

Evaluación del impacto energético-ambiental del tomate cultivado de tomate en invernadero: Un estudio de caso en Almería (España)

Posted By *Maria de Castro* On 28 septiembre, 2021 @ 15:59 In | [No Comments](#)



1. Introducción

Cada vez existe mayor interés por aumentar la sostenibilidad de la cadena alimentaria por razones sociales, económicas y medioambientales [1]. Uno de los aspectos clave que hay que abordar en este esfuerzo es la reducción de las pérdidas de alimentos en las diferentes etapas de la cadena alimentaria. De hecho, la pérdida de alimentos es uno de los mayores retos mundiales junto a la necesidad de combatir el hambre, aumentar los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria, especialmente en las regiones con menores ingresos [2]. La meta tres del Objetivo de Desarrollo Sostenible número doce (ODS12) es: "Para 2030, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita en el mundo a nivel de minoristas y consumidores y reducir las pérdidas de alimentos a lo largo de las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha", ya que la cuestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos se ha convertido en un problema importante. Si nos fijamos en los datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), cada año se estima que un tercio de todos los alimentos producidos, es decir 1.300 millones de toneladas con un valor aproximado de 1 billón de dólares, acaba en los contenedores de los consumidores y minoristas, o se echan a perder debido a las malas prácticas de transporte y recolección. Sólo en la Unión Europea se pierden 88 millones de toneladas (Mt) de alimentos cada año [3]. El desperdicio de alimentos tiene un gran impacto en recursos naturales. Se calcula que se pierde el 25% del agua utilizada para el riego [4], y el 8% de las emisiones mundiales anuales de gases de efecto invernadero (GEI) se deben al desperdicio de alimentos [5]. Es importante distinguir aquí la diferencia entre la pérdida de

alimentos y el desperdicio de alimentos. La primera se refiere a la "disminución de la masa de alimentos comestibles en toda la parte de la cadena de suministro que específicamente a los alimentos comestibles para el consumo humano" [2]. La pérdida de alimentos suele producirse antes de llegar al extremo comercial de la cadena de distribución, es decir, en las etapas de producción cosecha y procesado. Las pérdidas de alimentos que se producen en las fases de venta al por menor, consumo y de eliminación se denominan "desperdicio de alimentos" y están fuertemente vinculadas al comportamiento de los propietarios de las tiendas y de los consumidores finales [6].

Existen muchas iniciativas políticas para reducir las pérdidas y el desperdicio de alimentos en todo el mundo. Algunos ejemplos son el proyecto de ley federal estadounidense *Bill Emerson Good Samaritan Food Donation Act* (1996), cuyo objetivo es "fomentar la donación de alimentos y productos de alimentación a organizaciones sin ánimo de lucro para su distribución a personas necesitadas". Existen leyes similares en Europa [7], como la Ley del Buen Samaritano en Italia (2003). Otras acciones para alargar la vida útil de los alimentos son la revisión y armonización del etiquetado de fechas de los productos alimentarios en la Unión Europea (UE), así como un conjunto de directrices sobre la donación de alimentos que abordan diversos requisitos reglamentarios (por ejemplo, seguridad e higiene de los alimentos, responsabilidad) y pretenden facilitar el cumplimiento de los requisitos conexos de los donantes y los bancos de alimentos en toda la UE. Las medidas fiscales, como la deducción del IVA, para las donaciones de alimentos son otra herramienta política que se ha aplicado con éxito en varios países de la UE. Otra legislación relativa al desperdicio de alimentos incluye aspectos que abordan los retos en el extremo de la producción (agricultura, pesca, ganadería) y las etapas intermedias, como la distribución. Además, los factores como la comercialización de alimentos, el comportamiento de los consumidores, la coordinación de las partes interesadas la armonización de criterios, etc., son también esenciales para reducir el desperdicio de alimentos [8].

En conjunto, estos esfuerzos políticos y legislativos abordan elementos clave del desperdicio de alimentos: su generación, gestión, reducción y optimización. Una herramienta muy útil para entender los retos medioambientales que suponen las pérdidas y el desperdicio de alimentos en las diferentes fases en las que se puede producirse es, en efecto, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que puede definirse como "un método utilizado para evaluar el impacto medioambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida, que abarca la extracción y procesamiento de las materias primas, fabricación, distribución, uso, reciclaje y la eliminación final" [9]. La pérdida y el desperdicio de alimentos se traduce en un uso excesivo de los recursos necesarios para la producción, como la tierra, el agua, la energía y consumibles, como los nutrientes. Producir alimentos que no se van a consumir conlleva la generación de emisiones innecesarias de CO₂, entre otros impactos. El resultado medioambiental del desperdicio de alimentos se considera muy relevante [2]. A revisión de 134 estudios de ACV existentes sobre nueve productos muy conocidos (manzana, tomate, patata pan, leche, carne de vacuno, cerdo, pollo y pescado blanco) en Europa muestra que el desperdicio de alimentos representa un equivalente a 186 Mt de CO₂. Junto con otros impactos considerados en la revisión, supone que equivale a cerca del 16% del impacto total de toda la cadena de suministro de alimentos [10].

El método de ACV se ha aplicado a diferentes casos de estudio relacionados con el desperdicio de alimentos, como su generación en el sector de la gran distribución [11], su generación en el

sector de los servicios alimentarios de alimentos (como hoteles, restaurantes, comedores o centros de salud) [12], o la influencia de los envases [13], por citar algunos ejemplos. Otros se han centrado en la eliminación eficiente y la optimización de la valoración material y energética de los residuos alimentarios (por ejemplo, [14-16]). También se han realizado análisis del ciclo de vida de productos alimentarios individuales o alimentos procesados, siendo el tomate y sus subproductos un caso de estudio muy popular, por ejemplo, el ketchup de tomate [17], la producción de biodiésel [18], la producción de tomate en el Reino Unido [19], el tomate en España [20], la minimización de alimentos [21], el tomate y el pepino en campos abiertos e invernaderos [22], o la producción de tomate en Albania [23].

La relación entre las etapas del ACV de los productos alimentarios y la generación de residuos alimentarios de cada uno de ellos no se aborda con tanta frecuencia. Esta contribución presenta un ACV simplificado sobre los residuos alimentarios generados en las diferentes etapas del ciclo de vida de los tomates de invernadero (*Solanum lycopersicum*), desde la cuna hasta la tumba, obtenido a partir de un caso real en Almería, SE de España. El objetivo de este caso a estudio es poner de manifiesto el impacto medioambiental basado en tres indicadores: las emisiones de CO₂, la energía y el consumo de agua [24], en cada etapa y proporcionar información sobre las posibles soluciones para disminuir estos impactos. El objetivo de este estudio es comprender el papel de los residuos alimentarios en los impactos seleccionados de la producción de tomate a lo largo de su ciclo de vida. Se espera que los residuos alimentarios de la producción de tomate se encuentren en todas las etapas de producción, pero especialmente en la cosecha, el consumo y la eliminación, siendo menor en las etapas de envasado y transporte.

2. Materiales y métodos

El ACV es una herramienta compleja que requiere un estudio profundo y una información de base muy detallada de un gran número de parámetros. Por lo tanto, el análisis de ACV puede proporcionar una imagen muy completa de los diferentes impactos ambientales potenciales de una determinada actividad productiva, como la generación de gases de efecto invernadero, el agotamiento de la capa de ozono, la eutrofización del suelo y del agua, la ecotoxicidad, etc. [25]. Sin embargo, un análisis de este tipo queda fuera del alcance de este estudio. El ACV simplificado de los residuos alimentarios de los tomates de invernadero que se presenta aquí se basa en la metodología de la ecoauditoría. Una ecoauditoría es una "evaluación inicial rápida que identifica la fase de la vida -material, fabricación, transporte, uso, eliminación- que conlleva la mayor demanda de energía o que crea la mayor carga de CO₂" [26]. Por tanto, en este caso a estudio, se estiman las emisiones de CO₂ y el consumo de energía de esta actividad a los que se añade el consumo de agua, ya que el tomate es un cultivo sediento. Estos tres indicadores proporcionan una estimación aproximada de las etapas más sensibles de la producción, el consumo y la eliminación de alimentos, que son especialmente relevantes cuando se examinan los residuos alimentarios que cada uno de ellos genera.

La metodología de la ecoauditoría debe aplicarse a una situación de caso (casi) real en la que se establecen una declaración de objetivos, una unidad funcional, unos límites del sistema y unas hipótesis. Todos los datos de utilizados para los cálculos se han obtenido de la Junta de Andalucía [27] a menos que se indique lo contrario.

2.1. Objetivo y alcance del estudio

El objetivo principal de este estudio es evaluar tres tipos de impactos ambientales – CO₂, emisiones, uso de energía y consumo de agua – del ciclo de vida del cultivo de primavera de los tomates de invernadero en Almería, SE de España. Los resultados del estudio están dirigidos tanto a los productores de alimentos como a los consumidores. La unidad funcional de este estudio es 100 kg de tomates cosechados.

2.2. Límites del sistema e hipótesis

En este estudio se han establecido los siguientes límites y supuestos del sistema que se desglosan aquí por etapas del ciclo de vida. Los supuestos se basan en la información disponible para los autores en las diferentes fuentes consultadas en [22].

Etapas de producción y transformación (también conocida como materiales y fabricación)

La fase de cultivo del ciclo de vida del tomate de invernadero consta de las siguientes actividades: preparación del suelo, preparación del invernadero, siembra, plantación, poda, tutorado (es decir, soporte vertical), deshojado, polinización y maduración, fertirrigación y cosecha. Las condiciones de cultivo son las siguientes:

Temperatura diurna entre 20 y 25 °C;

Temperatura nocturna entre 15 y 18 °C;

Humedad relativa entre el 60 y el 80%;

Exposición al sol de entre 8 y 16 h al día;

Concentración de CO₂ de aproximadamente 335 ppm con ventanas abiertas y 650 ppm con ventanas cerradas.

