas	8,47E-03	8,47E-03	8,47E-03	8,47E-03
	Producción y distribución de agua	9,16E-06	9,16E-06	9,16E-06	9,16E-06
	Producción de tierras filtrado	1,91E-08	1,91E-08	1,91E-08	1,91E-08
	Producción de detergente	1,75E-06	1,75E-06	1,75E-06	1,75E-06
	Producción de botella	8,11E-04	8,11E-04	1,32E-04	1,32E-04
	Transporte de aceitunas	1,63E-04	1,63E-04	1,63E-04	1,63E-04
	Transporte de insumos	3,77E-07	3,77E-07	3,77E-07	3,77E-07
	Transporte de botella	1,28E-04	1,28E-04	3,41E-06	3,41E-06
	Generación y distribución de electricidad	2,24E-04	2,24E-04	2,24E-04	2,24E-04
	Generación de calor	4,11E-07	4,11E-07	4,11E-07	4,11E-07
Distribución	Transporte al punto de venta	8,44E-06	8,44E-06	4,85E-06	4,85E-06
	Transporte al hogar	1,82E-03	1,82E-03	1,82E-03	1,82E-03
Fin de vida	Transporte fin de vida	3,70E-06	1,29E-06	1,50E-07	2,19E-06
	Fin de vida	2,57E-06	-7,36E-04	1,04E-07	-1,30E-04
Total		1,16E-02	1,09E-02	1,08E-02	1,07E-02

En base a los resultados descriptos, se evidencia que la diferencia en el impacto por escasez de recursos minerales entre los escenarios que consideran envasado en vidrio y los que consideran envasado en PET se origina principalmente en los procesos de fabricación y transporte de las botellas. Efectivamente, el consumo de minerales por botella fue mayor en la fabricación de las botellas de vidrio, como consecuencia primaria de la producción y utilización de compuestos químicos inorgánicos, como ceniza de soda (carbonato de sodio). Por su parte, los impactos producidos en la fabricación de las botellas de PET se asociaron principalmente al consumo mineral para la obtención del material propio del envase. Asimismo, el mayor peso de las botellas de vidrio repercutió en los impactos asociados a los procesos de transporte (tanto de las botellas vacías, como del producto envasado).

Finalmente, las diferencias mostradas entre los escenarios de reciclado y los que consideran disposición final en vertedero (comparando el mismo material de envase) se asociaron a los impactos evitados por los procesos de reciclado de cada material. Ciertamente, existe una disminución neta del consumo de recursos minerales al reducir la futura extracción, procesamiento y uso de materiales vírgenes.

3.4. Impactos por escasez de recursos fósiles

El consumo de recursos fósiles mostró variaciones entre los escenarios evaluados, tal como enseña la Figura 22D. Los mejores resultados se hallaron en los escenarios que contemplan envasado en PET, y en los que consideran la opción del reciclado frente a la disposición en vertedero. De esta manera, el mejor desempeño ambiental se obtuvo en el escenario PET-Reciclado, seguido por PET-Vertedero, mientras que los escenarios Vidrio-Reciclado y Vidrio-Vertedero presentaron el mayor impacto en esta categoría.

La Figura 26 muestra la contribución de cada etapa al impacto por escasez de recursos fósiles para cada escenario analizado. Nuevamente, la etapa de obtención del aceite registró la mayor contribución al impacto total, siendo 26,8 % mayor en los escenarios de envasado en vidrio respecto a los de envasado en PET. En segundo lugar se ubicó la etapa de distribución, sin diferencias apreciables entre escenarios. Por último, la etapa de fin de vida presentó la menor contribución al impacto total, donde se evidenció una disminución del impacto por escasez de recursos fósiles en los escenarios que consideran reciclado de los envases.

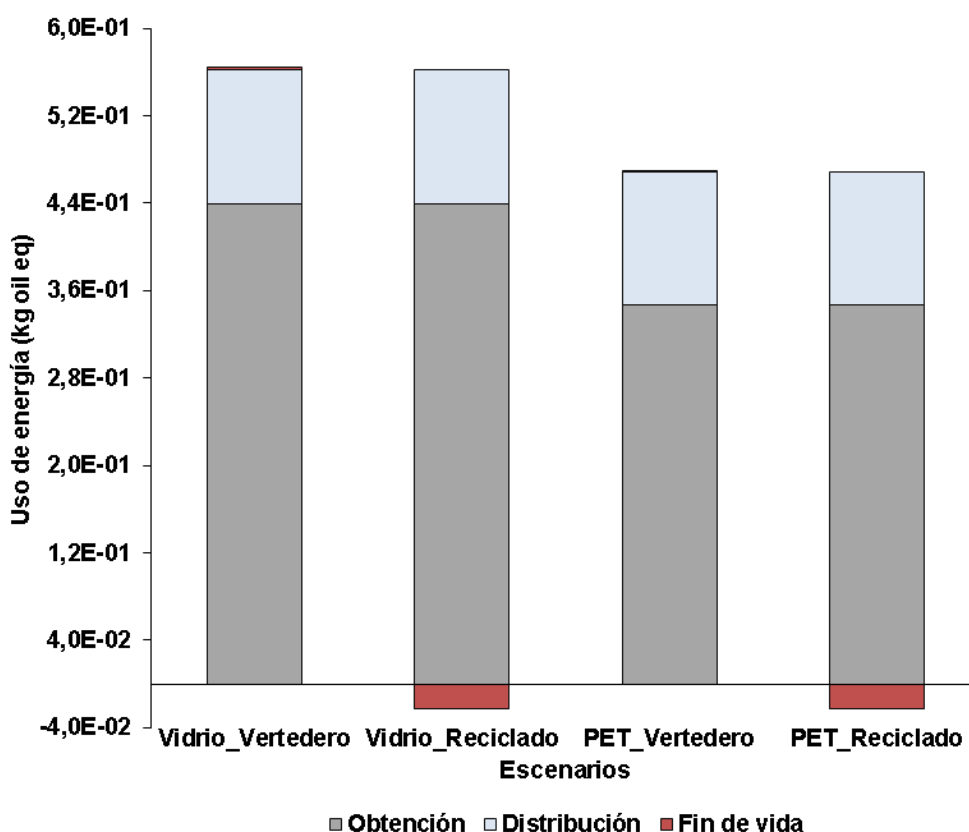


Figura 26. Contribución por etapas a la escasez de recursos fósiles.

Tal como figura en la Tabla 6, la mayor contribución de la etapa de obtención se debe a la producción de aceitunas, que varió entre 41,1 y 52,1 % del impacto total, dependiendo del escenario. Éste impacto se asoció al uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados, a la labranza y al consumo de agua que implican el consumo de recursos fósiles en su proceso de producción y distribución. Por su parte, la generación y distribución de la energía eléctrica utilizada mostró una contribución importante al impacto en esta categoría, contribuyendo

entre 12,3 y 15,5 % a la escasez de recursos fósiles total. Asimismo, el transporte de las aceitunas hasta la fábrica de obtención del aceite representó entre 3,4 y 4,4 % del impacto total según el escenario. En cuanto a la producción de las botellas utilizadas, se observa que la fabricación de las botellas de vidrio implicó mayor impacto, alcanzando 16,7 y 17,5 % del impacto total para los escenarios Vidrio-Vertedero y Vidrio-Reciclado, respectivamente. Este aporte fue 3,8 veces superior al generado por la fabricación de botellas de PET, cuya contribución llegó a 5,3 y 5,7 % para los escenarios PET-Vertedero y PET-Reciclado, respectivamente. Del mismo modo, el consumo de recursos fósiles debido a los procesos de distribución de este insumo (desde las fábricas hasta la FCA) fue 38,1 veces superior en los escenarios de envasado en vidrio frente a los escenarios de envasado en PET. Finalmente, el resto de los procesos que participan de la etapa de obtención, tales como la producción y distribución de insumos y agua, en conjunto aportaron el 0,1 % del impacto total en todos los escenarios.

Tabla 6. Consumo de recursos fósiles (kg oil eq) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.

Etapa	Procesos	Escenarios			
		Vidrio Vertedero	Vidrio Reciclado	PET Vertedero	PET Reciclado
Obtención	Producción de aceitunas	2,32E-01	2,32E-01	2,32E-01	2,32E-01
	Producción y distribución de agua	3,79E-04	3,79E-04	3,79E-04	3,79E-04
	Producción de tierras filtrado	3,62E-06	3,62E-06	3,62E-06	3,62E-06
	Producción de detergente	7,47E-05	7,47E-05	7,47E-05	7,47E-05
	Producción de botella	9,44E-02	9,44E-02	2,48E-02	2,48E-02
	Transporte de aceitunas	1,95E-02	1,95E-02	1,95E-02	1,95E-02
	Transporte de insumos	7,10E-05	7,10E-05	7,10E-05	7,10E-05
	Transporte de botella	2,40E-02	2,40E-02	6,29E-04	6,29E-04
	Generación y distribución de electricidad	6,90E-02	6,90E-02	6,90E-02	6,90E-02
	Generación de calor	3,08E-04	3,08E-04	3,08E-04	3,08E-04
Distribución	Transporte al punto de venta	1,01E-03	1,01E-03	5,81E-04	5,81E-04
	Transporte al hogar	1,21E-01	1,21E-01	1,21E-01	1,21E-01
Fin de vida	Transporte fin de vida	2,21E-03	2,62E-04	8,96E-05	5,10E-04
	Fin de vida	5,52E-04	-2,31E-02	2,24E-05	-2,35E-02
Total		5,65E-01	5,39E-01	4,69E-01	4,45E-01

Respecto a la etapa de distribución, tal como se observó para las categorías descriptas previamente, el proceso de transporte del producto desde los puntos de venta hasta el hogar del consumidor mostró la mayor contribución al impacto, alcanzando entre 21,5 y 27,2 % del consumo total de recursos fósiles. Dicho impacto se asocia mayoritariamente al consumo de recursos fósiles propios del combustible que utiliza el vehículo.

Por último, en la etapa de fin de vida, el proceso de transporte del envase hasta su destino final mostró una contribución exigua al impacto total en todos los escenarios. Del mismo modo, la disposición final en vertedero presentó una contribución despreciable al consumo de recursos fósiles. Contrariamente, en los escenarios que consideran reciclado de los envases, se observó una disminución del uso de recursos fósiles. En este punto se destaca

que, a diferencia de lo ocurrido en otras categorías de impacto, el escenario PET-Reciclado evidenció una pequeña ventaja en la disminución del impacto en relación al escenario Vidrio-Reciclado. Esta diferencia se explica a partir de la relación entre el consumo de energía de fuentes fósiles en el reciclado y la disminución futura del uso de recursos fósiles por la recuperación del material de botella, que fue mayor en escenarios de vidrio frente a los de PET.

