



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## EVALUACIÓN DEL IMPACTO ENERGÉTICO- AMBIENTAL ASOCIADO A LA PÉRDIDA Y EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN ESPAÑA

Autor: Raquel González Felipe

Director: José Carlos Romero Mora

Co-Director: Katia Hueso Kortekaas

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**EVALUACIÓN DEL IMPACTO ENERGÉTICO-AMBIENTAL ASOCIADO A LA  
PÉRDIDA Y EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN ESPAÑA**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Raquel González Felipe

Fecha: 15 / 06 / 2021

Autorizada la entrega del proyecto

**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**



Fdo.: José Carlos Romero Mora

Fecha: 15 / 06 / 2021

Fdo.: Katia Hueso Kortekaas



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### **1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

El autor Dña. Raquel González Felipe DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Evaluación del impacto energético-ambiental asociado a la pérdida y el desperdicio de alimentos en España, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4º. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 15 de Junio de 2021

**ACEPTA**



Fdo. Raquel González Felipe

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## EVALUACIÓN DEL IMPACTO ENERGÉTICO- AMBIENTAL ASOCIADO A LA PÉRDIDA Y EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN ESPAÑA

Autor: Raquel González Felipe

Director: José Carlos Romero Mora

Co-Director: Katia Hueso Kortekaas

Madrid



# **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer el trabajo y dedicación de mis directores José Carlos Romero y Katia Hueso. Y, sobre todo, quiero destacar su motivación e ilusión plenamente contagiosa durante el desarrollo del proyecto que espero que conserven y transmitan siempre.

# **EVALUACIÓN DEL IMPACTO ENERGÉTICO-AMBIENTAL ASOCIADO A LA PÉRDIDA Y EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN ESPAÑA**

**Autor: González Felipe, Raquel.**

Director: Romero Mora, José Carlos.

Co-Director: Hueso Kortekaas, Katia.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

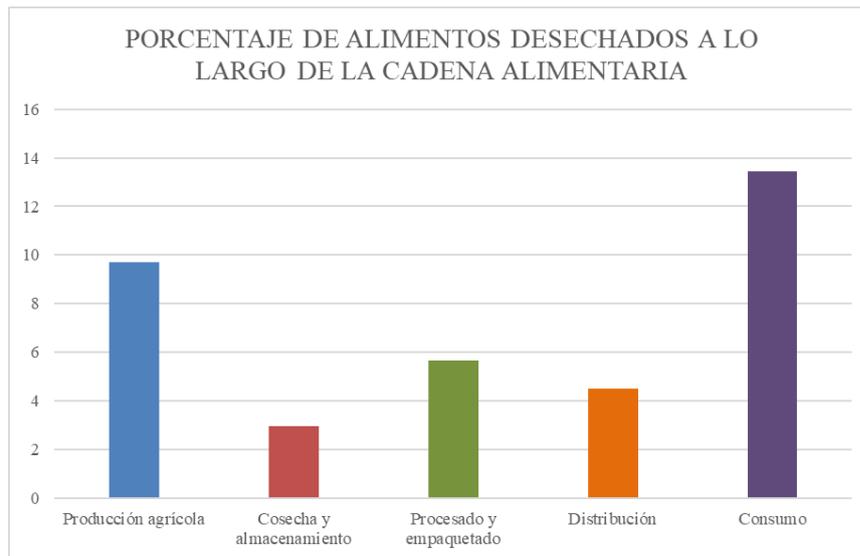
Se realiza un análisis del impacto energético-ambiental generado por la pérdida y desperdicio de alimentos en las diferentes etapas de la cadena de producción de alimentos, siendo las asociadas a: los materiales empleados, procesamiento del producto, transporte, uso y gestión de residuos generados. A lo largo del proyecto se desarrolla un Análisis de Ciclo de Vida de forma simplificada, con ayuda de la herramienta Ecoauditoría. Con sendos recursos, se estiman las emisiones de dióxido de carbono y el consumo energético y de recursos hídricos en cada una de las etapas de la cadena. En este proyecto se ha expuesto un caso a estudio sobre la problemática a nivel nacional, en concreto, se trata la cadena de producción de un tomate consumido en la ciudad de Madrid que se ha cultivado en un invernadero localizado en la provincia de Almería. En los resultados obtenidos, destaca principalmente el impacto originado por el transporte del producto por carretera y el debido a los envases de un solo uso. Por ello, las alternativas que conllevarían la reducción más significativa del impacto serían, principalmente, la implementación del uso del transporte electrificado y el uso de materiales biodegradables y reutilizables. Solo de esta manera se logrará evolucionar hacia la economía circular, i.e. sostenible.

**Palabras clave:** Impacto, Pérdida, Desperdicio, Alimentos, Tomate.

### **1. Introducción**

La creciente concienciación y preocupación por el medio ambiente y su sostenibilidad que se desarrolla en el mundo actual es solamente un indicador de las grandes organizaciones mundiales de que se necesita un cambio inminente en nuestra forma de vida.

Hoy en día, se sigue viviendo bajo un sistema económico lineal, definido por: tomar, hacer y desechar, siendo lo opuesto a la sostenibilidad [1]. La alternativa se encuentra en la economía circular, cuyos dos grandes retos son: maximizar el aprovechamiento de las materias primas y minimizar los residuos [2]. Además, se debe encontrar un equilibrio entre la vida económica, la social y el medio ambiente, conocido como *The Triple Bottom Line* [3].



*Figura 1: Porcentaje de alimentos desechados en Europa en el año 2007 a lo largo de cada etapa de la cadena alimentaria [4]*

Cada año se despilfarran 1.600 millones de toneladas de comida a lo largo de la cadena alimentaria, de los cuales 1.300 millones están en perfecto estado para el consumo [5]. Estas cifras nos alejan de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, definidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y más concretamente de los objetivos: ‘hambre cero’ y ‘producción y consumo responsables’ [6]

## 2. Definición del Proyecto

A lo largo del proyecto se persigue resolver varios objetivos:

I. Análisis de la cuestión del desperdicio de alimentos desde el punto de vista de la ingeniería: Al tratarse de un problema cotidiano y amplio se pueden realizar estudios desde diversas ramas: economía, ética... Una compenetración entre todos los campos de estudio puede ayudarnos a encontrar una solución equilibrada y eficiente.

II. Revisión de la regulación actual: Se investigarán y examinarán las regulaciones actuales dentro de la Unión Europea, valorando sus ventajas e inconvenientes y cuál sería la regulación idónea para minimizar el impacto de las pérdidas y desperdicio de alimentos.

III. Estudio del balance energético arraigado a la pérdida y desperdicio de alimentos: Se quiere examinar que porcentaje de la energía y recursos proporcionados a los alimentos se pierde a lo largo de la cadena alimentaria o al final de la misma. Se llevará a cabo con una ecoauditoría.

IV. Análisis crítico de los resultados del Análisis simplificado de Ciclo de Vida de un alimento: Tras el desarrollo de un ACV de un alimento base, siendo en este caso el tomate, se estudiará el impacto energético y ambiental. Se examinarán los resultados de energía equivalente consumida, emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de agua a lo largo de la cadena de producción.

V. Propuestas de mejora: Se definirán métodos de mejora a implementar en la sociedad y en el sistema de producción del alimento sometido a estudio.

### 3. Descripción de la herramienta

Se lleva a cabo el desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida de forma simplificada y se completará con ayuda de las herramientas que proporciona la Ecoauditoría.

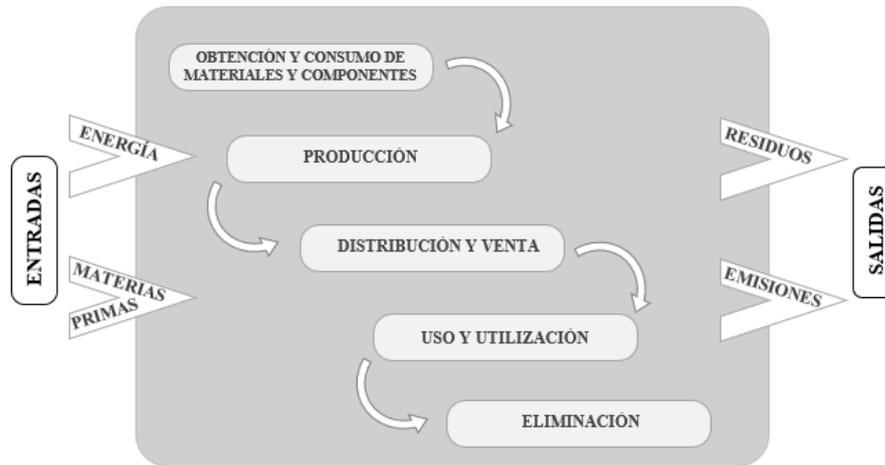


Figura 2: Esquema de ACV

El Análisis de Ciclo de Vida se define según la Norma ISO 14040, como: "técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto". [7]

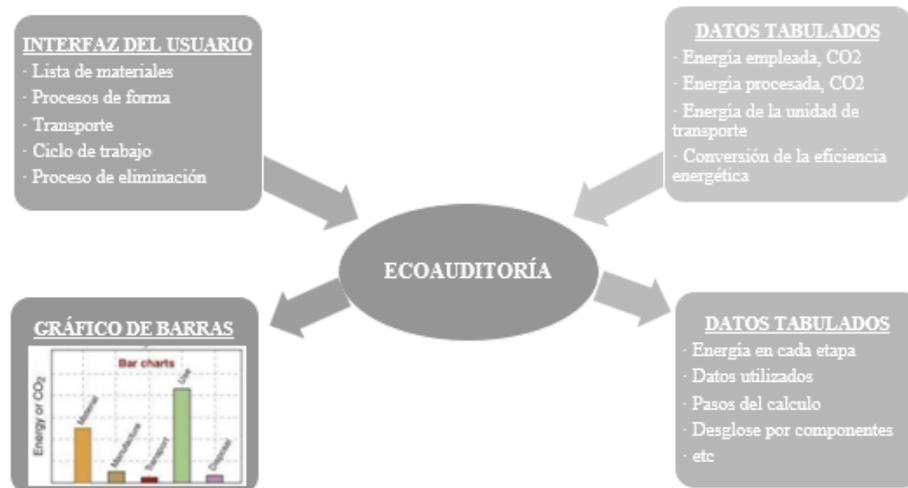


Figura 3: Esquema de funcionamiento de la herramienta ecoauditoría [8]

La Ecoauditoría se define en el Reglamento Europeo de junio del año 1993, como: "instrumento de gestión que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la eficacia de la organización, el sistema de gestión y los procedimientos destinados a la protección del medio y que tiene por objeto: 1) facilitar el control de las prácticas que pueden tener efecto sobre el medio ambiente, 2) evaluar su adecuación a las políticas medioambientales de la empresa" [9].

#### 4. Resultados

Tras los análisis realizados los resultados obtenidos son críticos, generando un gran impacto ambiental innecesario cuando se produce la pérdida o desperdicio de alimentos. Además, cabe destacar que a simple vista es fácil localizar las etapas de la cadena de producción más conflictivas, siendo en este proyecto, los materiales empleados y el transporte del producto.

Si se desglosan los orígenes de los tres principales impactos resultantes del Análisis de Ciclo de vida y de la Ecoauditoría desarrollados en el estudio, se pueden distinguir las siguientes observaciones:

- Consumo energético equivalente: Destaca el consumo debido a los envases de cartón de un solo uso, del que tan solo se recupera un 45% en el reciclaje.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente: El principal emisor es el transporte del alimento por carretera, seguido de los materiales empleados para su producción donde vuelve a ser protagonista el uso del cartón.

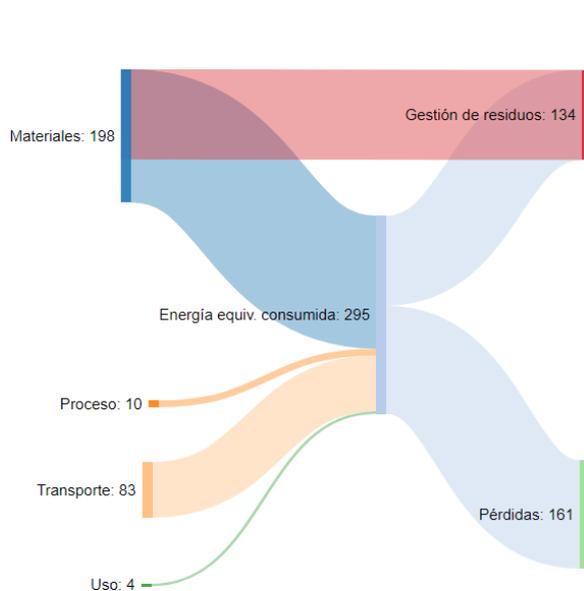


Figura 4: Diagrama de Sankey de la energía equivalente consumida en MJ [10]

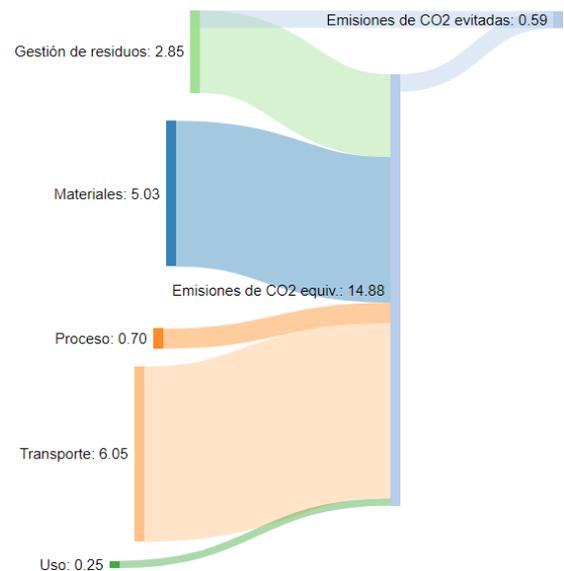


Figura 5: Diagrama de Sankey de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> en kg [10]

- Consumo de agua equivalente: El mayor consumidor de recursos hidricos es el cultivo y mantenimiento del propio alimento.

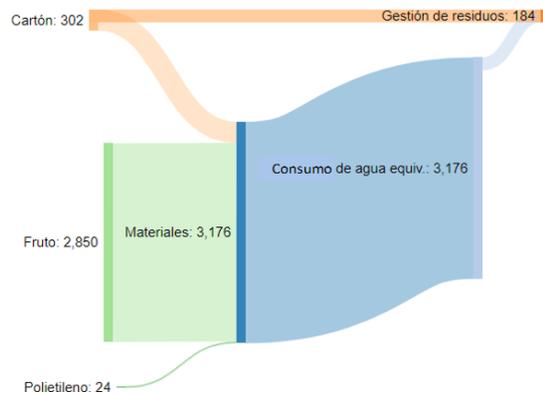


Figura 6: Diagrama de Sankey del consumo equivalente de agua en l [10]

## 5. Conclusiones

Evaluando el impacto generado durante la cadena de producción del tomate, se concluye que serán de dimensiones similares, tanto si se desperdicia o se consume el alimento al final de la cadena alimentaria. De esta manera, se afirma que, por lo menos, cuando se produce el consumo del fruto, el impacto generado podrá estar respaldado por la ingesta del alimento. Sin embargo, en el caso de que termine siendo desechado a lo largo de la cadena de producción, no existirá ninguna motivación que pueda justificar el impacto producido.

Las propuestas de mejora serán las siguientes:

- Alternativas energéticas: Optar por utilizar cajas de plástico biodegradable que puedan ser reutilizadas hasta su deterioro, fomentando de esta manera la transición a la economía circular.
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>: El transporte es la etapa más crítica en el proceso de producción. Aunque el transporte por carretera sea el más empleado en España, existen alternativas lo suficientemente limpias e igual de eficientes que las tecnologías convencionales, entre ellas el ferrocarril electrificado. Por lo que se debe aspirar a un cambio gradual hacia estas tecnologías, que ya están desarrolladas, pero no llegan a implementarse en las cadenas de producción.
- Reducción consumo de agua: Lo único que sería capaz de reducir este consumo sería la producción de diferente especie de tomate, ya que cada cultivo tiene unas necesidades diferentes.

## 6. Referencias

- [1] «La economía circular: un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente | Noticias ONU». <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082> (accedido abr. 18, 2021).
- [2] «Economía Circular». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/> (accedido oct. 20, 2020).
- [3] A. Chamberlain, «Sustainability management system: The Triple Bottom Line». <https://www.era-environmental.com/blog/sustainability-management-triple-bottom-line> (accedido oct. 07, 2020).
- [4] J. Gustavsson, C. Cederberg, y U. Sonesson, Global food losses and food waste: extent, causes and prevention; study conducted for the International Congress Save Food! at Interpack 2011, [16 - 17 May], Düsseldorf, Germany. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [5] «FAO - News Article: Food wastage: Key facts and figures». <http://www.fao.org/news/story/en/item/196402/icode/> (accedido oct. 07, 2020).
- [6] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (accedido oct. 05, 2020).
- [7] «ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia». <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es> (accedido oct. 25, 2020).
- [8] Ashby, M. F, Materials and the environment: eco-informed material choice. Elsevier, 2012.
- [9] «III Jornadas de Educación Ambiental». <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.aspx> (accedido oct. 25, 2020).
- [10] «SankeyMATIC (BETA): Build a diagram». <http://sankeymatic.com/build/> (accedido feb. 21, 2021).

# **ENERGY-ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF FOOD LOSS AND FOOD WASTE IN SPAIN**

**Author: González Felipe, Raquel.**

Supervisor: Romero Mora, José Carlos.

Co-Supervisor: Hueso Kortekaas, Katia.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

Energetic and environmental impact due to food loss and food waste along the different stages of the production chain is analysed. Those impacts are associated with: the materials involved, product processing, transport, use and management of the waste generated. Throughout the project, a simplified Life Cycle Analysis is developed employing Ecoaudit tool. Carbon dioxide emissions and energy and water consumption at each stage of the chain are estimated using these resources. In this project, a case study has been presented on the problem at national level, specifically the production chain of a tomato consumed in the city of Madrid and grown in a greenhouse located in the province of Almeria. The results principally highlight the impact caused by the transport of the product by road and the impact due to single-use packaging. Therefore, the alternatives that would lead to the most significant reduction of the impact would be, mainly, the implementation of electrified transport together with biodegradable and reusable materials. This is the only way to move towards a circular economy, i.e. a sustainability.

**Keywords:** Impact, Loss, Waste, Food, Tomato.

## **1. Introduction**

Current social awareness and concern about environments and their sustainability is just an indicator of the main global organisations. An imminent change of our way of life is needed.

Nowadays society is encapsuled in a linear economy system, which theme is: take, make and dispose, being totally against sustainability's definition. [1] Circular economy is the alternative option, that defends maximizing the use of raw materials and minimizing the residues [2]. In addition, balance between economic, social and environmentally friendly life must be found, known as The Triple Bottom Line [3].

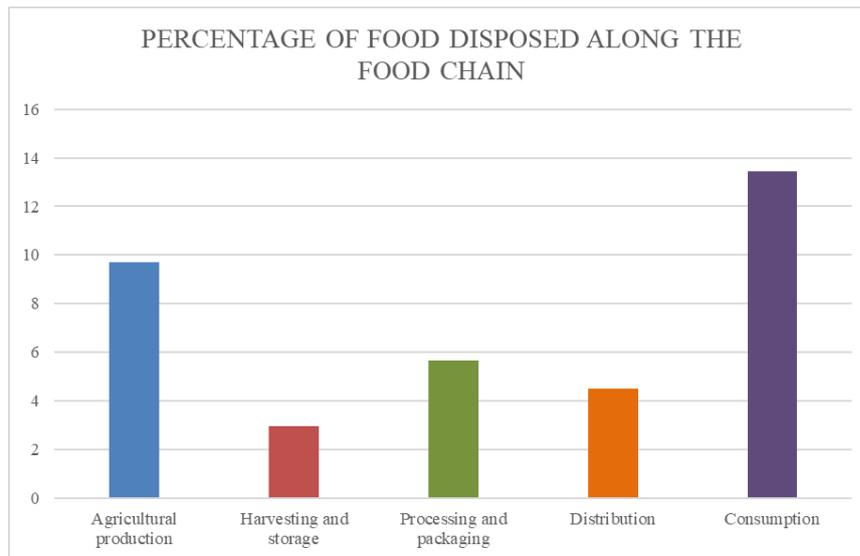


Figure 1: Percentage of food discarded in Europe in 2007 at each stage of the food chain [4]

Every year, 1.6 billion tonnes of food is wasted along the food chain, 1.3 billion tonnes of which is in perfect condition for consumption [5]. These figures distance us from the Sustainable Development Goals, as defined in the United Nations 2030 Agenda, and more specifically from the goals: ‘zero hunger’ y ‘responsible consumption and production’ [6]

## 2. Project definition

Throughout the project, several objectives will be pursued:

I. Analysis of the matter of food waste from an engineering point of view: As a day-to-day and wide-ranging problem, studies can be carried out from different fields: economics, ethics... A blending of all the fields can help us to find a balanced and efficient solution.

II. Review of current regulations: Current regulations within the European Union will be investigated and examined, assessing their advantages and disadvantages and what would be the ideal regulation to minimise the impact due to food losses and food waste.

III. Study of energetic balance tied to food loss and waste: Aimed to determine every percentage of the energy and resources provided to food production are lost along the food chain or at the end of the chain. It will be carried out with Eco-audit tool.

IV. Critical analysis of the results of the simplified Life Cycle Analysis of a food: Following the development of an LCA of a basic food, in this scenario with tomato, the energetic and environmental impact will be studied. The results of equivalent energy consumed, CO2 emissions and water consumption along the production chain will be examined.

V. Improvement proposals: Improvement methods to be implemented in society and in the production system of the food will be defined within study’s results.

### 3. Tool description

A simplified Life Cycle Assessment is developed and will be reinforced with the tools provided by the Eco-audit.

