



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS  
AGRÍCOLAS COMO MODELO DE BIOECONOMÍA

Autor: Salvador Cuesta Alférez

Directora: María del Mar Cledera Castro

Directora: Katia Hueso Kortekaas

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO  
MODELO DE BIOECONOMÍA**

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

curso académico 2022/23 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.: Salvador Cuesta Alferez

Fecha: 21/ 07/ 2023

Autorizada la entrega del proyecto

**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**



Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: 21/ 07/ 2023

Fdo.: Katia Hueso Kortekaas

Fecha: 21/ 07/ 2023







**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS  
AGRÍCOLAS COMO MODELO DE BIOECONOMÍA

Autor: Salvador Cuesta Alférez

Directora: María del Mar Cledera Castro

Directora: Katia Hueso Kortekaas

Madrid

## **Agradecimientos**

Mi más sincero agradecimiento a Mar y a Katia, por su paciencia y su apoyo constante.

# **APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO MODELO DE BIOECONOMÍA**

**Autor: Cuesta Alférez, Salvador.**

Directora: Cledera Castro, María del Mar.

Directora: Hueso Kortekaas, Katia.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

En este trabajo se realizará un estudio del impacto ambiental generado por un invernadero situado en la región del poniente de Almería. El principal objetivo del estudio es la identificación de los materiales y la tipología de invernadero que tendrán asociado un menor impacto ambiental, así como la propuesta de alternativas para mitigar el impacto del invernadero.

Esto se hará utilizando las herramientas de la Ecoauditoría y del Estudio del Impacto Medioambiental. Estas herramientas permitirán determinar de manera objetiva el impacto ambiental del invernadero y así determinar las áreas de mejora, evaluando también el efecto de diferentes prácticas durante el proceso de construcción y durante la etapa de producción normal del invernadero para establecer soluciones preventivas y limitar la destrucción del medio ambiente

Las conclusiones de la ecoauditoría y el estudio de los efectos medioambientales han sido cruciales para identificar áreas de mejora y tomar medidas ecoeficientes. Algunas de las principales conclusiones incluyen el uso del acero galvanizado frente al aluminio como material estructural y del polietileno frente al policarbonato para mitigar la huella ecológica del invernadero. Asimismo, se han propuesto acciones para una reducción de la huella de carbono a través del uso de energías renovables y la eficiencia energética, el uso de sistemas de riego inteligentes y de acolchado de plástico para optimizar el uso del agua y la promoción de prácticas de reciclaje y compostaje para una gestión más responsable de los residuos agrícolas.

**Palabras clave:** Ecoauditoría, Huella de carbono, Residuos, Impacto medioambiental, Plástico, Reciclaje, Consumo de agua, Materiales de construcción, Uso de recursos naturales

### **1. Introducción**

El sector agrícola cuenta con gran importancia económica, social y medioambiental. La agricultura empleó de forma directa a 1.324.200 personas (6,5% del total de la economía) el segundo trimestre de 2022 [1] y generó ingresos de 27.861 millones de euros [2]. Estos ingresos los generó durante un periodo de recesión económica debido a las tensiones internacionales y a la subida de precios de la energía.

El sector agrícola tiene un fuerte arraigo en el territorio español. El territorio español cuenta con una gran parte de su territorio dedicado a la agricultura intensiva bajo plástico (invernaderos comerciales). Más de 32.000 hectáreas se ubican en Almería [3]. Más de la mitad de la superficie dedicada a la agricultura intensiva bajo plástico está situada en la provincia de Almería. En concreto, 22.189 hectáreas de esta superficie está concentrada en el Poniente de Almería en las zonas de Dalías, Berja, El Ejido, Adra, Vícar y Roquetas de Mar entre otras (lo que se conoce como “Campo de Dalías”) [3].

Es por esto por lo que el Poniente de Almería es conocido como uno de los principales modelos agrarios en todo el mundo, llegando a producir 3.823.359 toneladas de productos hortofrutícolas cada año [4].

La gran cantidad de superficie dedicada a la agricultura intensiva hace que la generación de residuos sea grande. De hecho, más del 17% de los plásticos agrícolas usados en el Estado español están en Almería [5]. Estos residuos plásticos pueden llegar a provocar un desequilibrio ecológico llegando a causar un impacto en el paisaje y provocando contaminación atmosférica. Es más, el sector agrario es el segundo sector emisor de efecto invernadero, detrás del sector transporte [6].

Es por esto por lo que mitigar el impacto de los residuos generados y minimizar la huella ecológica generada por los invernaderos es fundamental para la sostenibilidad del sector agrícola.

## **2. Definición del proyecto**

Con este trabajo, se pretenden resolver los siguientes objetivos:

- i. Estudio e identificación de las condiciones tecnológicas para una gestión adecuada de los desechos agrícolas.
- ii. Identificar las clases de invernaderos más comunes utilizadas en la región del estudio, así como las tendencias en el uso de materiales de construcción para la estructura y la cubierta.
- iii. Proporcionar una comparación imparcial de los efectos en la huella ecológica del uso de diferentes tipos de invernaderos y materiales para su construcción en la región del poniente de Almería.
- iv. Identificar oportunidades de mejora para reducir el impacto ambiental del uso de energía, como el consumo de agua y la huella de carbono, mediante el uso adecuado de materiales de obra.
- v. Determinar el impacto de diferentes prácticas durante el proceso de construcción y durante la etapa de producción normal del invernadero para establecer soluciones preventivas y limitar la destrucción del medio ambiente.
- vi. Llevar a cabo un análisis objetivo de los resultados obtenidos mediante las herramientas de la Ecoauditoría y el Estudio del Impacto Medioambiental.
- vii. Establecer propuestas fundadas para la mejora de la situación actual.

## **3. Descripción del modelo/sistema/herramienta**

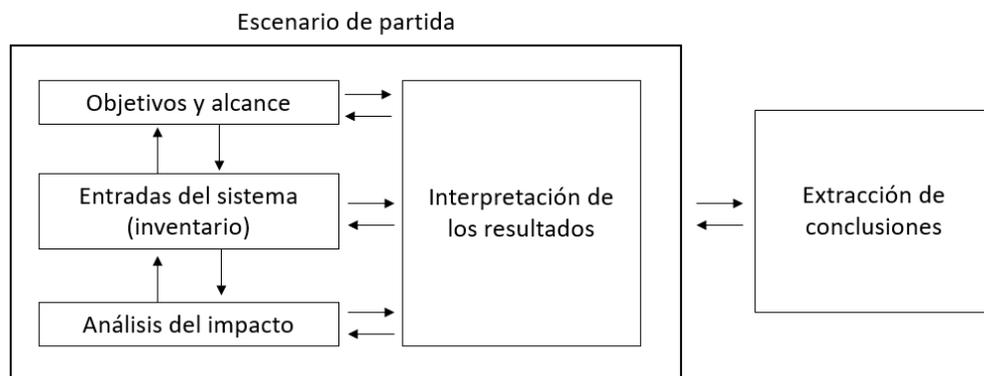
Para el cálculo del impacto ambiental y la identificación de alternativas para mejorar la situación ambiental, se utilizaron las siguientes herramientas:

## Ecoauditoría

Las ecoauditorías son instrumentos que sirven para analizar y medir el efecto que tiene cada parte de un proceso en el medio ambiente [7]. Consiste en un método sistemático que permite identificar oportunidades de mejora para, de este modo, desarrollar estrategias que reduzcan el impacto medioambiental y fomenten la sostenibilidad.

De este modo, gracias a la ecoauditoría se puede identificar en qué parte del proceso productivo (materiales, fabricación transporte, etc.) hay un mayor gasto energético, o cuál de las partes lleva asociada una mayor huella de carbono.

El modo de funcionamiento de la ecoauditoría es el siguiente:



### Funcionamiento de la Ecoauditoría: Elaboración propia

En primer lugar, se realizará un análisis del escenario de partida (localización y detalles del escenario). Seguidamente, se definirán los objetivos y el alcance del estudio para, de este modo, poner la mira sobre los objetivos propuestos anteriormente. Después se definirán las entradas del sistema y se realizarán los cálculos necesarios para llegar a obtener nuestros resultados. Finalmente, se interpretarán estos resultados.