En concordancia con los resultados descritos, se denota que la diferencia en el impacto por escasez de recursos fósiles entre los escenarios que consideran envasado en vidrio y los que consideran envasado en PET se originó principalmente en los procesos de fabricación y transporte de las botellas. Ciertamente, el consumo de recursos fósiles por botella es mayor en la fabricación de las botellas de vidrio, como consecuencia principal de la producción y utilización de energía proveniente del petróleo empleada en su fabricación. Por su parte, los impactos producidos en la fabricación de las botellas de PET se asociaron principalmente al consumo de recursos fósiles utilizados para la obtención del PET, así como a la energía empleada en la fabricación del envase. Asimismo, el mayor peso de las botellas de vidrio repercutió en los impactos asociados a los procesos de transporte (tanto de las botellas vacías, como del producto envasado).

Finalmente, las diferencias mostradas entre los escenarios de reciclado y los que consideran disposición final en vertedero (comparando el mismo material de envase) se asociaron a los impactos evitados por los procesos de reciclado de cada material. En efecto, si bien los procesos de reciclado implican consumo de energía de origen fósil, existe una disminución neta del consumo de recursos fósiles al evitar la futura extracción, procesamiento y uso de materiales vírgenes.

3.5. Consumo de agua

El consumo de agua originado en el ciclo de vida del sistema-producto exhibió variaciones casi imperceptibles entre los distintos escenarios propuestos, como muestra la Figura 22E. Esta categoría es la única en la que el escenario Vidrio-Reciclado arrojó el mejor comportamiento, seguido por PET-Reciclado, luego por PET-Vertedero y, por último, por Vidrio-Vertedero.

La Figura 27 refleja el consumo de agua de cada etapa del ciclo de vida, según el escenario. Se evidenció que la etapa de obtención del aceite tuvo la mayor participación en el impacto total. Si bien esta etapa mostró la principal contribución en todas las categorías evaluadas, en esta categoría en particular alcanzó el máximo porcentaje de participación, que se ubicó entre 99,3 y 100 % del consumo total de agua dependiendo del escenario. Por su parte, la contribución de las etapas de distribución y de fin de vida fue despreciable, aunque se destaca la disminución de los impactos en el fin de vida ocurrida en los escenarios que consideran reciclado de los envases.

El análisis de cada proceso incluido en el ciclo de vida del producto estudiado, que se presenta en la Tabla 7, evidenció que el consumo de agua ocurre principalmente en la producción de las aceitunas. En efecto, el cultivo de las aceitunas concentró entre 96,7 y 98,1 % del consumo total de agua, según el escenario, como consecuencia del uso de agua para riego. Esto explica la importante contribución de la etapa de obtención del aceite al impacto total, puesto que las aceitunas ingresan como un insumo en esta etapa. El resto de los procesos incluidos en esta etapa, tales como la producción y transporte de los insumos, la generación y distribución de la energía utilizada, y la producción y distribución de agua de red, mostró una escasa contribución al consumo total de agua.

Por su parte, el proceso que más incidió en la etapa de distribución fue el transporte del aceite hasta el hogar del consumidor, como ocurrió para otras categorías de impacto. No obstante, en este caso su contribución fue despreciable, alcanzando sólo 0,7 % del consumo total de agua en todos los escenarios.

Finalmente, dentro de la etapa de fin de vida, el transporte de los envases hacia su destino final en todos los escenarios y la disposición final en vertedero exhibieron una participación

insignificante en el consumo de agua. Por su parte, la contribución del reciclado fue más perceptible en el escenario Vidrio-Reciclado, que implicó un ahorro en el consumo de agua 4,2 veces superior que el escenario PET-Reciclado. Si bien el reciclado genera aguas residuales, existe un beneficio neto por evitar el consumo de agua en procesos de extracciones futuras. Por esta razón, la mayor cantidad de material recuperado el reciclado del vidrio en relación al reciclado de PET redundó en un mayor beneficio para el escenario Vidrio-Reciclado.

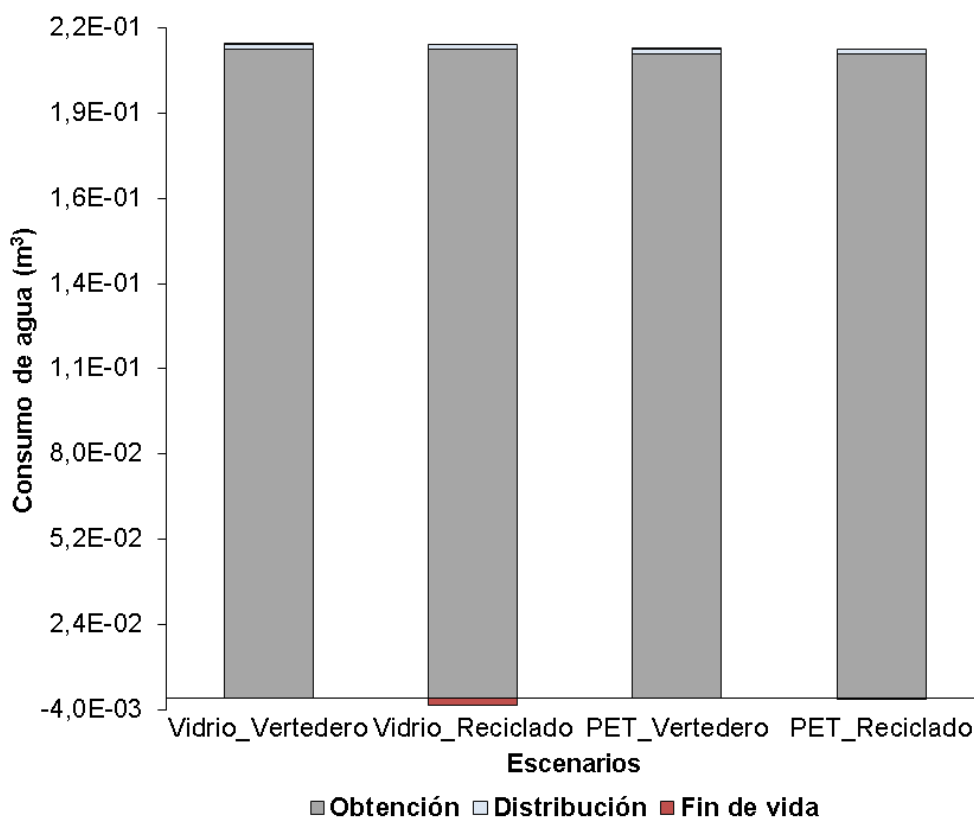


Figura 27. Contribución por etapas al consumo de agua.

Tabla 7. Consumo de agua (m³) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.

Etapa	Procesos	Escenarios			
		Vidrio Vertedero	Vidrio Reciclado	PET Vertedero	PET Reciclado
Obtención	Producción de aceitunas	2,08E-01	2,08E-01	2,08E-01	2,08E-01
	Producción y distribución de agua	3,94E-04	3,94E-04	3,94E-04	3,94E-04
	Producción de tierras filtrado	6,49E-07	6,49E-07	6,49E-07	6,49E-07
	Producción de detergente	3,70E-05	3,70E-05	3,70E-05	3,70E-05
	Producción de botella	2,03E-03	2,03E-03	5,97E-04	5,97E-04
	Transporte de aceitunas	1,71E-04	1,71E-04	1,71E-04	1,71E-04
	Transporte de insumos	5,68E-07	5,68E-07	5,68E-07	5,68E-07
	Transporte de botella	1,92E-04	1,92E-04	5,05E-06	5,05E-06
	Generación y distribución de	2,11E-03	2,11E-03	2,11E-03	2,11E-03

	electricidad				
	Generación de calor	3,21E-07	3,21E-07	3,21E-07	3,21E-07
Distribución	Transporte al punto de venta	8,84E-06	8,84E-06	5,08E-06	5,08E-06
	Transporte al hogar	1,42E-03	1,42E-03	1,42E-03	1,42E-03
Fin de vida	Transporte fin de vida	1,18E-05	2,24E-06	4,80E-07	4,45E-06
	Fin de vida	3,36E-06	-2,33E-03	1,36E-07	-5,57E-04
Total		2,15E-01	2,12E-01	2,13E-01	2,12E-01

Si bien existe una variación en el consumo de agua entre escenarios para los procesos de producción y transporte de las botellas, transporte del producto hasta los puntos de venta, transporte en el fin de vida, y procesos de gestión en el fin de vida, no se observa una diferencia notable en el impacto total entre escenarios. Esto se debe a la casi total contribución del proceso de producción de aceitunas al consumo de agua, que es común a todos los escenarios. En consecuencia, no se puede establecer una clara superioridad de un escenario sobre otro, pero se rescata que los escenarios con fin de vida reciclado generaron una pequeña mejora del desempeño ambiental en esta categoría.

3.6. Demanda acumulada de energía

La Figura 22F muestra los resultados de la demanda acumulada de energía según cada escenario. El análisis revela que los escenarios de envasado en vidrio presentaron el mayor consumo de energía primaria frente a los de envasado en PET. Además, se observó que los escenarios con fin de vida reciclado tuvieron mejor desempeño que los escenarios con disposición en vertederos. De esta manera, el mejor desempeño ambiental se observó en el escenario PET-Reciclado, luego en PET-Vertedero y Vidrio-Reciclado, mientras que Vidrio-Vertedero mostró el peor desempeño en esta categoría.

Al analizar la contribución de cada etapa a la demanda acumulada de energía, como enseña la Figura 28, se observó la predominancia de la etapa de obtención. En ella, la demanda de energía primaria fue 10,3 % superior en los escenarios que utilizan vidrio frente a los que utilizan PET. Seguidamente se ubicó la etapa de distribución, mostrando una leve diferencia de 0,4 %, nuevamente mayor en los escenarios de envasado en vidrio en relación a los de envasado en PET. La etapa de fin de vida por su parte exhibió la menor contribución al impacto total, evidenciando disminuciones de la demanda de energía en los escenarios de reciclaje.