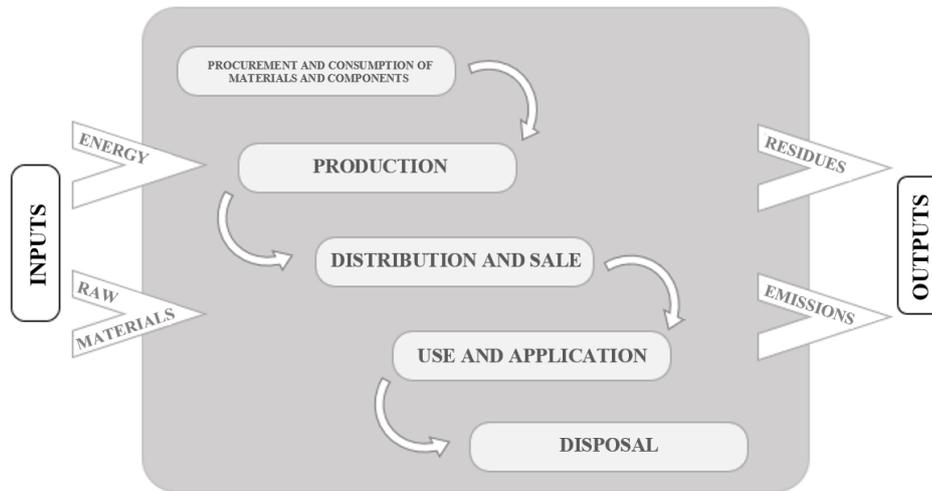


Figure 2: LCA scheme

Life Cycle Assessment is defined according to ISO 14040 as: “A technique for assessing the environmental aspects and potential impacts associated with a product by: compiling an inventory of relevant inputs and outputs of a product system, evaluating the potential environmental impacts associated with those inputs and outputs, interpreting the results of the inventory analysis and impact assessment phases in relation to the objectives of the study” [7]

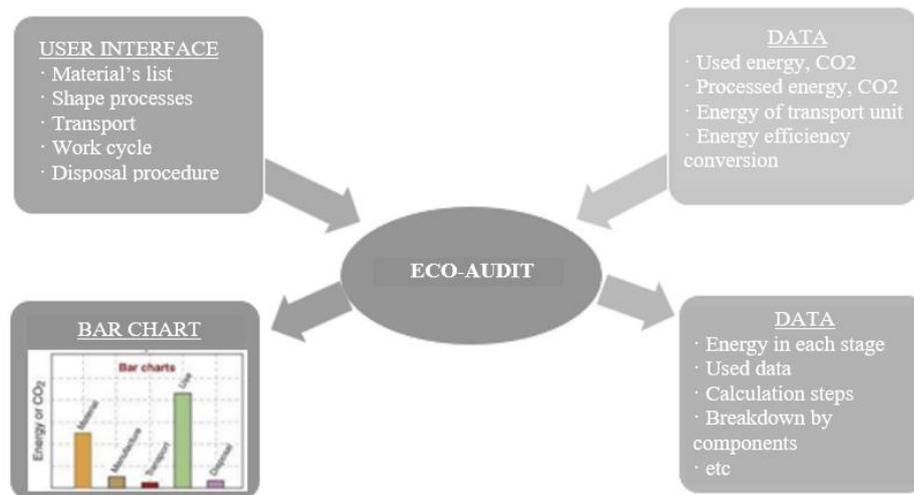


Figure 3: Eco-audit tool scheme [8]

Eco-audit is defined in the European Regulation of June 1993 as: "a management tool involving a systematic, documented, periodic and objective evaluation of the effectiveness of the organisation, the management system and the procedures designed to protect the environment and which aims to: 1) facilitate the monitoring of practices that may have an effect on the environment, 2) assess their compliance with the company's environmental policies"[9].

#### 4. Results

After the analyses carried out, the results obtained are critical, generating a large unnecessary environmental impact when food is lost or wasted. Furthermore, it should be pointed out that at a glance it is easy to identify the most conflictive stages of the production chain, which in this project are the materials used and the transport of the product.

If the cause of the three main impacts resulting from the Life Cycle Analysis and the Eco-audit developed in the study are broken down, the following observations can be distinguished:

- Equivalent energy consumption: Consumption due to single-use cardboard packaging stands out, of which only 45% is recovered in recycling.
- CO<sub>2</sub> equivalent emissions: The main emitter is the transport of food by road, followed by the materials used for its production, where the use of cardboard once again plays a leading role.

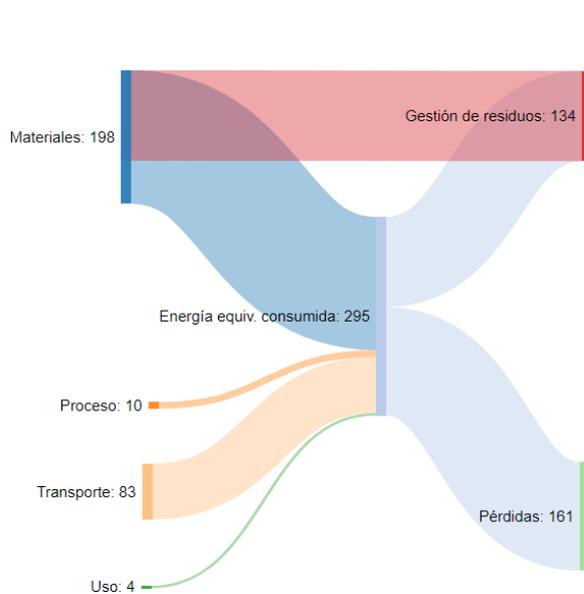


Figure 4: Sankey diagram of equivalent energy consumed measured in MJ [10]

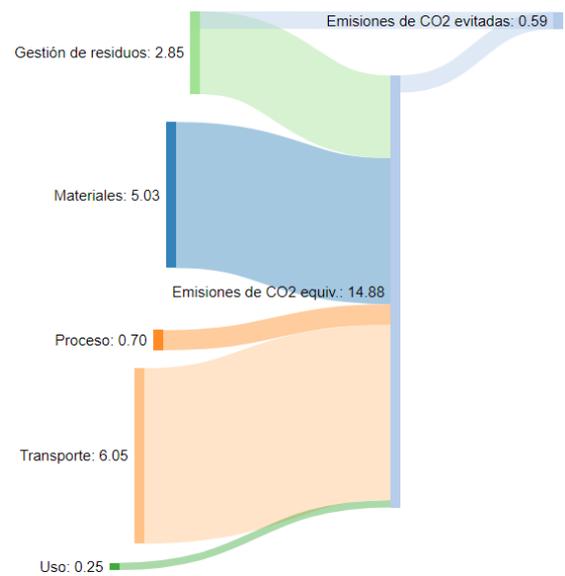


Figure 5: Sankey diagram of equivalent CO<sub>2</sub> emissions measured in kg [10]

- Equivalent water consumption: The largest consumer of water resources is the cultivation and maintenance of the food itself.

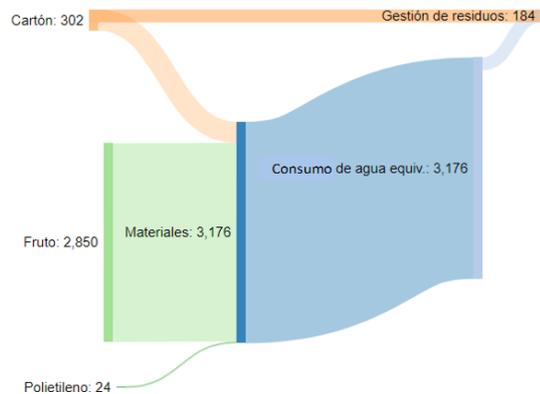


Figure 6: Sankey diagram of equivalent water consumption measured in litres. [10]

## 5. Conclusions

Assessing the impact generated along the tomato production chain, it is concluded that they will be of similar dimensions, whether the food is wasted or consumed at the end of the food chain. Therefore, it is argued that at least when the consumption of the fruit occurs, the impact generated may be supported by the intake of the food. However, in the case that it ends up being discarded along the production chain, there will be no motivation that can justify the produced impact.

Proposals for improvement will be the following:

- **Energy alternatives**: Opting to use biodegradable plastic boxes that can be reused until they are deteriorated, encouraging the transition to the circular economy.
- **Reduction of CO<sub>2</sub> emissions**: Transport is the most critical stage in the production process. Although road transport is the most widely used in Spain, there are alternatives that are sufficiently clean and just as efficient as conventional technologies, for instance, electrified rail. Therefore, we should aim for a gradual change towards these technologies, which are already developed, but are not yet implemented in production chains.
- **Reduction of water consumption**: The only thing that would be able to reduce water consumption would be the production of different tomato species, as each crop type has different needs.

## 6. References

- [1] «La economía circular: un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente | Noticias ONU». <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082> (accedido abr. 18, 2021).
- [2] «Economía Circular». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/> (accedido oct. 20, 2020).
- [3] A. Chamberlain, «Sustainability management system: The Triple Bottom Line». <https://www.era-environmental.com/blog/sustainability-management-triple-bottom-line> (accedido oct. 07, 2020).
- [4] J. Gustavsson, C. Cederberg, y U. Sonesson, Global food losses and food waste: extent, causes and prevention; study conducted for the International Congress Save Food! at Interpack 2011, [16 - 17 May], Düsseldorf, Germany. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [5] «FAO - News Article: Food wastage: Key facts and figures». <http://www.fao.org/news/story/en/item/196402/icode/> (accedido oct. 07, 2020).
- [6] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (accedido oct. 05, 2020).
- [7] «ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia». <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es> (accedido oct. 25, 2020).
- [8] Ashby, M. F, Materials and the environment: eco-informed material choice. Elsevier, 2012.
- [9] «III Jornadas de Educación Ambiental». <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.aspx> (accedido oct. 25, 2020).
- [10] «SankeyMATIC (BETA): Build a diagram». <http://sankeymatic.com/build/> (accedido feb. 21, 2021).

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	7
1.2 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	7
1.3 Transición a la Sostenibilidad .....	9
<b>Capítulo 2. Estado del Arte.....</b>	<b>11</b>
<b>Capítulo 3. Definición del Trabajo .....</b>	<b>22</b>
3.1 Justificación.....	22
3.2 Objetivos .....	22
3.3 Metodología.....	23
3.3.1 Análisis de Ciclo de Vida .....	24
3.3.2 Ecoauditoría.....	25
3.4 Planificación.....	27
3.5 Estimación Económica .....	28
<b>Capítulo 4. Análisis de Ciclo de Vida.....</b>	<b>30</b>
4.1 Análisis del Escenario .....	30
4.2 Definición del Estudio.....	34
4.3 Cálculos de las Cantidades .....	38
4.4 Cálculos de la Energía y Emisiones Equivalentes.....	46
4.5 Resultados .....	60
<b>Capítulo 5. Análisis de Resultados.....</b>	<b>63</b>
5.1 Consumo Energético Equivalente .....	63
5.2 Emisiones de CO <sub>2</sub> Equivalentes .....	66
5.3 Consumo de Agua Equivalente .....	69
<b>Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>	<b>71</b>
6.1 Conclusiones Generales .....	71
6.2 Alternativas Energéticas.....	72
6.3 Reducción de Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	73
6.4 Reducción de Consumo de Agua .....	73

*Capítulo 7. Bibliografía..... 74*

## *Índice de figuras*

Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS [4] .....	8
Figura 2: Esquema de la Economía Lineal .....	9
Figura 3: Esquema de las 7 R's de la economía circular .....	10
Figura 4: Esquema de la cadena de suministro y producción de los alimentos.....	11
Figura 5: Porcentaje de alimentos desechados en Europa en el año 2007 a lo largo de cada etapa de la cadena alimentaria [15] .....	13
Figura 6: Porcentaje de alimentos desechados en Europa en el año 2007 a lo largo de la cadena alimentaria [12] .....	14
Figura 7: Desperdicio medio semanal en los hogares españoles durante el año 2019 [12] .	15
Figura 8: Porcentaje de agua reutilizada en las Comunidades Autónomas españolas durante 2016 [22] .....	19
Figura 9: Uso del agua reutilizada en las Comunidades Autónomas Españolas en el año 2016 [22] .....	19
Figura 10: Pérdidas de suelo en el territorio español durante el año 2002 [23] .....	20
Figura 11: Variación relativa de emisiones por sector respecto a 1990 (año 1990=100 %) [24] .....	21
Figura 12: Esquema de ACV .....	24
Figura 13: Esquema de funcionamiento de la herramienta ecoauditoría [27] .....	25
Figura 14: Planificación del proyecto.....	27
Figura 15: Datos de entrada al sistema pertenecientes a la infraestructura .....	31
Figura 16: Datos de entrada pertenecientes a la producción del cultivo .....	31
Figura 17: Cronograma del ciclo de primavera .....	32
Figura 18: Procedimientos ilustrados del cultivo del tomate [31].....	33
Figura 19: Cubierta de invernadero[32] .....	34
Figura 20: Planta <i>Solanum lycopersicum</i> © .....	34
Figura 21: Camiones para el transporte del producto[36] .....	36
Figura 22: Tomate empaquetado ©.....	36
Figura 23: Refrigeración en el supermercado © .....	37

Figura 24: Podado de la planta ☺.....	37
Figura 25: Energía equivalente consumida a lo largo de la cadena de producción sujeta a estudio.....	60
Figura 26: Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente consumida a lo largo de la cadena de producción sujeta a estudio .....	61
Figura 27: Volumen de agua consumido a lo largo de la cadena de producción sujeta a estudio.....	64
Figura 28: Porcentajes de energía consumida y recuperada equivalente en cada etapa de la cadena de producción. ....	63
Figura 29: Diagrama de Sankey de la energía equivalente consumida en MJ [52] .....	65
Figura 30: Porcentajes de emisiones de dióxido de carbono equivalentes en cada etapa de la cadena de producción .....	66
Figura 31: Diagrama de Sankey de las emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> en kg [52] .....	68
Figura 32: Porcentajes de consumo y recuperación de agua equivalente en cada etapa de la cadena de producción .....	69
Figura 33: Diagrama de Sankey del consumo equivalente de agua en l [52].....	70
Figura 34: Comparación porcentual del impacto generado por el consumo o desperdicio completo respecto a los resultados generales del proyecto. ....	71

## *Índice de tablas*

Tabla 1: Porcentaje de alimentos desechados en Europa en el año 2007 a lo largo de la cadena alimentaria [15].....	12
Tabla 2: Leyes respecto a la donación de alimentos en Francia, Bélgica, Italia, Alemania, Portugal, Reino Unido y España.[19] .....	17
Tabla 3: Costes estimados asociados a los impactos generados por la pérdida y desperdicio de alimentos [29].....	29
Tabla 4: Taxonomía y morfología del tomate [30] .....	30
Tabla 5: Masa de materiales de entrada al sistema de estudio .....	41
Tabla 6: Energía consumida durante el procesado .....	41
Tabla 7: Entrada de transporte al sistema de estudio.....	42
Tabla 8: Energía consumida durante el uso del producto.....	43
Tabla 9: Cantidad desechada de producto a lo largo de la cadena de producción .....	44
Tabla 10: Cantidad de residuo generado a lo largo de la cadena de producción.....	44
Tabla 11: Resultados obtenidos en los cálculos de las entradas al sistema de estudio para 101.250kg de producto. ....	45
Tabla 12:Resultados obtenidos en los cálculos de las entradas al sistema de estudio para 100kg de producto. ....	46
Tabla 13: Coeficientes tabulados de energía, agua y emisiones de CO2 equivalentes para los diferentes materiales de entrada al sistema [46].....	47
Tabla 14:Resultados de energía, agua y emisiones de CO2 equivalentes para los diferentes materiales de entrada al sistema .....	48
Tabla 15:Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO2 equivalentes para el procesado del producto [47] .....	48
Tabla 16:Resultados de energía y emisiones de CO2 equivalentes para el procesado del producto .....	49

Tabla 17: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el transporte del producto [47] .....	49
Tabla 18: Resultados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el transporte del producto .....	50
Tabla 19: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el consumo del producto [47] .....	50
Tabla 20: Resultado de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el consumo del producto .....	50
Tabla 21: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el desperdicio del producto [47] .....	51
Tabla 22: Resultados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el desperdicio del producto .....	51
Tabla 23: Resultados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para la media ponderada consumo-desperdicio del producto .....	52
Tabla 24: Porcentajes de masa reciclada de los diferentes materiales generados al final de la cadena de producción estudiada [46][48] .....	52
Tabla 25: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para la combustión del residuo fresco generado. [40] .....	53
Tabla 26: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el reciclaje y combustión de PEBD [46] .....	53
Tabla 27: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes para el reciclaje y combustión del cartón [46] .....	55
Tabla 28: Coeficiente tabulado de energía equivalente para el compostaje de frutas y verduras [51] .....	57
Tabla 29: Resultados de energía, emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes y material reciclado/compost generados resultantes de la gestión de residuos de la cadena de producción .....	59

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La creciente concienciación y preocupación por el medio ambiente y su sostenibilidad que se desarrolla en el mundo actual es solamente un indicador de las grandes organizaciones mundiales de que se necesita un cambio inminente en nuestra forma de vida.

### ***1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

Se dedica un constante esfuerzo a la prevención de daños irremediables en el planeta. Hoy en día, se sigue viviendo bajo un pensamiento de: tomar, hacer y desechar, siendo lo opuesto a la sostenibilidad [1]. La sostenibilidad se define según la Organización de Naciones Unidas, ONU, como “la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [2].

Se observa que, la humanidad, además de ser el único causante de la situación de insostenibilidad, también recibe la mayor parte del impacto. Se debe encontrar un equilibrio entre la vida económica, la social y el medio ambiente, llegando a una satisfacción social y económica que pueda perdurar a lo largo del tiempo, junto con el planeta, capaz de cubrir las necesidades futuras del ser humano. A esta metodología del triple balance se la conoce como *The Triple Bottom Line* [3].

### ***1.2 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE***

En la búsqueda de una solución eficaz, la Organización de Naciones Unidas, ONU, ha diferenciado los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, en 17 retos expuestos en la Figura 1:



Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS [4]

Todos ellos fueron registrados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, firmada el 21 de octubre del 2015 en la Cumbre de las Naciones Unidas de Nueva York, y que los establece como objetivos a cumplir para el año 2030 [4].

Focalizando la atención en los ODS: ‘hambre cero’ y ‘producción y consumo responsables’, se observa una gran correlación entre ellos. Desde 2015, año tras año, la cifra de las personas que padecen hambre aumenta [5]. A su vez, se incrementa el uso de recursos naturales para satisfacer nuestra vida económica, intensificando el efecto de la huella material en el mundo.

Hoy en día, existe una producción alimentaria suficiente para abastecer a toda la población. Aun así, se trata de alcanzar el objetivo de hambre cero, ya que se registran en 2017, 821 millones de personas en situación de precariedad alimentaria [6]. Este objetivo cubre la malnutrición, encontrando casos de subalimentación crónica y, en el extremo opuesto, el sobrepeso y la obesidad. [7]

La producción y el consumo no responsable, genera residuos, emisiones y un consumo innecesario de los recursos primarios afectando a todo el medio ambiente: atmósfera, hidrosfera, terreno, etc. además de perjudicar a la salud y bienestar de los seres vivos que lo componen [6] Si se concreta en la industria alimentaria, la tercera meta establecida para el objetivo ‘producción y consumo responsables’ es reducir a la mitad el desperdicio de alimentos, para el año 2030, y disminuir las pérdidas de en la cosecha y en la cadena de suministro y producción [8].

### ***1.3 TRANSICIÓN A LA SOSTENIBILIDAD***

El objetivo de las iniciativas contra el desperdicio y pérdida de alimentos es la sostenibilidad de nuestra forma de vivir. Nuestro modelo económico actual es lineal: tomar, fabricar, consumir y eliminar, como se muestra en la

Figura 2. Este se opone completamente al objetivo a alcanzar, se generan residuos cada vez que damos por finalizada la vida útil del producto.

Si este modelo no se sustituye por el de la economía circular, al ritmo que se consumen las materias primas, tanto materiales como energéticas, se agotarán. La velocidad de explotación es más rápida que la de regeneración del planeta, por lo que, para que sea sostenible y pueda perdurar a lo largo del tiempo, tenemos que adaptar nuestro paso al ritmo natural del planeta.[9]

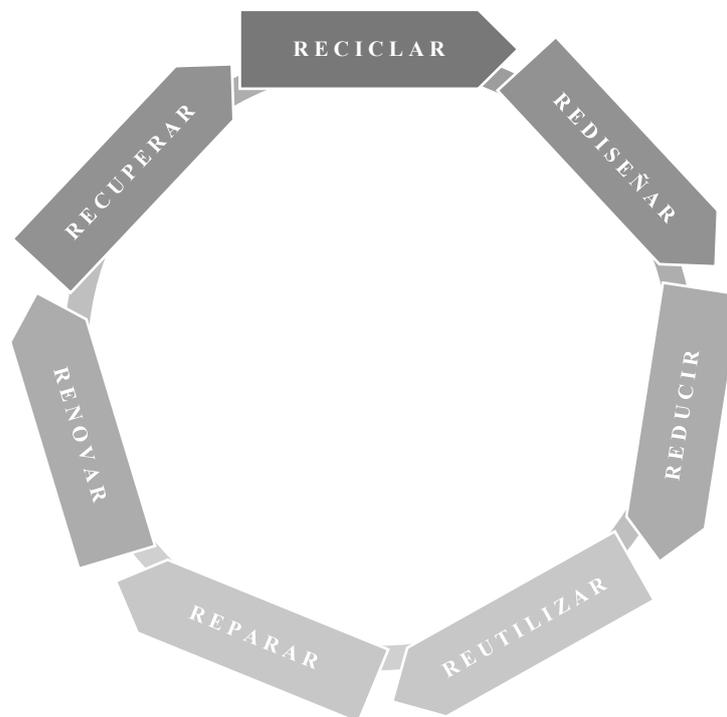


*Figura 2: Esquema de la Economía Lineal*

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, MITECO, la definición de economía circular queda cubierta por “aquella en la que se maximizan los recursos disponibles, tanto materiales como energéticos, para que estos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo productivo”. [9]

Los dos grandes retos de la economía circular es maximizar al aprovechamiento de las materias primas y minimizar los residuos [9]. Para ello, en vez de eliminar el producto tras su uso, hay que reaprovecharlo y convertirlo en el origen de uno nuevo. A este concepto se le denomina “de la cuna a la cuna” [10]. Como base de la economía circular se definen las llamadas, 7R’s representadas en la

Figura 3, siendo las prácticas que se han de llevar a cabo con un producto ya completamente usado. [11]



*Figura 3: Esquema de las 7 R's de la economía circular*

## Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

Cada año se despilfarran 1.600 millones de toneladas de comida, de los cuales 1.300 millones están en perfecto estado para el consumo [12]. En los campos de cultivo; se produce un alto volumen de pérdidas. En algunas ocasiones, cuando la producción es muy alta, se prefiere abandonar el alimento, listo para su consumo, en la zona de cultivo. Los agricultores quieren evitar una caída de los precios de venta al mercado generada por el exceso de oferta o bien debido a que el coste del transporte hasta el mercado supera el precio establecido de venta, por lo que no hay beneficio económico.