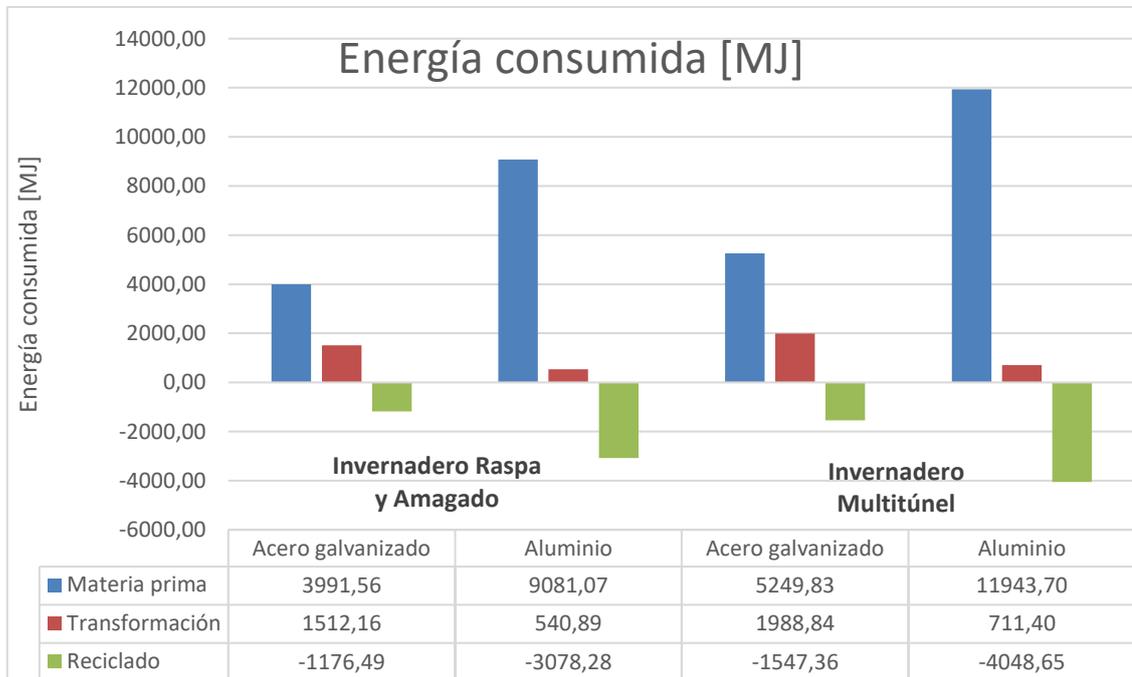
### Estudio del Impacto Medioambiental:

El estudio de impacto ambiental (EIA) es un proceso de valoración que se lleva a cabo antes de la implementación del proyecto para hacer un pronóstico del impacto ambiental que tendrá. De esta manera, se pueden predecir los efectos ambientales de acciones específicas y se logran soluciones con efectos mínimos negativos.

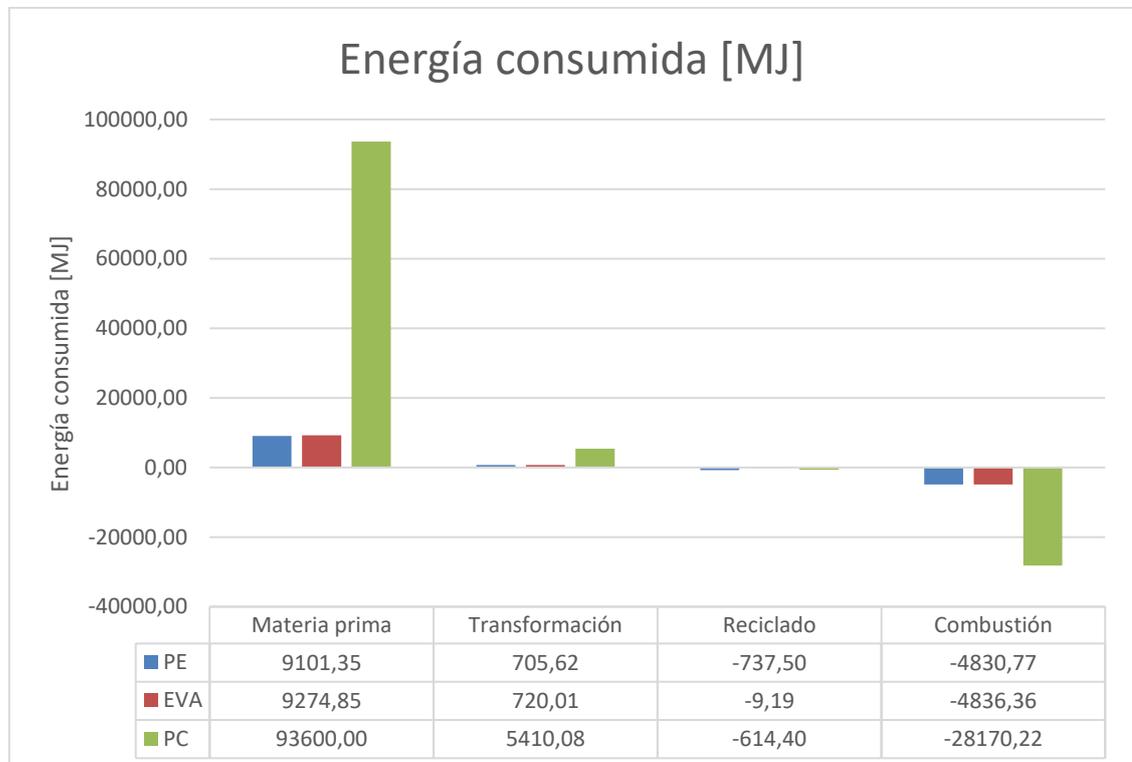
Por lo tanto, esta herramienta ambiental permite identificar el impacto de ciertos factores en el medio ambiente. El propósito en este caso será evaluar las posibles consecuencias ambientales de la instalación de un invernadero en el área de estudio y estudiar la eficacia de distintas acciones contrarrestar este impacto.

#### 4. Resultados

- Impacto en el consumo energético:

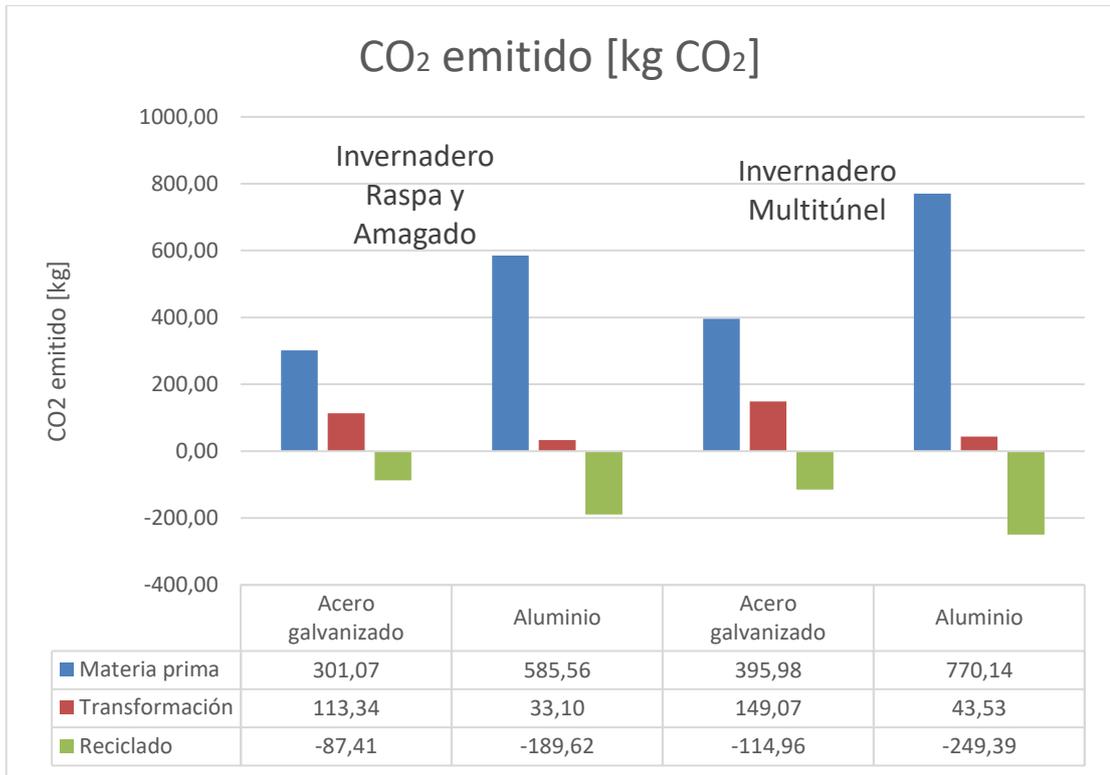


Energía consumida en función de la tipología y el material estructural

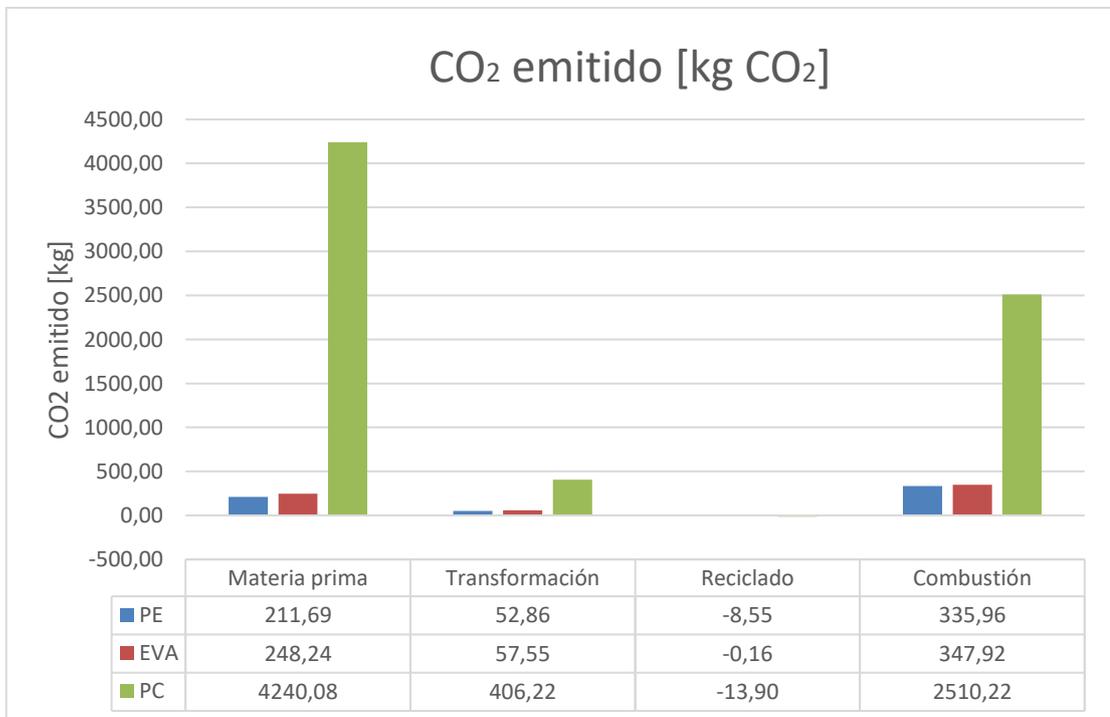


Energía consumida en función del material de cubierta

- Impacto en la huella de carbono:

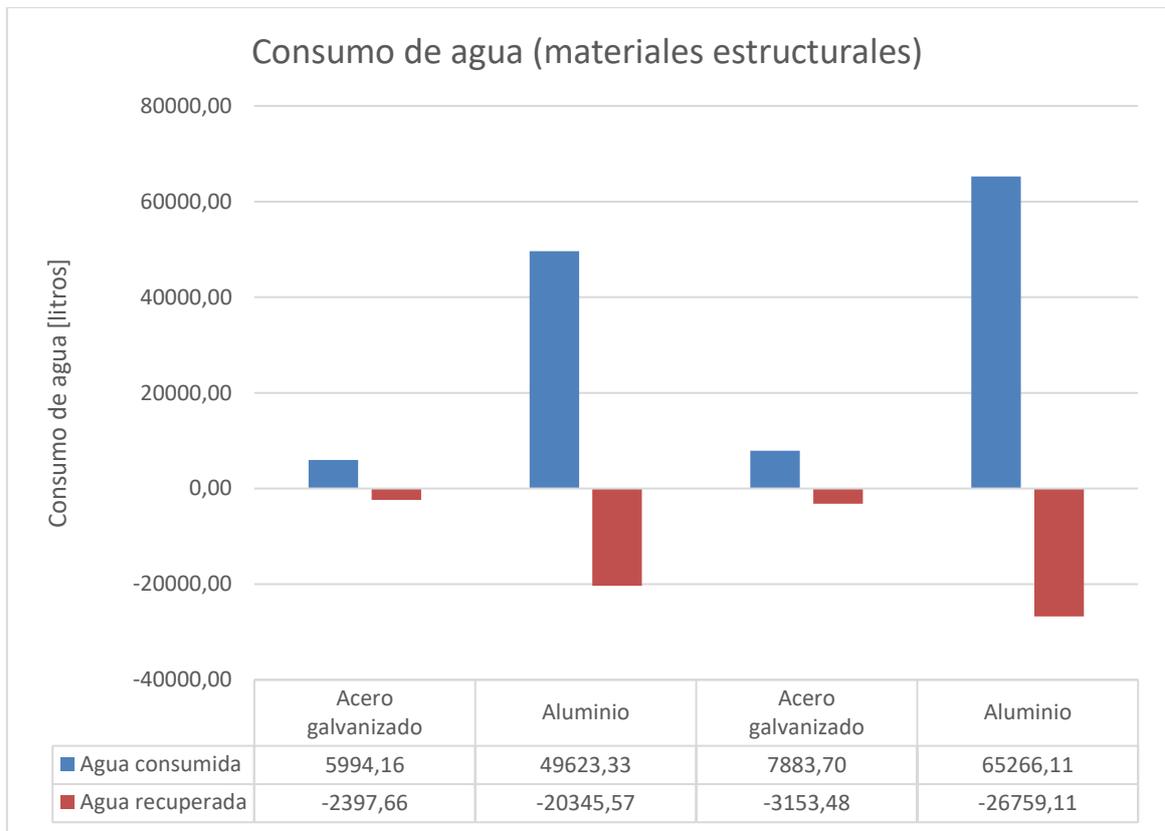


### CO<sub>2</sub> emitido en función de la tipología y el material estructural



### CO<sub>2</sub> emitido en función del material de cubierta

- Impacto en la huella de agua:

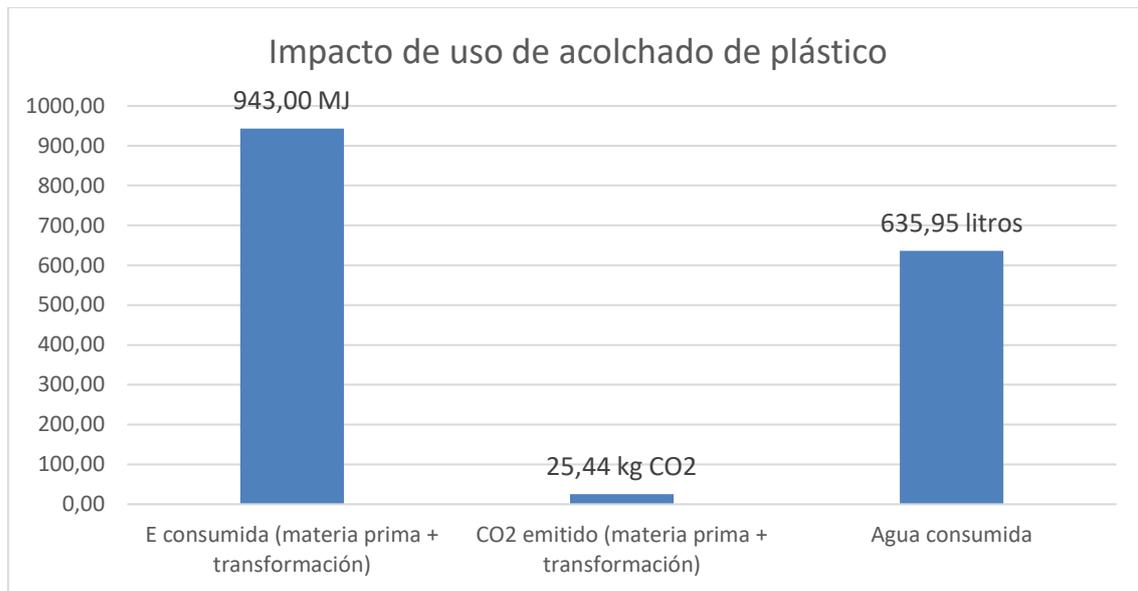


Agua consumida en función de la tipología y el material estructural



Agua consumida en función del material de cubierta

- Impacto del uso de acolchado de plástico:



Impacto del uso de acolchado plástico

## 5. Conclusiones

Las conclusiones principales son las siguientes:

a) Elección de la tipología de invernadero:

La ecoauditoría ha evidenciado que la elección entre una tipología de invernadero u otra tiene un gran peso en lo referente al impacto ocasionado. El invernadero de tipo multitúnel presenta un mayor gasto energético, un mayor consumo de agua y presenta una huella de carbono mayor.

b) Material estructural:

El acero galvanizado es el material más adecuado para la estructura. Si bien el aluminio tiene mejores propiedades de conductividad térmica y resiste bien las condiciones exteriores, su instalación supone un aumento significativo con respecto a los tres parámetros del estudio (consumo energético, huella de carbono y huella de agua).

c) Plástico para la cubierta:

Los datos sobre el uso de plásticos indica que el PEBD y el EVA son los plásticos más adecuados para su empleo como film agrícola dado a su bajo impacto frente al PC.

d) Uso de acolchado de plástico:

La instalación de acolchado plástico supondrá unas mejoras de gran importancia en el medio y largo plazo debido al aumento del rendimiento del invernadero y a la reducción de pérdidas de agua.