Los nutrientes necesarios por tonelada de tomate cosechado son los siguientes:

Nitrógeno, N: 3,11 kg;

Fósforo, P: 0,6 kg;

Potasio, K: 4,21 kg;

Calcio, Ca: 2,26 kg;

Magnesio, Mg: 1,08 kg.

Como se ha dicho, el estudio se centrará en el cultivo durante el ciclo de primavera, es decir, entre noviembre y junio. En este ciclo, las semillas se siembran entre noviembre y febrero, los frutos maduran entre febrero y abril, y la cosecha tiene lugar entre abril y junio.

El invernadero tiene una superficie de 7500 m² y tiene 125 m de largo, 60 m de ancho y 4 m de alto. El material utilizado para cubrir el invernadero es polietileno de baja densidad (LDPE) de tres capas con un espesor de 200 micras y una densidad de 0,92 g/cm³. El fabricante del plástico ofrece una garantía de uso de 4 años, lo que se considera su vida útil prevista. Sin embargo, a efectos de este caso, se supone que una cuarta parte de la cubierta debe ser sustituida anualmente, debido a los daños causados por el clima.

También se supone que el invernadero cuenta con todo el equipo y la infraestructura necesarios para el cultivo, el cuidado y la cosecha de los tomates. La maquinaria tiene una mayor vida útil, y su desgaste no se tendrá en cuenta en este estudio.

Para definir la cantidad de agua y energía necesaria para cultivar tomates en el invernadero a lo largo del ciclo de producción, este estudio utilizará los datos recogidos durante una campaña de

las mismas características en 2011 como referencia, que fue obtenida por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía [22]. Según estos datos, el agua tiene un coste de 1,5€ por metro cúbico y de 0,19€ por m² de invernadero. El consumo energético calculado en este caso de estudio durante la temporada de cosecha fue de 142,319 €/MWh, lo que equivale a 0,22 €/m². El coste de la energía consumida incluye el gasto de los equipos auxiliares durante la siembra, el cuidado y la cosecha. El consumo de combustibles fósiles para los equipos auxiliares de motor y el consumo de energía asociado a los trabajadores agrícolas (por ejemplo, los desplazamientos al trabajo) no se tiene en cuenta.

Además, hay que dotar a la plantación de fertilizantes y productos fitosanitarios para que el cultivo crezca con las propiedades deseadas y esté protegido de las enfermedades que pueden atacar a la especie. Las necesidades nutricionales del cultivo varían a lo largo de la temporada, y las siguientes cantidades diarias se desglosan por etapas, como sigue: la siembra necesita 1,5g de solución agroquímica por día (durante unos 60 días) de superficie de invernadero; maduración 3 g/día (durante unos 90 días) y la cosecha, 4 g/día (durante unos 75 días).

En esta etapa se pierde hasta el 27% de los tomates. Se consideran las siguientes pérdidas: daños mecánicos y/o derrames durante la operación de cosecha (por ejemplo, trillado o recogida de frutos), cultivos clasificados después de la cosecha, etc. Especialmente en las fases de deshojado la poda y el cuidado de la plantación, se generan residuos frescos que deben ser gestionados. La menor pérdida se produce durante el envasado, ya que sólo se eligen los frutos en mejor estado y esta operación se realiza a mano. La cantidad generada y recogida es de 71,31 toneladas de residuos en cada hectárea dedicada al cultivo. Esta cantidad se considera difícil de reducir, ya que las operaciones en los invernaderos industriales ya son bastante eficientes.

Etapa de transporte

El rendimiento medio de producción del tomate cultivado en el invernadero es de 13,5 kg/m², obteniendo 101.250 kg de frutos cosechados. La cantidad de tomate producida se traslada a la ciudad de Madrid desde Almería, recorriendo 550 km de ida, en camiones frigoríficos diésel de 14 toneladas, suponiendo que se cargan a plena capacidad. La energía necesaria para refrigerar el producto en ruta se considera incluida en la energía necesaria para el transporte. Además, se supone que el camión vuelve a Almería transportando otro producto, por lo que el viaje de vuelta no se considera aquí. Por último, se ha considerado que la fruta se recoge directamente en el invernadero y, sin intermediarios, se envía directamente al supermercado.

Para mantener el tomate en las mejores condiciones y evitar una pérdida de calidad durante transporte, se utilizarán cajas de cartón de doble onda. Las cajas tienen un tamaño de 40 × 30 × 14 cm, el grosor del cartón de doble onda es de 6,5 mm, y su densidad es de 605 g/m². En cada caja caben 6 kg de tomates.

Las pérdidas en el transporte, que en el caso de los tomates llegan al 10%, incluyen los derrames y la degradación durante la manipulación, el almacenamiento y el transporte entre el cultivo y la distribución, así como hasta el usuario final. Suelen responder a factores humanos, ambientales y factores de gestión [28]. En el primer caso, suelen estar causados por la falta de formación, los errores humanos y el incumplimiento de la normativa. En el segundo, están relacionados principalmente con la exposición a microorganismos, ya sea por un almacenamiento

inadecuado o por el incumplimiento de las condiciones adecuadas de temperatura y humedad, especialmente durante el transbordo de un medio de transporte a otro. Esto último se debe a un embalaje inadecuado, a protocolos de (des)carga y a una manipulación brusca. Otros estudios indican que hasta el 22% de los tomates pueden perderse por aplastamiento o magulladuras [29], lo que ofrece un amplio abanico de situaciones y, en consecuencia, de posibilidades de mejora.

Fase de uso

Los tomates se destinan al consumo privado y se venden frescos. Para una correcta conserva del tomate, la temperatura de refrigeración será de 4 ° C. El fruto pasa una media de 21 h en refrigeración en el supermercado hasta que es comprado por un cliente. Una vez en casa, sigue estando refrigerada. Se ha supuesto un tiempo medio de refrigeración en un frigorífico de clase A de la UE de 3 días hasta su consumo y 7 días hasta su desperdicio. Se supone que los frigoríficos son de clase energética A, según la definición de la Unión Europea.

Las pérdidas de alimentos durante el uso final, es decir, en el hogar, son con mucho las más importantes. De media, representan el 13,5% del total de pérdidas de alimentos en la cadena de producción y consumo. Sin embargo, esta cifra puede variar considerablemente según el tipo de alimento y ubicación. Las frutas y verduras son uno de los tipos de alimentos con mayores pérdidas debido a su corta vida útil en general, alcanzando hasta el 20% de las pérdidas en su ciclo de vida [2].

Etapas de eliminación

Los tomates al final de su vida útil serán consumidos o desechados en forma de pérdidas. El método más común de eliminación será el compostaje, en el que el material de los residuos de tomate se recuperará. El resto de las pérdidas de tomate (67%) son no se recuperan de ninguna forma (material o energéticamente). Con respecto a otros residuos, se supone que se queman todos los residuos frescos en la fase de producción. Se calcula que se producen 73,31 toneladas de residuos frescos por hectárea de tomate de invernadero. Las partes vegetales residuales de la producción de tomate tienen un valor calorífico interno de 3630 kcal/kg. Las emisiones de carbono durante la combustión se consideran insignificantes, ya que es igual a la cantidad de carbono absorbido durante el crecimiento. Una parte del plástico (8,44%) se recupera a través del reciclaje (es decir, en la recuperación de materiales), y el resto se quema, con lo que se pierde el material y la energía que contiene. Del mismo modo, el 72% del cartón se recicla y el resto se quema.

También se recupera una pequeña cantidad de agua del reciclaje de cartón. Se calcula que el 61% del agua utilizada en la producción primaria de cartón puede recuperarse con una tasa de reciclaje del 72%, como se espera en este caso. El resto del consumo de agua corresponde exclusivamente al riego de los tomates y no puede recuperarse.

2.3. Cálculos

La Tabla 1 proporciona los datos de referencia para los cálculos necesarios para comparar las fases del ciclo de vida del tomate de invernadero en el presente estudio de caso. Estos datos son específicos del sistema previamente descrito e incluyen la energía utilizada, las emisiones de CO₂ y el consumo de agua por unidad funcional (100 kg) en cada etapa.

Hay que tener en cuenta que estos cálculos se basan en un pantallazo del pasado (principalmente datos de 2011) más información de varias bases de datos consultadas en [22]. Los autores son muy conscientes de las debilidades estadísticas de este conjunto de datos no solo por su limitado alcance en tiempo y espacio y su origen disperso, sino también por la antigüedad de los datos, que pueden no representar con exactitud las prácticas actuales. Por lo tanto, los resultados numéricos que aquí se ofrecen deben considerarse como una aproximación general al tema, proporcionando una base de comparación entre las fases del ciclo de vida, entre los impactos ambientales y entre los alimentos perdidos y los alimentos no perdidos. Por lo tanto, esto debe considerarse una evaluación inicial rápida y una aproximación cualitativa del tema, a pesar de estar expresada en cifras concretas, y puede ser el primer paso para un análisis en profundidad de las pérdidas de tomate en un ámbito más amplio [21].