Además, gran parte de los alimentos desechados en la distribución es debido a que sus contenedores se han etiquetado, sellado o llenado de forma inapropiada. En las grandes empresas de industria alimentaria se presentan situaciones como: cuando existe un lote catalogado de forma errónea en su envase, se deshacen de él; si tan solo un producto del lote no está adecuado para su venta, desechan el lote íntegro en lugar de sustituir el producto deteriorado, etc. [13]

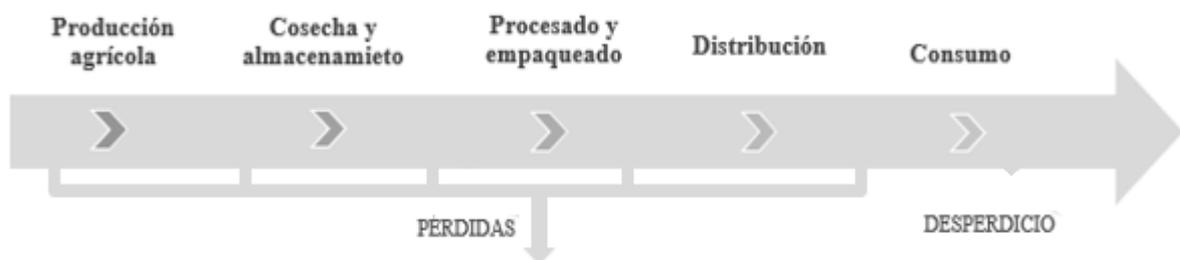


Figura 4: Esquema de la cadena de suministro y producción de los alimentos

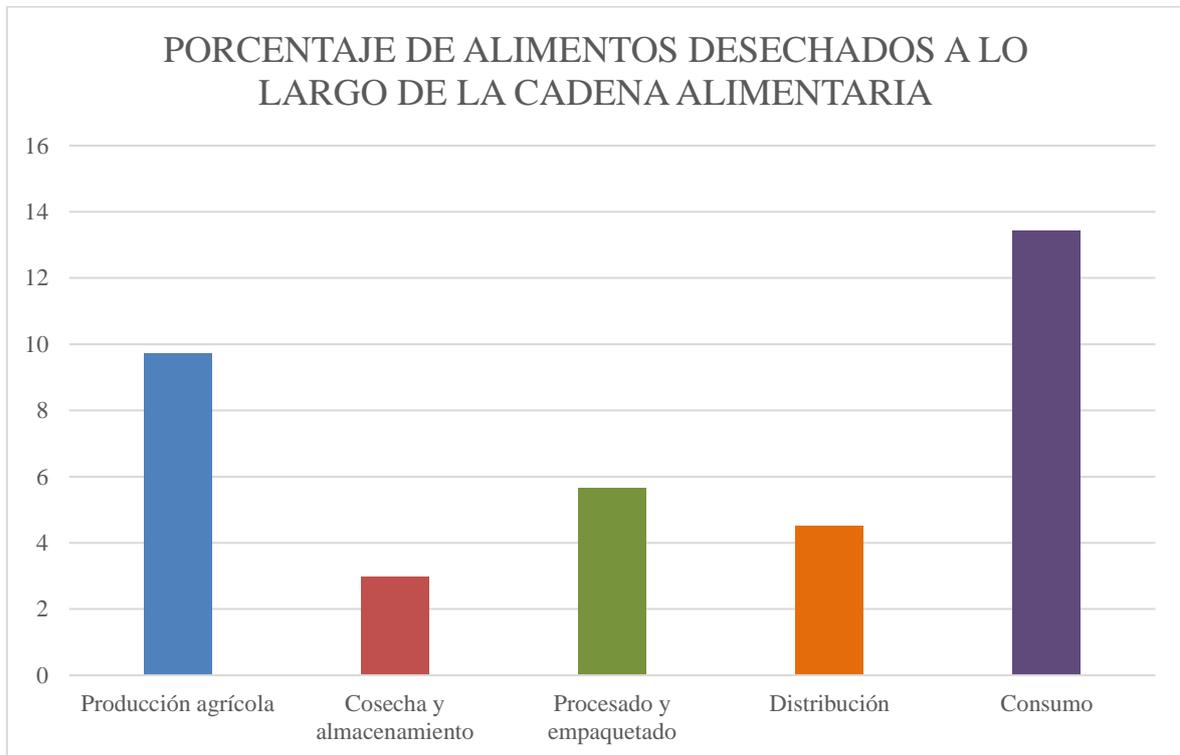
A lo largo de la cadena de suministro y producción de alimentos, representada en la Figura 4, se aprecia dónde se produce el despilfarro de alimentos. Entre ellos se observan: pérdidas y desperdicio. Es importante diferenciar ambos términos. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, denomina *desperdicio* de alimentos a la cantidad de comida desechada a manos del consumidor y *pérdida* a la cantidad

desechada a lo largo de la cadena alimentaria, excluyendo a minoristas, proveedores y consumidores [14]. En la Tabla 1, se muestra el porcentaje de alimentos desechados en Europa a lo largo de la cadena alimentaria.

	<i>Producción agrícola</i>	<i>Cosecha y almacenamiento</i>	<i>Procesado y empaquetado</i>	<i>Distribución</i>	<i>Consumo</i>	<i>Total</i>
<i>Frutas y verduras</i>	20%	5%	2%	10%	19%	45,7%
<i>Lácteos</i>	3,5%	0,5%	1,2%	0,5%	7%	12,2%
<i>Productos cárnicos</i>	3,1%	0,7%	5%	4%	11%	21,9%
<i>Pescado y marisco</i>	9,4%	0,5%	6%	9%	11%	31,4%
<i>Tubérculos</i>	20%	9%	15%	7%	17%	52,2%
<i>Legumbres</i>	10%	1%	5%	1%	4%	19,6%
<i>Cereales</i>	2%	4%	5,25%	2%	25%	34,5%

*Tabla 1: Porcentaje de alimentos desechados en Europa en el año 2007 a lo largo de la cadena alimentaria [15]*

La información del porcentaje de alimentos despilfarrados en Europa en el año 2007 a lo largo de la cadena alimentaria, recopilada en la Tabla 1, queda recogida de manera gráfica en la Figura 5, clasificado por etapas, y en la Figura 6, clasificado por clases alimentos.



*Figura 5: Porcentaje de alimentos desechados en Europa en el año 2007 a lo largo de cada etapa de la cadena alimentaria [15]*

Paralelamente, los consumidores también generan desperdicios. Comienzan cuando las franquicias de supermercados compran los alimentos, para después venderlos. Se compra más cantidad de producto que la que se espera vender, ya que el cliente no adquirirá los productos si no le resultan atractivos y frescos [13]. En los hogares españoles, la mayor parte de alimentos desperdiciados son frutas, verduras y hortalizas, cubriendo el 46%, seguidos de los derivados lácteos, con el 10%. También hay que tener en cuenta que aumenta el desperdicio cuanto más cálidas son las temperaturas, ya que favorece al deterioro de los alimentos frescos [16].

Queda representado en la Figura 6, el porcentaje de alimentos desechados en Europa durante 2007 a lo largo de la cadena alimentaria y en la Figura 7, el desperdicio medio semanal en los hogares españoles durante el año 2019, identificando porcentaje perteneciente a cada tipo de alimento.

Por otro lado, se le añade la comida desperdiciada en los restaurantes, banquetes de celebraciones y *buffets* debido a los tamaños excesivos de las raciones, siendo de media el 30% de la cantidad del plato servido.[17]

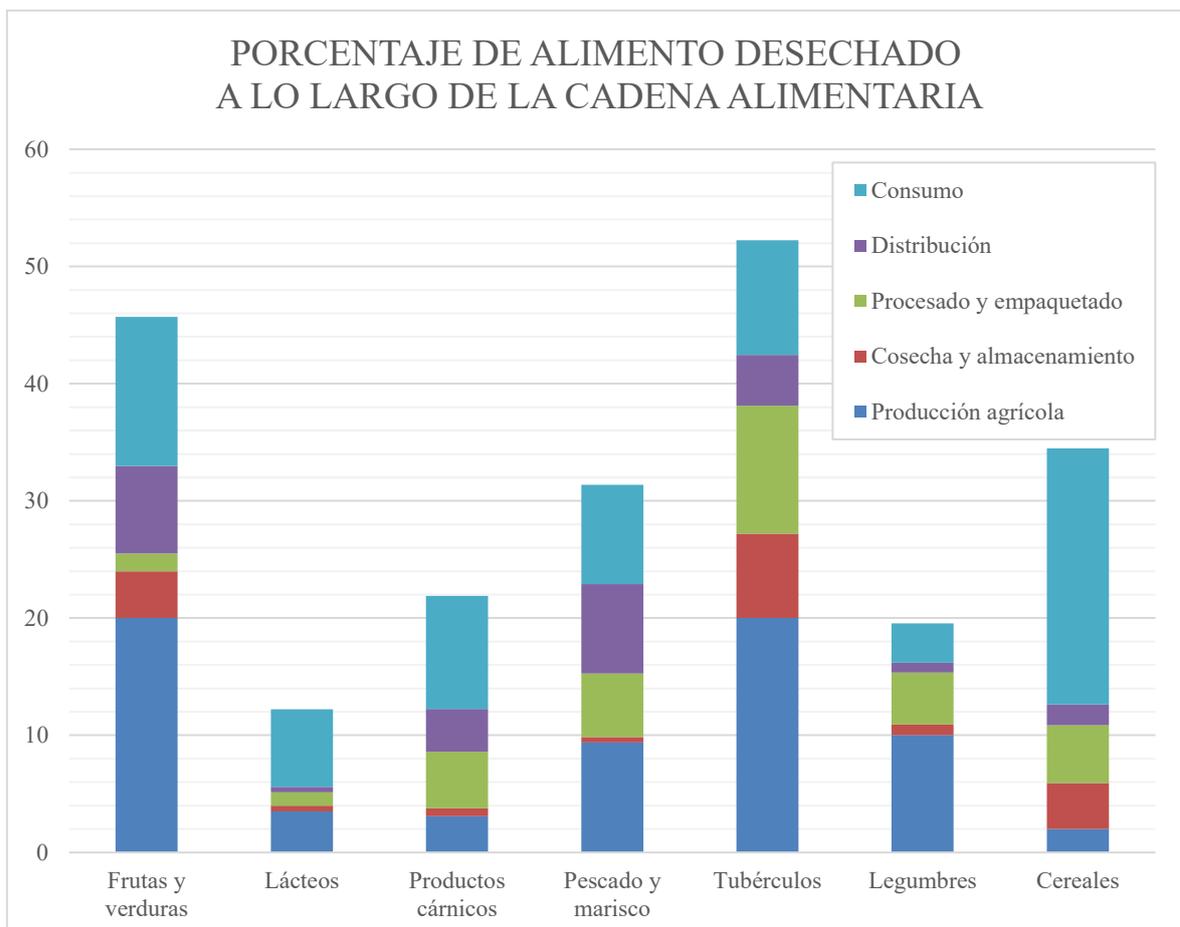
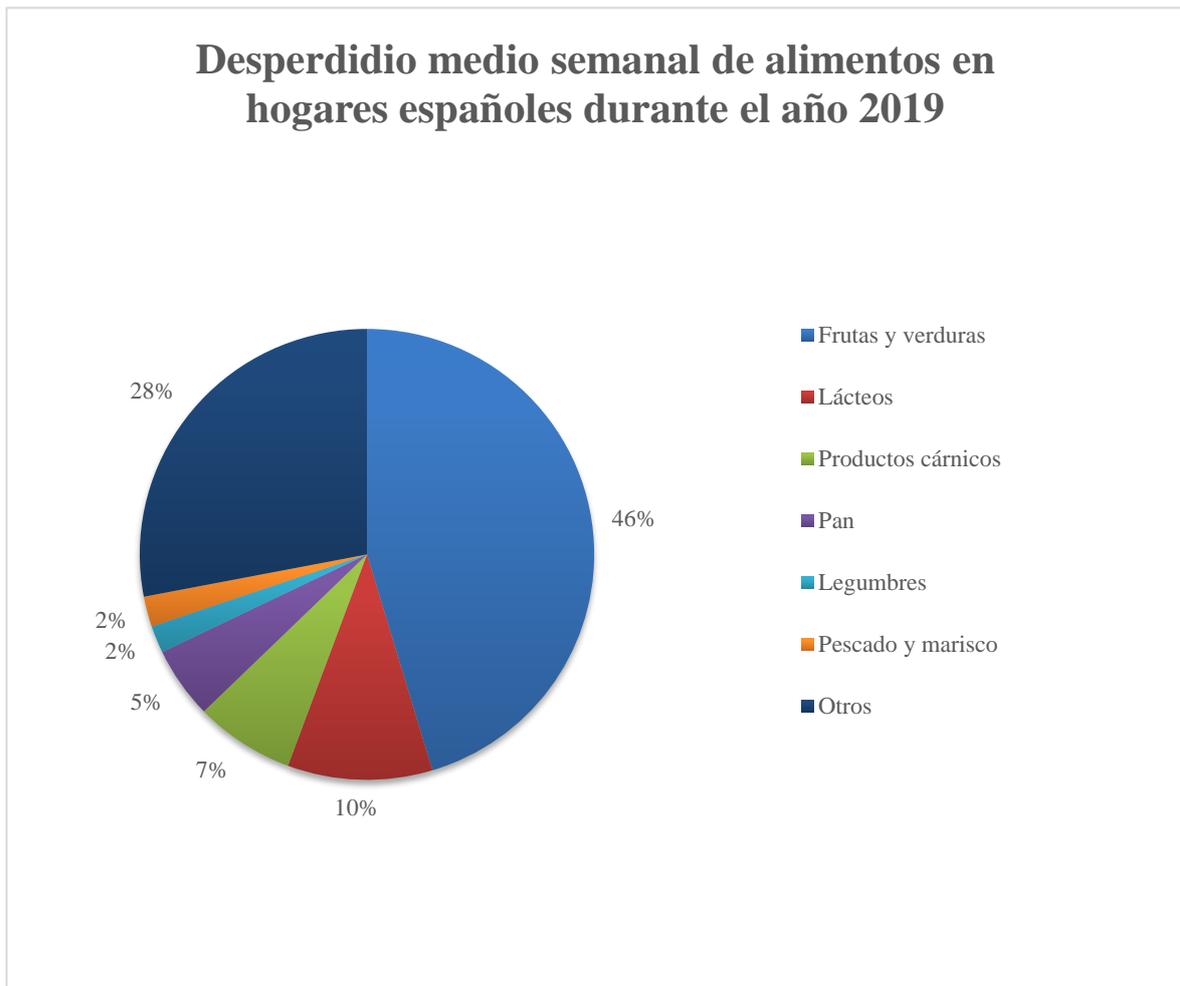


Figura 6: Porcentaje de alimentos desechados en Europa en el año 2007 a lo largo de la cadena alimentaria [12]



*Figura 7: Desperdicio medio semanal en los hogares españoles durante el año 2019 [12]*

Tanto en España como en la Unión Europea se están llevando a cabo una gran cantidad de iniciativas en contra del desperdicio de alimentos, lideradas por organizaciones no gubernamentales, ONG, y grandes empresas.

En el ámbito nacional encontramos ‘*La Alimentación no tiene desperdicio*’, liderada por la Asociación de Fabricantes y Distribuidores, AECOC.

Presenta tres objetivos principales:

- Garantizar la eficiencia implementando nuevas prácticas a lo largo de la cadena alimentaria, maximizando el producto obtenido a partir de la mínima materia prima posible.
- Aprovechamiento pleno del excedente producido a lo largo de la cadena alimentaria.
- Concienciación y sensibilización de la sociedad, para que pueda responder a su correspondiente responsabilidad.

Esta iniciativa está apoyada por grandes empresas del sector alimentario, nacionales e internacionales, como: Mercadona, Carrefour, El Corte Inglés, Danone, Nestlé, entre muchas otras.[18]

En el ámbito europeo, no existen una iniciativa o medidas comunes, pero las que existen a escala local sí tienen definidos los mismos objetivos. Cada país gestiona el desperdicio y pérdidas de alimentos, según lo decida su propio gobierno. De esta manera, se puede realizar una comparativa de la actuación de diferentes países, aquellos con mejores resultados se debe tomar como modelos a seguir.

Para evitar el desperdicio, se lucha por incentivar las donaciones de grandes distribuidores y de particulares. Aproximadamente la mitad de los alimentos desechados son aptos para el consumo. Cada país obtiene unos resultados totalmente diferentes respecto a las donaciones de alimentos.[19]

La gestión de donaciones de cada país va ligada a las leyes estén establecidas en cada uno de ellos, que en algunos casos facilitará o dificultará el proceso de minimización del despilfarro de alimentos. La legislación cubre diferentes áreas:

- General, donde se determinan los procesos que garanticen la seguridad alimentaria.

- Higiene alimentaria, determina las condiciones sanitarias adecuadas para su procesado.
- Duración de los alimentos, fijado de una *fecha de caducidad o consumo preferente*.
- Fiscal, referente al impuesto común sobre el valor añadido, IVA.
- Gestión de residuos, determina la jerarquización del proceso.

Además, se ha de mencionar la ley de tipo ‘Buen samaritano’, donde la responsabilidad de la higiene y seguridad de los alimentos recae en el donante representado por el banco de alimentos y, evadiendo el consumidor esta responsabilidad.

Estas leyes se aplican en los países de la Unión Europea de la siguiente manera, representada en la Tabla 2:

	<i>FRA</i>	<i>BEL</i>	<i>IT</i>	<i>ALE</i>	<i>POR</i>	<i>UK</i>	<i>ESP</i>
<i>Ley de tipo ‘Buen samaritano’</i>			x				
<i>Higiene alimentaria</i>					x		
<i>Duración de alimentos</i>							x
<i>IVA, no impuesto a donaciones</i>	x	x	x	x	x	valor cero	
<i>Crédito fiscal</i>	x						x
<i>Deducción fiscal</i>			x	x	x		
<i>Jerarquía de los desperdicios</i>		x				x	

*Tabla 2: Leyes respecto a la donación de alimentos en Francia, Bélgica, Italia, Alemania, Portugal, Reino Unido y España.[19]*

Según el estudio comparativo realizado por *Bio* y *Deloitte* conjuntamente con el Comité Económico y Social Europeo, si se analiza la legislación vigente en cada país y el

resultado obtenido, entre los que cabe destacar el éxito de Francia y Bélgica, se obtiene como modelo a seguir el que establezca las siguientes pautas:

- Guía interpretativa de la fecha de caducidad de los alimentos de Bélgica, ya que, aunque se supere, muchos alimentos siguen siendo aptos para el consumo.
- Interpretación de la trazabilidad de los alimentos de Bélgica, controlando el flujo de alimentos entre minoristas y bancos de alimentos.
- Ley de tipo 'Buen samaritano' de Italia, motivando a la donación evitando conflictos burocráticos.
- Valor cero del IVA de Reino Unido.
- Incentivos fiscales de Francia, que se tiene derecho a un crédito del 60% del valor de los alimentos donados.
- Aplicación de la jerarquía de Francia, en la cual resulta más caro el envío para desechar alimentos que donarlos.

Para poder cuantificar el avance hacia la sostenibilidad, existen múltiples indicadores. Los más representativos en el área de pérdida y desperdicio de alimentos son aquellos relacionados con la calidad y cantidad de los recursos utilizados para su producción.

Entre ellos destacan: Reutilización y desalación del agua en el regadío, erosión del suelo durante el regadío y emisiones brutas de gases de efecto invernadero en el regadío.

- Reutilización y desalación del agua en el regadío:

Mide la cantidad de agua empleada en el regadío procedente de desaladoras y EDARs, es decir, agua reciclada aprovechada en el regadío.

Cuanto mayor sea el porcentaje utilizado en el regadío, menor impacto recibirán los recursos hídricos. La extensión de su uso se considera una meta a alcanzar en el futuro.[20]

En la Figura 8, se representan las cifras en España, líder europeo en la reutilización de agua [21] y en la Figura 9:

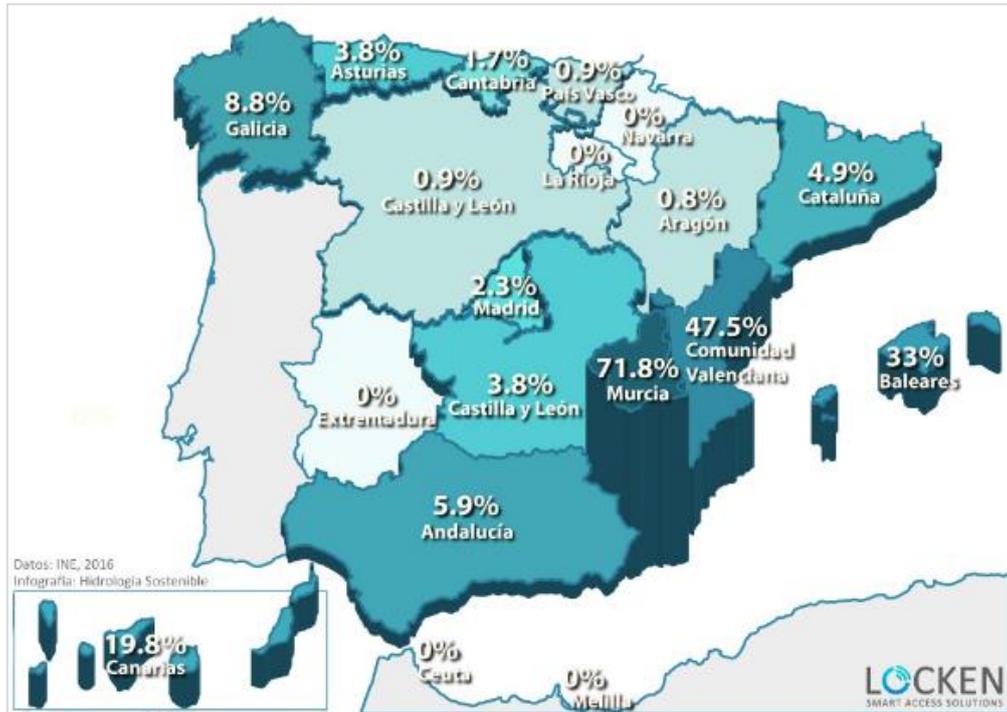


Figura 8: Porcentaje de agua reutilizada en las Comunidades Autónomas españolas durante 2016 [22]