## 6. Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística, (2022). “Datos de la Encuesta de Población Activa – Sector Agroalimentario”, Cifras INE. URL: [www.ine.es](http://www.ine.es)
- [2] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2022). “Primera estimación de cifras del sector agrario”, Gobierno de España. URL: [https://www.mapa.gob.es/es/prensa/221216rentaagraria\\_tcm30-639699.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/prensa/221216rentaagraria_tcm30-639699.pdf)
- [3] Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible (2021). “Cartografía de invernaderos en Almería, Granada y Málaga” (p. 8-11), Junta de Andalucía. URL: [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-11/Cartografia%20inv\\_AL\\_GR\\_MA\\_v210928%201.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-11/Cartografia%20inv_AL_GR_MA_v210928%201.pdf)
- [4] “Análisis de la campaña hortofrutícola. Campaña 2021/2022” (p. 33), Cajamar Caja Rural. URL: <https://publicacionescajamar.es/wp-content/uploads/2022/11/informe-campana-21-22.pdf>
- [5] Espinosa, A y García, F (2021) “La verdad sobre el ingrediente más tóxico de nuestra alimentación” (p. 33), Amigos de la Tierra. URL: <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2021/01/Plastivoros-Amigos-de-la-Tierra.pdf>
- [6] “Sector agrícola y ganadero”, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx>
- [7] Franquesa, T “La Ecoauditoría como instrumento de educación ambiental”, Instituto Municipal de Educación. Barcelona. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.aspx>

# ENERGY USE OF AGRICULTURAL WASTE AS A BIOECONOMY MODELO

**Author: Cuesta Alférez, Salvador**

Supervisor: Cledera Castro, María del Mar

Supervisor: Hueso Kortekaas, Katia

## ABSTRACT

In this work, a study of the environmental impact generated by a greenhouse located in the western region of Almeria will be carried out. The main objective of the study is to identify the materials and the type of greenhouse that will have a lower associated environmental impact, as well as the proposal of alternatives to mitigate the impact of the greenhouse.

This will be done using the tools of the Eco-audit and the Environmental Impact Study. These tools will allow the impact of the greenhouse to be objectively determined and areas for improvement to be identified.

The findings of the eco-audit and the environmental impact study have been crucial in identifying areas for improvement and taking eco-efficient measures. Some of the main conclusions include a reduction of the carbon footprint through the use of renewable energy and energy efficiency, the use of smart irrigation systems to optimise water use and the promotion of recycling and composting practices for a more responsible management of agricultural waste.

**Keywords:** Eco-audit, Environmental footprint, Environmental impact, Roofing plastic, Structural material, Recycling, Recycling, Utilisation

## 1. Introduction

The agricultural sector is of great economic, social and environmental importance. Agriculture directly employed 1,324,200 people (6.5% of the total economy) in the second quarter of 2022 [1] and generated revenues of 27.861 billion euros [2]. This revenue was generated during a period of economic recession due to international tensions and rising energy prices.

The agricultural sector is deeply rooted in Spanish territory. A large part of the Spanish territory is dedicated to intensive agriculture under plastic (commercial greenhouses). More than 32,000 hectares are located in Almeria [3]. More than half of the surface area dedicated to intensive agriculture under plastic is located in the province of Almeria. Specifically, 22,189 hectares of this area is concentrated in the Poniente de Almería in the areas of Dalías, Berja, El Ejido, Adra, Vícar and Roquetas de Mar among others (known as "Campo de Dalías") [3].

This is why the Poniente de Almería is known as one of the main agricultural models worldwide, producing 3,823,359 tonnes of fruit and vegetable products each year [4].

The large amount of surface area dedicated to intensive agriculture means that waste generation is large. In fact, more than 17% of the agricultural plastics used in Spain are in Almeria [5]. This plastic waste can cause an ecological imbalance, impacting the landscape and causing atmospheric pollution. Moreover, the agricultural sector is the second largest greenhouse gas emitting sector, after the transport sector [6].

This is why mitigating the impact of the waste generated and minimising the ecological footprint generated by greenhouses is fundamental for the sustainability of the agricultural sector.

## **2. Project definition**

With this work, the following objectives are to be met:

- Study and identification of the technological conditions for an adequate management of agricultural waste.
- To identify the most common types of greenhouses used in the study region, as well as the trends in the use of construction materials for the structure and roof.
- To provide an unbiased comparison of the effects on the ecological footprint of the use of different types of greenhouses and materials for their construction in the western region of Almeria.
- Identify opportunities for improvement to reduce the environmental impact of energy use, such as water consumption and carbon footprint, through the appropriate use of building materials.
- Determine the impact of different practices during the construction process and during the normal production stage of the greenhouse to establish preventive solutions and limit the destruction of the environment.
- To carry out an objective analysis of the results obtained using the tools of the Eco-audit and the Environmental Impact Assessment.
- Establish well-founded proposals for the improvement of the current situation.

## **3. Description of the model**

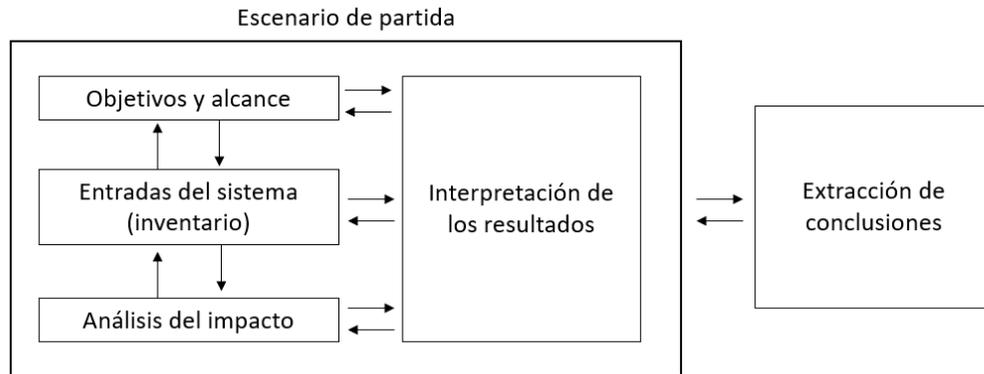
For the calculation of the environmental impact and the identification of alternatives to improve the environmental situation, the following tools were used:

### Eco-audit

Eco-audits are instruments used to analyse and measure the effect that each part of a process has on the environment [7]. It is a systematic method to identify opportunities for improvement and thus develop strategies to reduce environmental impact and promote sustainability.

In this way, thanks to eco-auditing, it is possible to identify in which part of the production process (materials, manufacturing, transport, etc.) there is a greater energy expenditure, or which part has a greater carbon footprint associated with it.

How the eco-audit works is as follows:



How the Eco-audit works: Own elaboration

First, an analysis of the baseline scenario (location and details of the scenario) will be carried out. Next, the objectives and scope of the study will be defined in order to focus on the previously proposed objectives. Then the inputs to the system will be defined and the necessary calculations will be performed to arrive at our results. Finally, these results will be interpreted.