En esta última categoría se repite el patrón general observado a lo largo de este estudio. La demanda acumulada de energía de cada uno de los procesos incluidos se presenta en la Tabla 8. En ella se denota que la producción de aceitunas es el proceso con mayor demanda de energía primaria, que varió entre 69,8 y 78,1 % del consumo total dependiendo del escenario. Este consumo se asoció principalmente a la utilización de fertilizantes nitrogenados y fosforados, y a la irrigación del cultivo, los cuales consumen energía primaria en su proceso de producción y distribución. Por su parte, la producción del envase tuvo una demanda de aproximadamente 9,0 % del total para las botellas de vidrio, mientras que superó ligeramente el 2,0 % en el caso de las botellas de PET. La generación y distribución de la energía empleada (eléctrica y calórica) en la producción de aceite aportaron entre 7,4 y 8,3 % del consumo primario de energía, según el escenario. Por último, los demás procesos incluidos en esta etapa presentaron consumos de energía menores.

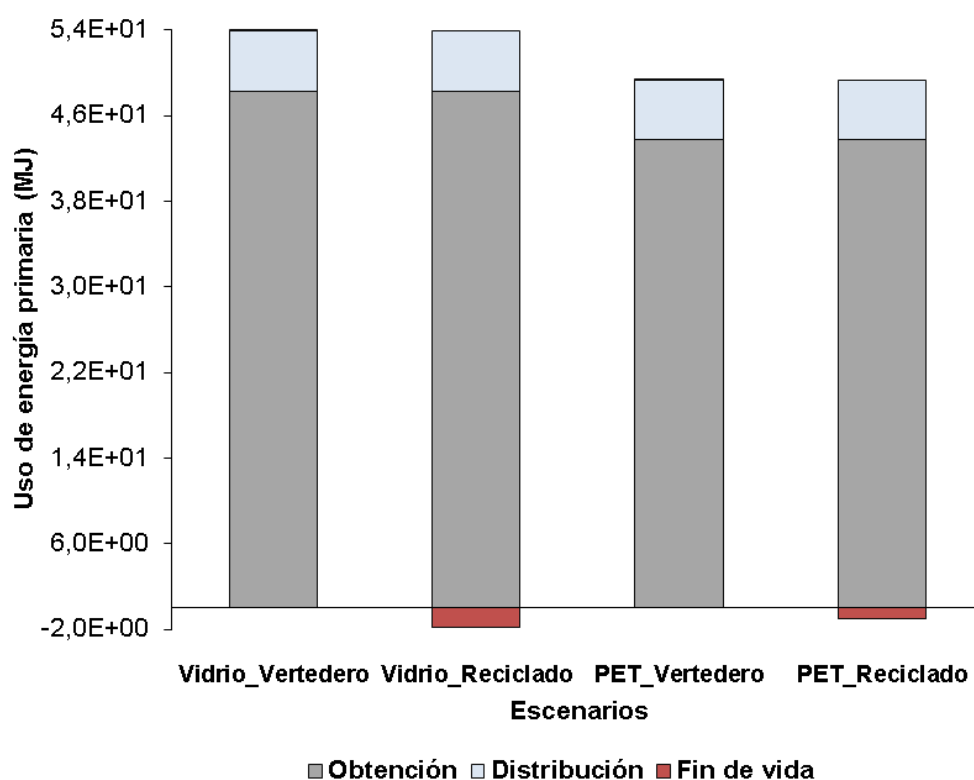


Figura 28. Contribución por etapas a la demanda acumulada de energía.

Tabla 8. Consumo de energía primaria (MJ) de los procesos incluidos en cada etapa, según los escenarios analizados.

Etapa	Procesos	Escenarios			
		Vidrio Vertedero	Vidrio Reciclado	PET Vertedero	PET Reciclado
Obtención	Producción de aceitunas	3,77E+01	3,77E+01	3,77E+01	3,77E+01
	Producción y distribución de agua	1,98E-02	1,98E-02	1,98E-02	1,98E-02
	Producción de tierras filtrado	1,73E-04	1,73E-04	1,73E-04	1,73E-04
	Producción de detergente	9,90E-03	9,90E-03	9,90E-03	9,90E-03
	Producción de botella	4,64E+00	4,64E+00	1,15E+00	1,15E+00
	Transporte de aceitunas	8,69E-01	8,69E-01	8,69E-01	8,69E-01
	Transporte de insumos	3,14E-03	3,14E-03	3,14E-03	3,14E-03
	Transporte de botella	1,06E+00	1,06E+00	2,78E-02	2,78E-02
	Generación y distribución de electricidad	3,99E+00	3,99E+00	3,99E+00	3,99E+00
	Generación de calor	1,28E-02	1,28E-02	1,28E-02	1,28E-02
Distribución	Transporte al punto de venta	4,49E-02	4,49E-02	2,58E-02	2,58E-02
	Transporte al hogar	5,52E+00	5,52E+00	5,52E+00	5,52E+00
Fin de vida	Transporte fin de vida	9,64E-02	1,16E-02	3,91E-03	2,25E-02
	Fin de vida	2,41E-02	-1,88E+00	9,79E-04	-1,08E+00
Total		5,40E+01	5,20E+01	4,93E+01	4,83E+01

En cuanto a la etapa de distribución, el proceso de transporte del aceite a los puntos de venta mostró en general una pequeña contribución al impacto. No obstante, se observa que el consumo de energía en este proceso para los escenarios de envasado en vidrio fue casi el doble respecto a los escenarios de envasado en PET, asociado al mayor peso del producto envasado en botellas de vidrio. Sin embargo, el proceso que más repercutió en esta etapa fue el transporte del aceite hasta el hogar del consumidor, donde no se hallaron diferencias entre escenarios. El consumo energético en este proceso se originó principalmente en la producción y distribución del combustible que utiliza el vehículo.

En la etapa de fin de vida, los procesos de transporte de las botellas vacías hasta los sitios de gestión final presentaron contribuciones exiguas en todos los escenarios. Del mismo modo, la disposición final en vertederos exhibió una demanda de energía despreciable en relación a otros procesos. Por su parte, el proceso de reciclado provocó una disminución en el consumo energético. En este caso, los beneficios obtenidos en el escenario Vidrio-Reciclado fueron 1,7 veces mayores que en el escenario PET-Reciclado. Si bien el proceso de reciclado del vidrio implicó mayor consumo de energía primaria que el reciclado del PET, la cantidad de material recuperado en los escenarios de vidrio fue mayor que en los escenarios de PET, motivo por el cual los beneficios del reciclado del vidrio superaron a los del PET. De lo detallado hasta este punto, se manifiesta que la diferencia en la demanda acumulada de energía entre los escenarios que consideran envasado en vidrio y los que consideran envasado en PET se produce mayoritariamente en los procesos de fabricación y transporte de las botellas. En efecto, la demanda de energía primaria por botella producida fue mayor en la fabricación de las botellas de vidrio, como consecuencia principal de la utilización de energía durante su fabricación, mientras que las botellas de PET deben especialmente su consumo a la energía empleada en la obtención del material del envase. Además, el mayor peso de las primeras implicó un aumento en los impactos originados por los procesos de transporte (tanto de las botellas vacías, como del producto envasado).

Por otra parte, las diferencias mostradas entre los escenarios de reciclado y los que consideran disposición final en vertedero (comparando el mismo material de envase) se asocian a los impactos evitados por los procesos de reciclado de cada material. Ciertamente, aunque el proceso de reciclado (tanto para vidrio como para PET) implica el uso de energía, la evitación o disminución de la extracción, procesamiento y utilización de materiales vírgenes redundan en una reducción neta de la demanda acumulada de energía.

3.7. Normalización de los resultados

La normalización es considerada como un elemento opcional de la evaluación de impactos (ISO, 2006b), que se utiliza para facilitar la comprensión de los resultados de los indicadores de categoría. La normalización también resuelve la incompatibilidad de las unidades entre categorías (Goedkoop et al., 2016). De esta manera, provee información acerca de la significancia relativa de los resultados de los indicadores (ISO, 2006b) y contribuye con su interpretación.

En este estudio se llevó a cabo el proceso de normalización para entender la importancia relativa de los resultados de los indicadores para cada categoría de impacto evaluada (excepto para la demanda acumulada de energía, para la cual no se hallaron factores de normalización). La Figura 29 muestra los resultados normalizados, obtenidos para cada categoría según los escenarios evaluados.

La comparación de estos resultados mostró que el producto evaluado genera mayor impacto sobre las categorías consumo de agua, eutrofización del agua dulce y escasez de recursos fósiles. Por su parte, la magnitud del impacto sobre el cambio climático fue 176 veces menor respecto al consumo de agua, mientras que la magnitud del impacto sobre la escasez de recursos minerales fue de 4 órdenes de magnitud inferior al resto de las categorías.

El escenario PET-Reciclado mostró el mejor desempeño ambiental en todas las categorías (a excepción del consumo de agua), mientras que el escenario Vidrio-Vertedero exhibió el peor. Sin embargo, en la categoría consumo de agua no se encontraron diferencias notables entre los escenarios, puesto que el mayor consumo se dio en el proceso de obtención de las

aceitunas, que no presentó variaciones entre los 4 escenarios. Por su parte, la escasez de recursos fósiles tuvo la mayor variabilidad entre escenarios, siendo 26,8 % superior el impacto en el escenario Vidrio-Vertedero en relación a PET-Reciclado. De la misma manera, el impacto sobre el cambio climático evidenció variación entre los escenarios propuestos, registrando un impacto 19,8 % superior para Vidrio-Vertedero respecto a PET-Reciclado. Finalmente, la variación entre escenarios fue menor en relación a los impactos por eutrofización de agua dulce y por escasez de recursos minerales.