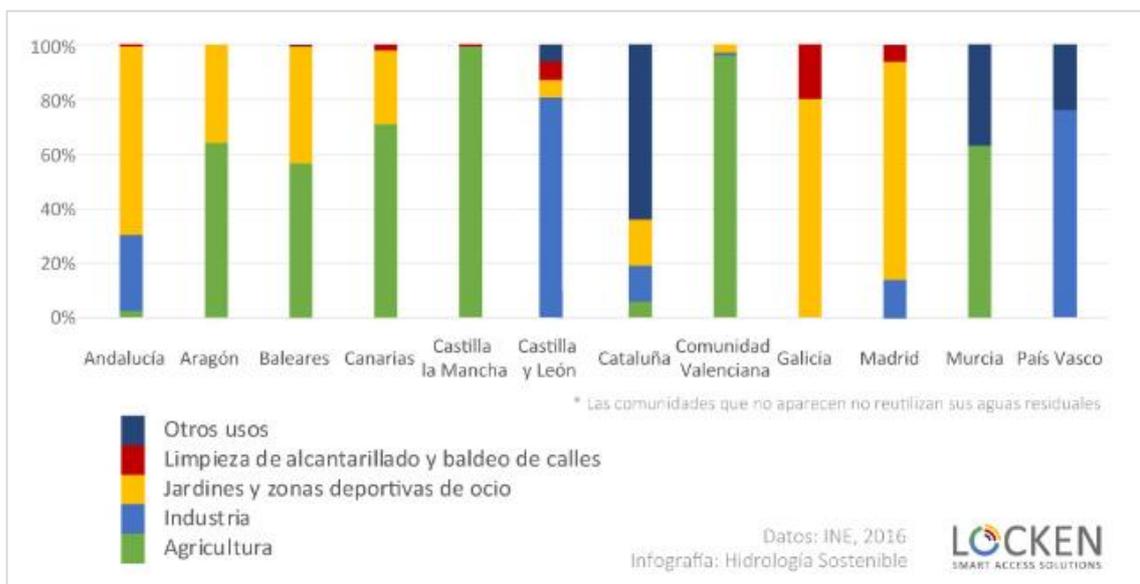


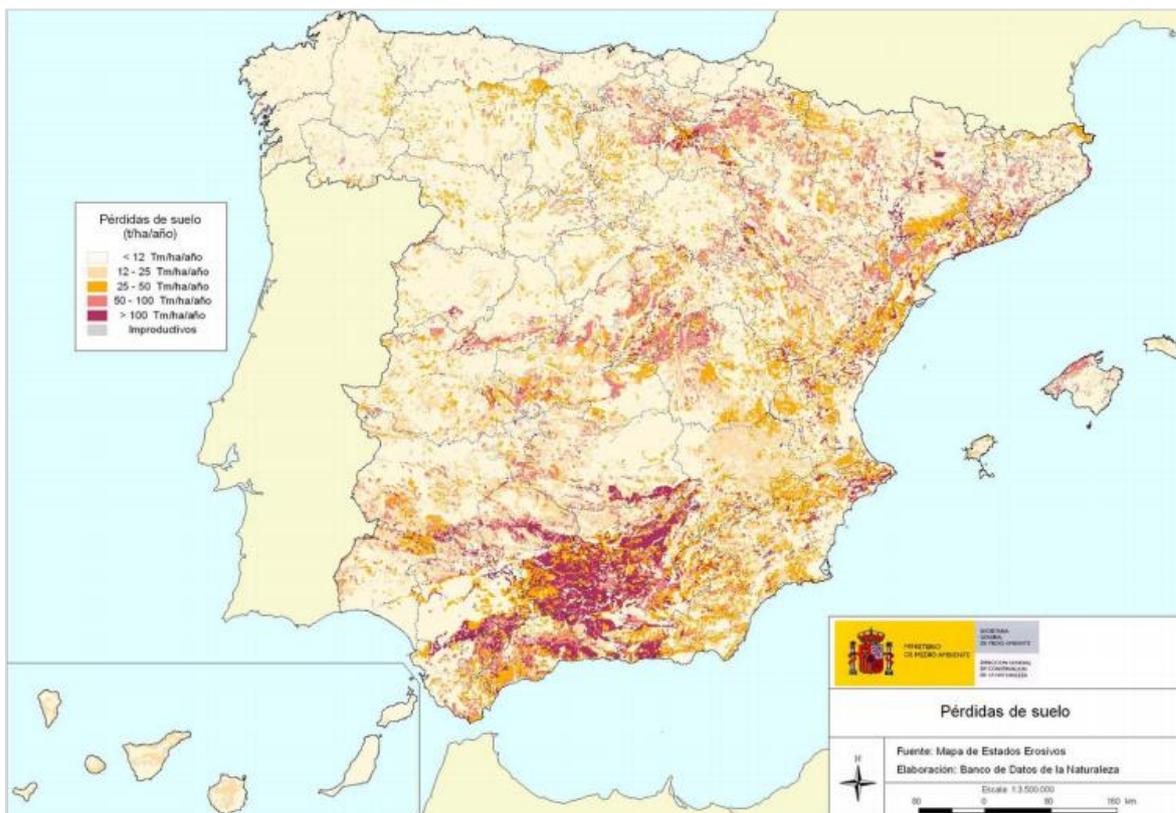
Figura 9: Uso del agua reutilizada en las Comunidades Autónomas Españolas en el año 2016 [22]

○ Erosión de suelo durante el regadío:

Indica la cantidad de área erosionada hídricamente durante el regadío. El límite aceptable de pérdida de suelo se encuentra entre 1 y 5 toneladas por ha y año.

También se puede interpretar como el número de días por año que el suelo se encuentra cubierto por vegetación, la cual protege el terreno. [20]

Las pérdidas de suelo en España durante el año 2002 se representan en la Figura 10:



*Figura 10: Pérdidas de suelo en el territorio español durante el año 2002 [23]*

○ Emisiones brutas de gases de efecto invernadero en el regadío:

Indica la cantidad total de emisiones de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono expresada en equivalentes de CO<sub>2</sub>.

De esta manera su puede llevar un seguimiento de los gases de efecto invernadero, pudiendo aumentar el papel de la agricultura como sumidero.[20]

En la Figura 11, se observa la evolución de las emisiones, medidas relativas de las emisiones de gases de efecto invernadero, GEI, en España.

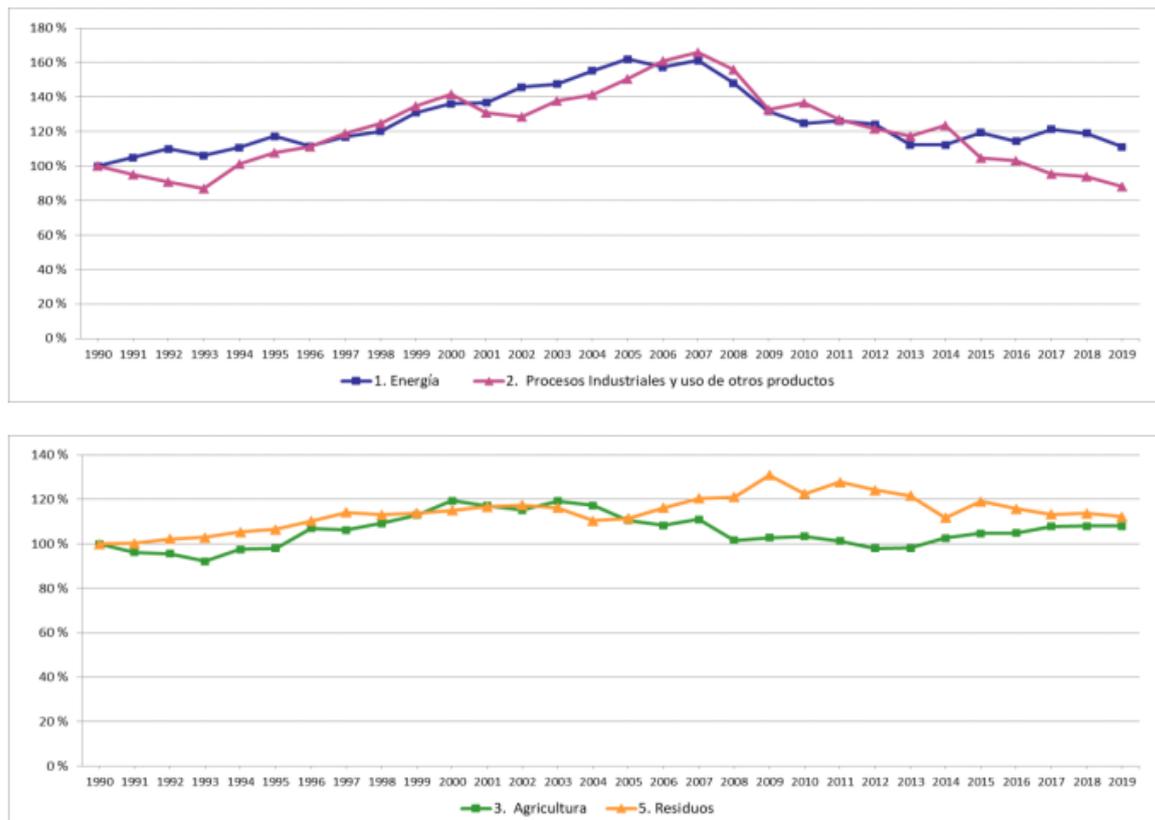


Figura 11: Variación relativa de emisiones por sector respecto a 1990 (año 1990=100 %) [24]

## **Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO**

### **3.1 JUSTIFICACIÓN**

La pérdida y desperdicio de alimentos, hoy en día, alcanzan cifras alarmantes. Por lo que presentamos una problemática global de carácter urgente. A pesar de que existe una concienciación social acerca de la presencia del problema, no se toman las suficientes medidas para aliviar la situación crítica actual.

En este proyecto se realiza un desarrollo del caso a estudio y su análisis, obteniendo propuestas de mejora a lo largo de la cadena de producción para disminuir la cantidad de alimentos que se desechan y son aptos para el consumo.

Además, se evalúa el impacto ambiental que conlleva, para evidenciar y recalcar que no se trata solo de una problemática social y económica, si no que implica un gran consumo energético e hídrico y elevadas emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros.

Hasta donde hemos podido investigar, no se ha encontrado ningún estudio similar. De esta manera, se quiere visibilizar y compartir nuestra preocupación, ya que aún queda un gran recorrido hasta alcanzar un escenario sostenible.

### **3.2 OBJETIVOS**

A lo largo del desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, TFG, se persigue resolver varios objetivos:

- I. Análisis de la cuestión del desperdicio de alimentos desde el punto de vista de la ingeniería: Al tratarse de un problema cotidiano y amplio se pueden realizar estudios desde diversas ramas: economía, ética... Una compenetración entre todos los campos de estudio puede ayudarnos a encontrar una solución equilibrada y eficiente.

- II. Revisión de la regulación actual: Se investigarán y examinarán las regulaciones actuales dentro de la Unión Europea, valorando sus ventajas e inconvenientes y cuál sería la regulación idónea para minimizar el impacto de las pérdidas y desperdicio de alimentos.
- III. Estudio del balance energético arraigado a la pérdida y desperdicio de alimentos: Se quiere examinar que porcentaje de la energía y recursos proporcionados a los alimentos se pierde a lo largo de la cadena alimentaria o al final de la misma. Se llevará a cabo con una ecoauditoría.
- IV. Análisis crítico de los resultados del Análisis de Ciclo de Vida de un alimento: Tras el desarrollo de un ACV simplificado de un alimento base, siendo en este caso el tomate, se estudiará el impacto energético y ambiental. Se examinarán los resultados de energía equivalente consumida, emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de agua a lo largo de la cadena de producción.
- V. Propuestas de mejora: Se definirán métodos de mejora a implementar en la sociedad y en el sistema de producción del alimento sometido a estudio.

### **3.3 METODOLOGÍA**

Para poder realizar una correcta síntesis de la información, resultados y conclusiones que se obtendrán a lo largo de este proyecto, se llevará a cabo el desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida, ACV. Además, se completará con ayuda de las herramientas que proporciona la Ecoauditoría.

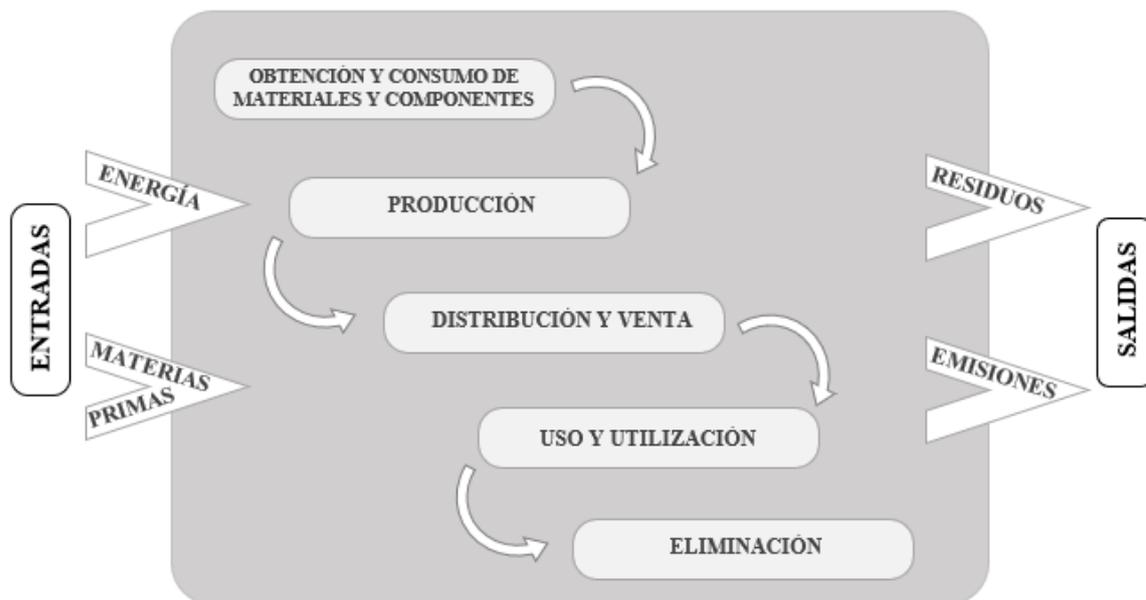
El ACV y la Ecoauditoría ayudan a:

- Identificar oportunidades de mejora a lo largo de su ciclo de vida
- Informar a los productores y organizaciones para que tomen decisiones consecuentes
- Seleccionar los indicadores y técnicas de medición adecuadas

### 3.3.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El ACV se define según la Norma ISO 14040, como: “técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto“ [25].

El Análisis de Ciclo de Vida queda esquematizado de la siguiente manera, mostrada en la Figura 12:



*Figura 12: Esquema de ACV*

Se observa que el análisis presenta cuatro fases de estudio:

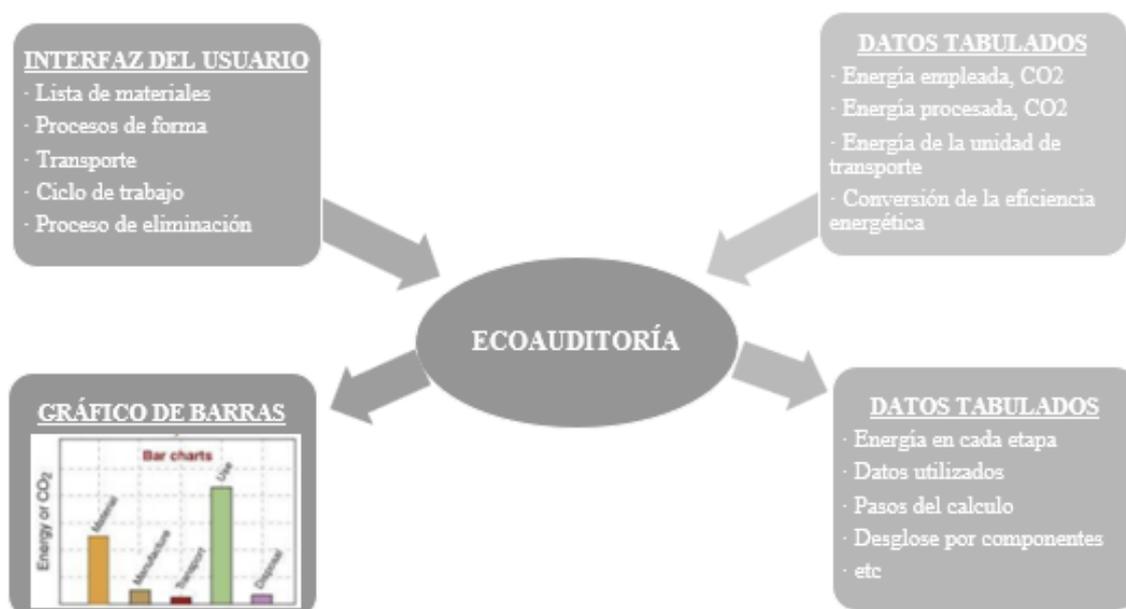
- I. Definición de objetivo y alcance
- II. Análisis de inventario: Inventario del Ciclo de Vida, ICV, abarca los datos de entrada y/o salida del sistema

- III. Evaluación del impacto ambiental: En la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida, EICV, se obtiene información para poder aplicar mejoras medioambientales.
- IV. Interpretación de resultados

### 3.3.2 ECOAUDITORÍA

La Ecoauditoría se define en el Reglamento Europeo de junio del año 1993, como: "instrumento de gestión que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la eficacia de la organización, el sistema de gestión y los procedimientos destinados a la protección del medio y que tiene por objeto: 1) facilitar el control de las prácticas que pueden tener efecto sobre el medio ambiente, 2) evaluar su adecuación a las políticas medioambientales de la empresa" [26].

La herramienta de la Ecoauditoría queda esquematizada de la siguiente manera, mostrada en el Figura 13:



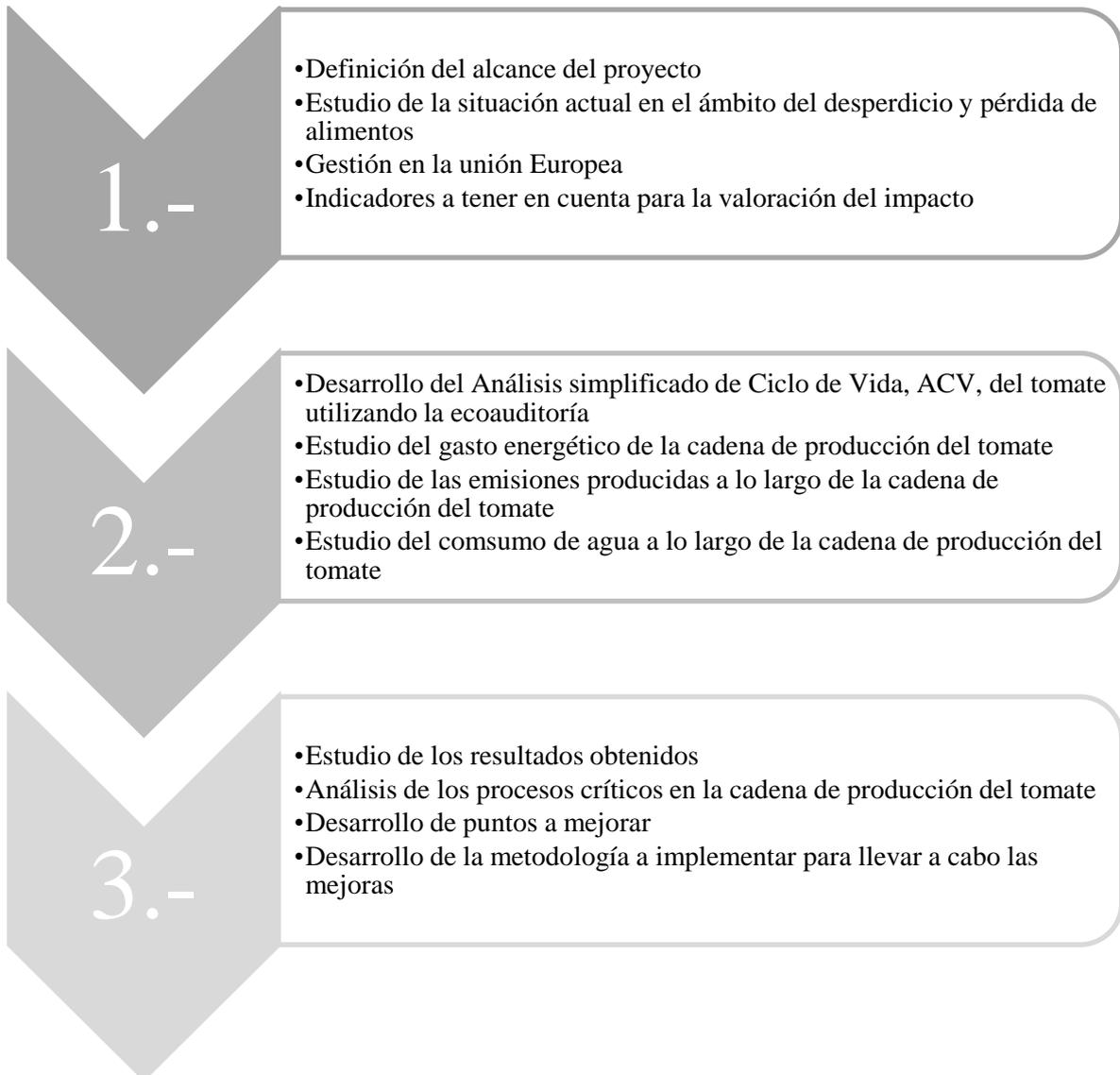
*Figura 13: Esquema de funcionamiento de la herramienta ecoauditoría [27]*

En la Ecoauditoría se observan cuatro fases de estudio:

- I. Definición de objetivo y alcance
- II. Definición de entradas del sistema, entre los que se encuentran:
  - Lista de materiales
  - Procesos de producción
  - Requisitos de transporte
  - Ciclo de trabajo: uso de la energía
  - Método de eliminación
  - Datos sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el proceso
- III. Obtención de los datos de salida del sistema, siendo:
  - Energía consumida en cada etapa del ciclo de vida
  - CO<sub>2</sub> emitido en cada etapa del ciclo de vida
- IV. Interpretación de resultados

### 3.4 PLANIFICACIÓN

La planificación del proyecto se ha dividido en tres bloques, representados en la Figura 14, que se han completado en el siguiente orden:



*Figura 14: Planificación del proyecto*

### **3.5 ESTIMACIÓN ECONÓMICA**

En este proyecto, al tratarse del análisis de un caso a estudio, no tendría sentido estimar un presupuesto. Sin embargo, se realiza una valoración económica del desperdicio y las pérdidas de alimentos.

En España se desechan 5,3kg de alimentos por persona mensualmente, el equivalente 21,90€, según el estudio de Save Food, publicado por Ayuda en Acción y Albal. Además, 2,9kg de la cifra mensual son frutas y verduras, siendo 8,80€ su coste asociado. [28]

Por otra parte, se le tendría que añadir el coste del procesado, empaquetado, transporte, almacenamiento en condiciones óptimas, distribución y una vez desechado a la basura, el coste asociado a la gestión de residuos que le corresponda.