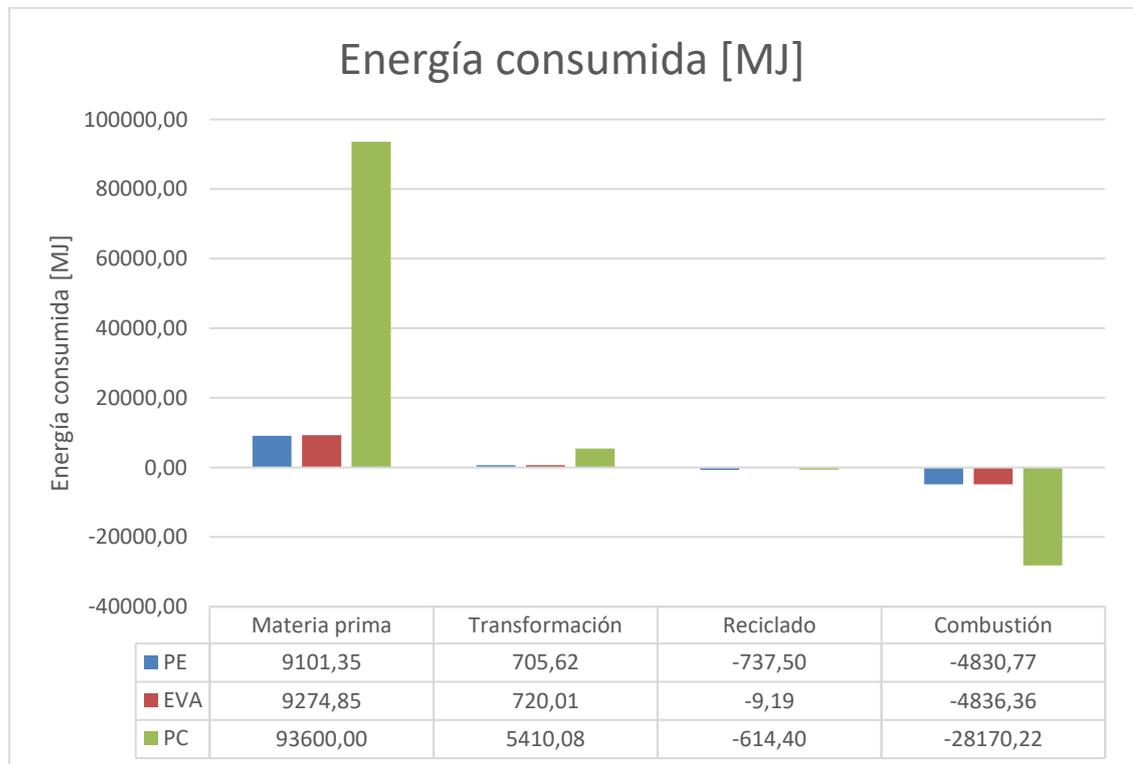
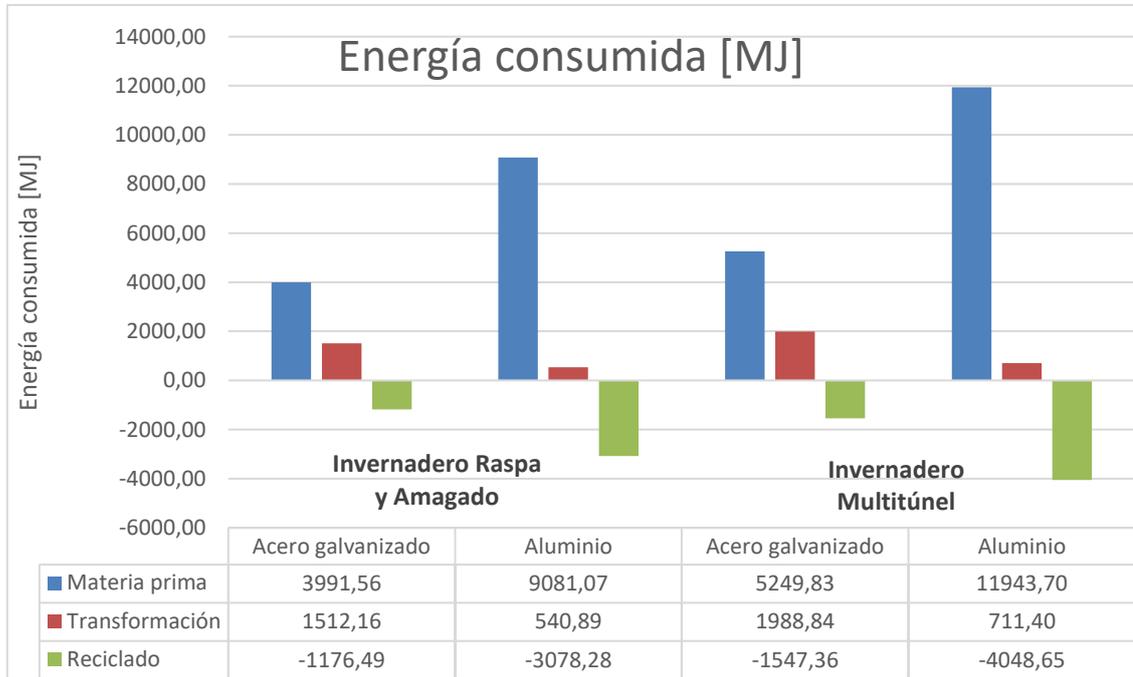
#### Environmental Impact Assessment:

The environmental impact assessment (EIA) is an assessment process that is carried out prior to the implementation of the project to make a forecast of the environmental impact it will have. In this way, the environmental effects of specific actions can be predicted and solutions with minimal negative effects can be achieved.

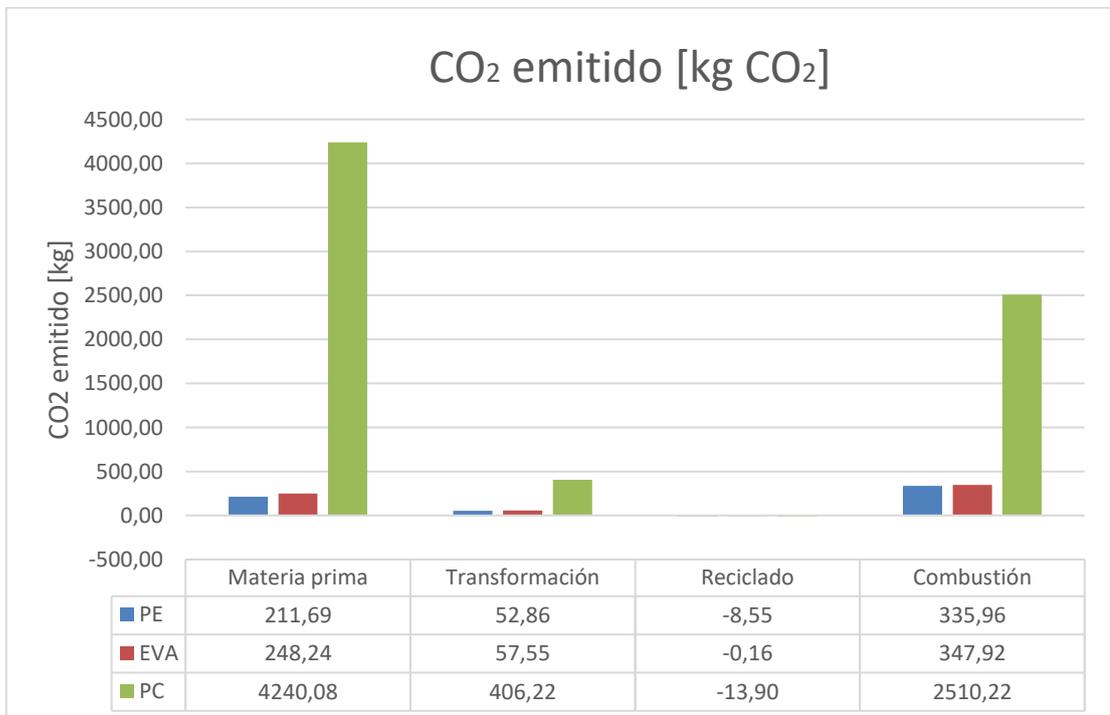
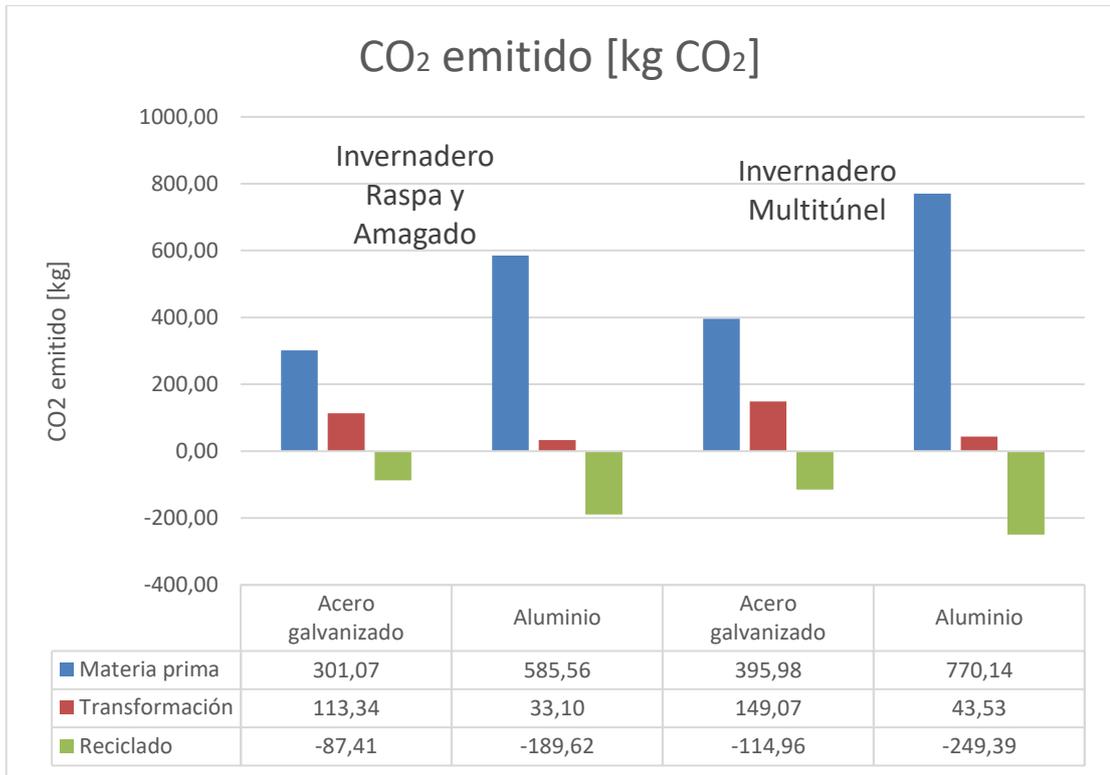
Therefore, this environmental tool allows to identify the impact of certain factors on the environment. The purpose in this case will be to evaluate the possible environmental consequences of the installation of a greenhouse in the study area and to study the effectiveness of different actions to counteract this impact.