Etapas del ciclo de vida	Límites del sistema	Energía	Emisiones de CO₂	Agua	
Materiales	PEBD	0,4131 kg	81 MJ/kg Integrado en el fruto	2,8 kg CO ₂ /kg	58 L/kg
	Agua	2850 L		–	1 L/kg
	Nutrientes	4,6125 kg	Integrado en el fruto	–	Ver <i>Agua</i>
	Cartón	3,226 kg		1,2 kg CO ₂ /kg	93,6 L/kg
Procesado	Invernadero	N/A	51 MJ/kg 11,594 kWh ... 0,9 MJ/kWh [<u>1</u>]	0,06 kg CO ₂ /kWh	–
	Envases	N/A	Trabajo manual	–	–
Transporte	Camión diésel 14t	550 km	1,5 MJ/km/t	0,11 kg CO ₂ /km/t	–
	Consumo	3 d refrigerando	3,4768 kWh ... 0,9 MJ/kWh ¹	0,06 kg CO ₂ /kWh	–
Uso	Desperdicio	7 d refrigerando	6,7881 kWh ... 0,9 MJ/kWh ¹	0,06 kg CO ₂ /kWh	–
Residuos (Tomates)	Pérdidas en invernadero	0,5498 kg	–	–	–
		2 kg	–	–	–
	Perdidas en envasado	9,8 kg	–	–	–
	Pérdidas en distribución	16,8 kg (33%)	-1,33 MJ/kg	–	–

Pérdidas en viviendas (compostaje)				
Combustión del residuo fresco (restos de plantas) 0,5498 kg				
			- 15,194 MJ/kg [2]	-1,02 kg CO ₂ /kg ²
	Reciclaje de PEBD	8,44%	-27,3 MJ/kg ²	-
Residuos (Otros)	Combustión de PEBD	91,66%	-45,1 MJ/kg ²	3,14 kg CO ₂ /kg
		72%	-18,85 MJ/kg ²	-0,973 kg CO ₂ /kg ²
	Reciclaje de cartón	28%	-19,7 MJ/kg ²	-61% ²
	Combustión de cartón			1,835 kg CO ₂ /kg

Tabla 1. Datos de referencia para el cálculo del impacto ambiental de las fases del ciclo de vida del tomate de invernadero, por 100 kg de tomates

3. Resultados

Con la información de referencia de la Tabla 1, fue posible calcular el gasto energético, las emisiones de CO₂ y el consumo de agua en las distintas fases del ciclo de vida de los tomates de invernadero, así como la influencia que tienen los tomates desechados en estos factores.

3.1. Consumo de energía

El mayor consumo energético se produce en la fabricación de los materiales necesarios y utilizados en la producción de tomates, concretamente 197,991 MJ por cada 100 kg de producción, lo que supone el 67% del consumo total (Figuras 1 y 2). Además, cabe destacar que el 83% de la energía equivalente utilizada en la obtención de estos materiales corresponde a la producción del cartón que se utilizará para transportar la fruta en condiciones óptimas. El transporte es la segunda etapa del ciclo de vida del tomate que más energía consume, con un 28% del consumo total de energía.

Por otro lado, el mantenimiento y cuidado de la planta y el fruto en el invernadero equivale al 4% del consumo total de energía del ciclo de vida. El envasado se realiza a mano, por lo que no se necesita ninguna fuente de energía externa. La energía equivalente para el transporte del producto es de 82,5 MJ por cada 100 kg de producto. El consumo de energía equivalente asociado al uso de los tomates, a través de la refrigeración, supone el 1% del consumo total, cifra que es ligeramente superior si se desecha la fruta, debido a un mayor tiempo de permanencia en el frigorífico.

En la última etapa de la cadena de producción, el desecho, se recuperan 133,543 MJ por cada 100 kg de tomate, lo que supone un 45% de la energía equivalente consumida en las otras etapas del proceso a estudio. Esta energía se recupera en el proceso de combustión de la biomasa (tratamiento de residuos vegetales), el reciclaje y la combustión del cartón y del plástico, así como el compostaje de los tomates desechados. El 32% de la energía recuperada corresponde a la energía recuperada pertenece a la valorización energética mediante la

combustión de los residuos generados y el 56% pertenece a la valorización energética mediante el reciclaje del cartón. La energía recuperada genera un impacto positivo en el valor global del proceso de producción aquí estudiado. Además, desde el punto de vista de la recuperación de materiales, el 72% del cartón y el 8,44% del plástico que entran en el sistema se recuperan en el reciclaje. Sin embargo, en total, hay una pérdida de energía de más del 54,6% de las necesidades energéticas totales del sistema (Figura 2), lo que da un amplio margen de mejora en los esfuerzos de recuperación.

3.2. Emisiones de CO₂

La mayor cantidad de emisiones se produce durante el transporte de los alimentos, 6,05 kg de dióxido de carbono por cada 100 kg de tomates, lo que constituye el 42% de las emisiones totales durante su ciclo de vida (Figuras 3 y 4). A su vez, la segunda etapa que más emisiones produce es la obtención de materiales de entrada al sistema estudiado, concretamente 5,028 kg de CO₂ lo que supone el 35% del total. Además, el 77% de estas emisiones pertenecen a la producción primaria del cartón que se utilizará para transportar el producto en buenas condiciones.

Figura 1. Consumo de energía por 100 kg de tomates de invernadero por fase del ciclo de vida (en MJ).

ENERGÍA [MJ/100kg de tomate]

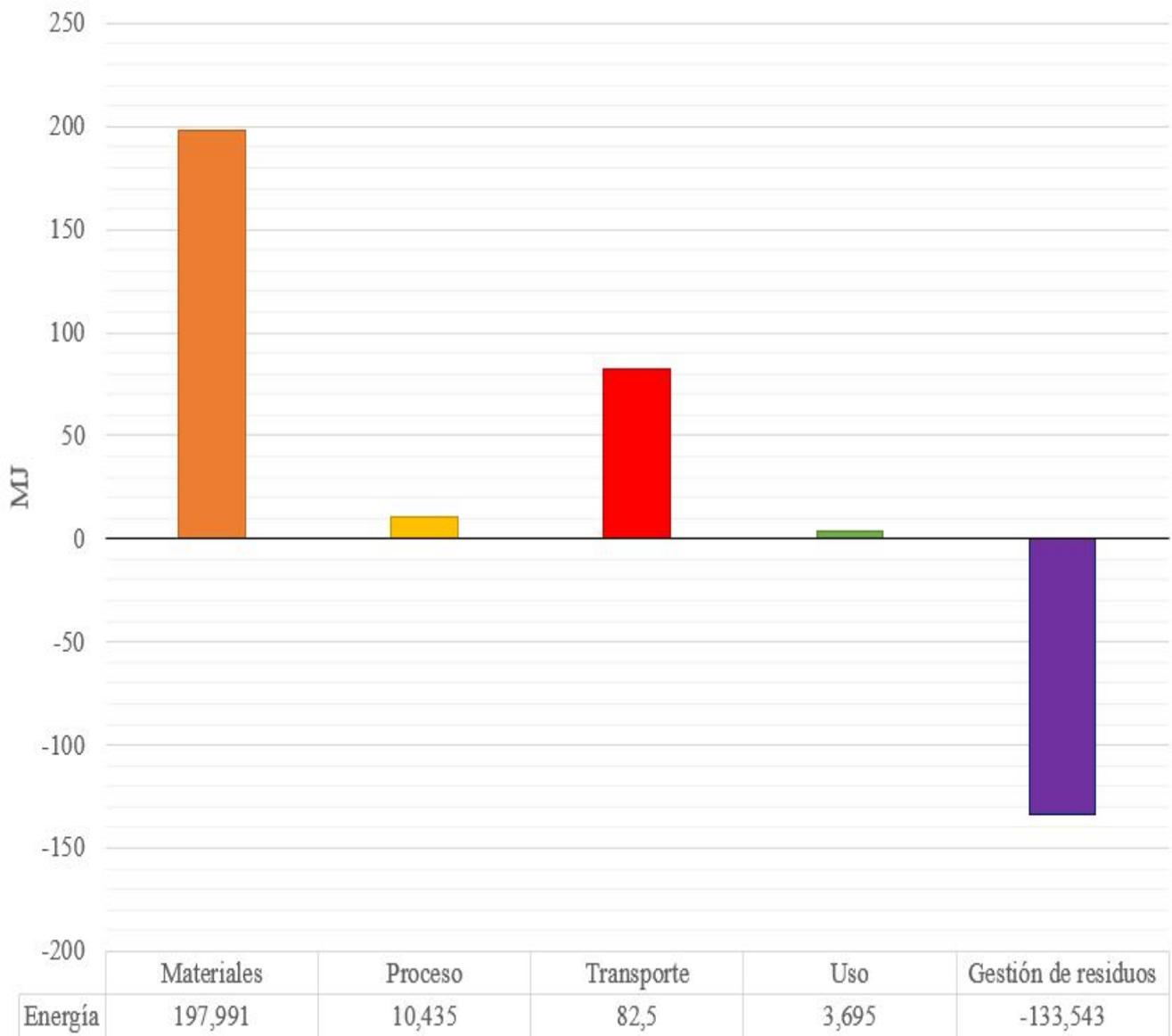


Figura 2. Flujos de energía necesarios y perdidos por 100 kg de tomates de invernadero (en MJ).