Por último, también se podrá cuantificar económicamente el impacto generado: la pérdida de la calidad de agua, las emisiones de gases de efecto invernadero, la erosión del terreno, los efectos causados en los ecosistemas y en la sociedad, etc. En la Tabla 3 se muestran los costes asociados a los impactos generados por la pérdida y desperdicio de alimentos estimados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. [29]

Impact category	Valuation method	Unit value used (USD 2012)
<b>Atmosphere</b>		
GHG emissions (including deforestation and managed organic soils)	Social cost of carbon (based on a range of approaches, most importantly damage costs/defensive expenditure)	113 \$/tCO <sub>2</sub> e (globally, no benefit transfer needed)
Ammonia emissions	WTP to avoid	5.36 \$/ha (derived from USD 103 million for total ammonia emissions costs from UK agriculture with BT to other countries with correction for N inputs and agricultural areas)
<b>Water</b>		
Water quality (nitrate and pesticide contamination of drinking water, N/P eutrophication)	Defensive expenditures (costs of pesticide, N, P removal from drinking water), damage costs, WTP to avoid	16.33\$/ha for N eutrophication (based on 0.286\$/kgN leached in UK, correction for N input and output levels and agricultural areas in each country, and BT) 64.15\$/ha for P eutrophication (based on 12.32\$/kg P leached, correction for P input and output levels and agricultural areas in each country and BT) 1.83\$/ha for nitrate contamination (derived from USD 35.2 million, total nitrate pollution costs from agriculture in the UK, BT to other countries with correction for N inputs and agricultural area) 40.42\$/ha (UK) and 0.78\$/ha (Thailand) for pesticide contamination (total 264 million in UK, 14.6 million Thailand, corrected for toxicity levels, area, BT)
Water use	Damage costs (value lost)	0.15/m <sup>3</sup> (UK) plus BT
Water scarcity	Damage costs/defensive expenditure	0-18.8\$/m <sup>3</sup> (based on the scarcity function from USA and national water scarcity levels)
<b>Soil</b>		
Soil erosion (due to water and wind)	Damage costs (on-site and off-site)	21.54\$/ton soil lost from water erosion, 27.38\$/t for wind erosion (US values plus BT, plus per ha soil erosion levels from 48 countries and regional averages derived from them; corrected for soil erosion potential of different cultures)
Land occupation (only via loss of ecosystem services from deforestation)	Damage costs due to the linkage of land occupation to deforestation	Average 1 611\$/ha forest lost (based on 14 country estimates and regional BT)
<b>Biodiversity</b>		
Biodiversity loss from pollutants (pesticides, N/P eutrophication)	Damage costs, defensive expenditure	5.46\$/ha for N eutrophication (based on 0.024\$/kgN applied in UK, correction for N inputs, area and BT) 4.76\$/ha for P eutrophication (based on 0.26\$/kgP applied in UK, correction for P inputs, area and BT) 4.21\$/ha (UK) and 1.89\$/ha (Thailand) for pesticide impacts on biodiversity (total 27.5 million in UK, 35.5 million Thailand, corrected for toxicity levels, area, BT)
Fisheries overexploitation	Damage costs (cost of loss of fishing effort linked to low fish populations)	Global estimates for the total fishery sector from the literature, scaled by wastage shares
Pollinator losses	Damage costs (loss in pollination services)	Global estimates from the literature, scaled by wastage shares
<b>Social</b>		
Loss of livelihood (for adults of age 18+ only)	Well-being valuation (based on well-being loss due to environmental degradation; proxy: soil erosion from water)	8.54*10 <sup>-8</sup> (OECD) and 1.25*10 <sup>-7</sup> (Non-OECD) \$/cap/yr/ha soil lost from water erosion (no BT needed)
Individual health damage (for adults of age 18+ only)	Well-being valuation (based on well-being loss due to toxicity levels)	9.67*10 <sup>-8</sup> (OECD) and 9.93*10 <sup>-8</sup> (Non-OECD) \$/cap/yr/unit toxicity level (no BT needed)
Pesticide poisoning	Damage costs (acute treatment costs)	0.34\$/ha (UK) and 22.7\$/ha (Thailand) for pesticide contamination (total 2.2 million in UK, 426 million Thailand, corrected for toxicity levels, area, BT)
Conflict (for adults of age 18+ only)	Well-being valuation (based on well-being loss due to conflicts induced by environmental degradation (proxy: soil erosion from water))	3.21*10 <sup>-7</sup> \$/cap/yr/ha soil lost from water erosion (based on the 10 conflict countries in the period 2005-8, no BT needed)
<b>Economic costs</b>		
Wasted food	Damage costs (lost economic value)	Country and crop-wise producer prices for production level wastage, gross trade prices for post-production
Subsidies (OECD only)	Damage costs (subsidies wasted)	Total subsidies for single OECD countries (Europe as EU-27 only), divided by areas (ha)

Note: Benefit transfer (BT) is done as region-wide as possible. Where values for the UK and Thailand are given, UK numbers are used for developed country BT and Thailand numbers are used for developing country BT.

*Tabla 3: Costes estimados asociados a los impactos generados por la pérdida y desperdicio de alimentos [29]*

## Capítulo 4. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Se realiza un Análisis de Ciclo de Vida simplificado de un alimento tipo, realizando en este trabajo el estudio concreto del tomate. Se combinarán las herramientas de la ecoauditoría con el cálculo del consumo de agua, ya que no está incluido en la anterior metodología. El objetivo del análisis es poder estudiar los impactos más significativos de las pérdidas y desperdicio del alimento sujeto al estudio.

### 4.1 ANÁLISIS DEL ESCENARIO

En primer lugar, se define el objetivo y el alcance del análisis. El propósito de la investigación es la evaluación de la pérdida energética asociada al desperdicio del tomate. Para ello, se interpretarán los resultados del análisis sobre el impacto del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la cadena de producción y cultivo del tomate. Además, se podrá desarrollar el balance energético del fruto teniendo en cuenta las dos opciones posibles de desenlace: el consumo o desperdicio del alimento.

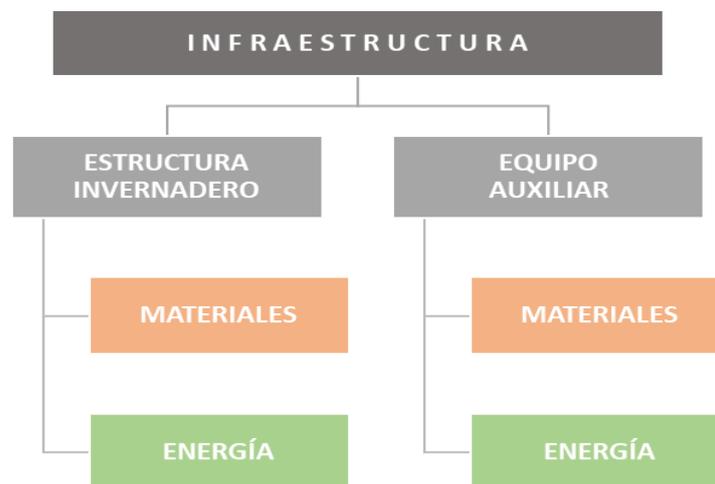
Previamente a llevar a cabo el ACV, se realiza un estudio del cultivo del tomate para poder establecer los flujos de referencia del estudio.

En concreto, se examinará el cultivo de tomate en invernadero en Almería, provincia andaluza. La especie herbácea sometida a análisis es *Solanum lycopersicum*, vulgarmente conocida como la planta tomatera. [30]

<b>Familia</b>	<i>Solanaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Solanum</i>
<b>Especie</b>	<i>S. lycopersicum</i>
<b>Nombre científico</b>	<i>Solanum lycopersicum</i>
<b>Nombre común</b>	Tomatera

Tabla 4: Taxonomía y morfología del tomate [30]

De esta manera se ha de diferenciar el origen de las entradas al sistema de estudio durante la germinación y cultivo del tomate, pudiendo ser procedente de la infraestructura necesaria, concretamente, del invernadero y maquinaria empleada, tal y como se muestra en la Figura 15 o de la producción del alimento, mostrado en la Figura 16.



*Figura 15: Datos de entrada al sistema pertenecientes a la infraestructura*



*Figura 16: Datos de entrada pertenecientes a la producción del cultivo*

Las condiciones de cultivo de la producción de las características del caso a estudiar son las siguientes [31]:

- Temperatura diurna: comprendida entre 20 - 25°C
- Temperatura nocturna: comprendida entre 15 - 18°C
- Humedad relativa: comprendida entre 60 - 80%
- Radiación solar: debe recibir entre 8 – 16h diarias
- Concentración de CO<sub>2</sub>: alrededor de 335ppm con las ventanas abiertas y de 650ppm con las ventanas cerradas

Las necesidades nutritivas del cultivo del tomate varían a lo largo de las etapas de desarrollo y crecimiento de la planta. La cantidad total de nutrientes que se extraerán del suelo por cada tonelada de fruto cosechado son [31]:

- 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

Se estudiará el cultivo del tomate durante el ciclo de primavera, desde mediados de noviembre hasta junio [31]:

<b>CICLO DE PRIMAVERA</b>							
<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>
	<b>SIEMBRA</b>			<b>CUAJADO</b>		<b>RECOLECCIÓN</b>	

*Figura 17: Cronograma del ciclo de primavera*

Se distinguen los siguientes procedimientos que se realizan durante el cultivo [31]:

- I. Preparación del suelo
- II. Preparación del invernadero
- III. Siembra
- IV. Plantación
- V. Poda
- VI. Entutorado
- VII. Deshojado
- VIII. Polinización y cuajado
- IX. Fertiirrigación
- X. Cosecha



**PREPARACIÓN  
DEL SUELO**



**PREPARACIÓN  
DEL INVERNADERO**



**SIEMBRA**



**PLANTACIÓN**



**PODA**



**ENTUTORADO**



**DESHOJADO**



**POLINIZACIÓN Y  
CUAJADO**



**FERTIIRRIGACIÓN**



**COSECHA**

*Figura 18: Procedimientos ilustrados del cultivo del tomate [31]*

## 4.2 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO

El segundo paso del análisis es la presentación del caso concreto a estudiar. Para su desarrollo, se ha necesitado un cúmulo de toma de decisiones y una cadena de asunciones.

Como ya se ha expuesto con anterioridad, el producto sometido a estudio es el tomate, fruto de la planta herbácea *Solanum lycopersicum*. El producto será cultivado en un invernadero de tamaño medio en Almería, provincia andaluza y líder española en producción de tomates. [32]

El invernadero tendrá unas dimensiones de 7.500 m<sup>2</sup> [32], 125m de largo y 60m de ancho y dotado de 4m de altura [33]. El material empleado para la cubierta del invernadero es polietileno de baja densidad, PEBD, tricapa de 200 micras de espesor [34]. La garantía de compra del material que compone la cubierta tiene una duración de 4 años [34], siendo, por lo tanto, el tiempo medio de vida útil del plástico de 4 campañas de cultivo de ciclo de primavera.



Figura 19: Cubierta de invernadero[32]



Figura 20: Planta *Solanum lycopersicum* ©

Se supondrá que ya se poseía el invernadero y toda la infraestructura necesaria para la producción del tomate en el invernadero, ya que la vida útil de los mismos es considerablemente más larga que la duración de la campaña sujeta a estudio. Sin embargo, sí se tendrá en cuenta la reposición de la cuarta parte de la cubierta para la preparación del invernadero para cada campaña.

Para definir la cantidad de agua y energía necesaria para el cultivo del tomate en invernadero a lo largo de un periodo de producción, se toma como referencia los datos recogidos durante una campaña de las mismas características en el año 2011 por el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera que forma parte de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. En ella, se recoge un coste de agua de 0,19€/m<sup>2</sup> y un coste energético de 0,22€/m<sup>2</sup> [31].

El coste de la energía consumida engloba al gasto de los equipos auxiliares durante el sembrado y plantación, cuidado y la cosecha. Se desprecia el consumo de combustibles fósiles protagonizado por los equipos auxiliares motores y el consumo energético asociado a los trabajadores agrícolas.

Además, a la plantación se le ha de proporcionar fertilizantes y fitosanitarios para que crezca con las propiedades deseadas y protegida de las enfermedades que puedan atacar a la especie. En el informe de la Junta de Andalucía se incluye la cantidad de solución nutritiva que se le aporta al cultivo, por lo que se asume, que incluye el tratamiento fitosanitario que requiere la plantación. Las necesidades nutritivas del cultivo varían a lo largo de la campaña y se desglosan las siguientes cantidades diarias [31]:

- Siembra: 1,5 g/m<sup>2</sup>
- Cuajado: 3 g/m<sup>2</sup>
- Recolección: 4 g/m<sup>2</sup>

Asimismo, en las fases de deshojado, poda y cuidado de la plantación se generan residuos frescos que se han de gestionar. La cantidad generada y recogida por el informe de la Junta de Andalucía es de 71,31 toneladas de residuo en cada hectárea dedicada al cultivo [31].

El rendimiento medio de producción de tomate cultivado en invernadero es de 13,5 kg/m<sup>2</sup> [31], obteniendo tras la cosecha de la campaña sujeta a estudio 101.250 kg de fruto.

La cantidad producida de tomate se traslada a la ciudad de Madrid desde Almería, recorriendo 550km [35], en camiones refrigerados de consumo diésel cuya máxima capacidad unitaria es de 14 toneladas. Además, se asume que el camión regresa a Almería transportando otro producto, por lo que no se tiene en cuenta en nuestro estudio. Por último, se ha considerado que el fruto será recogido directamente del invernadero y, sin ningún intermediario, llegará directamente al supermercado.



*Figura 21: Camiones para el transporte del producto[36]*



*Figura 22: Tomate empaquetado ©*

Con el objetivo de que el tomate se conserve en el mejor estado y sufra las menores pérdidas de calidad durante el transporte, se utilizarán cajas de cartón de doble onda [37]. Las cajas tendrán un tamaño de 40cm x 30cm x 14cm y el grosor del cartón de doble onda será de 6,5mm. La capacidad de las cajas es de 6kg de tomate en cada unidad [38].

El uso que se le dará al producto, una vez se encuentre en la ciudad destino, será el consumo del tomate o el desperdicio en la vivienda de un particular. Con la finalidad de la conservación adecuada del tomate, la temperatura de refrigeración será 4°C. El fruto, en el mercado, pasa una media de 21 horas en refrigeración hasta que es adquirido por un cliente [39]. Además, una vez comprado en la tienda, continúa con la refrigeración en la vivienda. Se ha supuesto un tiempo medio de refrigeración de 3 días hasta su consumo y 7 días hasta que se desperdicia. Por otra parte, se ha asumido que los frigoríficos en los que se encuentra el tomate durante sendos periodos de refrigeración tienen un consumo de clase A, definida por la Unión Europea.

Por último, en la gestión de desechos, se considera nula la aportación energética a un particular debida al consumo energético del tomate. Además, se busca el máximo porcentaje de reciclaje de los residuos generados y se minimiza la deposición en vertederos. Por otra parte, cuando se empleen técnicas de obtención de energía a partir de la combustión de los residuos, se valorará la cantidad de energía generada frente a las emisiones de CO<sub>2</sub> que conllevará [40].



*Figura 23: Refrigeración en el supermercado* ©



*Figura 24: Podado de la planta* ©

## 4.3 CÁLCULOS DE LAS CANTIDADES

### 1. MATERIALES

#### a. Plástico de la cubierta, PEBD:

Superficie de plástico:

$$A_{cubierta} = A_{paredes} + A_{techo}$$

$$A_{paredes} = h \cdot \text{perímetro}$$

$$A_{cubierta} = 4 \cdot (2 \cdot 60 + 2 \cdot 125) + 7.500 = 8.980 \text{ m}^2$$

Volumen de plástico:

$$V_{cubierta} = A_{cubierta} \cdot \text{espesor}$$

$$V_{cubierta} = 8.980 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 1,796 \text{ m}^3$$

Masa de plástico:

Siendo la densidad del plástico de la cubierta, en concreto del polietileno de baja densidad,  $\rho = 0,92 \text{ g/cm}^3$  [41].

$$m_{sustituir} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot V_{cubierta}$$

$$m_{sustituir} = \frac{1}{4} \cdot 0,92 \cdot 10^6 \cdot 1,796 = 413.080 \text{ g}$$

$$m_{sustituir} = 413,08 \text{ kg}$$

**b. Agua:**

Volumen consumido:

Siendo 1,5€/m<sup>3</sup> de agua el precio medio de consumo de agua en los meses estudiados en el informe de la Junta de Andalucía [42].

$$V_{agua} = \frac{0,19€}{1 m^2 cultivo} \cdot \frac{1 m^3 agua}{1,50€} \cdot 7.500 m^2 cultivo = 2.850 m^3 agua$$

$$V_{agua} = 2.850.000 l agua$$

**c. Fertilizantes y fitosanitarios:**

Masa de solución nutritiva:

$$m_{sol. nutritiva} = \sum_i cantidad\ diaria/m^2_i \cdot días_i ;$$

$i \in etapas\ de\ la\ producción\ \{s, c, r\}$

$$m_{sol. nutritiva} = \left( \frac{1,5 g}{1 día_s} \cdot 90 días_s + \frac{3 g}{1 día_c} \cdot 60 días_c + \frac{4,5 g}{1 día_r} \cdot 75 días_r \right) \cdot 7.500$$

$$m_{sol. nutritiva} = 4.612.500 g$$

$$m_{sol. nutritiva} = 4.612,5 kg$$

**d. Cartón:**

Unidades de caja:

$$u_{caja} = \frac{m_{total\ fruto}}{m_{max.\ caja}}$$

$$u_{caja} = \frac{101.250\ kg}{6\ kg/caja} = 16.875\ cajas$$

Superficie de cartón:

$$A_{caja} = A_{paredes} + A_{base}$$

$$A_{paredes} = h \cdot \text{perímetro}$$

$$A_{cartón} = 0,14 \cdot (2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,3) + 0,3 \cdot 0,4 = 0,316\ m^2/caja$$

$$A_{cartón} = u_{caja} \cdot A_{caja}$$

$$A_{cartón} = 16.875 \cdot 0,316 = 5.332,5\ m^2$$

Masa de cartón:

Siendo la densidad del cartón utilizado, en concreto de doble onda y 6,5mm de espesor,  $\rho = 605\ g/m^2$  [43].

$$m_{cartón} = \rho \cdot A_{cartón}$$

$$m_{cartón} = 605 \cdot 5.332,5 = 3.226.162,5\ g$$

$$m_{cartón} = 3.226\ kg$$

MATERIALES			
PEBD	AGUA	SOL. NUTRITIVA	CARTÓN
413,08 kg	2.850.000 l	4.612,5 kg	3.226 kg

Tabla 5: Masa de materiales de entrada al sistema de estudio

## 2. PROCESO

### a. Energía consumida en el invernadero

Siendo 142,319€/MWh el precio de potencia consumida fijado en la tarifa de último recurso, según Iberdrola [44], en los meses de 2011 estudiados en el informe de la Junta de Andalucía.

$$E_{\text{invernadero}} = \frac{0,22\text{€}}{1 \text{ m}^2 \text{ cultivo}} \cdot \frac{1 \text{ MWh}}{142,319\text{€}} \cdot 7.500 \text{ m}^2 \text{ cultivo}$$

$$E_{\text{invernadero}} = 11,594 \text{ MWh consumidos}$$

### b. Energía consumida en el empaquetado

Se considera nula, ya que se supone que se trata de un proceso manual de empaquetado en las cajas. Esta energía sería la consumida por el cuerpo humano de los operarios encargado de la operación.

PROCESO	
INVERNADERO	EMPAQUETADO
11,594 MWh	-

Tabla 6: Energía consumida durante el procesado

### 3. TRANSPORTE

Recorrerá 550 km de Almería a Madrid en un camión frigorífico de consumo diésel de 14 toneladas. Al no estar tabulado el consumo equivalente de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> que necesitaremos en los siguientes cálculos, se toma el camión sin refrigeración, pero se le añadirán las horas de transporte en la refrigeración en mercado y vivienda.

TRANSPORTE
CAMIÓN DE DIÉSEL 14 t
550 km

Tabla 7: Entrada de transporte al sistema de estudio

### 4. USO

#### Volumen de refrigeración:

Supongo que todo el espacio es ocupado y no queda ningún hueco inutilizado dentro del frigorífico.

$$V_{frigorífico} = u_{caja} \cdot V_{caja}$$

$$V_{frigorífico} = 16.875 \cdot (0,3 \cdot 0,4 \cdot 0,14) = 283,5m^3$$

Siendo 10,5MJ/m<sup>3</sup>·día el consumo medio a 4°C de un frigorífico de clase A según la Unión Europea [45].

$$\frac{10,5MJ}{1m^3 \cdot 1 \text{ día}} = \frac{2,92kWh}{1m^3 \cdot 1 \text{ día}}$$

**a. Si se consume**

Tiempo de refrigeración:

$$t = t_{\text{transporte}} + t_{\text{mercado}} + t_{\text{particular}}$$

$$t_{\text{consumo}} = (7h + 21h) \cdot \frac{1 \text{ día}}{24h} + 3 \text{ días} = 4,2 \text{ días}$$

Energía consumida en refrigeración:

$$E_{\text{consumo}} = \frac{2,92 \text{ kWh}}{1 \text{ m}^3 \cdot 1 \text{ día}} \cdot V_{\text{frigorífico}} \cdot t_{\text{consumo}}$$

$$E_{\text{consumo}} = 2,92 \cdot 283,5 \cdot 4,2$$

$$E_{\text{consumo}} = 3.476,8 \text{ kWh consumidos}$$

**b. Si se desperdicia**

$$t_{\text{desperdicio}} = (7h + 21h) \cdot \frac{1 \text{ día}}{24h} + 7 \text{ días} = 8,2 \text{ días}$$

$$E_{\text{desperdicio}} = 2,92 \cdot 283,5 \cdot 8,2$$

$$E_{\text{desperdicio}} = 6.788,1 \text{ kWh consumidos}$$

USO	
CONSUMO	DESPERDICIO
3,4768 MWh	6,7881 MWh

Tabla 8: Energía consumida durante el uso del producto

## 5. GESTIÓN DE RESIDUOS

### a. Residuo fresco

Masa de residuo fresco de invernadero:

$$m_{r. \text{ fresco}} = \frac{73,31 \text{ t}}{1 \text{ ha cultivo}} \cdot \frac{1 \text{ ha}}{10^6 \text{ m}^2} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} \cdot 7.500 \text{ m}^2$$

$$m_{r. \text{ fresco}} = 549,8 \text{ kg}$$

### b. Pérdidas de fruto a lo largo de la cadena de producción

	<i>Producción agrícola</i>	<i>Cosecha y almacenamiento</i>	<i>Procesado y empaquetado</i>	<i>Distribución</i>	<i>Consumo</i>
<i>Frutas y verduras</i>	20%	5%	2%	10%	19%
<i>Tomate</i>	26,3 t	5,3 t	2,0 t	9,8 t	16,8 t

131,6 t	105 t	100 t	98 t	88,2 t	71,4 t
---------	-------	-------	------	--------	--------

Tabla 9: Cantidad desecheda de producto a lo largo de la cadena de producción

<b>GESTIÓN DE RESIDUOS</b>			
RESIDUO FRESCO DE INVERNADERO	PÉRDIDAS DE FRUTO		
	Procesado y empaquetado	Distribución	Vivienda
549,8 kg	2 t	9,8 t	16,8 t

Tabla 10: Cantidad de residuo generado a lo largo de la cadena de producción

*Para 101.250 kg de tomate*

<b>1. MATERIALES</b>			
PEBD	AGUA	SOL. NUTRITIVA	CARTÓN
413,08 kg	2.850.000 l	4.612,5 kg	3.226 kg
<b>2. PROCESO</b>			
INVERNADERO		EMPAQUETADO	
11,594 MWh		-	
<b>3. TRANSPORTE</b>			
CAMIÓN DE DIÉSEL 14 t			
550 km			
<b>4. USO</b>			
CONSUMO		DESPERDICIO	
3,4768 MWh		6,7881 MWh	
<b>5. GESTIÓN DE RESIDUOS</b>			
RESIDUO FRESCO DE INVERNADERO		PÉRDIDAS DE FRUTO	
549,8 kg	Procesado y empaquetado	Distribución	Vivienda
	2 t	9,8 t	16,8 t

*Tabla 11: Resultados obtenidos en los cálculos de las entradas al sistema de estudio para 101.250kg de producto.*

#### **4.4 CÁLCULOS DE LA ENERGÍA Y EMISIONES EQUIVALENTES**

Se define como unidad funcional, para los cálculos de la energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, 100 kg de tomate cosechado.