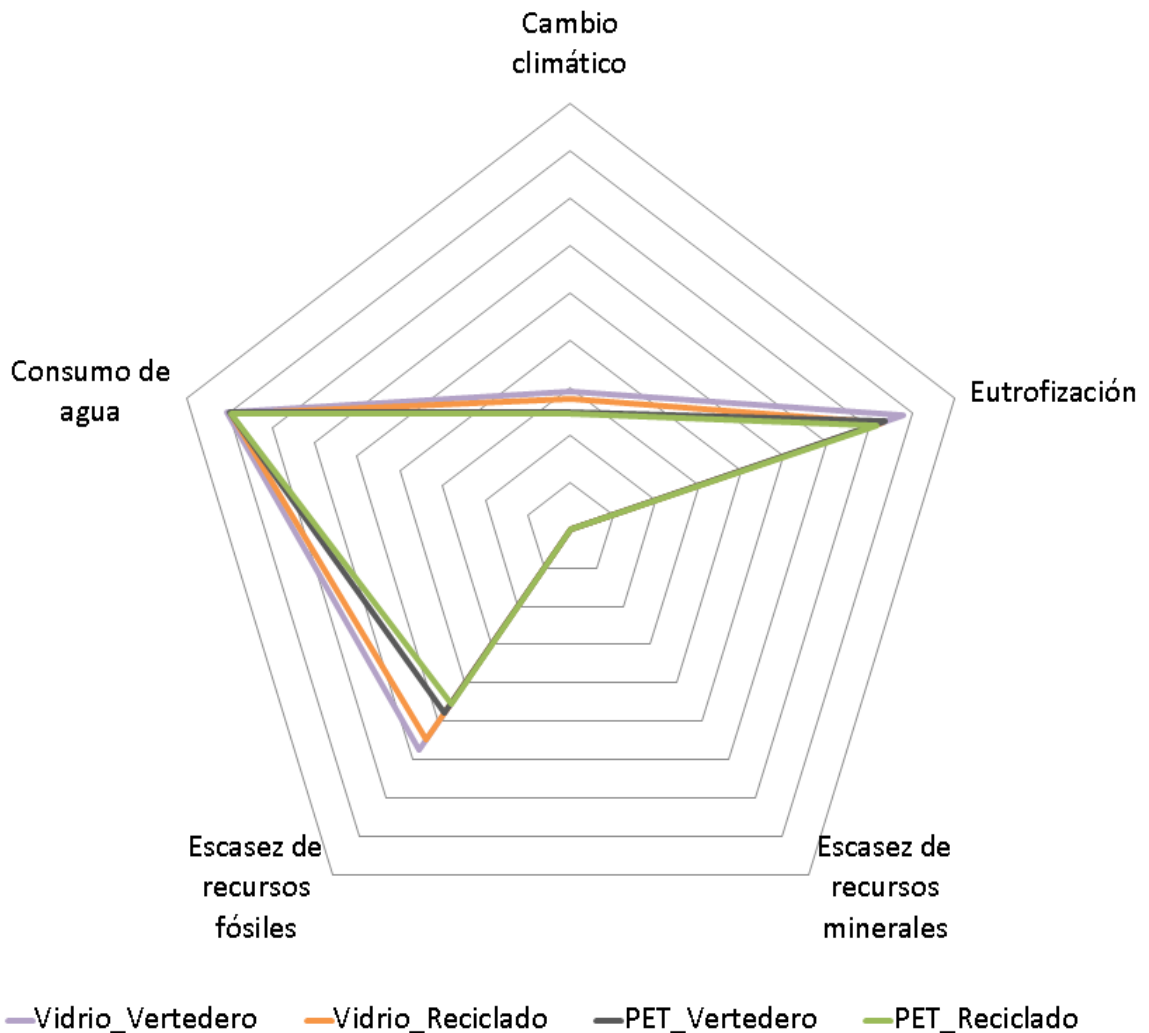


Figura 29. Resultados normalizados (expresados en persona.año) de la evaluación de impactos para cada categoría, según los escenarios analizados.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de un ACV dependen del objetivo y alcance del estudio definidos en la Fase 1, así como de la metodología empleada y de supuestos adoptados. Por lo tanto, la correcta comparación de los resultados expuestos con resultados de otros estudios se encuentra limitada. Sin embargo, las tendencias observadas en los resultados de estudios previos son la base de la discusión de los resultados de este trabajo.

A partir de los resultados analizados, se evidenció que la etapa de obtención del aceite tuvo mayor impacto en todas las categorías evaluadas, seguida por la etapa de distribución, mientras que la etapa de fin de vida exhibió la menor contribución al impacto total. Por su parte, si bien las contribuciones de los procesos mostraron diferencias entre las categorías evaluadas, se puede agrupar a los procesos de acuerdo a la variabilidad de sus impactos entre los escenarios como sigue:

- Procesos que se mantuvieron constantes entre cada escenario propuesto: la producción de aceitunas, el transporte de las aceitunas, la producción y distribución de los insumos materiales, la generación y distribución de la electricidad utilizada, la generación del calor requerido y el transporte del producto hacia el hogar.
- Procesos que variaron entre los escenarios con envasado en vidrio y los escenarios con envasado en PET: la producción del envase, la distribución del mismo, la distribución del producto envasado y el transporte del envase hasta el sitio de gestión de fin de vida.
- Procesos que mostraron una disminución de los impactos: el reciclado del vidrio y el reciclado del PET.

En todas las categorías evaluadas, el mayor impacto ambiental se encontró en el proceso de producción de aceitunas. De manera coincidente, los resultados expuestos por Pattara et al. (2016) señalan a la etapa agrícola como la principal contribuyente a la huella de carbono de la producción de aceite de oliva virgen extra en el centro de Italia. Por su parte, Guarino et al. (2019) reportaron que la etapa agrícola es la principal contribuyente a los impactos ambientales causados por la producción de aceite de oliva en el sureste de Italia, estudiados en 17 categorías de impacto. Dicho estudio atribuye los impactos por consumo de energía primaria principalmente al uso y aplicación de fertilizantes. Finalmente, Navarro Diarte (2017) coincidió en que la producción de las aceitunas es el proceso con mayor contribución al impacto ambiental de la producción de aceite de oliva, en todas las categorías evaluadas, remarcando que la utilización de diésel en las maquinarias del trabajo de cosecha es la principal responsable de los impactos.

Por otra parte, los resultados evidenciaron que los escenarios con envasado en PET tuvieron mejor desempeño ambiental que los escenarios con envasado en vidrio en 4 de las 6 categorías evaluadas, independientemente del fin de vida considerado. En efecto, el material del envase fue una variable de importancia en el estudio, ya que afectó a las tres etapas del ciclo de vida del aceite: la obtención donde cobran relevancia los procesos de producción y de distribución de la botella; la distribución, donde el peso de la botella toma protagonismo; y el fin de vida, donde los impactos evitados por reciclaje son importantes. Las diferencias halladas a nivel general en los impactos entre los dos materiales de envasado se asociaron a que los envases de vidrio implican mayor cantidad de material (lo cual repercute negativamente en la demanda de materiales para su producción y en su peso final, y positivamente en el mayor recupero de materiales en el reciclado), respecto a los envases de PET.

Los resultados expuestos concuerdan con los expresados por Navarro Diarte (2017) y Saiz Vinet (2014), donde, para las mismas categorías evaluadas en este estudio, los envases de PET mostraron mejor desempeño ambiental respecto a los envases de vidrio. Las diferencias encontradas se atribuyeron principalmente al mayor peso que presenta el envase de vidrio. Por el contrario, Accorsi et al. (2015), en las categorías de cambio climático, eutrofización del agua dulce y escasez de recursos fósiles, hallaron que los impactos de escenarios con envasado en vidrio eran menores a los de PET. Estos

resultados se deben principalmente a que el impacto evitado en el reciclado del envase de vidrio fue superior al del reciclado del PET, lo cual concuerda con la tendencia en el fin de vida observada en este estudio. Sin embargo, estos autores consideraron una variación en la tasa de reciclaje del vidrio y del PET. Siguiendo la normativa española para envases alimenticios, en los envases de vidrio verde se permite el 100 % del envase con material reciclado, mientras que en los envases de PET se permite hasta un 50 % de materiales reciclados, lo cual reporta una ventaja para los escenarios de envasado en vidrio frente a los de envasado en PET. No obstante, estos autores simularon un nuevo escenario para la categoría de cambio climático, considerando el reciclado del PET y una disminución porcentual del uso de PET virgen en la producción de la botella (obtenida a partir del reciclado de este material), y este nuevo escenario mostró mejores resultados que la consideración del uso de vidrio.

De lo detallado hasta aquí se evidencia que el impacto de la producción y distribución del aceite de oliva envasado en PET fue menor al del envasado en vidrio. En este punto cabe destacar que los envases de vidrio utilizados en la fábrica de la Facultad de Ciencias Agrarias son de vidrio blanco, lo que implica que su producción se realiza a partir de materiales vírgenes exclusivamente. Sin embargo, la opción por envases de vidrio verde o ámbar, cuya fabricación permite la utilización del 100 % de vidrio reciclado, podría contribuir con la disminución de los impactos. Además, el uso de envases de otro color sería beneficioso para la conservación del aceite, ya que lo mantendría al resguardo de la luz (Araniti, 2013). Otro aspecto a considerar es el peso de la botella de vidrio (en este caso, 0,37 g), el cual podría reducirse con un eco-diseño de menor peso y así disminuir los impactos asociados, como señala Navarro Diarte (2017).

Por otro lado, en cuanto a la gestión de los envases en el fin de vida, el reciclado mostró claras ventajas frente a la disposición en vertedero. Además, en este estudio no se consideró la introducción de material reciclado dentro de la producción de los mismos envases que se utilizan, debido a que los proveedores de envases no coincidían con las plantas recicladoras. Asimismo, como se señaló anteriormente, en el caso de las botellas de vidrio habría que considerar otro color en el diseño para ingresar los materiales reciclados, y, en el caso de las botellas de PET, sólo un porcentaje de materiales reciclados podría utilizarse. Si bien estas consideraciones exceden los objetivos de este estudio, podrían significar una mayor disminución de los impactos en los escenarios que contemplan reciclado de materiales. No obstante, es preciso remarcar que los inventarios de los procesos de reciclado utilizados en esta investigación sólo comprenden la generación y distribución de la energía requerida, sin abarcar la producción y utilización de insumos materiales, que podrían modificar los resultados obtenidos.

Finalmente, otro aspecto a tener en cuenta es que en este estudio no se estudió la factibilidad técnico-económica de cada escenario. Sin embargo, en la actualidad, de todos los centros de acopio del Gran Mendoza, sólo uno (Favorable S.A.) acepta envases PET que han contenido aceites. Asimismo, el porcentaje de envíos de estos envases desde el acopiador hasta la recicladora es ínfimo y, en muchos casos, nulo. Contrariamente, los envases de vidrio que hayan contenido aceite son aceptados sin problema en todos los centros de acopio del Gran Mendoza para ser sometidos luego al proceso de reciclado. Por lo tanto, si bien el escenario PET-Reciclado exhibió el mejor desempeño ambiental en general, bajo el nivel de desarrollo tecnológico actual, el escenario de reciclado más realista es Vidrio-Reciclado.

5. CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo fue contribuir al estudio ambiental de los sistemas agroalimentarios argentinos, en particular del aceite de oliva virgen extra, aportando información que permita introducir mejoras en la cadena de suministro de esta industria. Para ello, se analizaron los impactos ambientales generados a lo largo del ciclo de vida del aceite de oliva virgen extra, tomando como referencia el proceso de obtención realizado en la planta piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNCUYO (Mendoza, Argentina), y el envasado en vidrio y polietileno tereftalato. Asimismo, aunque la FCA no lleva a cabo procesos relativos al fin de vida de los envases, para abordar el ciclo de vida completo del producto analizado, en esta tesina se propusieron y compararon 4 escenarios alternativos, que combinan el uso de envases de dos materiales y dos formas de gestión final de los mismos: Vidrio-Vertedero, Vidrio-Reciclado, PET-Vertedero y PET-Reciclado.

Los impactos ambientales se evaluaron en seis categorías: cambio climático, eutrofización de agua dulce, consumo de agua, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles y demanda acumulada de energía. Asimismo, los resultados de los indicadores de cada categoría (excepto para la demanda acumulada de energía) fueron normalizados para comprender la importancia relativa de los impactos ambientales generados por el sistema-producto. Se observó que los mayores impactos se producen en las categorías consumo de agua, eutrofización del agua dulce y escasez de recursos fósiles. En cambio, la magnitud de los impactos en las categorías cambio climático y, sobre todo, escasez de recursos minerales fueron menores.

Por otra parte, el análisis de los impactos mostró que la etapa de obtención del aceite concentró entre el 73,97 y el 99,33 % de los impactos, según el escenario y la categoría ambiental. En segundo lugar, se ubicó la etapa de distribución del producto, con una influencia que varió entre 0,66 y 27,35 %. Por último, la etapa de fin de vida del envase mostró ser la etapa con menor impacto en todo el ciclo de vida, con una contribución de hasta 6,74 %.

El análisis de los procesos comprendidos dentro de la etapa de obtención mostró que la producción de las aceitunas generó el mayor impacto, que varió entre 41,05 y 98,10% del total, para todas las categorías de impacto. Este resultado se debió en mayor medida a la producción y uso de agroquímicos, seguido por el empleo de maquinaria agrícola y por el riego del cultivo. Esto significa que la etapa de obtención del aceite y, en especial, el cultivo de las aceitunas, constituyen los principales puntos críticos del sistema-producto estudiado. Sin embargo, en este trabajo no se consideraron escenarios “agroecológicos” que implicaran el uso de fertilizantes orgánicos, ni alternativas de manejo de suelo o de agua. Tampoco se evaluó la utilización de desechos de la poda, del carozo, o del alperujo. En efecto, estas prácticas podrían disminuir las cargas ambientales ligadas a la primera etapa, en particular al proceso de producción de aceitunas, por lo que se propone su evaluación para conocer la modificación de los impactos que podrían ocasionar en el sistema-producto. También se sugiere la confección de Inventarios de Ciclo de Vida de la producción de aceitunas que reflejen las particularidades del proceso agrícola realizado en fincas de Mendoza. En segundo lugar, se ubicaron los procesos de producción y transporte de las botellas, donde cobró importancia la extracción de su materia prima y el peso de las mismas. A su vez, en relación al proceso de obtención de aceite, la mayor contribución fue consecuencia de los procesos de generación y distribución de energía eléctrica utilizada.

Respecto de la etapa de distribución, el proceso de transporte del aceite desde el lugar de venta hasta el hogar del consumidor fue el más relevante. El mayor impacto se asoció al uso de automóvil como medio de transporte y a que, en muchos casos, este proceso de transporte se debe casi exclusivamente a la compra del AOVE (a veces acompañado de otros productos ofrecidos en los mismos puntos de venta), lo que repercute fuertemente en los impactos originados por unidad funcional. Por último, dentro de la etapa de fin de vida, el proceso de disposición final en vertedero mostró el mayor impacto, mientras que la alternativa de reciclado tuvo un desempeño ambiental positivo, debido a los impactos evitados de futuras extracciones y procesamientos de cada material.

En relación a la comparación de los impactos según el material empleado para el envasado, se concluyó que, en general, los escenarios con envase de PET tuvieron mejor desempeño ambiental que los escenarios con envase de vidrio. Ello puede estar ligado a que la fabricación de las botellas de vidrio requiere mayor cantidad de material que la de PET. En efecto, la botella de vidrio resultó más pesada, lo que a su vez repercutió negativamente en los procesos de transporte. Sin embargo, no se evaluó la posibilidad de utilizar una botella de vidrio de menor peso o de color verde (lo que permitiría su producción con vidrio 100 % reciclado), es decir, una alternativa de envase con eco-diseño. El análisis de los beneficios que podría significar esta alternativa queda propuesto para futuras investigaciones.

Por otro lado, la comparación de dos formas de gestión de fin de vida de los envases evidenció claros beneficios ambientales del proceso de reciclado frente a la disposición en vertedero. A su vez, el proceso de reciclado del vidrio fue más eficiente que el reciclado del PET, probablemente como consecuencia de la mayor cantidad de material recuperado por botella procesada. Cabe destacar que, de todos los acopiadores del Gran Mendoza que reciben envases PET, solo uno (Favorable S.A.) acepta envases PET que hubieran contenido aceite, mientras que los envases de vidrio son recibidos en todos los centros de acopio del Gran Mendoza. En efecto, el escenario de reciclado del vidrio parecería ser el más realista dado el nivel de desarrollo tecnológico actual. No obstante, en este trabajo no se evaluó la factibilidad técnico-económica de cada escenario, ni los hábitos reales del consumidor al momento de disponer del envase vacío, dejando abierta la posibilidad de abordar estos aspectos en futuros estudios.

En concordancia con lo detallado hasta este punto, se acepta la primera parte de la hipótesis planteada en este trabajo, ya que se confirmó que la producción de las aceitunas produjo los mayores impactos sobre el ambiente en todos los escenarios evaluados y para todas las categorías de impacto analizadas. Sin embargo, se rechaza la segunda parte de la hipótesis, puesto que el escenario PET-Reciclado exhibió, en general, el mejor desempeño ambiental, mientras que el escenario Vidrio-Vertedero mostró la mayor carga ambiental para el sistema evaluado.

A partir de los resultados globales obtenidos en este trabajo, se recomienda la utilización de envases de PET. No obstante, si se optara por continuar con la línea de vidrio, se recomienda la elección de envases de menor peso y color verde, lo que podría mejorar su desempeño ambiental y resguardaría mejor la calidad del aceite, aspectos que quedan sujetos a una evaluación pertinente. Además, en todos los casos se recomienda la práctica de reciclado de los envases frente a la de disposición en vertedero.

Por otra parte, si bien el mayor punto crítico del proceso fue la producción de las aceitunas, es pertinente la proposición de algunas alternativas para mejorar el desempeño ambiental de los procesos que ocurren dentro de la fábrica, ya que fueron el foco de este estudio y son en los que puede tener incidencia la Facultad. La elección de los proveedores que trabajen con productos elaborados en la provincia, o lugares cercanos a la región, permitiría disminuir la carga ambiental de los transportes de insumos, en particular de los envases de vidrio (además de optar por un eco-diseño de los envases atendiendo a las consideraciones anteriores). Por otro lado, los desechos orgánicos generados en el proceso de obtención podrían utilizarse en calderas de biomasa para la generación de calor. Si bien el sistema productivo del aceite de oliva no genera tantos residuos ni consume tanta energía térmica, en el contexto donde se encuentra la planta piloto hay más generación de residuos orgánicos (provenientes de la elaboración de conservas, residuos de la poda de frutales, entre otros), para alimentar dicha caldera. A su vez, la energía generada serviría para todos los sistemas productivos de la planta piloto, así como para la calefacción de la Facultad de Ciencias Agrarias, aledaña a la fábrica. Finalmente, teniendo en cuenta que una de las funciones que cumple el ACV es informar a los consumidores, se recomienda la divulgación de los beneficios del reciclado en este sistema-producto (reducción de los impactos de la etapa de fin de vida de hasta el 60 % para envases de vidrio y hasta 10 % para envases de PET), conjuntamente a la comercialización del producto, para estimular esta práctica de fin de vida en los consumidores del producto. Cabe aclarar que el PET reciclado podría incorporarse en ciclos de vida de diversos productos. Sin embargo, si se deseara utilizar

como envase de productos alimenticios, el Código Alimentario Argentino¹² (CAA) contempla el uso de PET multicapa¹³ permitiendo su uso, aunque queda restringido a envases de bebidas carbonatadas no alcohólicas.

Por último, si bien esta investigación toma como referencia el proceso de obtención de AOVE llevado a cabo en la planta piloto de la FCA, se destaca la importancia de la información brindada, que puede servir como antecedente para analizar los impactos ambientales asociados a la producción de aceite de oliva en Mendoza, Argentina, donde no se hallaron estudios previos de esta naturaleza. Asimismo, se subraya la importancia de la incorporación de los procesos de distribución del producto y de gestión de fin de vida del envase, ya que mayormente estos son excluidos de los límites de los sistemas-productos evaluados, dado los desafíos metodológicos y de recopilación de datos que presentan. Por tanto, se realza la relevancia del análisis hecho en este trabajo como precedente para la inclusión de estos procesos en futuros estudios.

¹² En el CAA, capítulo IV "UTENSILIOS, RECIPIENTES, ENVASES, ENVOLTURAS, APARATOS Y ACCESORIOS" se encuentra el Art 212 bis - (Res Conj. SPRyRS y SAGPA N° 020 y N° 248 del 17.03.03) (Res GMC N° 025/99) CRITERIOS GENERALES PARA ENVASES DE UNICO USO DE POLIETILENTEREFALATO — PET — MULTICAPA DESTINADOS AL ENVASADO DE BEBIDAS ANALCOHOLICAS CARBONATADAS, se detallan los requisitos para el uso de este envase.