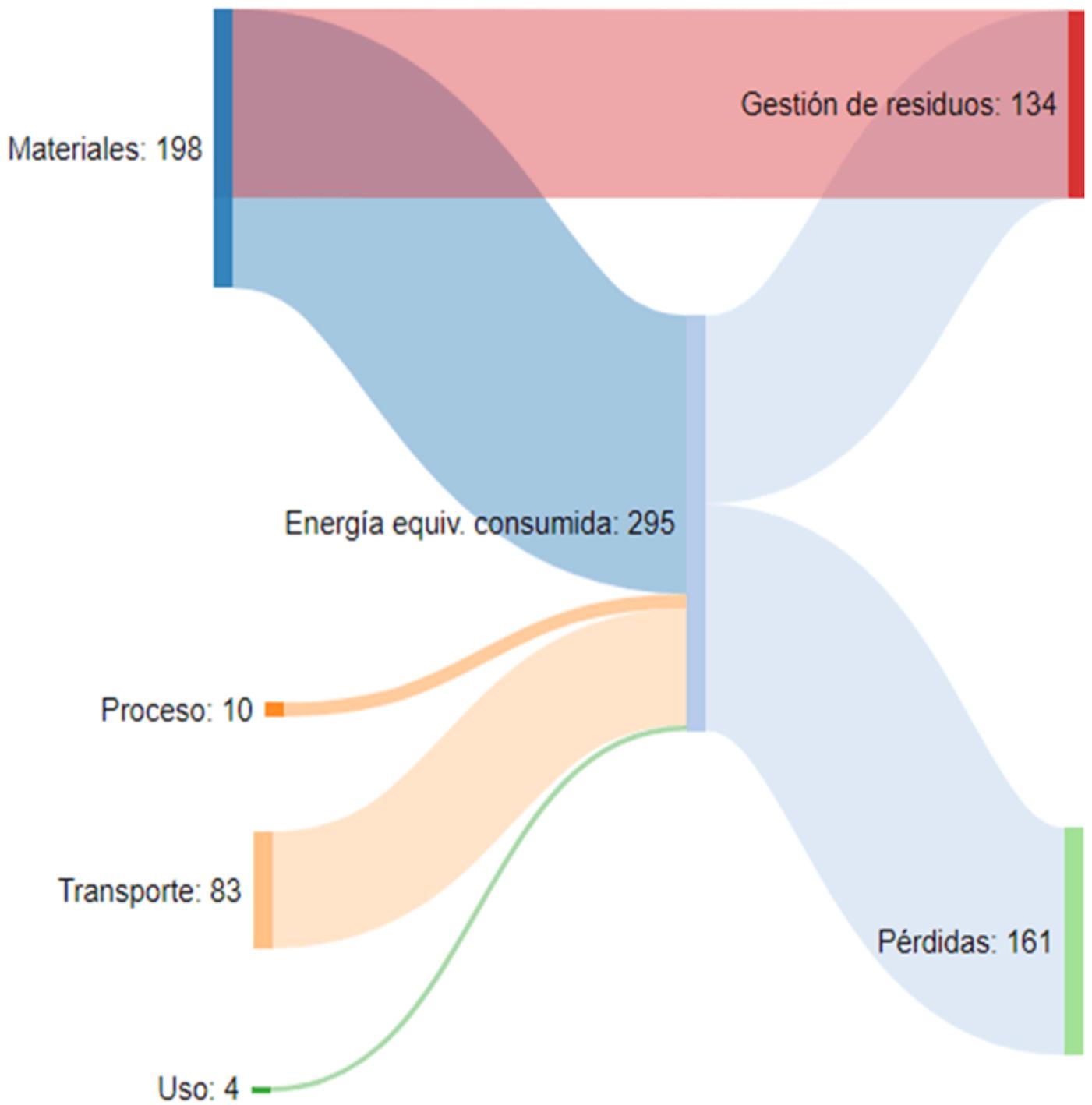


Figura 3. Emisiones de CO2 por 100 kg de tomates de invernadero por fase del ciclo de vida (en kg).

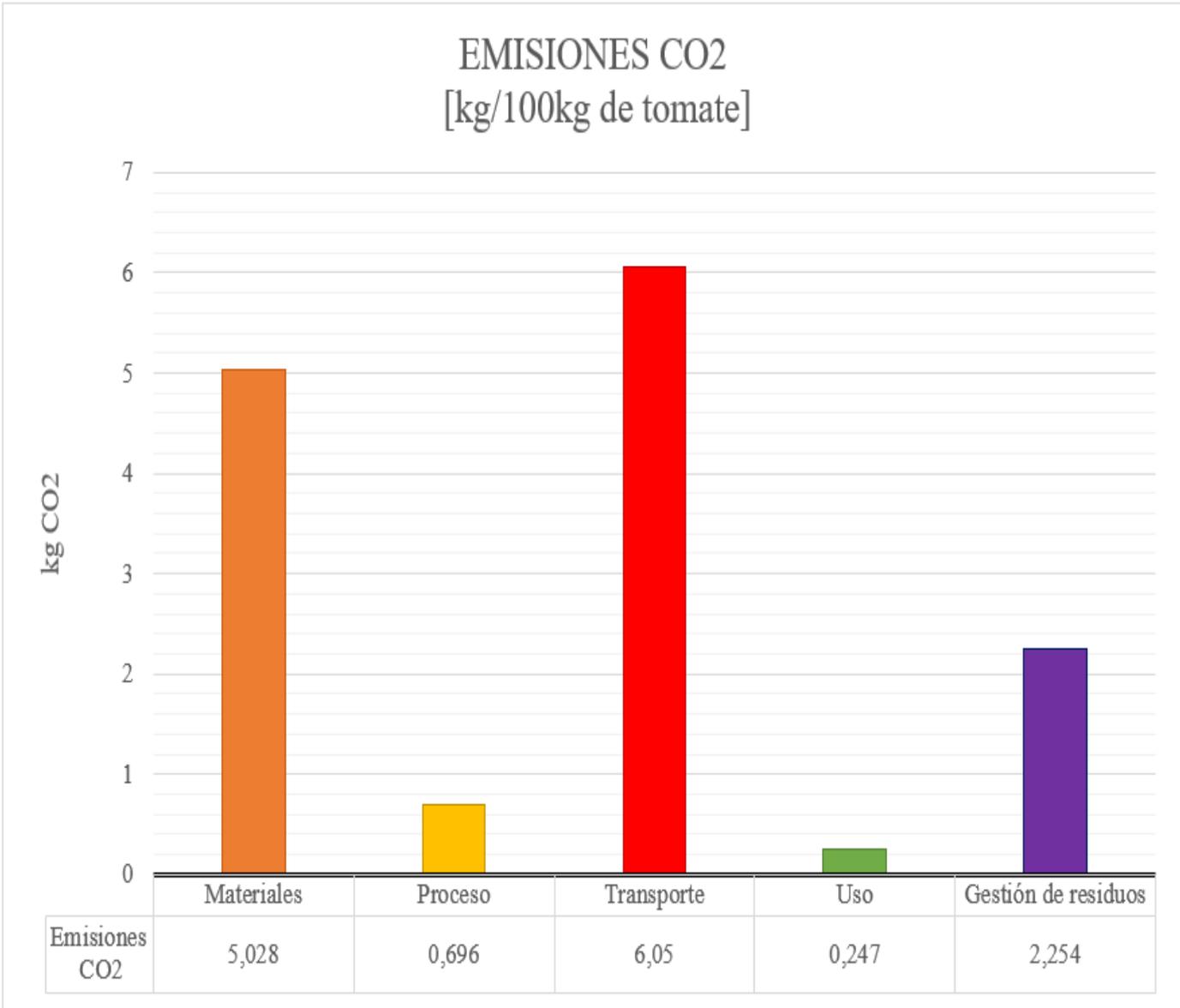
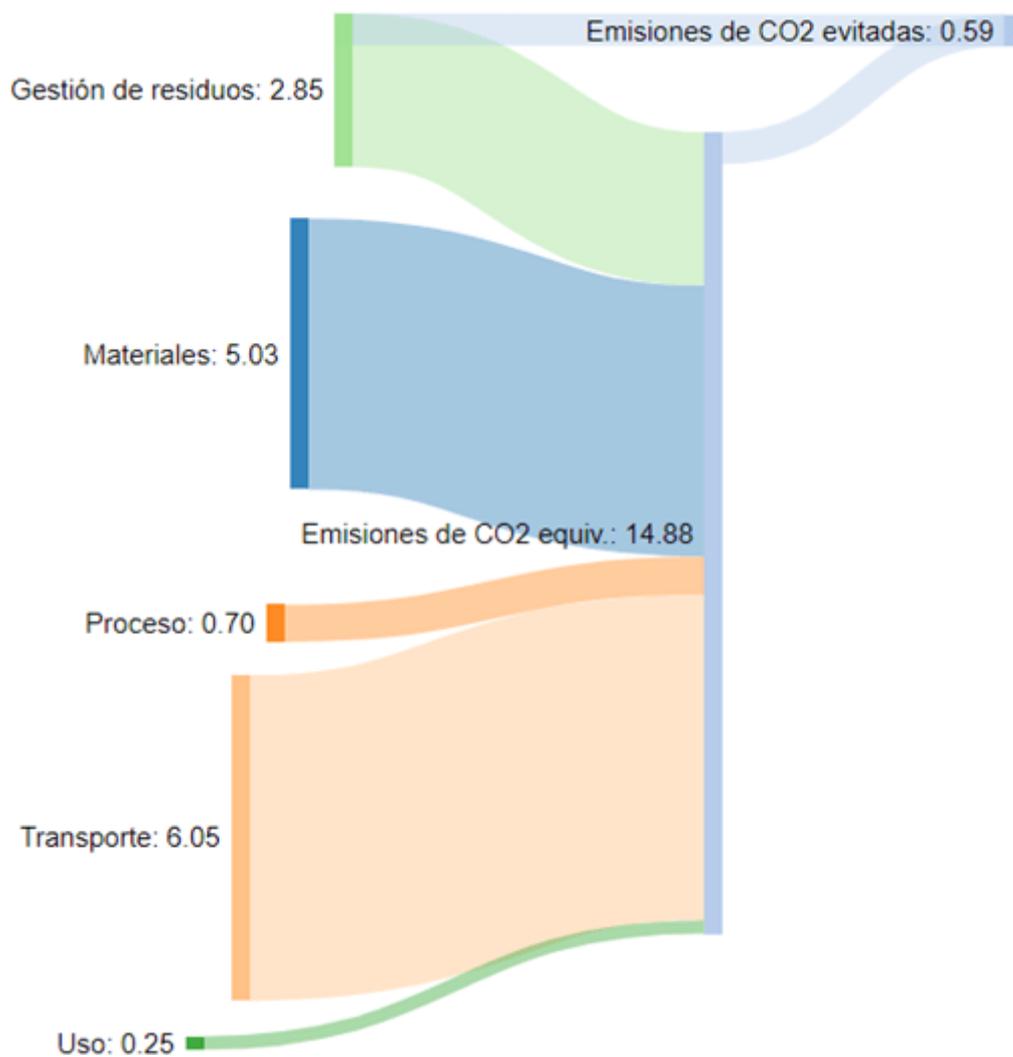


Figura 4. Emisiones de CO2 por 100kg de tomates de invernadero por fase del ciclo de vida, incluyendo las emisiones evitadas (en kg).