#### 4. Results

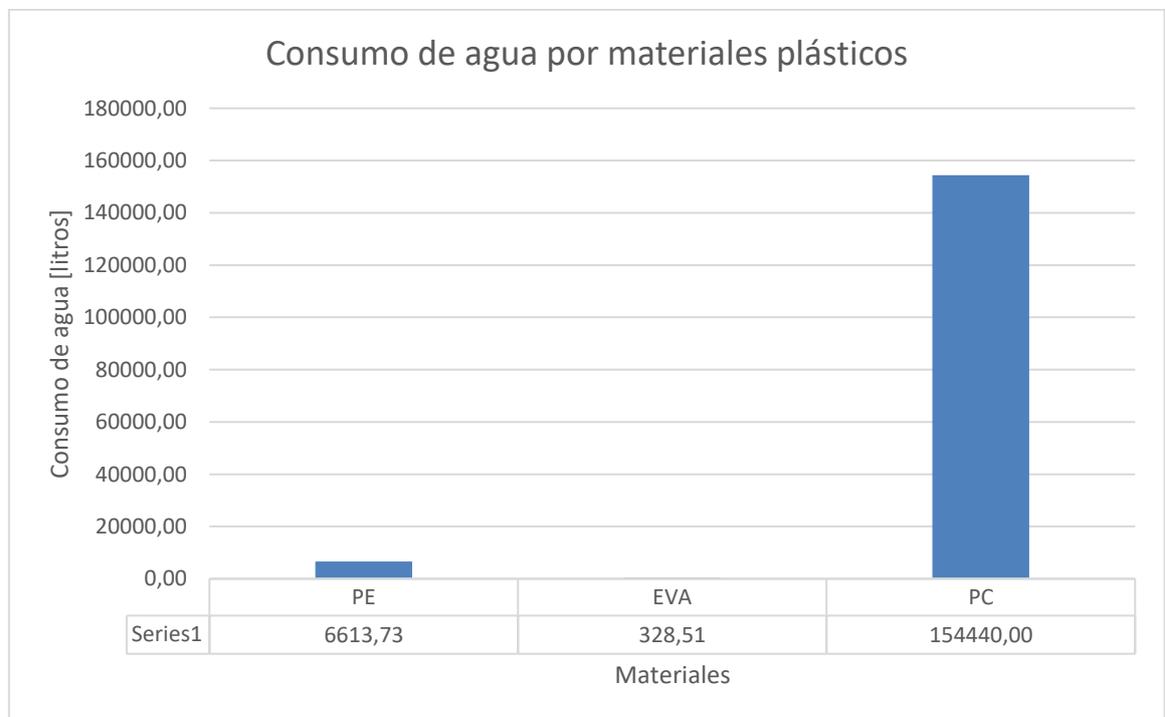
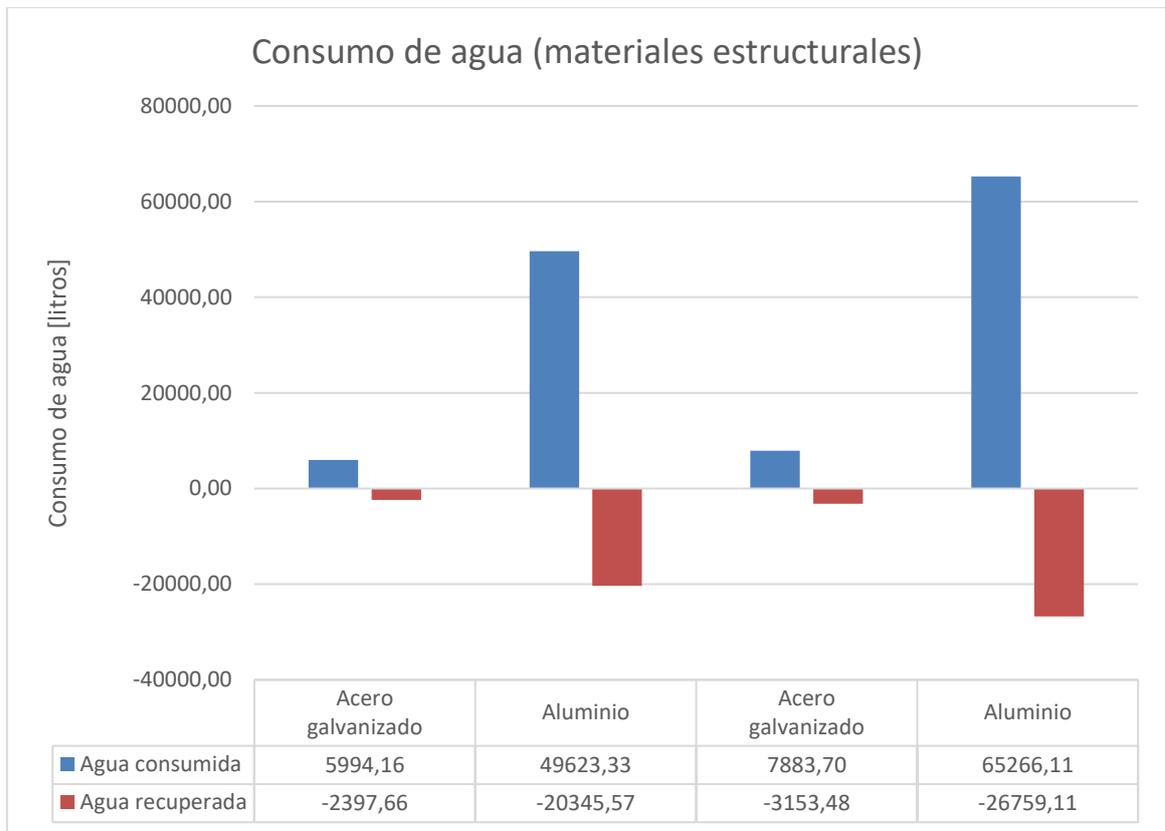
- Impact of energy consumption:



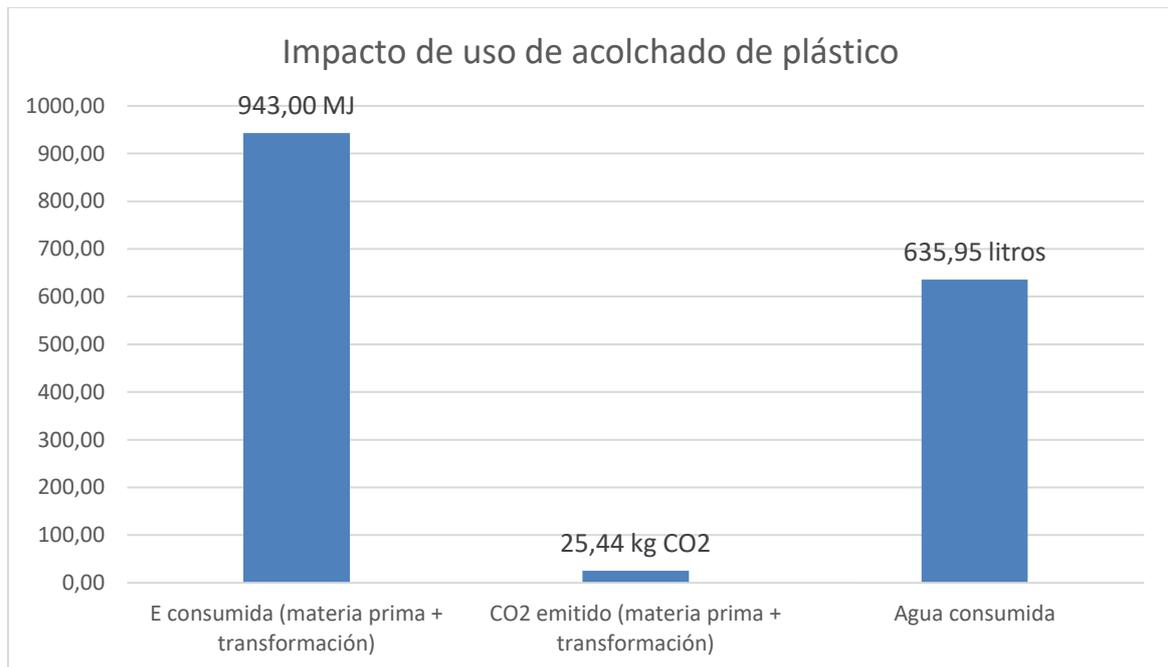
- Impact of carbon footprint:



- Impact on water footprint:



- Impacto of the use of plastic mulch:



## 5. Conclusions

The main conclusions are as follows:

### a) Choice of greenhouse typology:

The eco-audit has shown that the choice between one type of greenhouse or another has a great weight in terms of the impact caused. The multi-tunnel type greenhouse has a higher energy expenditure, higher water consumption and has a higher carbon footprint.

### b) Structural material:

Galvanised steel is the most suitable material for the structure. While aluminium has better thermal conductivity properties and stands up well to outdoor conditions, its installation represents a significant increase in all three parameters of the study (energy consumption, carbon footprint and water footprint).

### c) Plastic roofing:

Data on the use of plastics indicates that LDPE and EVA are the most suitable plastics for use as agricultural film given their low impact against PC.

### d) Use of plastic mulch:

The installation of plastic mulch will lead to significant improvements in the medium to long term due to increased greenhouse performance and reduced water losses.

## 6. References

- [1] Instituto Nacional de Estadística, (2022). “Datos de la Encuesta de Población Activa – Sector Agroalimentario”, Cifras INE. URL: [www.ine.es](http://www.ine.es)
- [2] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2022). “Primera estimación de cifras del sector agrario”, Gobierno de España. URL: [https://www.mapa.gob.es/es/prensa/221216rentaagraria\\_tcm30-639699.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/prensa/221216rentaagraria_tcm30-639699.pdf)
- [3] Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible (2021). “Cartografía de invernaderos en Almería, Granada y Málaga” (p. 8-11), Junta de Andalucía. URL: [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-11/Cartografia%20inv\\_AL\\_GR\\_MA\\_v210928%201.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-11/Cartografia%20inv_AL_GR_MA_v210928%201.pdf)
- [4] “Análisis de la campaña hortofrutícola. Campaña 2021/2022” (p. 33), Cajamar Caja Rural. URL: <https://publicacionescajamar.es/wp-content/uploads/2022/11/informe-campana-21-22.pdf>
- [5] Espinosa, A y García, F (2021) “La verdad sobre el ingrediente más tóxico de nuestra alimentación” (p. 33), Amigos de la Tierra. URL: <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2021/01/Plastivoros-Amigos-de-la-Tierra.pdf>
- [6] “Sector agrícola y ganadero”, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx>
- [7] Franquesa, T “La Ecoauditoría como instrumento de educación ambiental”, Instituto Municipal de Educación. Barcelona. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.aspx>

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
1.1 Introducción y contexto del proyecto .....	3
1.1.1 Poniente Almeriense:.....	4
1.1.2 Desperdicio de residuos: .....	5
1.1.3 Impacto del invernadero: .....	7
1.1.4 Economía sostenible:.....	7
1.2 Motivación del proyecto.....	9
1.3 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	10
<b>Capítulo 2. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>12</b>
2.1 Economía circular de los residuos .....	12
2.2 Políticas de la Unión Europea para la promoción de una agricultura sostenible.....	14
2.2.1 Políticas medioambientales.....	14
2.2.2 Políticas sociales.....	15
2.3 Gestión de los residuos agrícolas de invernadero.....	16
2.3.1 Transformación de los residuos agrícolas en energía .....	17
2.3.2 Tratamiento de los plásticos de invernadero .....	18
2.3.3 Centros de tratamiento de residuos Agrícolas en España.....	21
<b>Capítulo 3. Definición del Trabajo .....</b>	<b>22</b>
3.1 Justificación.....	22
3.1.1 Análisis de trabajos previos .....	22
3.1.2 Necesidad de reducir la huella ambiental.....	22
3.1.3 Beneficios y relevancia del proyecto.....	23
3.2 Objetivos .....	23
3.3 Metodología.....	24
<b>Capítulo 4. Sistema/Modelo Desarrollado .....</b>	<b>26</b>
4.1 Ecoauditoría.....	26
4.1.1 Análisis del escenario de partida .....	28
4.1.2 Definición del objetivo y alcance de la ecoauditoría.....	30
4.1.3 Definición de entradas del sistema.....	33

4.1.4	<i>Obtención de los datos de salida del sistema</i> .....	41
4.1.5	<i>Análisis de los Resultados</i> .....	64
4.2	Estudio del impacto medioambiental .....	73
4.2.1	<i>Inventario ambiental</i> .....	74
4.2.3	<i>Elaboración y análisis de las matrices de impacto medioambiental</i> .....	81
<b>Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros</b> .....		<b>94</b>
5.1	Conclusiones de la Ecoauditoría .....	94
5.2	Conclusiones del Estudio del Impacto Medioambiental .....	96
<b>Capítulo 6. Bibliografía</b> .....		<b>98</b>

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

### ***1.1 INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO DEL PROYECTO***

La gran cantidad de superficie dedicada a la agricultura intensiva hace que la generación de residuos sea grande. De hecho, más del 17% de los plásticos agrícolas usados en el Estado español están en Almería [5]. Estos residuos plásticos pueden llegar a provocar un desequilibrio ecológico llegando a causar un impacto en el paisaje y provocando contaminación atmosférica. Es más, el sector agrario es el segundo sector emisor de efecto invernadero, detrás del sector transporte [6]

Es por esto por lo que mitigar el impacto de los residuos generados y minimizar la huella ecológica generada por los invernaderos es fundamental para la sostenibilidad del sector agrícola.

La agricultura en constituye un sector estratégico dentro del territorio de España. Se trata de un sector con gran importancia económica, social, territorial y medioambiental. Lo corrobora el hecho de que, en el año 2022, empleó de forma directa a más de 1.324.200 personas y generó unos ingresos de más de 27.861 millones de euros [1, 2].

El sector agrícola tiene un fuerte arraigo en el territorio español. La agricultura ejerce un papel muy importante ya que se trata de una fuente de producción de alimentos de primera necesidad para las personas. Además de esto, tiene un fuerte impacto sobre otros sectores de la economía.

A pesar de la modernización del país, este sector sigue teniendo un peso importante dentro de la economía española. En términos relativos, el sector de la agricultura (y en general todo el conjunto del sector primario) ha perdido peso desde el crecimiento del sector terciario como consecuencia de la digitalización. Aun así, entre el año 2000 y el año 2020, la

producción agrícola ha pasado de generar 19.200 millones de euros a más de 27.000 millones [2].

Por otra parte, el Estado español es el segundo país en superficie agrícola dedicada a la producción de hortalizas en invernadero permanente, con 70.000 hectáreas por detrás de China [3]. Esto convierte a España en uno de los mayores productores de productos hortofrutícolas a nivel mundial. Asimismo, España es el país con más superficie de cultivo bajo plástico dentro de la Unión Europea.