¹³ Envase obtenido por el proceso de coinyección - soplado, constituido por una capa externa de PET virgen, una capa intermedia de PET reciclado y una capa interna "barrera funcional" de PET virgen.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ABRAHAM, L. 2019. Análisis de ciclo de vida. *Apuntes de clases (según ISO 14044)*.
- ACCORSI, R., VERSARI, L., & MANZINI, R. 2015. Glass vs. plastic: life cycle assessment of extra-virgin olive oil bottles across global supply chains. [en línea] *Sustainability*, Vol. 7(3), p. 2818-2840. [<https://doi.org/10.3390/su7032818>].
- AMBROSINI, C. 2013. El mercado de los aceites de oliva aromatizados. Análisis de factibilidad. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza Argentina. [en línea] Repositorio institucional UNCUYO [<https://bdigital.uncu.edu.ar/fichas.php?idobjeto=5772>] p. 42.
- ARANITI, E. V. 2013. Evaluación de la calidad de los aceites de oliva vírgenes obtenidos a partir de las variedades arauco y arbequina de Mendoza, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. [en línea] Repositorio institucional UNCUYO [<https://bdigital.uncu.edu.ar/11095>] p.202.
- AVRAAMIDES, M. Y FATTA, D. 2008. Resource consumption and emissions from olive oil production: a life cycle inventory case study in Cyprus. [en línea] *Journal of Cleaner Production*. Volumen 16 (7) Páginas 809-821 [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652607001059>], [Consulta: Septiembre 2020].
- BARONI, A., FERNÁNDEZ, C., RÍOS VERA, M., ANDREUC CETTI, C. P., FERNÁNDEZ, L., ALEGRE, F. y CANTALOUBE, M. 2010. Olivo. Censo Frutícola Provincial 2010. Mendoza, Argentina. [en línea] IDR [<https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2012/02/olivo1.pdf>] [Consulta: Septiembre 2019].
- BEHE MENENDEZ, G. 2000. [en línea] SAGyP [<http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/publicaciones/calidad/Gestion/GA-oliva.pdf>] [Consulta: Septiembre 2020].
- BOBILLO, J. M. y SANTONATO A.J. 2017. Análisis de la cadena de intermediarios de los materiales reciclables en el área metropolitana de Mendoza. [en línea] Gobierno de Mendoza. [<https://ciudaddemendoza.gob.ar/wp-content/uploads/2019/11/Analisis-de-la-cadena-de-intermediarios-reciclables-Mza.pdf>] [Consulta: Febrero 2020].
- BORGATTI LANZARINI, G. 2017. Avaliação de ciclo de vida do azeite de oliva na região sul do Brasil. [en línea] Repositorio institucional UNISC [<https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1516/1/Giovanni%20Borgatti%20Lanzarini.pdf>] p.11-13.
- CÁCERES, R., NOVELLO, R. y ROBERT, M. 2009. Análisis de la cadena del olivo en Argentina [en línea] INTA Proyecto técnico 2742. ISSN 1852-4605 [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-olivo_2742.pdf]. [Consulta: Septiembre 2019].
- CÁMARA OLIVÍCOLA DE SAN JUAN. 2017. Informe olivícola nacional 2017 olivicultura argentina. [en línea] [<http://camaraolivicola.com.ar/wp-content/uploads/2018/09/Informe-Oliv%C3%ADcola-5-de-septiembre-de-2018.pdf>], [Consulta: Octubre 2020].
- CENSO FRUTÍCOLA PROVINCIAL. 2010. [en línea] [<https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2012/02/olivo1.pdf>], [Consulta: Octubre 2019].
- CHUMBITA, N. 2017. Caracterización y propuesta de tratamiento para efluentes líquidos generados en la elaboración de aceite de oliva en la Planta Piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Tesina de grado. Mendoza Argentina. [en línea] Repositorio institucional UNCUYO [<https://bdigital.uncu.edu.ar/fichas.php?idobjeto=9794>] p. 20-24.
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO (CAA). 2020. [en línea] [<https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>], [Consulta: Diciembre 2020].

- CONSEJO OLIVÍCOLA INTERNACIONAL. 2020. [en línea] [<https://www.internationaloliveoil.org/>], [Consulta: Diciembre 2020].
- EL HANANDEH, A. y GHARAIBEH, M. 2016. Environmental efficiency of olive oil production by small and micro-scale farmers in northern Jordan: Life cycle assessment. *Agricultural Systems*. [en línea] Vol. 148. p. 169-177. [https://www.researchgate.net/publication/305995824_Environmental_efficiency_of_olive_oil_production_by_small_and_micro-scale_farmers_in_northern_Jordan_Life_cycle_assessment], [Consulta: Julio 2020].
- ESPADAS-ALDANA, G., VIALLE, C., BELAUD, JP., VACAGARCIA, C. y SABLAYROLLES, C. 2019. Analysis and trends for Life Cycle Assessment of olive oil production. [en línea] *Journal: Sustainable Production and Consumption* Vol. 19, p. 216-230 [[sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550919300533](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550919300533)] [Consulta: Agosto 2020].
- ETCHEVEHERE. 2018. La olivicultura nacional es fuente genuina de empleo y divisas. [en línea] MAGyP [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/prensa/index.php?accion=noticia&id_info=180622120108] [Consulta: Agosto 2020].
- FERNÁNDEZ, C., et al. 2019. Matriz Productiva. [en línea] IDR [<http://www.ekosnegocios.com/revista/pdfTemas/1091.pdf>], [Consulta: Noviembre 2019].
- FIGUEIREDO, F., CASTANHEIRA, E., MATEUS, A., MARQUES, P. y FREIRE, F. s.f.. Avaliação de ciclo de vida do azeite. [en línea] Center for Industrial Ecology, ADAI-LAETA [<http://www2.dem.uc.pt/CenterIndustrialEcology/projects/Outputs%20Ecodeep/publicacoes/artigos%20conferencias/QUA07.%20Figueiredo%20et%20al.%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20de%20ciclo%20de%20vida%20do%20azeite..pdf>] [Consulta: Julio 2020].
- GALLEGOS, M. s.f. Producción olivícola en Argentina y Mendoza [en línea] Repositorio academia.edu [https://www.academia.edu/24439097/A_Pa%C3%ADses_del_mundo_productores_de_aceite_de_oliva_B_Pa%C3%ADses_del_mundo_productores_de_aceitunas_de_mesa_A_Rese%C3%B1a_hist%C3%B3rica] [Consulta: Noviembre 2019].
- GOBIERNO DE MENDOZA. 2017. [en línea] Mendoza [<http://www.mendoza.gov.ar/la-provincia/>]. [Consulta: Noviembre 2019].
- GODOY GUTIÉRREZ, L. 2017. Análisis de negocios y oportunidades para la exportación y comercialización de aceite de oliva argentino hacia Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina. [en línea] Repositorio institucional UBA. [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-0473_GodoyGutierrezLX.pdf] p 57.
- GOEDKOOP. M., OELE, M., LEIJTING, J., PONSIOEN, T. Y MEIJER, E. 2016. Introducción a SimaPro.
- GUARINO, F., FALCONE, G., STILLITANO, T., DE LUCA, A. I., GULISANO, G., MISTRETTA, M., y STRANO, A. 2019. Life cycle assessment of olive oil: A case study in southern Italy. [en línea] *Journal of environmental management*, vol 238, p. 396-407. [<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.006>] [Consulta: Septiembre 2019].
- HUIJBREGTS, M.A.J., STEINMANN, Z.J.N., ELSHOUT, P.M.F., STAM, G., VERONES, F., VIEIRA, M.D.M., HOLLANDER, A., ZIJP, M. y VAN ZELM, R. 2016. ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. National Institute for Public Health and the Environment.
- ILARIONI, L., NASINI, L., REGNI, L. y PROIETTI, P. 2014. Carbon footprint of an olive tree grove. [en línea] *Energía Aplicada* Vol. 127, p. 115-124 [<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.019>] [Consulta: Septiembre 2020].

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION-ISO. 2006b. International Standard 14044. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines. International Organization for Standardization.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION-ISO. 2006a. International Standard 14040. Life Cycle Assessment. Requirements and guidelines. International Organization for Standardization.
- JUNGBLUTH, N. y FRISCHKNECHT, R. 2007. Cumulative energy demand. En Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0. ecoinvent report No. 3. Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- LEGISLATURA DE MENDOZA (1992). Ley provincial 5962. Preservación del medio ambiente.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA Y PESCA. s.f.. Cadena olivícola [en línea] [<https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/olivo/>]. [Consulta: Octubre 2019].
- MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN. 2020. Agroindustria [en línea] [<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/argentina-innovadora-2030/plan-argentina-innovadora-2020/agroindustria>] [Consulta: Agosto 2020].
- NAVARRO DIARTE, A. 2017. El binomio producto/envase para vino y aceite de oliva: algunas cuestiones de ACV y HC a nivel de producto, a nivel corporativo y a nivel nacional. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya [en línea] [<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/458116/TAND1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>] p.100.
- OTERO, R., DEL CARRIL, F., GALLEGRO, M. E. y JURY, C. 2020. Plan Estratégico Olivícola Argentino (PEOA) 2020. [en línea] CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. [<http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2015/12/plan-olivicola.pdf>], [Consulta: Octubre 2020].
- PAPADAKIS, G., PAPADOPOULOS, A., MENTZIS KOSTAS, A., MOLERO CORTÉS, G., LABURU LARRAZABAL, I., AVRAAMIDES, M. y FATTA, D. 2006. Life Cycle Assessment (LCA) as a Decision Support Tool (DST) for the eco-production of olive oil. [en línea] *Life-Environment* [https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=Ecoil_guidelines1.pdf] [Consulta: Septiembre 2020].
- PATTARA, C., SALOMONE, R. y CICHELLI, A. 2016. Carbon footprint of extra virgin olive oil: a comparative and driver analysis of different production processes in Centre Italy. [en línea] *Journal of Cleaner Production*, vol. 127, p. 533-547. [<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.152>] [Consulta: Agosto 2019].
- PEREYRA, J. 2017. Cadena agroalimentaria: aceite de oliva [en línea] Repositorio academia.edu [https://www.academia.edu/38911865/CADENA_AGROALIMENTARIA_Aceite_de_Oliva] [Consulta: Octubre 2020].
- PROIETTI, S., SDRINGOLA, P., DESIDERI, U., ZEPPARELLI, F., BRUNORI, A., RINALDI, S., BARBANERA, M. y LASCARO, E. 2014. Assessment of carbon footprint and energy performance of the extra virgin olive oil chain in Umbria, Italy. [en línea] *Ciencia del Medio Ambiente Total* Vol. 482-483, p. 71-79 [<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.104>] [Consulta: Diciembre 2019].
- RIVERO LASTRE, R. 2017. Una perspectiva de ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales y económicos de tecnologías innovadoras en la extracción de aceite de oliva virgen extra. Tesina de grado. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea] [http://oa.upm.es/45232/1/PFC_RAFAEL_RIVERO_LASTRE.pdf] p. 124.
- RIVM. 2019. Puntuaciones de normalización ReCiPe 2016 [en línea] [<https://www.rivm.nl/en/documenten/normalization-scores-recipe-2016>].