Por otro lado, el mínimo de emisiones generadas se encuentra en el uso del producto, siendo 0,247 kg de dióxido de carbono por cada 100 kg de producto. Hasta un 31% de la cantidad de emisiones de esta etapa corresponde al 19% de la masa del producto que se desperdicia en los hogares de los consumidores finales. Los tomates desechados generan más emisiones que los que se consumen debido al mayor tiempo de permanencia en los frigoríficos. Sin embargo, se trata de cantidades no significativas en todo el proceso de producción de alimentos, ya que la etapa de uso supone un 2% de las emisiones totales a lo largo del ciclo de vida del tomate. Otra etapa que es relativamente baja en emisiones de carbono es el mantenimiento y cuidado de las plantas y el producto final en el invernadero, que supone el 5% del total de CO2 emitido, es decir, 0,696 kg por cada 100 kg de tomates.

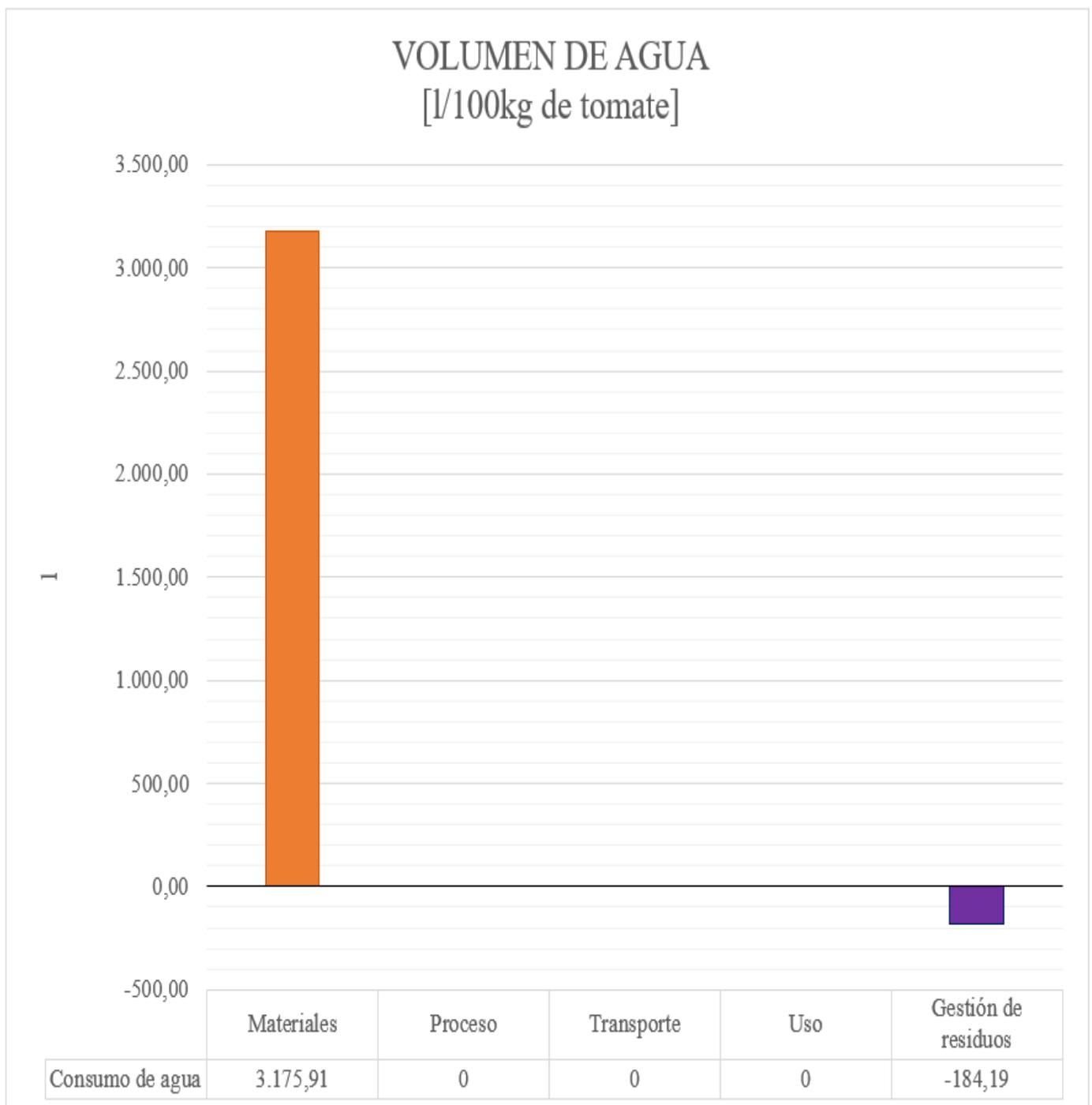
Cabe destacar la etapa de gestión de residuos, durante la cual se generan 2.254 kg de CO2 en total, produciendo el 16% de las emisiones totales. Cabe destacar que en la fase de eliminación se generan un total de 2,845 kg de CO2, pero 0,591 kg de ellos se evitan en el reciclaje. Las emisiones durante la gestión de los residuos se originan en la combustión de un porcentaje de los materiales de salida del sistema, el cartón y el plástico, más una fracción menor de la combustión de los residuos vegetales. Las emisiones evitadas se originan en el tratamiento del reciclaje, el 90% de las cuales están relacionadas con el cartón, y el resto con el reciclaje del plástico. En total, el 3,96% de las emisiones de CO2 se recuperan en el proceso de reciclaje, y el resto se emite a la atmósfera (Figura 4). El margen de mejora de esta categoría de impacto es muy amplio.

3.3. Consumo de agua

En cuanto al consumo y recuperación de agua a lo largo de la cadena de producción, se observa que sólo se consume cuando los materiales se obtienen en forma primaria, del mismo modo que el consumo de agua sólo se evita durante el proceso de reciclaje de los materiales de salida del sistema objeto de estudio del proyecto.

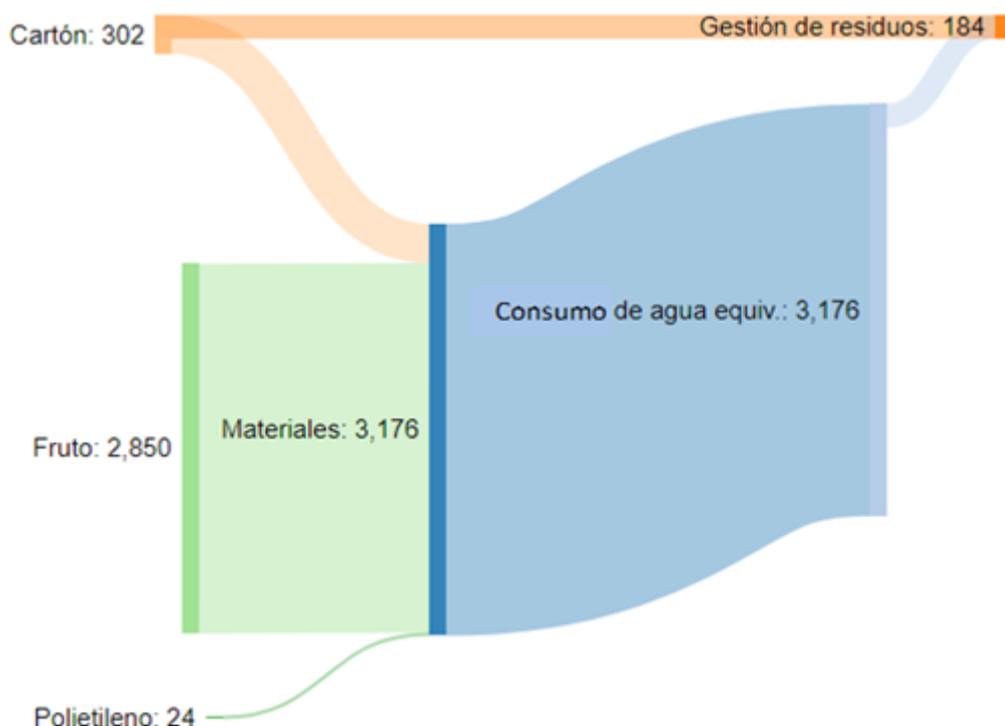
El máximo consumo de agua se produce en la fase de fabricación de los materiales, plástico y cartón, y en la producción del fruto, el tomate (Figuras 5 y 6). En total se consumen 3175,91 L de agua por cada 100 kg de producto, de los cuales el 90% se consume en la producción de los alimentos, que es un consumo indispensable. El agua se utiliza para el riego y disolver los fertilizantes y pesticidas necesarios para el crecimiento y la salud de las plantas.