<i>Para 100 kg de tomate</i>			
<b>1. MATERIALES</b>			
PEBD	AGUA	SOL. NUTRITIVA	CARTÓN
0,4131 kg	2.850 l	4,6125 kg	3,226 kg
<b>2. PROCESO</b>			
INVERNADERO		EMPAQUETADO	
11,594 kWh		-	
<b>3. TRANSPORTE</b>			
CAMIÓN DE DIÉSEL 14 t			
550 km			
<b>4. USO</b>			
CONSUMO		DESPERDICIO	
3,4768 kWh		6,7881 kWh	
<b>5. GESTIÓN DE RESIDUOS</b>			
RESIDUO FRESCO DE INVERNADERO		PÉRDIDAS DE FRUTO	
0,5498 kg		Procesado y empaquetado	Vivienda
		2 kg	16,8 kg
		Distribución	
		9,8 kg	

*Tabla 12: Resultados obtenidos en los cálculos de las entradas al sistema de estudio para 100kg de producto.*

## 1. MATERIALES

MATERIAL	Cantidad	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente	Consumo de agua
POLIETILENO	0,4131 kg	81 MJ/kg	2,8 kg CO <sub>2</sub> /kg	58 l/kg
AGUA	2.850 kg	-	-	1 l/kg
SOL. NUTRITIVA	4,6125 kg	-	-	-
CARTÓN	3,226 kg	51 MJ/kg	1,2 kg CO <sub>2</sub> /kg	93,6 l/kg

Tabla 13: Coeficientes tabulados de energía, agua y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para los diferentes materiales de entrada al sistema [46]

### a. Polietileno

$$0,4131 \text{ kg PE} \cdot \frac{81 \text{ MJ}}{1 \text{ kg PE}} = 33,461 \text{ MJ}$$

$$0,4131 \text{ kg PE} \cdot \frac{2,8 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg PE}} = 1,157 \text{ kg CO}_2$$

$$0,4131 \text{ kg PE} \cdot \frac{58 \text{ l agua}}{1 \text{ kg PE}} = 23,960 \text{ l agua}$$

### b. Agua

$$2.850 \text{ l agua}$$

### c. Solución nutritiva

Se carece de información de energía y emisiones equivalentes de la solución nutritiva que se utiliza en el cultivo. De esta manera, se considera que, será totalmente absorbida por el fruto y, por lo tanto, ya estará incluido en la unidad funcional del análisis.

**d. Cartón**

$$3,226 \text{ kg cartón} \cdot \frac{51 \text{ MJ}}{1 \text{ kg cartón}} = 164,530 \text{ MJ}$$

$$3,226 \text{ kg cartón} \cdot \frac{1,2 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg cartón}} = 3,871 \text{ kg CO}_2$$

$$3,226 \text{ kg cartón} \cdot \frac{93,6 \text{ l agua}}{1 \text{ kg cartón}} = 301,954 \text{ l agua}$$

MATERIAL	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente	Consumo de agua
POLIETILENO	33,461 MJ	1,157 kg	23,960 l
AGUA	-	-	2.850 l
CARTÓN	164,530 MJ	3,871 kg	301,954 l
<b>TOTAL</b>	<b>197,991 MJ</b>	<b>5,028 kg</b>	<b>3.175,914 l</b>

Tabla 14: Resultados de energía, agua y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para los diferentes materiales de entrada al sistema

**2. PROCESO**

Se seleccionan los datos tabulados del país en el que transcurre el proceso, siendo España en nuestro análisis. Sin embargo, no se encuentra en la tabla. De esta manera, se selecciona el país tabulado al que más se asemeje. Se utilizan las conversiones equivalentes de Francia.

CONSUMO	Cantidad	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
ELECTRICIDAD	11,594 kWh	0,9 MJ/kWh	0,06 kg/kWh

Tabla 15: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el procesado del producto [47]

$$11,594 \text{ kWh} \cdot \frac{0,9 \text{ MJ}}{1 \text{ kWh}} = 10,435 \text{ MJ}$$

$$11,594 \text{ kWh} \cdot \frac{0,06 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kWh}} = 0,696 \text{ kg CO}_2$$

CONSUMO	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
ELECTRICIDAD	10,435 MJ	0,696 kg
<b>TOTAL</b>	<b>10,435 MJ</b>	<b>0,696 kg</b>

Tabla 16: Resultados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el procesado del producto

### 3. TRANSPORTE

CONSUMO	Distancia	Carga	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
CAMIÓN DIÉSEL 14 t	550 km	100 kg	1,5 MJ/(t·km)	0,11 kg/(t·km)

Tabla 17: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el transporte del producto [47]

En el estudio se analizará la parte proporcional a la unidad funcional, pero se asume que los camiones van completamente cargados.

$$550 \text{ km} \cdot 0,1 \text{ t carga} \cdot \frac{1,5 \text{ MJ}}{1 \text{ km} \cdot 1 \text{ t carga}} = 82,500 \text{ MJ}$$

$$550 \text{ km} \cdot 0,1 \text{ t carga} \cdot \frac{0,06 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ km} \cdot 1 \text{ t carga}} = 6,05 \text{ kg CO}_2$$

CONSUMO	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
CAMIÓN DIÉSEL 14 t	82,500 MJ	6,050 kg
<b>TOTAL</b>	<b>82,500 MJ</b>	<b>6,050 kg</b>

Tabla 18: Resultados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el transporte del producto

#### 4. USO

##### a. Si se consume

CONSUMO	Cantidad	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
REFRIGERACIÓN	3,477 kWh	0,9 MJ/kWh	0,06 kg/kWh

Tabla 19: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el consumo del producto [47]

$$3,477 \text{ kWh} \cdot \frac{0,9 \text{ MJ}}{1 \text{ kWh}} = 3,129 \text{ MJ}$$

$$3,477 \text{ kWh} \cdot \frac{0,06 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kWh}} = 0,209 \text{ kg CO}_2$$

CONSUMO	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
REFRIGERACIÓN	3,129 MJ	0,209 kg
<b>TOTAL</b>	<b>3,129 MJ</b>	<b>0,209 kg</b>

Tabla 20: Resultado de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el consumo del producto

**b. Si se desperdicia**

CONSUMO	Cantidad	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
REFRIGERACIÓN	6,788 kWh	0,9 MJ/kWh	0,06 kg/kWh

Tabla 21: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el desperdicio del producto [47]

$$6,788 \text{ kWh} \cdot \frac{0,9 \text{ MJ}}{1 \text{ kWh}} = 6,109 \text{ MJ}$$

$$6,788 \text{ kWh} \cdot \frac{0,06 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kWh}} = 0,407 \text{ kg CO}_2$$

CONSUMO	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
REFRIGERACIÓN	6,109 MJ	0,407 kg
<b>TOTAL</b>	<b>6,109 MJ</b>	<b>0,407 kg</b>

Tabla 22: Resultados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el desperdicio del producto

**c. Media ponderada consumo-desperdicio**

Teniendo en cuenta que se desperdiciará el 19% del producto en la vivienda.

CONSUMO		Porcentaje	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
REFRIGERACIÓN	CONSUMO	81%	3,129 MJ	0,209 kg
	DESPERDICIO	19%	6,109 MJ	0,407 kg
<b>TOTAL</b>			<b>3,695 MJ</b>	<b>0,247 kg</b>

Tabla 23: Resultados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para la media ponderada consumo-desperdicio del producto

**5. GESTIÓN DE RESIDUOS**

RESIDUO	Cantidad	Porcentaje reciclado	Porcentaje de compost generado
R. FRESCO	0,5498 kg	-	-
POLIETILENO	0,4131 kg	8,44%	-
CARTÓN	3,226 kg	72%	-
TOMATE	PROCESADO Y EMPAQUETADO	-	-
	DISTRIBUCIÓN		33%
	DESPERDICIO		

Tabla 24: Porcentajes de masa reciclada de los diferentes materiales generados al final de la cadena de producción estudiada [46][48]

**a) Residuo fresco**

Al tratarse de biomasa, la energía acumulada en el residuo fresco, que consta de ramas, hojas y principalmente residuos considerables secos, se aprovechará en una central térmica mediante combustión.

El poder calorífico interno, PCI, de la biomasa generada en el cultivo del tomate es de 3.630 kcal/kg de residuo fresco. [40]

Se consideran nulas las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la combustión, ya que será la misma cantidad que la planta ha absorbido a lo largo de su crecimiento.

RESIDUO	Cantidad	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
COMBUSTIÓN R.F.	0,5498 kg	- 15,194 MJ/kg	-

Tabla 25: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para la combustión del residuo fresco generado.[40]

$$0,5498 \text{ kg} \cdot \frac{3,630 \text{ Mcal}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{4,1858 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 8,354 \text{ MJ recuperados}$$

**b) Polietileno**

RESIDUO	Cantidad	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
RECICLAJE PEBD	0,035 kg	- 27,3 MJ/kg	- 1,02 kg CO <sub>2</sub> /kg
COMBUSTIÓN PEBD	0,3782 kg	- 45,1 MJ/kg	3,14 kg CO <sub>2</sub> /kg

Tabla 26: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el reciclaje y combustión de PEBD [46]

I. Reciclaje PEBD

Consumo para el reciclaje

$$0,035 \text{ kg} \cdot \frac{27,3 \text{ MJ}}{1 \text{ kg}} = 0,952 \text{ MJ}$$

$$0,035 \text{ kg} \cdot \frac{1,02 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg}} = 0,036 \text{ kg CO}_2$$

Se evita en la producción primaria

$$0,035 \text{ kg PE} \cdot \frac{81 \text{ MJ}}{1 \text{ kg PE}} = 2,835 \text{ MJ recuperados}$$

$$0,035 \text{ kg PE} \cdot \frac{2,8 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg PE}} = 0,098 \text{ kg CO}_2 \text{ recuperados}$$

Total del proceso de reciclaje

$$\text{Energía equiv, recuperada} = 2,835 \text{ MJ} - 0,952 \text{ MJ}$$

$$\text{Energía equiv, recuperada} = 1,883 \text{ MJ recuperados}$$

$$\text{Emisión kg CO}_2 \text{ recuperada} = 0,098 \text{ kg} - 0,036 \text{ kg}$$

$$\text{Emisión kg CO}_2 \text{ recuperada} = 0,062 \text{ kg CO}_2 \text{ recuperados}$$

El consumo de agua durante el reciclaje del poliestireno de baja densidad, PEBD, es despreciable frente al consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> [49].

II. Combustión PEBD

$$0,3782 \text{ kg} \cdot \frac{45,1 \text{ MJ}}{1 \text{ kg}} = 17,057 \text{ MJ recuperados}$$

$$0,3782 \text{ kg} \cdot \frac{3,14 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg}} = 1,188 \text{ kg CO}_2$$

c) **Cartón**

RESIDUO	Cantidad	Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente
RECICLAJE CARTÓN	2,323 kg	- 18,85 MJ/kg	- 0,973 kg CO <sub>2</sub> /kg
COMBUSTIÓN CARTÓN	0,903 kg	-19,7 MJ/kg	1,835 kg CO <sub>2</sub> /kg

Tabla 27: Coeficientes tabulados de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes para el reciclaje y combustión del cartón [46]

I. Reciclaje cartón

Consumo para el reciclaje

$$2,323 \text{ kg} \cdot \frac{18,85 \text{ MJ}}{1 \text{ kg}} = 43,789 \text{ MJ}$$

$$2,323 \text{ kg} \cdot \frac{0,973 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg}} = 2,259 \text{ kg CO}_2$$

Se evita en la producción primaria

$$2,323 \text{ kg cartón} \cdot \frac{51 \text{ MJ}}{1 \text{ kg cartón}} = 118,473 \text{ MJ recuperados}$$

$$2,323 \text{ kg cartón} \cdot \frac{1,2 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg cartón}} = 2,788 \text{ kg CO}_2 \text{ recuperados}$$

Se evita el consumo del 61% del volumen de agua que se utilizaría en la producción primaria del cartón. [50]

$$\text{Agua recuperada} = 61\% V_{\text{prod.primaria}}$$

$$\text{Agua recuperada} = 184,19 \text{ l de agua recuperados}$$

Total del proceso de reciclaje

$$\text{Energía equiv, recuperada} = 118,473 \text{ MJ} - 43,789 \text{ MJ}$$

$$\text{Energía equiv, recuperada} = 74,684 \text{ MJ recuperados}$$

$$\text{Emisión kg CO}_2 \text{ recuperada} = 2,788 \text{ kg} - 2,259 \text{ kg}$$

$$\text{Emisión kg CO}_2 \text{ recuperada} = 0,529 \text{ kg CO}_2 \text{ recuperados}$$

II. Combustión cartón

$$0,903 \text{ kg} \cdot \frac{19,7 \text{ MJ}}{1 \text{ kg}} = 17,789 \text{ MJ recuperados}$$

$$0,903 \text{ kg} \cdot \frac{1,835 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg}} = 1,657 \text{ kg CO}_2$$

d) **Tomate**

RESIDUO	Energía equivalente
COMPOST A PARTIR FRUTAS Y VERDURAS	- 1,330 MJ/kg

Tabla 28: Coeficiente tabulado de energía equivalente para el compostaje de frutas y verduras [51]

I. Procesado y empaquetado

Se asume que la cantidad de fruto que se pierde en el procesado y empaquetado no se puede recuperar. Esto se debe a que el responsable de este producto será el propietario del invernadero, por lo que irá incluido en el residuo fresco que se extrae del cultivo del tomate.

II. Distribución

Se supone que tanto las pérdidas en la etapa de distribución y el desperdicio en la vivienda se compostará en el mismo lugar donde se elimina el fruto como desecho.

De esta manera, no se considera ningún consumo de energía equivalente y emisiones de CO<sub>2</sub> asociado compostaje. Sólo se consumiría tiempo y espacio.

$$9,8 \text{ kg de tomate} \cdot \frac{1 \text{ kg de compost}}{3 \text{ kg de tomate}} = 3,267 \text{ kg de compost}$$

### III. Vivienda

#### i. Si se consume

La energía del consumo del producto no se tiene en cuenta ya que sería aprovechada por el organismo del particular que lo consume.

#### ii. Si se desperdicia

De la misma manera que en distribución, la compostadora se asume que se encuentra en el lugar que se desperdicia.

$$16,76 \text{ kg de tomate} \cdot \frac{1 \text{ kg de compost}}{3 \text{ kg de tomate}} = 5,587 \text{ kg de compost}$$

#### Masa total de compost generado

$$m_{total} = m_{distribución} + m_{empaquetado} + m_{vivienda}$$

$$m_{total} = 3,267 \text{ kg} + 5,587 \text{ kg} = 8,854 \text{ kg}$$

$$\text{Energía equiv, recuperada} = \frac{-1,330 \text{ MJ}}{1 \text{ kg}} \cdot 8,854 \text{ kg}$$

$$\text{Energía equiv, recuperada} = 11,776 \text{ MJ recuperados}$$

RESIDUO		Energía equivalente	Emisión de CO <sub>2</sub> equivalente	Consumo de agua	Material reciclado / compost
COMBUSTIÓN R.F.		- 8,354 MJ	-	-	-
PEBD	RECICLAJE	- 1,883 MJ	- 0,062 kg	-	0,035 kg
	COMBUSTIÓN	- 17,057 MJ	1,188 kg	-	-
CARTÓN	RECICLAJE	- 74,684 MJ	- 0,529 kg	- 184,19 l	2,323 kg
	COMBUSTIÓN	- 17,789 MJ	1,657 kg	-	-
COMPOSTAJE FRUTO		- 11,776 MJ	-	-	8,854 kg
<b>TOTAL</b>		<b>- 133,543 MJ</b>	<b>2,254 kg</b>	<b>- 184,19 l</b>	

*Tabla 29: Resultados de energía, emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes y material reciclado/compost generados resultantes de la gestión de residuos de la cadena de producción*

## 4.5 RESULTADOS

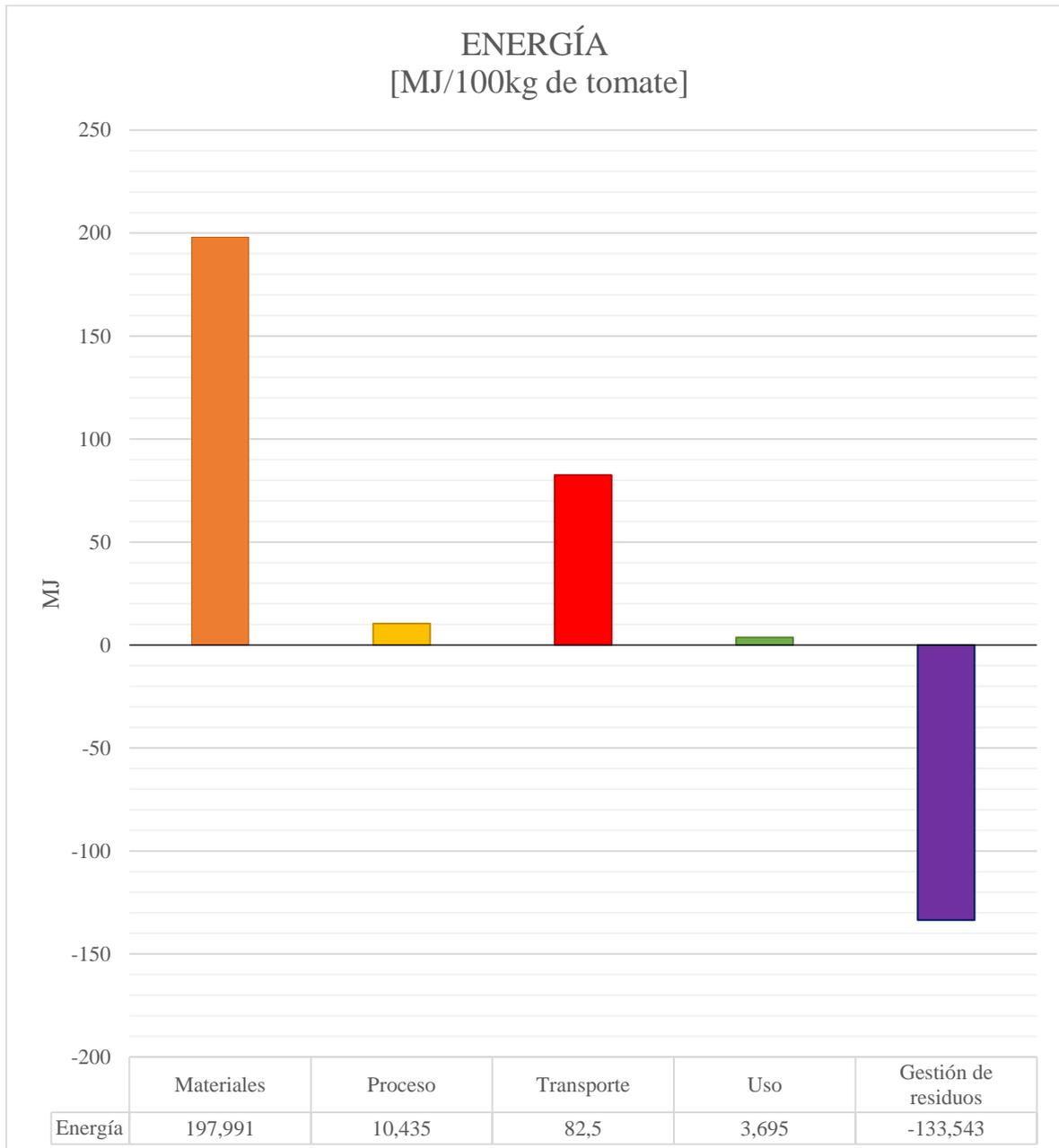


Figura 25: Energía equivalente consumida a lo largo de la cadena de producción sujeta a estudio

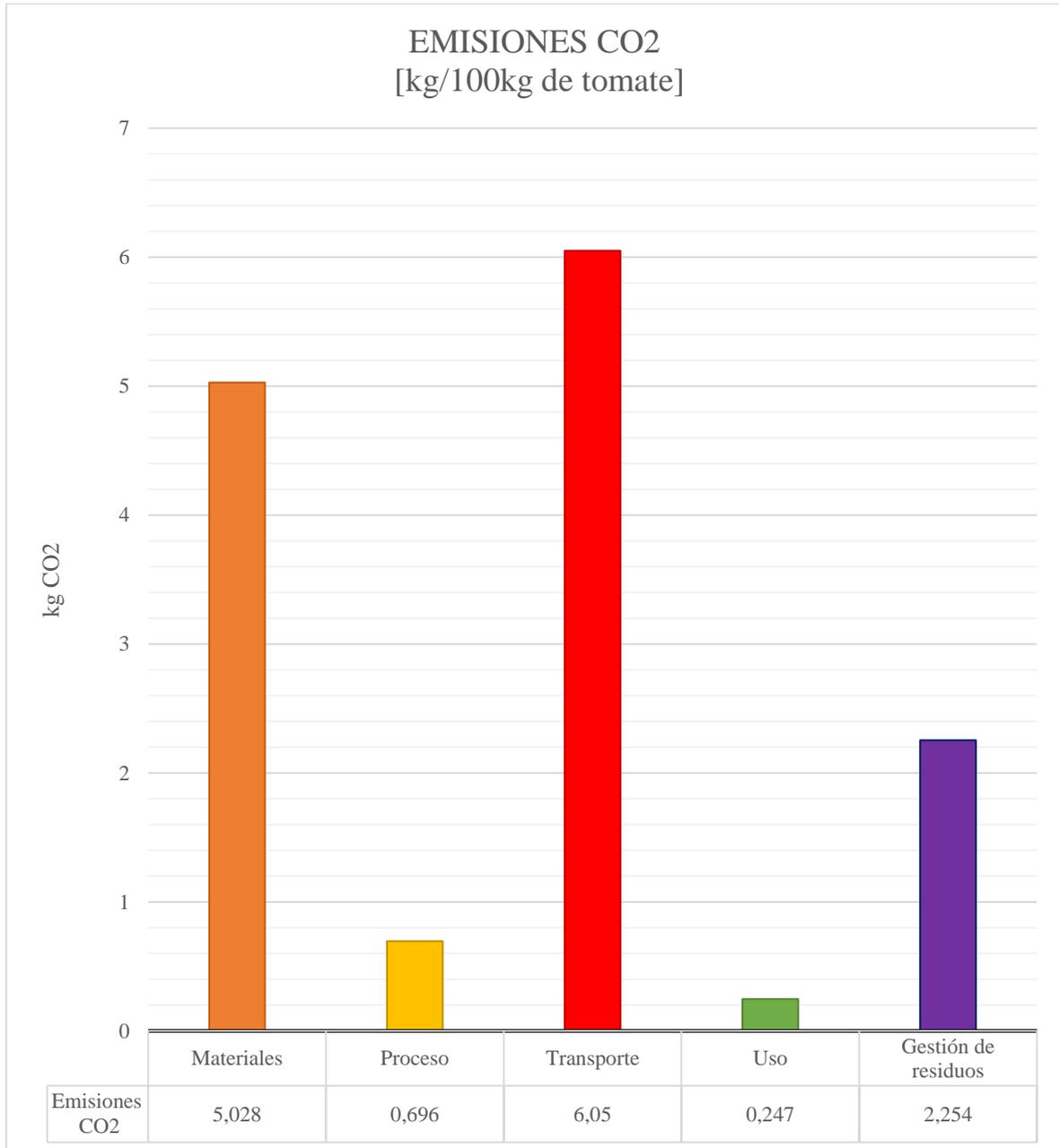


Figura 26: Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente consumida a lo largo de la cadena de producción sujeta a estudio