- SAIZ VINET, T. 2014. Impactos ambientales del aceite de oliva y evaluación de un portafolio de medidas para su mitigación. estudio de caso de comercial soho. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile. [en línea] [<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131460/Impactos-ambientales-del-aceite-de-oliva-y-evaluacion-de-un-...pdf?sequence=4&isAllowed=y>] p.122.
- SALEH, Y. 2015. Life Cycle Assessment of Olive Oil Tin and Plastic Containers. [en línea] *An - Najah Univ. J. Res. (N. Sc.) Vol. 29* [<https://staff-beta.najah.edu/media/sites/default/files/LCA%20of%20olive%20oil.pdf>] [Consulta: Agosto 2020].
- SCHMIDT, J. 2014. Life cycle assessment of five vegetable oils. [en línea] *Journal of Cleaner Production.* Vol. 87, p. 130-138 [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614010518>] [Consulta: Diciembre 2019].
- SECRETARÍA DE AGREGADO DE VALOR Y SUBSECRETARÍA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS. 2017. Regiones, olivos y divisas [en línea] *Revista alimentos argentinos vol. 72* [http://www.alimentosargentinos.gov.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/Revista/AA_72.pdf] [Consulta: Diciembre 2019].
- STILLITANO, T., FALCONE, G., DE LUCA, A.I., PIGA, A., CONTE, P., STRANO A. y GULISANO, G. 2019. A Life Cycle Perspective to Assess the Environmental and Economic Impacts of Innovative Technologies in Extra Virgin Olive Oil Extraction [en línea] *Alimentos* , Vol. 8 (6), p. 209; [<https://doi.org/10.3390/foods8060209>] [Consulta: Septiembre 2020].
- TAGARELLI. 2010. Cadenas alimentarias Olivos [en línea] SAGyP. *Revista alimentos argentinos* vol. 47 [http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/revista_47.php] [Consulta: Septiembre 2020].
- TOMASELLI, V. 2018. Cómo está la olivicultura argentina hoy. [en línea] *Agrarian sciences* [<https://agrariansciences.blogspot.com/2018/03/como-esta-la-olivicultura-argentina-hoy.html>] [Consulta: octubre 2020].
- VELASCO, M. I.. 1949. La olivicultura en la República Argentina. [en línea] Facultad de Filosofía y Letras, UNCuyo. Instituto de historia y disciplinas auxiliares. Boletín de estudios geográficos N°4 Repositorio institucional UNCUIYO [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11816/01-velasco.pdf] [Consulta: octubre 2019].
- VITA SERMAN, F., MATIAS, C. 2013. Programa Nacional frutales Cadena Olivo. (en línea) INTA [<https://inta.gov.ar/documentos/zonas-olivícolas-de-la-argentina-contexto-y-prospectiva-de-la-cadena-olivos>]. [Consulta: Agosto 2020].

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta en línea a 204 personas: hábitos de consumo

Tabla A1. Encuesta sobre hábitos de consumo realizada en línea.

¿Cuándo comprarías?

¿Viajaría exclusivamente a los puntos de venta para comprar? Respuesta: 97 personas.

¿Esperaría a tener que ir por otra razón (estudio, trabajo) y solo así compraría? Respuesta: 107 personas.

Si viajaras exclusivamente a comprar desde ciudad de Mza a DAMSU. ¿Cuántos productos como mínimo deberías comprar para decidir ir?

Opciones	Respuestas
1	17 productos.
2	27 productos.
3	53 productos.
4	25 productos.
5	42 productos.
6	14 productos.
7	7 productos.
8	6 productos.
9	0 productos.
10	12 productos.

Si viajaras exclusivamente a comprar desde ciudad de Mza a la FCA. ¿Cuántos productos como mínimo deberías comprar para decidir ir?

Opciones	Respuestas
1	10 productos.
2	13 productos.
3	42 productos.
4	30 productos.
5	45 productos.
6	13 productos.
7	14 productos.
8	12 productos.
9	2 productos.
10	23 productos.

¿Qué transporte utilizarías para realizar tus compras?

Opciones	Respuestas
Automóvil	253
Colectivo	43
Bicicleta	8

Anexo 2. Adaptación de inventarios de ciclo de vida

2.1. Adaptación del inventario de ciclo de vida de producción de aceitunas

Tabla A2.1. Inventario de ciclo de vida de la producción de aceitunas. Adaptación del inventario "Olive production, ES", disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.

Products: Olive {AR} olive production APOS, U_modificado		
Resources		
Carbon dioxide, in air	0,54972524	kg
Energy, gross calorific value, in biomass*	7,11252032	MJ
Occupation, permanent crop, irrigated	1,98362421	m2
Transformation, from permanent crop, irrigated	0,09891414	m2
Transformation, to permanent crop, irrigated	0,09891414	m2
Materials/fuels		
[sulfonyl]urea-compound {GLO} market for APOS, U	0,00024729	kg
Ammonium nitrate, as N {GLO} market for APOS, U	0,00192883	kg
Ammonium sulfate, as N {GLO} market for APOS, U	0,00381017	kg
Application of plant protection product, by field sprayer {GLO} market for APOS, U	0,00059348	ha
Diphenylether-compound {GLO} market for APOS, U	3,9566E-05	kg
Establishing orchard {GLO} market for establishing orchard APOS, U	0,00123643	p
Fertilising, by broadcaster {GLO} market for APOS, U	0,00039566	ha
Fruit tree seedling, for planting {GLO} market for fruit tree seedling, for planting APOS, U	0,00123643	p
Irrigation {RoW} market for APOS, S *	0,07418462	m3
Mowing, by motor mower {GLO} market for APOS, U	0,00039566	ha
Mulching {GLO} market for APOS, U	0,00019783	ha
Nitrogen fertiliser, as N {GLO} market for APOS, U	0,00487251	kg
Organophosphorus-compound, unspecified {GLO} market for APOS, U	2,9694E-07	kg
Packaging, for fertilisers or pesticides {GLO} market for packaging, for fertilisers or pesticides APOS, U	0,07206884	kg
Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO} market for APOS, U	0,01107205	kg
Phosphate rock, as P2O5, beneficiated, dry {GLO} market for APOS, U	0,00079764	kg
Planting tree {GLO} market for planting tree APOS, U	0,00123643	p
Potassium chloride, as K2O {GLO} market for APOS, U	0,00422561	kg
Potassium fertiliser, as K2O {GLO} market for APOS, U	0,00356091	kg
Potassium sulfate, as K2O {GLO} market for APOS, U	0,00408318	kg
Tillage, harrowing, by rotary harrow {GLO} market for APOS, U	0,00039566	ha
Transport, tractor and trailer, agricultural {GLO} market for APOS, U	0,0019862	tkm
Urea, as N {GLO} market for APOS, U	0,00125819	kg
Emissions to air		

Ammonia	0,0013114	kg
Carbon dioxide, fossil	0,0020499	kg
Dinitrogen monoxide	0,00029914	kg
Nitrogen oxides	0,000468	kg
Water/m3	0,05435728	m3
<hr/> Emissions to water <hr/>		
Chromium	6,393E-07	kg
Chromium	3,8125E-06	kg
Copper	5,7064E-07	kg
Copper	8,1741E-07	kg
Lead	2,9184E-07	kg
Lead	5,3418E-08	kg
Mercury	2,0469E-10	kg
Mercury	1,0485E-09	kg
Nickel	1,4251E-11	kg
Nickel	3,7991E-07	kg
Nitrate	0,01003117	kg
Phosphorus	1,744E-05	kg
Water, ES	0,00396586	m3
Water, ES	0,01586345	m3
Zinc	7,6077E-07	kg
Zinc	2,7144E-06	kg
<hr/> Emissions to soil <hr/>		
Cadmium	6,5664E-07	kg
Chromium	2,4196E-06	kg
Copper	-1,1624E-06	kg
Diflufenican	3,9566E-05	kg
Dimethoate	2,9694E-07	kg
Lead	2,5316E-06	kg
Mercury	-5,3223E-10	kg
Nickel	8,9614E-07	kg
Oxyfluorfen	0,00024729	kg
Zinc	1,1897E-06	kg
<hr/> Final waste flows <hr/>		
<hr/> Waste to treatment <hr/>		
Waste wood, untreated {ES} market for waste wood, untreated APOS, U	0,2637051	kg

2.2. Adaptación del inventario de ciclo de vida de producción de botellas de vidrio

Tabla A2.2. Inventario de ciclo de vida de la producción de botellas de vidrio. Adaptación del inventario "Packaging glass production, white, RoW", disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.