Figura 5. Consumo de agua por 100kg de tomates en cada fase del ciclo de vida (en L).



No hay consumo de agua durante el envasado y la transformación de las plantas salvo las necesidades de agua para la higiene de las instalaciones y de los trabajadores, que no se ha tenido en cuenta aquí. La fase de transporte tampoco necesita agua, salvo para la limpieza y el mantenimiento de los vehículos, que tampoco se ha tenido en cuenta. Por último, la utilización de los tomates para el consumo final necesita una cantidad muy pequeña de agua para el aclarado, que es prácticamente imposible de calcular, ya que depende en gran medida de las prácticas individuales. Los tomates desechados no necesitan agua.

Figura 6. Consumo de agua por 100kg de tomates de invernadero por etapa del ciclo de vida (en L).



Durante la gestión de los residuos, se evita un consumo de agua de 184,19 L por cada 100 kg de tomates. Este volumen de agua evitado corresponde en su totalidad al reciclaje del cartón del material que sale del sistema. No se ahorra agua en el reciclaje del plástico ni en el compostaje de los tomates desechados ni en la combustión de los residuos vegetales. Aunque la cantidad de agua recuperada es muy baja (5,8%), hay poco margen de mejora, ya que la mayor parte del agua es necesaria para el crecimiento de las plantas.

3.4. El papel de las pérdidas de alimentos en el impacto medioambiental de los tomates

Una de las pérdidas alimentarias más importantes en el ciclo de vida del tomate se produce en la fase de utilización, con un 19% de las pérdidas totales. El enfoque de este estudio se centra en esta etapa, ya que este porcentaje se considera casi totalmente evitable. Otras pérdidas significativas son el 27% en la fase de producción, aunque se incluyen los residuos vegetales (partes no cosechadas), los frutos dañados durante la cosecha y la manipulación, y los frutos de forma extraña, entre otros. De éstas, algunas se consideran pérdidas inevitables, mientras que otras pueden ser evitables. Dado que no se han encontrado datos para distinguir la masa de pérdidas evitables, éstas no se han tenido en cuenta para el análisis. La distribución tiene el menor porcentaje de pérdidas, con un 10%, que se deben a diferentes factores, cuyos detalles desconocen los autores y, por tanto, no han podido considerarse para el análisis.

Comparando el impacto medioambiental en términos de gasto energético, emisiones de carbono y consumo de agua entre los tomates consumidos y los desechados en la fase de uso la diferencia es inferior al 3% en el caso del consumo energético y las emisiones, siendo mayor en el caso de los tomates desechados. El consumo de agua no varió entre estos dos tipos.

4. Discusión

El tomate es uno de los cultivos más comunes en todo el mundo, pero también es uno de los tipos de alimentos que generan más pérdidas a lo largo de su ciclo de vida. Como un tercio de todos los alimentos producidos para el consumo humano se desperdicia en todo el mundo, es necesario adoptar medidas a diferentes niveles. Estas medidas suelen dirigirse a (1) la minimización del desperdicio de alimentos evitable y (2) la valorización de los residuos alimentarios no evitables [1], como se verá.

El caso a estudio presentado aquí confirma que el tomate es un cultivo sediento y frágil. La mayor parte de su demanda energética y de las emisiones de carbono se destinan al envasado y al transporte. Parece que hay margen de mejora en la recuperación de la energía y las emisiones de CO₂, principalmente abordando el tratamiento de residuos de envases y plásticos, así como mejorando el transporte. A pesar de ser muy exigentes en agua, los procesos de riego ya son eficientes en los invernaderos industriales, y la mayor parte de la recuperación de agua deberá tener lugar en la fase de recuperación de residuos. Las pérdidas de alimentos en las fases de consumo no constituyen grandes pérdidas de energía o una gran cantidad de emisiones de carbono ahorradas.

4.1. Alternativas energéticas

Al evaluar los resultados obtenidos para el consumo de energía equivalente en la cadena de producción del tomate, el uso del cartón para el transporte de los alimentos en condiciones adecuadas genera un gran impacto en el consumo energético, y sólo se recupera el 45% de la energía utilizada en su fabricación.

Las cajas de cartón utilizadas en este estudio de caso son de un solo uso, por lo que el análisis muestra el impacto real de su uso. La elección de cajas de plástico biodegradables que puedan reutilizarse varias veces antes de que se deterioren requeriría replantear el análisis, ya que éste considera el impacto de un solo uso. Sin embargo, se espera que el impacto global de estas cajas durante su vida útil sea mucho menor. Por lo tanto, en consonancia con las políticas nacionales y de la UE y nacionales que promueven la transición a la economía circular, sería de gran interés realizar un estudio con envases reutilizables que analice el impacto de un solo uso del envase, ya que se espera que reduzca los impactos ambientales de los envases [30]. Así, los aportes de los materiales pertenecientes al envase estarían presentes sólo en el primer uso, y en el resto de las veces que se reutiliza, serían nulos. Por otro lado, los envases agrícolas reutilizables tienen retos adicionales e impactos potenciales, que son devolver los envases y limpiarlos después de cada uso. Un estudio que compara el cartón de un solo uso y las cajas plegables de polipropileno llegó a la conclusión de que las primeras tenían una menor huella de carbono que las segundas [31].

Una elección adecuada de los envases no sólo es importante desde el punto de vista material y energético, sino que también es esencial para mantener la fruta en las mejores condiciones durante el transporte, con el fin de evitar la pérdida de alimentos. Hay que evitar las

magulladuras debidas a las vibraciones durante el trayecto, y los materiales deben permitir evitar la acumulación de calor y la sobremaduración de la fruta, especialmente para el transporte de larga distancia (por ejemplo, [32]).

Otro consumo energético relevante se produce durante la fase de transporte, con un 28% del gasto total. La elección del modo de transporte puede ser relevante en este caso y se discutirá más adelante. Otras consideraciones éticas sobre el consumo de cultivos fuera de temporada o transportados a largas distancias, aunque en este caso, al estar dentro de la temporada y a una distancia razonable, estos factores no se consideran significativos. Varios autores destacan también la necesidad de realizar más estudios para cuestionar la idea común de que los alimentos locales y de temporada tienen un menor impacto en el medio ambiente, lo que aún no se ha demostrado de forma sólida [33].

4.2. Reducción de las emisiones de CO2

Tras un análisis de los resultados obtenidos respecto a las emisiones de dióxido de carbono equivalente las emisiones originadas por la fabricación del cartón son realmente relevantes, lo que reafirma que el impacto generado por un envase reutilizable debe ser evaluado, como se ha dicho anteriormente.

Sin embargo, la principal fuente de emisiones a lo largo de la cadena de producción del tomate es el transporte de los tomates, que representa el 40,66% de las mismas. Hay dos formas posibles de reducir estas emisiones: elegir una fuente de energía para el transporte por carretera que no las genere (hidrógeno, biocombustibles) o cambiar el modo de transporte por otro más limpio. La primera queda fuera de este análisis, ya que está fuera del control del fabricante.

Hoy en día, existen alternativas lo suficientemente limpias e igual de eficientes que tecnologías convencionales, como los camiones eléctricos y el ferrocarril electrificado. Dado que el primero no se ha desarrollado a gran escala, el debate se centrará en la segunda solución. Hay que tener en cuenta que ninguna de las dos garantiza la reducción de las emisiones en la fuente de producción, pero sí las reducen debido a la mayor eficiencia [34] y a la mayor probabilidad, en el caso del ferrocarril, de que proceda de fuentes renovables.

En España, sólo el 4% de las mercancías se transportan por ferrocarril, lo que sitúa al país a la cola de la Unión Europea en esta forma de transporte [35], que tiene una media del 17% y pretende alcanzar el 50% en 2050. La conveniencia de implantar el transporte de mercancías por ferrocarril electrificado está respaldada por las políticas europeas, ya que el impacto es 3,5 veces menor que el generado por el transporte por carretera, en camiones [36]. Por lo tanto, sería muy valioso llevar a cabo acciones encaminadas a promover el uso del transporte electrificado, proponiendo soluciones y fomentar su aplicación.

4.3. Reducción del consumo de agua

Tras estudiar los resultados relacionados con el consumo de agua a lo largo de la cadena de producción de tomate, se observa que el mayor consumo se origina en el cultivo, durante el riego y el cuidado. No hay alternativa a este consumo primario de recursos hídricos, ya que es imprescindible para la producción del cultivo en condiciones óptimas. Los invernaderos industriales como estos ya son muy eficientes en el uso del agua debido al coste económico que supone. Los aspectos que hay que estudiar con detenimiento son las posibles pérdidas debidas a

tuberías o válvulas defectuosas, a la evaporación por un mal momento de riego o al tipo de suelo, o a mecanismos de riego menos eficientes [37]. Otra opción para reducir este consumo sería la producción de otra variedad de tomate, ya que cada cultivo tiene diferentes necesidades [38], incluso aplicando tecnología genética avanzada para aumentar la resistencia a los estresores (a-)bióticos y, por tanto, reducir su necesidad de agua [39]. Además, existen otras opciones innovadoras, como el uso de agua reciclada o salina [40]. Por último, uno de los problemas que a menudo se pasan por alto es el excedente de la cosecha de alimentos para el consumo humano. Aunque normalmente se envían a los vertederos, otras alternativas, como enviarlos a procesar o transformarlo en alimento para animales puede reducir su huella [41].

El consumo de agua para la producción de cartón puede reducirse aún más si se aumenta la tasa de reciclaje del cartón a un porcentaje mayor o se utiliza un material diferente que no utilice agua. La elección de envases reutilizables de plástico podría ser una opción, pero hay que limpiarlos después de cada uso y, por tanto, consumen agua en el proceso [31].