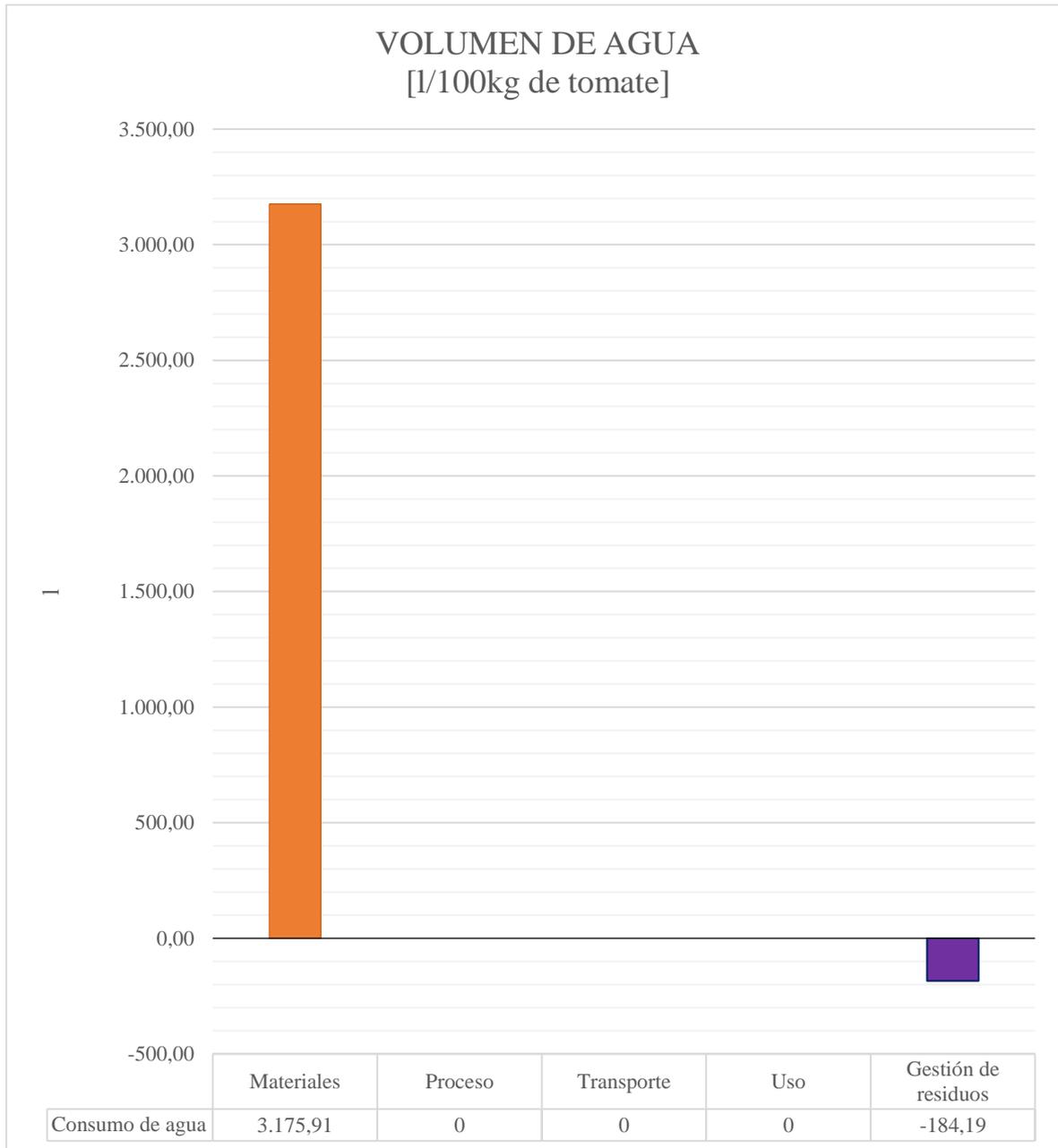


Figura 27: Volumen de agua consumido a lo largo de la cadena de producción sujeta a estudio

## Capítulo 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se procede a un análisis de los resultados obtenidos en el estudio. Para ello, primero se examinarán los impactos medioambientales individualmente: consumo energético, emisiones de dióxido de carbono y consumo de agua o huella hídrica.

### 5.1 CONSUMO ENERGÉTICO EQUIVALENTE

El impacto derivado de la energía consumida a lo largo de la cadena de producción estudiada en este proyecto está representado en la Figura 25.

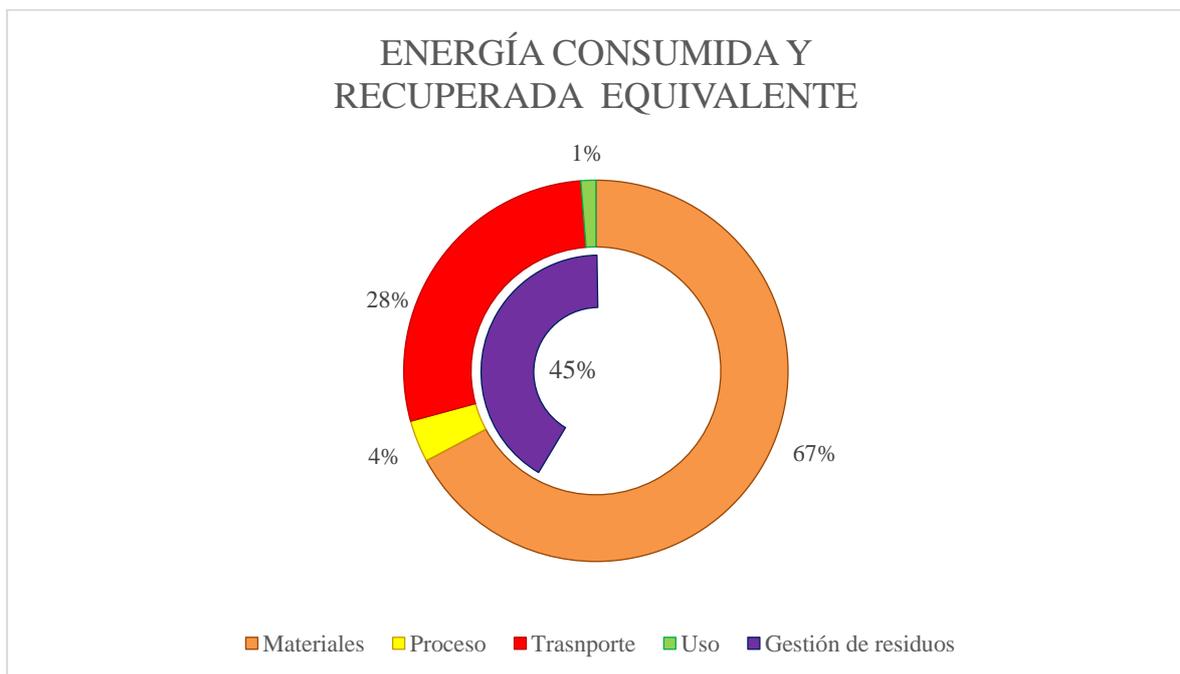


Figura 28: Porcentajes de energía consumida y recuperada equivalente en cada etapa de la cadena de producción.

El mayor consumo energético se produce en la fabricación de materiales necesarios y empleados en la producción del tomate, siendo 197,991 MJ por 100kg de producción, abarcando un 67% del consumo total. Además, cabe destacar que el 83% de la energía equivalente empleada en la obtención de materiales pertenece a la producción del cartón que se utilizará para el transporte en condiciones óptimas del fruto.

Por otra parte, en la última etapa de la cadena de producción, se recuperan 133,543 MJ por 100 kg de tomate, siendo el 45% de la energía equivalente consumida en las demás etapas del proceso a estudio. La recuperación de energía no es una cantidad despreciable, por lo que genera un impacto positivo si se valora globalmente el proceso de producción a estudio. El 32% de la energía recuperada pertenece al aprovechamiento energético mediante la combustión de los residuos generados y el 56% al reciclaje del cartón.

De esta manera, el 45% de la energía empleada en la fabricación del cartón, se recupera a través del reciclaje del mismo. Además de recuperar en el reciclaje un 72% del material de entrada al sistema sujeto a estudio.

Cabe destacar el consumo energético equivalente correspondiente al transporte del producto, siendo 82,5 MJ por 100kg de producto. El transporte cubre el 28% del consumo energético total.

Asimismo, durante el procesado del alimento, en este caso, la manutención y cuidado de la planta y fruto en el invernadero, equivale al 4% del consumo energético total. Por lo que se trata de una cantidad ajustada y concorde.

Sin embargo, el consumo energético equivalente asociado al uso del alimento abarca un 1% del consumo total, pudiéndose considerar despreciable.

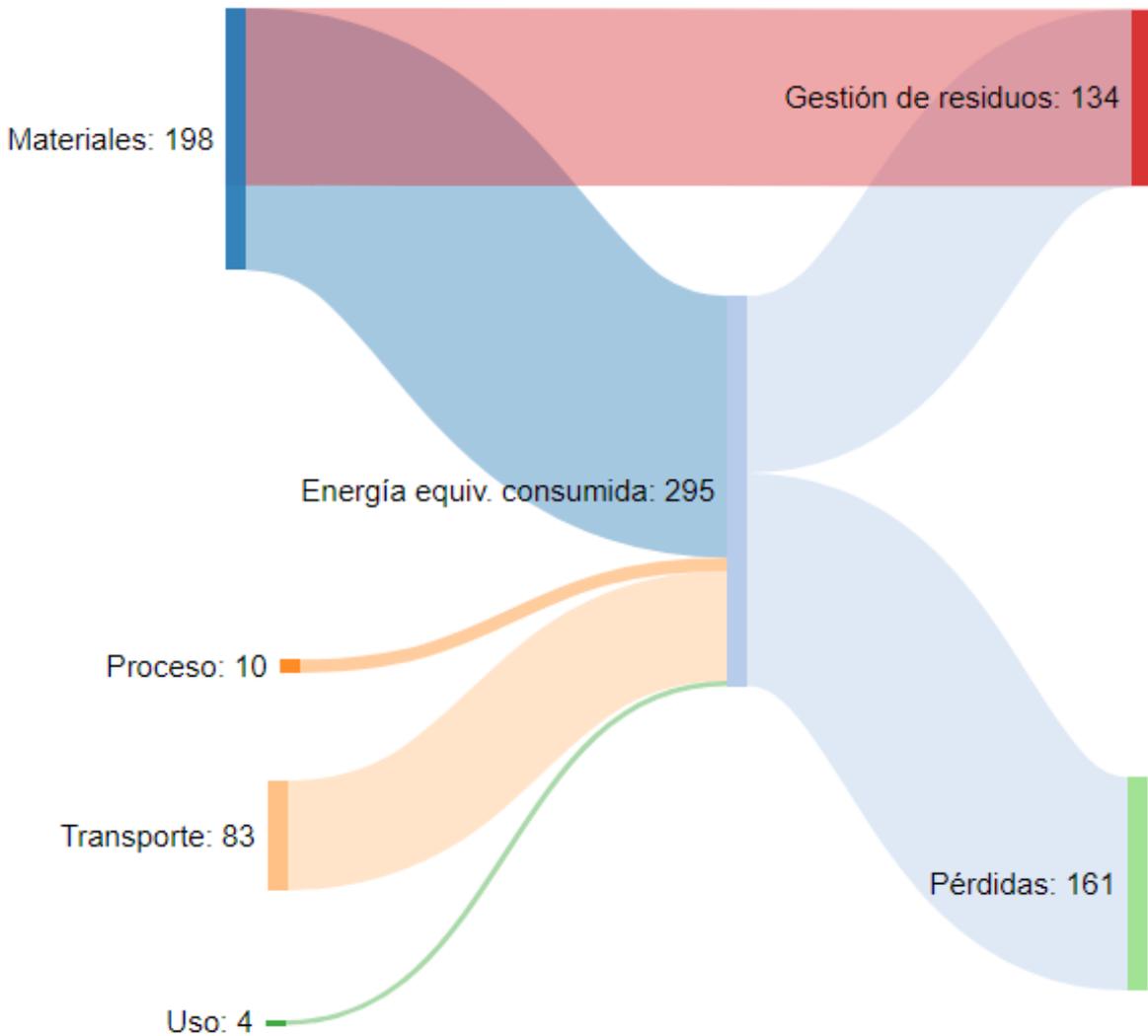


Figura 29: Diagrama de Sankey de la energía equivalente consumida en MJ [52]

## 5.2 EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EQUIVALENTES

El impacto derivado de las emisiones equivalentes de dióxido de carbono a lo largo de la cadena de producción estudiada en este proyecto está representado en la Figura 26.

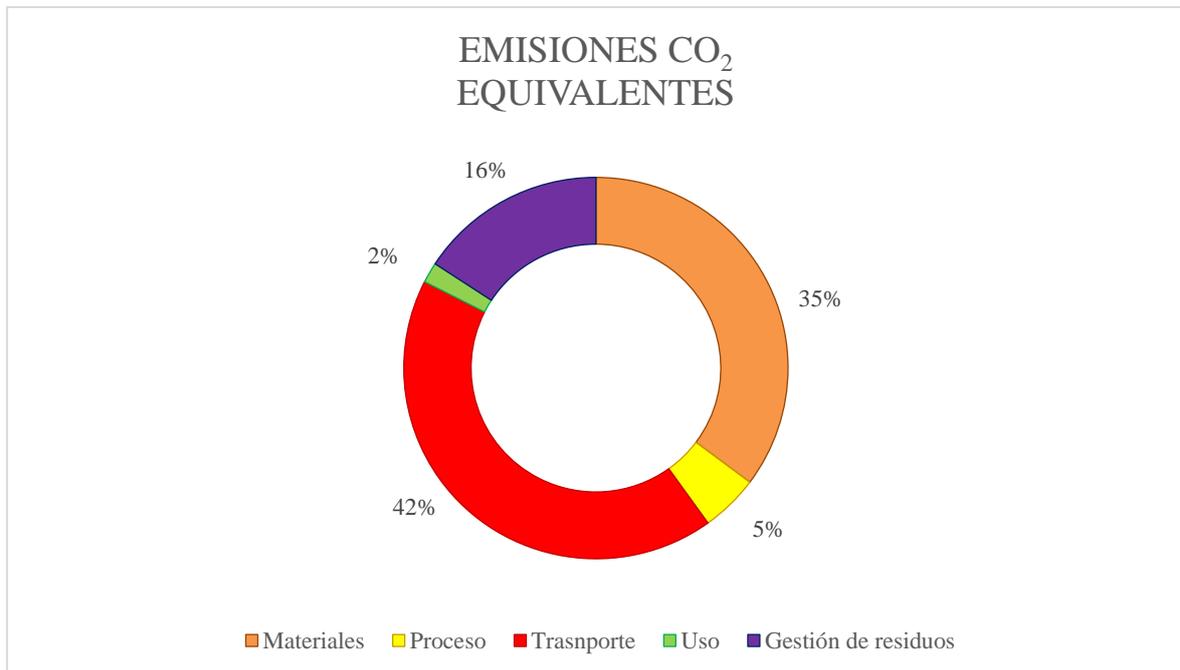


Figura 30: Porcentajes de emisiones de dióxido de carbono equivalentes en cada etapa de la cadena de producción

La mayor cantidad de emisiones se producen durante el transporte del alimento, siendo 6,05kg de dióxido de carbono por cada 100kg de tomate, constituyendo un 42% de las emisiones totales.

A su vez, la segunda etapa que más emisiones que produce es la obtención de los materiales de entrada al sistema sujeto a estudio, en concreto 5,028kg de CO<sub>2</sub> construyendo un 35% de la cantidad total. Además, el 77% de estas emisiones pertenecen a la producción primaria del cartón que se utilizará en el transporte en buenas condiciones del producto.

Por el contrario, el mínimo de emisiones generadas se encuentra en el uso del producto siendo 0,247kg de dióxido de carbono por cada 100kg de producto. El 31% de la cantidad de emisiones pertenece al 19% másico del producto desperdiciado en la vivienda del particular que lo adquiere para su consumo. Por lo que, se puede observar que si se desperdicia genera más emisiones que si se consume, aunque no se traten de cantidades significativas a lo largo de todo el proceso de producción del alimento. En la etapa de uso tan solo se encuentra el 2% de las emisiones totales a lo largo del proceso estudiado, por lo que se puede considerar despreciable.

Cabe destacar a etapa referida a la gestión de residuos, durante la que se generan 2,254 kg de dióxido de carbono netos, produciendo un 16% de las emisiones totales. Sin embargo, se emiten un total 2,845 kg de CO<sub>2</sub> y se evitan 0,591 kg en el reciclaje. Las emisiones durante la gestión de residuos se originan en la combustión de un porcentaje de los materiales de salida del sistema, cartón y plástico. Mientras que las emisiones evitadas tienen su origen en el reciclaje, siendo el 90% referidas al reciclaje del cartón.

Por último, durante la mantención y cuidado del invernadero, planta y producto se emiten un 5% de la cantidad total, 0,696 kg de CO<sub>2</sub> por cada 100kg de tomate.

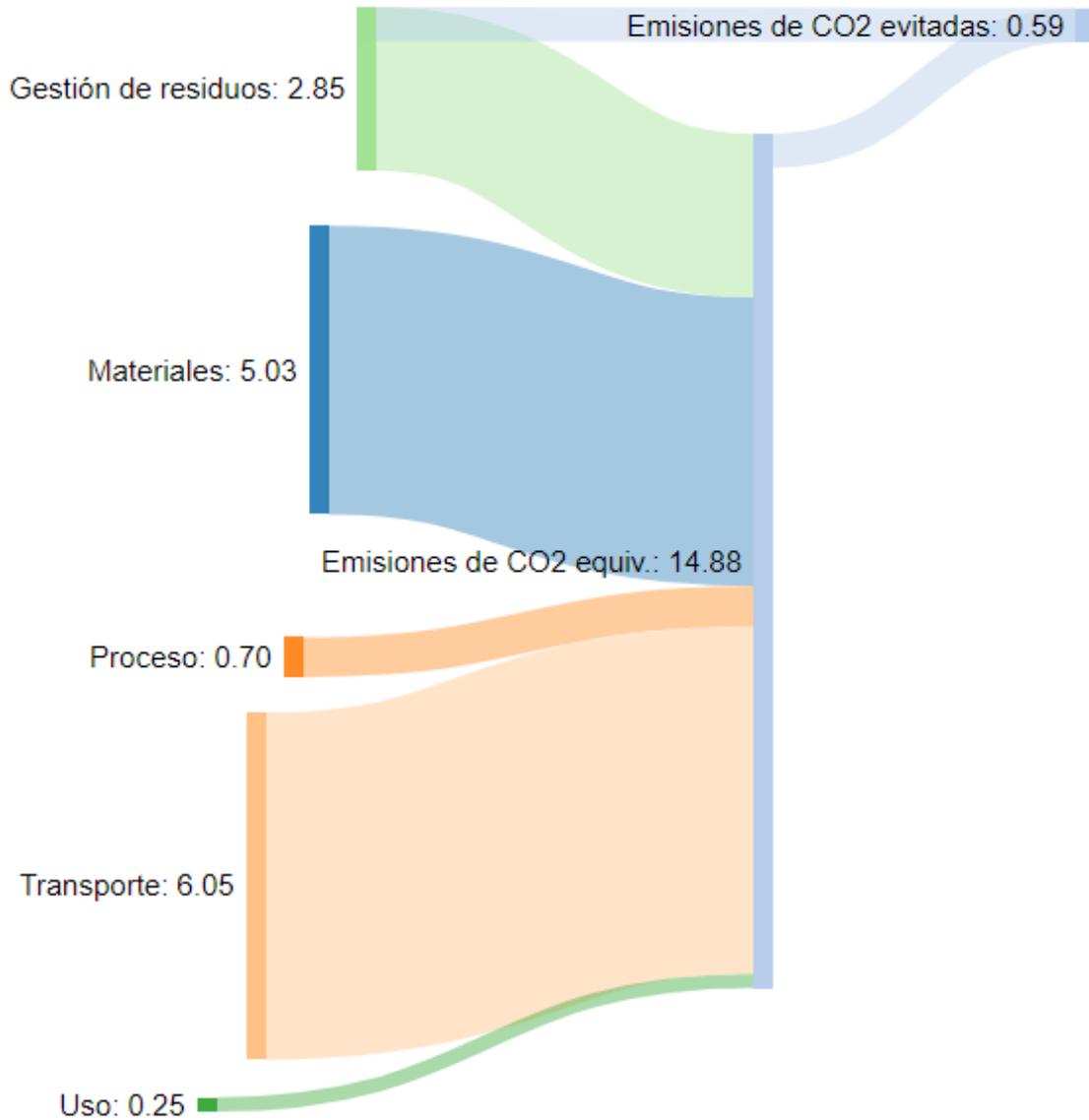


Figura 31: Diagrama de Sankey de las emisiones equivalentes de CO2 en kg [52]

### 5.3 CONSUMO DE AGUA EQUIVALENTE

El impacto derivado del consumo de agua equivalente a lo largo de la cadena de producción estudiada en este proyecto está representado en la Figura 27:

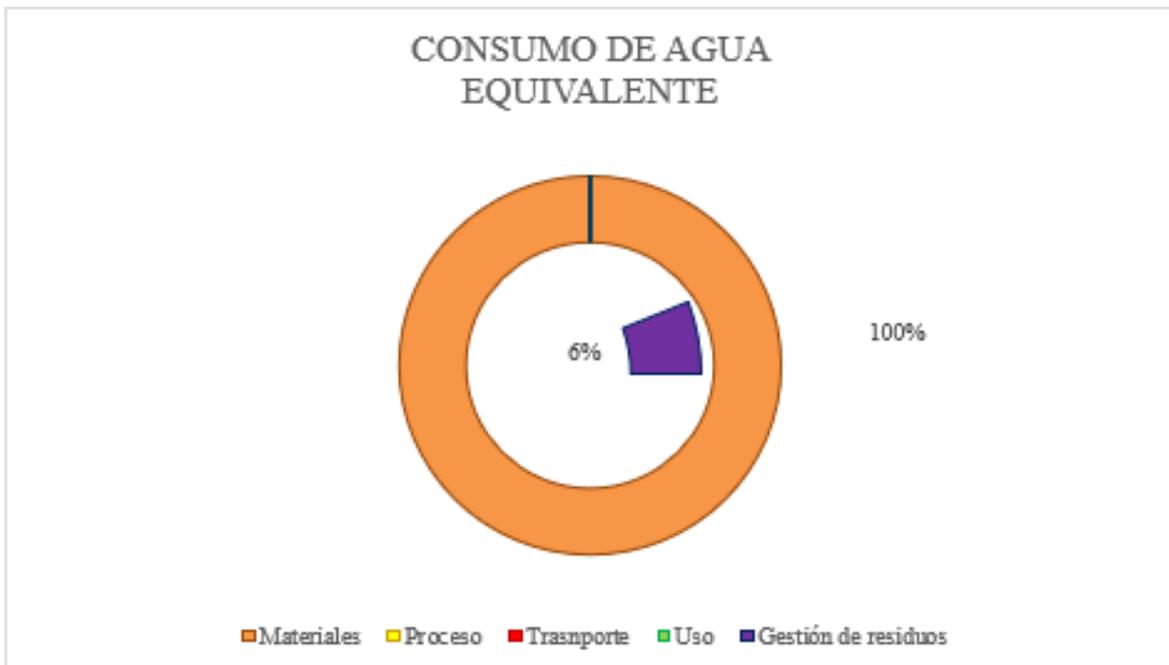


Figura 32: Porcentajes de consumo y recuperación de agua equivalente en cada etapa de la cadena de producción

Si evaluamos el consumo y recuperación de agua a lo largo de la cadena de producción, se observa que solo se consume cuando se obtienen materiales de forma primaria, de la misma manera que sólo se evita el consumo de agua durante el proceso de reciclaje de los materiales de salida del sistema sujeto a estudio del proyecto.