Products: Packaging glass, white {AR} production APOS, U		
Resources		
Water, unspecified natural origin, AR *	0,00197976	m3
Materials/fuels		
Chemical, inorganic {GLO} market for chemicals, inorganic APOS, U	0,02199732	kg
Diesel {RoW} market for APOS, U	0,00176978	kg
Dolomite {RoW} market for dolomite APOS, U	0,06799173	kg
Electricity, medium voltage {AR} market for APOS, U *	0,0003150	kWh
EUR-flat pallet {GLO} market for APOS, U	0,0007869	p
Feldspar {GLO} market for APOS, U	0,02859652	kg
Glass cullet, sorted {GLO} market for APOS, U	0,56993065	kg
Graphite {GLO} market for APOS, U	1,2498E-06	kg
Heavy fuel oil {RoW} market for APOS, U *	0,04329	kg
Light fuel oil {RoW} market for APOS, U	0,04189	kg
Lime {RoW} market for lime APOS, U	0,04899404	kg
Lubricating oil {RoW} market for lubricating oil APOS, U	2,3797E-05	kg
Natural gas, high pressure {RoW} market for APOS, U *	0,09152	m3
Packaging glass factory {GLO} market for APOS, U	1,2498E-10	p
Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for APOS, U	0,01289843	kg
Refractory, fireclay, packed {GLO} market for APOS, U	0,01429826	kg
Selenium {GLO} market for APOS, U	9,9988E-06	kg
Silica sand {GLO} market for APOS, U	0,24681158	kg
Soda ash, light, crystalline, heptahydrate {GLO} market for APOS, U	0,09598832	kg
Solid unbleached board {GLO} market for APOS, U	0,01929765	kg
Tap water {RoW} market for APOS, U *	0,09998	kg
Emissions to air		
Ammonia	2,6197E-08	kg
Antimony	6,7392E-08	kg
Arsenic	6,7392E-08	kg
Benzene	1,4992E-06	kg
Benzo(a)pyrene	1,4275E-10	kg
Cadmium	6,7392E-08	kg
Carbon dioxide, fossil	0,55858224	kg
Carbon monoxide, fossil	3,2832E-05	kg
Chromium	6,7392E-08	kg

Cobalt	6,7392E-08	kg
Copper	6,7392E-08	kg
Dinitrogen monoxide	2,8549E-06	kg
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	1,7843E-15	kg
Formaldehyde	2,0341E-06	kg
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	1,1899E-05	kg
Hydrogen chloride	4,9694E-05	kg
Hydrogen fluoride	1,7998E-05	kg
Lead	7,7191E-07	kg
Manganese	6,7392E-08	kg
Methane, fossil	1,6416E-05	kg
Nickel	6,7392E-08	kg
Nitrogen oxides	0,00209974	kg
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	4,4195E-06	kg
Particulates, < 2.5 um	0,00025197	kg
Particulates, > 10 um	1,5998E-05	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	1,2998E-05	kg
Selenium	7,3291E-06	kg
Sulfur dioxide	0,00343958	kg
Water/m3	0,00031196	m3

Emissions to water

AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	9,9988E-08	kg
BOD5, Biological Oxygen Demand	9,9988E-06	kg
COD, Chemical Oxygen Demand	9,9988E-06	kg
Copper	9,9988E-10	kg
DOC, Dissolved Organic Carbon	9,9988E-06	kg
Nitrite	9,9988E-08	kg
Oils, unspecified	9,9988E-07	kg
Sulfate	9,9988E-07	kg
Suspended solids, unspecified	9,9988E-07	kg
TOC, Total Organic Carbon	9,9988E-06	kg
Water, RoW	7,999E-06	m3
Zinc	9,9988E-09	kg

Waste to treatment

Municipal solid waste {CA-QC} market for APOS, U	7,762E-06	kg
Municipal solid waste {CY} market for municipal solid waste APOS, U	1,9558E-06	kg
Municipal solid waste {RoW} market for APOS, U	0,00548961	kg
Wastewater from glass production {GLO} market for APOS, U	0,00175979	m3

2.3. Adaptación del inventario de ciclo de vida de producción de botellas de PET

Tabla A2.3. Inventario de ciclo de vida de la producción de botellas de PET. Adaptación del inventario “Polyethylene terephthalate production, granulate, bottle grade, RoW”, disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.

Products	Plastics\Thermoplasts\Transformation	
Resources		
Water, cooling, unspecified natural origin, AR *	0,00484	m3
Water, unspecified natural origin, AR *	1,43E-05	m3
Materials/fuels		
Chemical factory, organics {GLO} market for APOS, U	4E-10	p
Electricity, medium voltage {AR} market for APOS, U *	0,188999	kWh
Ethylene glycol {GLO} market for APOS, U	0,07609995	kg
Heat, district or industrial, natural gas {RoW} market for heat, district or industrial, natural gas APOS, U	0,37899976	MJ
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} market for APOS, U	0,55059965	MJ
Nitrogen, liquid {RoW} market for APOS, U	0,03659998	kg
Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO} market for APOS, U	0,77999951	kg
Purified terephthalic acid {GLO} market for APOS, U	0,19399988	kg
Steam, in chemical industry {GLO} market for APOS, U	0,09999994	kg
Emissions to air		
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	1E-06	kg
Particulates, < 2.5 um	2,5E-07	kg
Particulates, > 10 um	3,2E-07	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	4,3E-07	kg
Water/m3	0,00187843	m3
Emissions to water		
BOD5, Biological Oxygen Demand	0,000631	kg
COD, Chemical Oxygen Demand	0,000631	kg
DOC, Dissolved Organic Carbon	6,41E-07	kg
Hydrocarbons, unspecified	1E-06	kg
Suspended solids, unspecified	9E-06	kg
TOC, Total Organic Carbon	6,41E-07	kg
Water, RoW	0,00297587	m3
Final waste flows		
Waste to treatment		
Average incineration residue {RoW} market for average incineration residue APOS, U	0,00181	kg
Hazardous waste, for underground deposit {GLO} market for APOS, U	0,00043	kg
Municipal solid waste {CY} market for municipal solid waste APOS, U	1,4246E-08	kg
Municipal solid waste {RoW} market for APOS, U	3,9986E-05	kg

Waste plastic, mixture {BR} market for waste plastic, mixture APOS, U	0,00055418	kg
Waste plastic, mixture {CO} market for waste plastic, mixture APOS, U	3,7028E-05	kg
Waste plastic, mixture {CY} market for waste plastic, mixture APOS, U	2,8004E-06	kg
Waste plastic, mixture {IN} market for waste plastic, mixture APOS, U	1,5294E-05	kg
Waste plastic, mixture {PE} market for waste plastic, mixture APOS, U	6,1785E-06	kg
Waste plastic, mixture {ZA} market for waste plastic, mixture APOS, U	1,4523E-05	kg

2.4. Adaptación del inventario de ciclo de vida de la producción evitada de botellas de vidrio

Tabla A2.4. Inventario de ciclo de vida de la producción de botellas de vidrio verde. Adaptación del inventario "Packaging glass production, green, RoW", disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.

Products: Packaging glass, green {RoW} production APOS, U		
Avoided products	1	kg
Resources		
Water, unspecified natural origin, AR *	0,00197976	m3
Materials/fuels		
Chemical, inorganic {GLO} market for chemicals, inorganic APOS, U	0,02199732	kg
Diesel {RoW} market for APOS, U	0,00176978	kg
Dolomite {RoW} market for dolomite APOS, U	0,06799173	kg
Electricity, medium voltage {AR} market for electricity, medium voltage APOS, U *	0,241008	kWh
EUR-flat pallet {GLO} market for APOS, U	0,0007869	p
Feldspar {GLO} market for APOS, U	0,01619803	kg
Glass cullet, sorted {GLO} market for APOS, U	0,56993065	kg
Graphite {GLO} market for APOS, U	1,2498E-06	kg
Heavy fuel oil {RoW} market for APOS, U *	0,0432947	kg
Light fuel oil {RoW} market for APOS, U *	0,0418949	kg
Lime {RoW} market for lime APOS, U	0,04899404	kg
Lime, hydrated, loose weight {RoW} market for lime, hydrated, loose weight APOS, U	0,00099988	kg
Lubricating oil {RoW} market for lubricating oil APOS, U	2,3797E-05	kg
Natural gas, high pressure {RoW} market for APOS, U *	0,09152732	m3
Packaging glass factory {GLO} market for APOS, U	1,2498E-10	p
Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for APOS, U	0,01289843	kg
Portachrom {GLO} market for APOS, U	0,00099988	kg
Refractory, fireclay, packed {GLO} market for APOS, U	0,01429826	kg
Silica sand {GLO} market for APOS, U	0,25821019	kg
Soda ash, light, crystalline, heptahydrate {GLO} market for APOS, U	0,09598832	kg
Solid unbleached board {GLO} market for APOS, U	0,01929765	kg
Tap water {RoW} market for APOS, U *	0,09998783	kg
Emissions to air		
Ammonia	2,6197E-08	kg
Antimony	6,7392E-08	kg
Arsenic	6,7392E-08	kg
Benzene	1,4992E-06	kg
Benzo(a)pyrene	1,4275E-10	kg
Cadmium	6,7392E-08	kg
Carbon dioxide, fossil	0,55858224	kg

Carbon monoxide, fossil	3,2832E-05	kg
Chromium	6,7392E-08	kg
Cobalt	6,7392E-08	kg
Copper	6,7392E-08	kg
Dinitrogen monoxide	2,8549E-06	kg
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	1,7843E-15	kg
Formaldehyde	2,0341E-06	kg
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	1,1899E-05	kg
Hydrogen chloride	4,9694E-05	kg
Hydrogen fluoride	1,7998E-05	kg
Lead	7,7191E-07	kg
Manganese	6,7392E-08	kg
Methane, fossil	1,6416E-05	kg
Nickel	6,7392E-08	kg
Nitrogen oxides	0,00209974	kg
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	4,4195E-06	kg
Particulates, < 2.5 um	0,00025197	kg
Particulates, > 10 um	1,5998E-05	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	1,2998E-05	kg
Selenium	7,3291E-06	kg
Sulfur dioxide	0,00343958	kg
Water/m3	0,00031196	m3
<hr/>		
Emissions to water		
<hr/>		
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	9,9988E-08	kg
BOD5, Biological Oxygen Demand	9,9988E-06	kg
COD, Chemical Oxygen Demand	9,9988E-06	kg
Copper	9,9988E-10	kg
DOC, Dissolved Organic Carbon	9,9988E-06	kg
Nitrite	9,9988E-08	kg
Oils, unspecified	9,9988E-07	kg
Sulfate	9,9988E-07	kg
Suspended solids, unspecified	9,9988E-07	kg
TOC, Total Organic Carbon	9,9988E-06	kg
Water, RoW	7,999E-06	m3
Zinc	9,9988E-09	kg
<hr/>		
Waste to treatment		
<hr/>		
Municipal solid waste {CA-QC} market for APOS, U	7,762E-06	kg
Municipal solid waste {CY} market for municipal solid waste APOS, U	1,9558E-06	kg
Municipal solid waste {RoW} market for APOS, U	0,00548961	kg
Wastewater from glass production {GLO} market for APOS, U	0,00175979	m3
<hr/>		

2.5. Adaptación del inventario de ciclo de vida de reciclado de PET

Tabla A2.5. Inventario de ciclo de vida del proceso de reciclado de PET. Adaptación del inventario "Recycling of PET, GLO", disponible en Ecoinvent 3.5. Se señalan con un asterisco los procesos que han sido modificados.

Process: Recycling of PET GLO		
Waste treatment		
PET (waste treatment) {AR} recycling of PET APOS, U *	1	kg
Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade {ROW} production APOS, U *	1	kg
Materials/fuels		
Electricity, medium voltage {AR} market for APOS, U *	0,6	kWh