4.4. Consideraciones sobre la pérdida de alimentos

El impacto de la pérdida de alimentos evitable derivada de los tomates de invernadero sólo ha sido posible cuantificar en la fase del ciclo de vida de uso. Se ha observado un aumento del 3% del impacto para el 19% de las pérdidas totales, que son las correspondientes a la etapa de uso. Teniendo en cuenta que un 37% adicional de los tomates se pierde en el resto de su ciclo de vida, puede deducirse que el impacto puede ser al menos el doble (es decir, un 6% aproximadamente), aunque el impacto dependerá también de las necesidades relativas de energía y agua y de la cantidad de emisiones de carbono, que varían de una etapa a otra. Y lo que es más importante, muchas de estas pérdidas se consideran inevitables [42]. Un estudio sobre el contenido calórico medio de cada categoría de alimentos de la cesta de la compra media suiza concluyó que el 23% de la energía de los alimentos comprados se desperdicia (en comparación con las pérdidas del 19% en el tomate de invernadero estudiado aquí). Del estudio suizo, el 16% (de este 23%, es decir, más de dos tercios) es evitables, siendo el resto "posiblemente evitables" o inevitables [43]. En el caso del desperdicio de alimentos en la fase de consumo, todavía hay margen para transformar las pérdidas "inevitables" en "posiblemente evitables" modificando las expectativas de los clientes. Uno de los aspectos más fácil de aplicar es ampliar el alcance de la fruta aceptable desde un punto de vista estético. Los tomates con formas extrañas, que suelen ser eliminados de la cadena de distribución, pueden volver a entrar en ella con un marketing y una sensibilización adecuados. Existen varias iniciativas en este sentido, como el proyecto Fruta Fea en Portugal [44] o el sistema de etiquetado de "pepinos feos" realizado en Canadá [45]. Hay que tener en cuenta que las pérdidas por motivos cosméticos, como se ha observado tanto en Europa como en el Reino Unido, oscilan entre el 17% y el 25% [46].

Con cifras similares, parece pertinente que el enfoque para evitar el impacto medioambiental de las pérdidas de alimentos aquí estudiado se dirija al tratamiento de estas pérdidas o residuos en lugar de evitarlas por completo [47]. Un ejemplo de ello es otro tipo de pérdidas "posiblemente evitables", que son las causadas por los tomates que no cumplen los criterios de calidad y se pierden en las fases de producción y envasado. Estos subproductos de desecho pueden transformarse en orujo (es decir, la piel, la pulpa y las semillas trituradas de los tomates crudos,

que suelen encontrarse en la industria de la transformación) y valorizarse mediante la digestión anaeróbica, entre otras técnicas similares [48].

Sin embargo, desde la perspectiva de la sostenibilidad, en la que los factores socioeconómicos, así como otros impactos ambientales, es importante incluir una perspectiva más amplia del tomate de invernadero, ampliando a un ACV completo. El análisis de la sostenibilidad también puede beneficiarse de la inclusión de un análisis de ACV social, como ya se ha hecho en varios estudios relacionados con el tomate de invernadero en otros lugares [49-51], pero que sigue siendo demandado por otros investigadores [52].

Una de las estrategias más comunes para evitar las pérdidas de alimentos, como se ha indicado en la introducción, es crear incentivos para la recuperación o el alargamiento del ciclo de vida de los alimentos y apoyarlos con campañas de sensibilización. Una pérdida del 19% en los hogares es una cantidad significativa de alimentos que se pueden recuperar y disfrutar. Así, el público puede alinearse con los objetivos políticos internacionales y nacionales relacionados con la economía circular y la sostenibilidad, como se reconoce en diferentes estudios [53] o [54], mientras disfrutan de sus tomates.

5. Conclusiones

De los cálculos generales realizados en este estudio, se puede concluir que el impacto ambiental del tomate de invernadero en Almería es mayor para el gasto energético y las emisiones de CO₂ – los KEPI elegidos por la metodología clásica de la ecoauditoría- en las etapas de envasado y transporte, siendo ligeramente inferior en la etapa de uso. Por otro lado, el consumo de agua - otro indicador habitual del ACV- es mayor en la fase de producción, ya que es necesario para el crecimiento de la planta.

Según la bibliografía, se observan pérdidas de tomate en las cinco etapas de su ciclo de vida, siendo mayores en las etapas de producción y de uso. En la primera, la mayoría de estas pérdidas se consideran inevitables y pueden compensarse eligiendo un método de eliminación que permita recuperar la energía o el material incrustado. El consumo de agua sólo puede reducirse con procesos aún más eficientes o eligiendo variedades que sean más resistentes al estrés hídrico. Se consideran pérdidas parcialmente evitables. El desperdicio de alimentos, es decir, la pérdida de alimentos en la fase de uso, tiene un impacto relativamente mayor en el consumo de energía. Este tipo de pérdida es en su mayor parte evitable y puede abordarse mediante incentivos socioeconómicos, estrategias de marketing y campañas de concienciación. Esta es la etapa con mayor potencial de mejora.

Así, se puede concluir que la etapa con mayores posibilidades de mejora es el uso de los tomates, aunque las herramientas para salvar los impactos ambientales son más de carácter socioeconómico. Es necesario seguir investigando para identificar otros impactos en las diferentes etapas, para lo cual es necesario un análisis más detallado a través de un ACV (social) completo.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, J.C.R. y K.H.-K.; metodología, K.H.-K.; investigación,

R.G.-F.; recursos, R.G.-F.; conservación de datos, R.G.-F., J.C.R., K.H.-K.; redacción-borrador original,

R.G.-F., K.H.-K.; redacción-revisión y edición, J.C.R. y K.H.-K. Todos los autores han leído y aceptado

la versión publicada del manuscrito.

Financiación: Esta investigación no ha recibido financiación externa.

Bibliografía

Morone, P.; Koutinas, A.; Gathergood, N.; Arshadi, M.; Matharu, A. Food Waste: Challenges and Opportunities for Enhancing the Emerging Bio-Economy. *J. Clean Prod.* 2019, 221, 10–16.

Gustafsson, J.; Cederberg, C.; Sonesson, U. The Methodology of the FAO Study: Global Food Losses and Food Waste-Extent, Causes and Prevention-FAO, 2011; SIK Institutet för Livsmedel och Bioteknik: Göteborg, Sweden, 2013.

Teigiserova, D.A.; Hamelin, L.; Thomsen, M. Towards Transparent Valorization of Food Surplus, Waste and Loss: Clarifying Definitions, Food Waste Hierarchy, and Role in the Circular Economy. *Sci. Total Environ.* 2020, 706, 136033.

World Resources Institute. Creating a Sustainable Food Future: A Menu of Solutions. Disponible en: <https://www.wri.org/research/creating-sustainable-food-future> (Acceso el 9 Agosto 2021).

IPCC Summary for Policy Makers. Climate Change 2014 Impacts, Adaptation Vulnerability—Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2014; pp.1–32.

Xue, L.; Liu, G.; Parfitt, J.; Liu, X.; Herpen, E.; Van Stenmarck, Å.; O'Connor, C.; Östergren, K.; Cheng, S. Missing Food, Missing Data? A Critical Review of Global Food Losses and Food Waste Data. *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51, 6618–6633.

Canali, M.; Amani, P.; Aramyan, L.; Gheoldus, M.; Moates, G.; Östergren, K.; Silvennoinen, K.; Waldron, K.; Vittuari, M. Food Waste Drivers in Europe, from Identification to Possible Interventions. *Sustainability* 2016, 9, 37.

Vittuari, M.; Politano, A.; Gaiani, S.; Canali, M.; Elander, M. Review of EU Legislation and Policies with Implications on Food Waste; European Union: Brussels, Belgium, 2015.

Ilgin, M.A.; Gupta, S.M. Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery (ECMPRO): A Review of the State of the Art. *J. Environ. Manag.* 2010, 91, 563–591.

Scherhauser, S.; Moates, G.; Hartikainen, H.; Waldron, K.; Obersteiner, G. Environmental Impacts of Food Waste in Europe. *Waste Manag.* 2018, 77, 98–113. [PubMed]

Mondello, G.; Salomone, R.; Ioppolo, G.; Saija, G.; Sparacia, S.; Lucchetti, M.C. Comparative LCA of Alternative Scenarios for Waste Treatment: The Case of Food Waste Production by the Mass-Retail Sector. *Sustainability* 2017, 9, 827.

Beretta, C.; Hellweg, S. Potential Environmental Benefits from Food Waste Prevention in the Food Service Sector. *Resour. Conserv. Recycl.* 2019, 147, 169–178.

Wikström, F.; Williams, H.; Venkatesh, G. The Influence of Packaging Attributes on Recycling and Food Waste Behaviour—An Environmental Comparison of Two Packaging Alternatives. *J. Clean Prod.* 2016, 137, 895–902.

Rigamonti, L.; Grosso, M.; Giugliano, M. Life Cycle Assessment of Sub-Units Composing a MSW Management System. *J. Clean Prod.* 2010, 18, 1652–1662.

Saer, A.; Lansing, S.; Davitt, N.H.; Graves, R.E. Life Cycle Assessment of a Food Waste Composting System: Environmental Impact Hotspots. *J. Clean Prod.* 2013, 52, 234–244.

Yeo, J.; Chopra, S.S.; Zhang, L.; An, A.K. Life Cycle Assessment (LCA) of Food Waste Treatment in Hong Kong: On-Site Fermentation Methodology. *J. Environ. Manag.* 2019, 240, 343–351.