El máximo consumo de agua se produce en la etapa de fabricación de los materiales, plástico y cartón, y en la producción del fruto, el tomate. Se consumen 3.175,91 l por cada 100kg de producto, de los cuales el 90% pertenece a la producción del alimento, tratándose de un consumo indispensable.

Durante la gestión de residuos, se evita un consumo de agua de 184,19 l por cada 100kg de tomate. Este volumen de agua evitado corresponde íntegramente al reciclaje del cartón del material de salida del sistema.

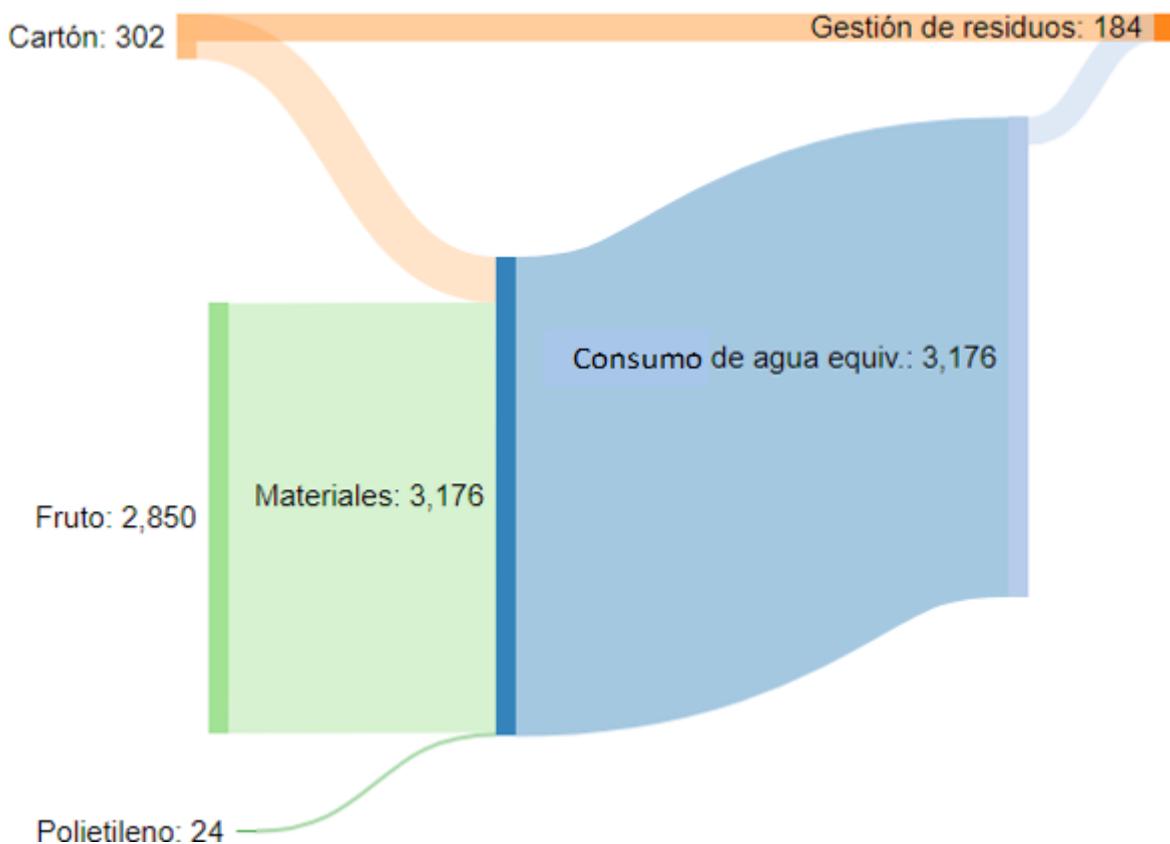
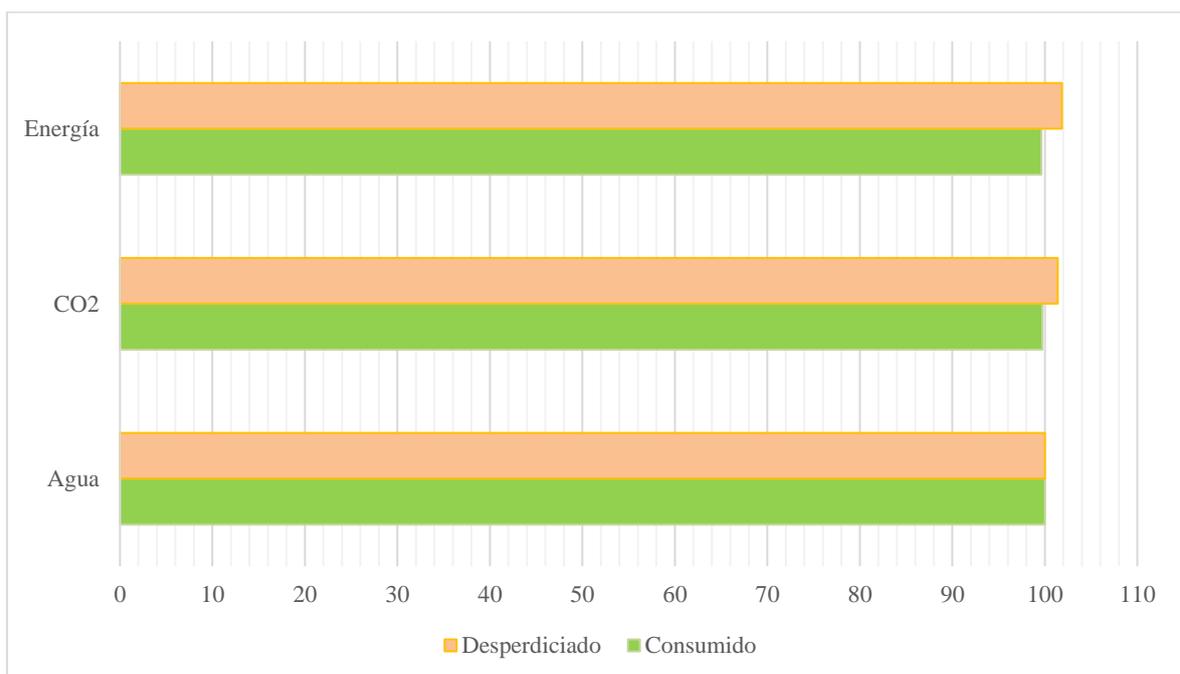


Figura 33: Diagrama de Sankey del consumo equivalente de agua en l [52]

## Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 6.1 CONCLUSIONES GENERALES

Por último, para concluir y acorde con los resultados obtenidos, en la Figura 34, se muestra una comparación del consumo energético, emisiones de dióxido de carbono y consumo de agua totales a lo largo de la cadena de producción. Se valoran los dos casos extremos posibles: si se consumiesen o desperdiciasen en su totalidad la cantidad de tomate bajo estudio.



*Figura 34: Comparación porcentual del impacto generado por el consumo o desperdicio completo respecto a los resultados generales del proyecto.*

Cabe destacar que, en ambos casos: desperdicio o consumo total del producto, no se presenta una diferencia significativa en ninguna de las áreas valoradas. La máxima variación es del 3%.

Sin embargo, el impacto que se genera debido a la producción del alimento, si este se consume podría estar justificado, mientras que si se desperdicia no se obtiene ningún beneficio ni existe ninguna finalidad que respalde el impacto que conlleva su producción.

La manera más sencilla de disminuir el impacto asociado a la producción del tomate es promover un consumo responsable, sin excesos y que se produzca de una manera consciente. Para que la sociedad pueda evolucionar, se debe sensibilizar a la población mediante la razón de la problemática: causas, dimensión, solución orientada al particular... Sería muy interesante organizar cursos de concienciación y desde la legislación, se debería incentivar y, en el caso contrario, penalizar a las buenas y malas prácticas, respectivamente. Solo así se conseguirá avanzar hacia una mentalidad aliada de la economía circular.

## **6.2 ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS**

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

Las cajas de cartón que se emplean en el análisis sujeto a estudio son de un solo uso, por lo que el análisis muestra el impacto real que se produciría su utilización. Sin embargo, si se optase por utilizar cajas de plástico biodegradable que puedan ser reutilizadas hasta su deterioro, no podríamos evaluar su impacto con las herramientas de este proyecto: Análisis de Ciclo de Vida y Ecoauditoría. Esto se debe a que ambos procedimientos estudian el impacto de un único uso.

Asimismo y fomentando la transición a la economía circular, sería de gran interés realizar un estudio utilizando envases reutilizables que analicen el impacto de un único uso del envase y se reparta entre todos los usos comprendidos en la vida útil del envase. Por lo que, las entradas de los materiales pertenecientes al embalaje estarían presente tan solo en el primer uso, y en el resto de las veces que se reutilice, serían nulos.

### **6.3 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**

Tras un análisis de los resultados obtenidos respecto a las emisiones de dióxido de carbono equivalentes, también observamos que la cantidad de emisiones originadas por la fabricación del cartón son un problema, por lo que reafirma que se debería evaluar el impacto generado por un envase reutilizable.

Sin embargo, la principal fuente de emisiones a lo largo de la cadena de producción del tomate es el transporte del mismo. Hoy en día existen alternativas lo suficientemente limpias e igual de eficientes que las tecnologías convencionales, entre ellas el ferrocarril electrificado.

En España, solo un 4% de las mercancías se transportan en ferrocarril, situándonos en los últimos puestos de la Unión Europea [53]. No se sabe cuál es la causa exacta, si es económica, política o por ofrecer una mayor facilidad y comodidad. De todas maneras, es conveniente implementar en nuestro país el transporte de mercancías mediante ferrocarril electrificado, ya que el impacto es 3,5 veces menor que el generado por el transporte por carretera, en camiones. Por eso, sería muy valioso llevar a cabo una investigación y/o proyecto cuyo objetivo sea promover el uso del transporte electrificado, que proponga soluciones y fomente su aplicación.

### **6.4 REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA**

Tras estudiar los resultados pertenecientes al consumo del agua a lo largo de la cadena de producción del tomate, se puede observar que el mayor consumo se origina en el cultivo el alimento, durante el regadío y cuidado.

No existe una alternativa al principal consumidor de recursos hídricos, ya que es fundamental para su producción y obtención en condiciones óptimas. Lo único que sería capaz de reducir este consumo sería la producción de otra especie de tomate, ya que cada cultivo tiene unas necesidades diferentes.

## Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «La economía circular: un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente | Noticias ONU». <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082> (accedido abr. 18, 2021).
- [2] «Asamblea General de las Naciones Unidas». <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml> (accedido oct. 20, 2020).
- [3] A. Chamberlain, «Sustainability management system: The Triple Bottom Line». <https://www.era-environmental.com/blog/sustainability-management-triple-bottom-line> (accedido oct. 07, 2020).
- [4] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (accedido oct. 05, 2020).
- [5] «Hambre y seguridad alimentaria», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/> (accedido mar. 31, 2021).
- [6] Asamblea General de las Naciones Unidas, « 70/1. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible» .
- [7] «ODS 2. Hambre cero | Objetivos de Desarrollo Sostenible | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura». <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/goal-2/es/> (accedido oct. 20, 2020).
- [8] M. Moran, «Consumo y producción sostenibles», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/> (accedido oct. 07, 2020).

- [9] «Economía Circular». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/> (accedido oct. 20, 2020).
- [10] d1eeb6ad5fd7, «Cradle to cradle», *Knowledge for policy - European Commission*, feb. 12, 2018. [https://ec.europa.eu/knowledge4policy/glossary/cradle-cradle\\_en](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/glossary/cradle-cradle_en) (accedido oct. 20, 2020).
- [11] «Sobre nosotros | Madrid7R - Economía Circular». <http://www.madrid7r.es/sobre-nosotros> (accedido oct. 21, 2020).
- [12] «FAO - News Article: Food wastage: Key facts and figures». <http://www.fao.org/news/story/en/item/196402/icode/> (accedido oct. 07, 2020).
- [13] «Un tercio de los alimentos que cultivamos se desperdician o se pierden | National Geographic». <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/un-tercio-de-los-alimentos-que-cultivamos-se-desperdician-o-se-pierden> (accedido oct. 04, 2020).
- [14] «Plataforma técnica sobre la medición y la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura». <http://www.fao.org/platform-food-loss-waste/es/> (accedido oct. 07, 2020).
- [15] J. Gustavsson, C. Cederberg, y U. Sonesson, *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention ; study conducted for the International Congress Save Food! at Interpack 2011, [16 - 17 May], Düsseldorf, Germany*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [16] Menos Desperdicio. « Panel de cuantificación del desperdicio alimentario en los hogares españoles 2019,» [https://menosdesperdicio.es/sites/default/files/informes\\_desperdicios\\_2019.xlsx](https://menosdesperdicio.es/sites/default/files/informes_desperdicios_2019.xlsx) (accedido ene. 12, 2021).

- [17] «El desperdicio alimentario en los restaurantes». <https://theobjective.com/further/desperdicio-alimentario-restaurantes> (accedido ene. 12, 2021).
- [18] «Prevención del Desperdicio Alimentario», *AECOC*. <https://www.aecoc.es/actividad/prevencion-del-desperdicio-alimentario/> (accedido oct. 20, 2020).
- [19] Bio by Deloitte y el Comité Económico y Social Europeo. «Estudio comparativo: La legislación y las prácticas por las que se rigen las donaciones de alimentos en los Estados miembros de la UE » <http://www.eesc.europa.eu/?i=portal.en.events-and-activities-eu-food-donations>. (accedido nov. 05, 2020) .
- [20] «MEMORIA\_II\_PROPUESTA\_DE\_IND\_tcm30-150148.pdf». Accedido: nov. 04, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/MEMORIA\\_II\\_PROPUESTA\\_DE\\_IND\\_tcm30-150148.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/MEMORIA_II_PROPUESTA_DE_IND_tcm30-150148.pdf).
- [21] «Cifras de reutilización de agua en España», *Aedyr*, may 14, 2019. <https://aedyr.com/cifras-reutilizacion-agua-espana/> (accedido nov. 04, 2020).
- [22] C. Laug, «¿Quién (y para qué) reutiliza más agua en España?», *iAgua*, jul. 23, 2019. <https://www.iagua.es/noticias/locken/quien-y-que-reutiliza-mas-agua-espana> (accedido nov. 04, 2020).
- [23] «perdidas\_suelo\_tcm30-138139.pdf». Accedido: nov. 04, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/perdidas\\_suelo\\_tcm30-138139.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/perdidas_suelo_tcm30-138139.pdf).
- [24] «es-2021-nir\_tcm30-523942.pdf». Accedido: mar. 31, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es-2021-nir\\_tcm30-523942.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es-2021-nir_tcm30-523942.pdf).

- [25] «ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia». <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es> (accedido oct. 25, 2020).
- [26] «III Jornadas de Educación Ambiental». <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.aspx> (accedido oct. 25, 2020).
- [27] Ashby, M. F, *Materials and the environment: eco-informed material choice*. Elsevier, 2012.
- [28] «informe\_save\_food\_spain\_2012.pdf». Accedido: abr. 18, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://menosdesperdicio.es/sites/default/files/documentos/relacionados/informe\\_save\\_food\\_spain\\_2012.pdf](https://menosdesperdicio.es/sites/default/files/documentos/relacionados/informe_save_food_spain_2012.pdf).
- [29] *Food wastage footprint full-cost accounting: final report*. Rome: Food Wastage Footprint, 2014.
- [30] «El cultivo del tomate (Parte I)». [https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_tomate\\_\\_parte\\_i\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp) (accedido ene. 31, 2021).
- [31] «INTRODUCCION AL CULTIVO DE TOMATE EN INVERNADERO», p. 35.
- [32] «Análisis del invernadero de Almería, la mayor concentración en el mundo». <https://www.gavagrup.com/index.php/es/blog/771-analisis-del-invernadero-de-almeria-la-mayor-concentracion-en-el-mundo> (accedido dic. 29, 2020).
- [33] «Principales tipos de invernaderos (Parte II)». [https://www.infoagro.com/documentos/principales\\_tipos\\_invernaderos\\_\\_parte\\_ii\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/principales_tipos_invernaderos__parte_ii_.asp) (accedido ene. 31, 2021).

- [34] «Plástico 800 galgas tricapa difuso térmico 3000 ppm. Invernadero agric», *Plantax*. <https://www.plantax.es/plasticos/24-plstico-800-galgas-difuso-3000-ppm-.html> (accedido ene. 31, 2021).
- [35] «Ruta Madrid - Almería - distancia, duración y coste – ViaMichelin». <https://www.viamichelin.es/web/Itinerarios/Itinerario-Madrid-28001-Madrid-Espana-hacia-Almeria-04001-Almeria-Espana> (accedido feb. 05, 2021).
- [36] U. Srl, «Villagrow, Transporte y Logística». <http://www.villagrow.es/logistica.html> (accedido feb. 05, 2021).
- [37] «Caja de Papel Corrugado Reciclado para Tomates», *Shanghai Coffe Packing Co., Ltd.* /[caja-depapelcorrugadorecicladoparatomates-15331882004304870.html](http://caja-depapelcorrugadorecicladoparatomates-15331882004304870.html) (accedido feb. 05, 2021).
- [38] U. Srl, «Villagrow, frutas y verduras». <http://www.villagrow.es/tomate.html> (accedido feb. 05, 2021).
- [39] «Supermercados: Vida de un tomate: especulación, abusos y geopolítica en la bolsa que se lleva a casa». [https://www.elconfidencial.com/economia/2017-03-10/en-la-ruta-del-tomate-por-que-pagamos-un-precio-y-no-otro-por-las-hortalizas\\_1346027/](https://www.elconfidencial.com/economia/2017-03-10/en-la-ruta-del-tomate-por-que-pagamos-un-precio-y-no-otro-por-las-hortalizas_1346027/) (accedido feb. 05, 2021).
- [40] Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. «Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía».
- [41] «Plásticos de Invernaderos - Plástico tipo PE, PVC, EVA, PC». <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/materiales-y-estructuras/plasticos-invernaderos> (accedido feb. 05, 2021).
- [42] «El precio del agua en España | iAgua». <https://www.iagua.es/noticias/locken/precio-agua-espana> (accedido feb. 05, 2021).

- [43] «¿Cómo calcular la calidad de una caja de cartón?», *Cuaderno, el blog de Kartox*, jul. 07, 2016. <https://kartox.com/blog/calcular-la-calidad-una-caja-carton/> (accedido feb. 05, 2021).
- [44] «tarifas\_t4\_2011\_triptico\_r2x.pdf». Accedido: abr. 01, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://javiersevillano.es/Imagenes/DeficitTarifa/tarifas\\_t4\\_2011\\_triptico\\_r2x.pdf](https://javiersevillano.es/Imagenes/DeficitTarifa/tarifas_t4_2011_triptico_r2x.pdf).
- [45] «Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2016 of 11 March 2019 supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of refrigerating appliances and repealing Commission Delegated Regulation (EU) No 1060/2010 Text with EEA relevance.», p. 32.
- [46] *Granta Edupack 2020*. Ansys.
- [47] «Useful Numbers», en *Materials and Sustainable Development*, Elsevier, 2016, pp. 275-301.
- [48] «¡Se puede compostar en la ciudad! Así funcionó Madrid Agrocomposta», *Recolectora*, oct. 11, 2016. <https://larecolectora.com/compostar-en-ciudad-madrid-agrocomposta/> (accedido feb. 07, 2021).
- [49] «Los plásticos permiten ahorrar hasta 9 veces la cantidad de CO2 que emiten durante su producción», *Interempresas*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/36240-plasticos-permiten-ahorrar-hasta-9-veces-cantidad-CO2-que-emiten-durante-su-produccion.html> (accedido feb. 07, 2021).
- [50] «Papel y Cartón - araba - Campus de Álava - UPV/EHU», *araba*. <https://www.ehu.eus/es/web/araba/campus-iraunkorra-papera-eta-kartoia> (accedido feb. 07, 2021).
- [51] D. Hoehn *et al.*, «Energy Embedded in Food Loss Management and in the Production of Uneaten Food: Seeking a Sustainable Pathway», *Energies*, vol. 12, n.º 4, p. 767, feb. 2019, doi: 10.3390/en12040767.

[52] «SankeyMATIC (BETA): Build a diagram». <http://sankeymatic.com/build/> (accedido feb. 21, 2021).

[53] «España, a la cola de Europa en el transporte de mercancías por tren», *EL ÁGORA DIARIO*, ago. 28, 2020. <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/cambio-climatico/espana-cola-europa-transporte-mercancias-tren/> (accedido abr. 02, 2021).