Andersson, K.; Ohlsson, T.; Olsson, P. Screening Life Cycle Assessment (LCA) of Tomato Ketchup: A Case Study. *J. Clean Prod.* 1998, 6, 277–288.

Gasol, C.M.; Salvia, J.; Serra, J.; Antón, A.; Sevigne, E.; Rieradevall, J.; Gabarrell, X. A Life Cycle Assessment of Biodiesel Production from Winter Rape Grown in Southern Europe. *Biomass Bioenergy* 2012, 40, 71–81.

Denny, G.M. Urban agriculture and seasonal food footprints: An LCA study of tomato production and consumption in the UK. In *Sustainable Food Planning: Evolving Theory and Practice*; Chapter 27; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2012; pp. 323–336.

Torrellas, M.; Antón, A.; López, J.C.; Baeza, E.J.; Parra, J.P.; Muñoz, P.; Montero, J.I. LCA of a Tomato Crop in a Multi-Tunnel Greenhouse in Almeria. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2012, 17, 863–875.

Bernstad Saraiva Schott, A.; Andersson, T. Food Waste Minimization from a Life-Cycle Perspective. *J. Environ. Manag.* 2015, 147, 219–226. [PubMed]

Zarei, M.J.; Kazemi, N.; Marzban, A. Life Cycle Environmental Impacts of Cucumber and Tomato Production in Open-Field and Greenhouse. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2019, 18, 249–255.

Canaj, K.; Mehmeti, A.; Cantore, V.; Todorovi ´c, M. LCA of Tomato Greenhouse Production Using Spatially Differentiated Life Cycle Impact Assessment Indicators: An Albanian Case Study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 6960–6970.

Benedetti, B.; De Toso, D.; Baldo, G.L.; Rollino, S. EcoAudit: A Renewed Simplified Procedure to Facilitate the Environmentally Informed Material Choice Orienting the Further Life Cycle Analysis for Ecodesigners. *Mater. Trans.* 2010, 51, 832–837.

European Commission. *Life Cycle Indicators Framework: Development of Life Cycle Based Macro-Level Monitoring Indicators for Resources, Products and Waste for the EU-27*; Institute for Environment and Sustainability: Luxembourg, 2012.

The CES EduPack Eco Audit Tool? A White Paper—MAELabs UCSD. Disponible en: <https://www.yumpu.com/en/document/view/18639559/the-ces-edupack-eco-audit-tool-a-white-paper-maelabs-ucsd> (Acceso el 29 Julio 2021).

González, R. *Evaluación del Impacto Energético-Ambiental Asociado a la Pérdida y el Desperdicio de Alimentos en España*; Comillas Pontifical University: Madrid, Spain, 2021.

Lipi ´nska, M.; Tomaszewska, M.; Kołozyn-Krajewska, D. Identifying Factors Associated with Food Losses during Transportation: ´ Potentials for Social Purposes. *Sustainability* 2019, 11, 2046.

Bani, R.J.; Josiah, M.N.; Kra, E.Y. *Postharvest Losses of Tomatoes in Transit*; University of Ghana: Accra, Ghana, 2006.

Singh, J.; Shani, A.B.R.; Femal, H.; Deif, A. Packaging’s Role in Sustainability: Reusable Plastic Containers in the Agricultural-Food Supply Chains. *Organ. Sustain. Eff.* 2016, 5, 175–204.

Lo-Iacono-Ferreira, V.; Viñoles-Cebolla, R.; Bastante-Ceca, M.; Capuz-Rizo, S. Carbon Footprint Comparative Analysis of Cardboard and Plastic Containers Used for the International Transport of Spanish Tomatoes. *Sustainability* 2021, 13, 2552.

Chonhenchob, V.; Singh, S.P. A Comparison of Corrugated Boxes and Reusable Plastic Containers for Mango Distribution. *Packag. Technol. Sci.* 2003, 16, 231–237.

Edwards-Jones, G. Does Eating Local Food Reduce the Environmental Impact of Food Production and Enhance Consumer Health? *Proc. Nutr. Soc.* 2010, 69, 582–591. [PubMed]

Pérez-Martínez, P.J.; Sorba, I.A. Energy Consumption of Passenger Land Transport Modes. *Energy Environ.* 2010, 21, 577–600.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Report of the Technical-Scientific Commission for the Study of Improvements in the Railway Sector. Disponible en: <https://www.mitma.gob.es/ferrocarriles/informe-para-el-estudio-de-mejoras-en-sector-ferroviario/english-version> (Acceso el 28 Julio 2021).

McKinnon, A.C. *Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics*; Kogan Page: London, UK, 2010; p. 372.

Gerçek, S.; Demirkaya, M.; Işık, D. Water Pillow Irrigation versus Drip Irrigation with Regard to Growth and Yield of Tomato Grown under Greenhouse Conditions in a Semi-Arid Region. *Agric. Water Manag.* 2017, 180, 172–177.

Valenzano, V.; Parente, A.; Serio, F.; Santamaria, P. Effect of Growing System and Cultivar on Yield and Water-Use Efficiency of Greenhouse-Grown Tomato. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 2008, 83, 71–75.

Wang, T.; Zhang, H.; Zhu, H. CRISPR Technology Is Revolutionizing the Improvement of Tomato and Other Fruit Crops. *Hortic. Res.* 2019, 6, 77. [PubMed]

Cheng, J.; Shearin, T.E.; Peet, M.M.; Willits, D.H. Utilization of Treated Swine Wastewater for Greenhouse Tomato Production. *Water Sci. Technol.* 2004, 50, 77–82.

Løvdal, T.; Droogenbroeck, B.; Van Eroglu, E.C.; Kaniszewski, S.; Agati, G.; Verheul, M.; Skipnes, D. Valorization of Tomato Surplus and Waste Fractions: A Case Study Using Norway, Belgium, Poland, and Turkey as Examples. *Foods* 2019, 8, 229.

Global Food Losses and Food Waste. Disponible en: <http://www.fao.org/3/mb060e/mb060e00.htm> (Acceso el 28 Julio 2021).

Beretta, C.; Stoessel, F.; Baier, U.; Hellweg, S. Quantifying Food Losses and the Potential for Reduction in Switzerland. *Waste Manag.* 2013, 33, 764–773.

Ribeiro, I.; Sobral, P.; Peças, P.; Henriques, E. A Sustainable Business Model to Fight Food Waste. *J. Clean Prod.* 2018, 177, 262–275.

Mookerjee, S.; Cornil, Y.; Hoegg, J. From Waste to Taste: How “Ugly” Labels Can Increase Purchase of Unattractive Produce. *J. Mark.* 2021, 85, 62–77.

Porter, S.D.; Reay, D.S.; Bomberg, E.; Higgins, P. Avoidable Food Losses and Associated Production-Phase Greenhouse Gas Emissions Arising from Application of Cosmetic Standards to Fresh Fruit and Vegetables in Europe and the UK. *J. Clean Prod.* 2018, 201, 869–878.

Bernstad, A.K.; Cánovas, A.; Valle, R. Consideration of Food Wastage along the Supply Chain in Lifecycle Assessments: A Mini-Review Based on the Case of Tomatoes. *Waste Manag. Res.* 2017, 35, 29–39.

Benítez, J.J.; Castillo, P.M.; Del Río, J.C.; León-Camacho, M.; Domínguez, E.; Heredia, A.; Guzmán-Puyol, S.; Athanassiou, A.; Heredia-Guerrero, J.A. Valorization of Tomato Processing by-Products: Fatty Acid Extraction and Production of Bio-Based Materials. *Materials* 2018, 11, 2211.

Benoît, C.; Parent, J.; Kuenzi, I.; Revéret, J.-P. Corporate social responsibilities. In *Developing a Methodology for Social Life Cycle Assessment: The North American Tomato’s CSR Case*, Proceedings of the Governance and Life Cycle Analysis Opportunities for Going Beyond ISO-LCA, Brussels, Belgium, 27–28 September 2007; CIRAIQ: Montréal, QC, Canada, 2007.

Bouزيد, A.; Padilla, M. Analysis of Social Performance of the Industrial Tomatoes Food Chain in Algeria. *New Medit* 2014, 13, 60–66.

Petti, L.; Sanchez Ramirez, P.K.; Traverso, M.; Ugaya, C.M.L. An Italian Tomato “Cuore Di Bue” Case Study: Challenges and Benefits Using Subcategory Assessment Method for Social Life Cycle Assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2018, 23, 569–580.

Gillman, A.; Campbell, D.C.; Spang, E.S. Does On-Farm Food Loss Prevent Waste? Insights from California Produce Growers. *Resour. Conserv. Recycl.* 2019, 150, 104408.

Goossens, Y.; Wegner, A.; Schmidt, T. Sustainability Assessment of Food Waste Prevention Measures: Review of Existing Evaluation Practices. *Front. Sustain. Food Syst.* 2019, 3, 90.

Hebrok, M.; Boks, C. Household Food Waste: Drivers and Potential Intervention Points for Design—An Extensive Review. *J. Clean Prod.* 2017, 151, 380–392.

[1]. Datos del mix energético en MJ-OE (equivalente de petróleo) en Francia, lo más parecido al caso de España.

[2]. Escrito en negativo para expresar la recuperación.

Article printed from ASOCIACIÓN / COLEGIO NACIONAL DE INGENIEROS DEL ICAI:
<https://www.ica.es>

URL to article: **<https://www.ica.es/articulo-revista/evaluacion-del-impacto-energetico-ambiental-del-tomate-cultivado-de-tomate-en-invernadero-un-estudio-de-caso-en-almeria-espana/>**

Copyright © 2016 ASOCIACIÓN / COLEGIO NACIONAL DE INGENIEROS DEL ICAI. All rights reserved.