### **1.1.1 PONIENTE ALMERIENSE:**

Dentro de esa gran superficie dedicada al cultivo en invernadero en toda España, más de 32.000 hectáreas se ubican en Almería [3]. Más de la mitad de la superficie dedicada a la agricultura intensiva bajo plástico está situada en la provincia de Almería. En particular, más del 65% de esta superficie está concentrada en el Poniente de Almería en las zonas de Dalías, Berja, El Ejido, Adra, Vícar y Roquetas de Mar entre otras (lo que se conoce como “Campo de Dalías”) [3].

El Poniente de Almería es conocido como uno de los principales modelos agrarios en todo el mundo, llegando a producir 3.823.359 toneladas de productos hortofrutícolas cada año [4]. La mayor parte de estas frutas y verduras son exportadas a distintos países dentro de Europa (principalmente a Alemania, Holanda y Reino Unido). Esto hace que Almería, y en especial el Poniente de Almería, sea considerado en todo el mundo como una zona referente en cuanto a la agricultura intensiva.



Imagen aérea del Campo de Dalías. Fuente: NASA

Una de las razones por las cuales hay tanta concentración de invernaderos es debido a que el Poniente almeriense es el lugar con más horas de Sol al año en Europa. Esto hace que sea el lugar perfecto para la agricultura intensiva pudiendo ser más productivos y reducir costes gracias al clima reduciendo costes de este modo.

### **1.1.2 DESPERDICIO DE RESIDUOS:**

Al igual que en las demás actividades de producción, la actividad agraria (en especial si se trata de una agricultura de carácter intensivo) genera subproductos, restos y residuos tanto en su proceso productivo como en la instalación de los invernaderos (restos de material de obra, etc.).

Aunque en el pasado estos restos eran mínimos ya que la mayor parte eran aprovechados o bien para la fabricación de abono orgánico (compost) o bien para dar de comer al ganado,

en la actualidad la producción masiva de frutas y verduras en los invernaderos del Poniente almeriense hace que se acumulen de forma incontrolada.

Por esta razón, uno de los retos principales que la actividad agrícola debe afrontar es el aprovechamiento de los residuos que resultan de las cosechas o de los procesos de transformación posteriores. La acumulación de estos residuos se ha convertido en uno de los principales problemas, particularmente preocupante en zonas donde se practica una actividad agrícola de carácter intensivo.



Residuos de invernadero. Fuente RETEMA

La actividad agrícola, además de generar residuos vegetales, produce grandes cantidades de plásticos. Los plásticos empleados para las estructuras de los característicos invernaderos tipo parral (también conocidos como tipo raspa y amagado o tipo Almería) usados en el Poniente de Almería se degradan a lo largo de la campaña debido a las altas temperaturas, a los productos químicos empleados para las plantas y a los rayos UV de la insolación.

Según datos de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía, los invernaderos de la provincia de Almería generan más de 30.000 toneladas de plásticos anuales. Estos residuos plásticos pueden llegar a provocar un

desequilibrio ecológico llegando a causar un impacto en el paisaje y provocando contaminación atmosférica.

Una gestión de estos residuos puede provocar daños irreversibles en el medio ambiente. Además de los residuos mencionados, existen otros residuos derivados de la actividad en invernaderos comerciales como pesticidas, fungicidas o insecticidas que pueden suponer un gran peligro para el ecosistema.

### **1.1.3 IMPACTO DEL INVERNADERO:**

Además de los desechos generados por los desechos, ya sean orgánicos o inorgánicos, la construcción y funcionamiento de los invernaderos también supone un impacto negativo para el medio ambiente.

Este impacto es debido al consumo intensivo de recursos naturales, como el agua de riego o los materiales de construcción. Además, durante la construcción de los mismos se generarán emisiones de dióxido de carbono y otras sustancias nocivas para el medio debido al transporte de materiales o el uso de maquinaria durante la obra.

### **1.1.4 ECONOMÍA SOSTENIBLE:**

Como puede verse, la agricultura intensiva es un origen de riesgos para el medio ambiente. Tanto su actividad como su implantación suponen un impacto negativo en la huella ecológica. Sin embargo, estos efectos pueden mitigarse mediante una correcta gestión de los residuos y una selección óptima de materiales para la construcción de invernaderos.

En su mayor parte, los subproductos generados tienen un alto valor añadido y pueden ser aprovechados. Es por esto, por lo que convertir estos recursos en una fuente de valor añadido es esencial.

A día de hoy, los residuos son concebidos como una fuente de recursos y, por esto, se considera su reutilización como una alternativa al vertedero. Con las tecnologías que se disponen, una correcta gestión de los subproductos es viable y, además, muy aconsejable ya que puede suponer una mejora en el rendimiento de las explotaciones agrarias.

Todo esto forma parte de un modelo de economía circular. Esta, a diferencia de la economía lineal que conocemos, se basa en mantener los recursos (ya sean los residuos vegetales o los plásticos agrícolas, en este caso) el mayor tiempo posible en la economía para reducir al máximo la generación de residuos [9]. Al cerrar el ciclo de vida, no solo se consigue reducir los desechos, sino que además se consigue aumentar el rendimiento de la producción.

## ***1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

La sostenibilidad consiste en el desarrollo que atiende a las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, salvaguardando el equilibrio entre una ecología responsable y el bienestar de la sociedad [10].

Actualmente, uno de los principales retos a los que se enfrenta la agricultura en España es el aprovechamiento de los residuos generados cada campaña. Estos residuos son desperdiciados en gran medida y no se les da un nuevo uso.

Una de las razones principales por las que aprovechar los residuos es necesario es por los planes de acción impulsados por la Comisión Europea. Convertir a la Unión Europea en una economía eficiente en el uso de los recursos es uno de los puntos principales a seguir [11]. Darles una segunda vida a los residuos es una de las ideas principales impulsadas por la Comisión Europea ya que, de este modo, se limitaría en gran medida el uso del vertedero y de la quema de residuos y se reducirían costes ligados a la obtención de materias primas y se reduciría la huella medioambiental. Este aprovechamiento contribuye a la sostenibilidad de la actividad agrícola.

De igual manera, una de las formas de reducir la huella ambiental y promover la sostenibilidad en el medio y largo plazo es la optimización del uso de materiales y recursos para la construcción de los invernaderos, así como la implementación de acciones y medidas para suavizar el impacto. La correcta elección de estos puede suponer una reducción de la huella medioambiental, reduciendo así el consumo energético asociado a la construcción, la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el consumo de agua.

Esta reducción del consumo de agua será de especial interés debido a que la zona de estudio será el Poniente de Almería, donde el acceso a agua es limitado debido a la sequedad de la zona.

El motivo de este estudio por tanto es el desarrollo de competencias y medidas y poner de relieve vías para disminuir esta huella ambiental y promover la sostenibilidad en el contexto de producción en invernadero.

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

Los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) tienen como objetivo promover la prosperidad y, al mismo tiempo, proteger el planeta. [12].



*Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS*

El proyecto atañe a varios objetivos de la lista tanto directamente como de manera indirecta. En cuanto a los objetivos de esta lista sobre los que tiene repercusión directa el proyecto, serán los siguientes:

- ODS 13 – Acción por el Clima: La reducción de las emisiones debido a la elección de materiales con una menor huella de carbono afectará positivamente al impacto del invernadero. Empleando los residuos provenientes de las cosechas que, de otra

manera serían tirados, ayuda a sustituir a los combustibles fósiles que tanto daño hacen al clima.

- ODS 12 – Producción y Consumo Responsables: El uso de materiales sostenibles, la correcta gestión de los residuos generados y la mitigación de la huella ambiental hacen que la producción de productos hortofrutícolas en invernadero sea responsable. Al aprovechar los residuos de las matas, se consigue que no haya desperdicios y que todo vuelva al ciclo.
- ODS 7 – Energía Asequible y no Contaminante: La biomasa no solo no es contaminante, sino que también es muy barata al provenir de los residuos agrícolas en este caso.
- ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento: La reducción del consumo de agua también juega un papel fundamental en el proyecto.

Otro de los principales objetivos que están relacionados con el proyecto es el octavo objetivo de la lista (Trabajo decente y crecimiento económico). España se encuentra en una situación de déficit en cuanto a la producción de energía, por esto el incremento del uso de este tipo de energía no solo es necesario, sino que además generaría mucho empleo.

De manera indirecta, el proyecto también está ligado a otros puntos de la agenda:

- ODS 1 – Fin de la Pobreza: Tanto la construcción del invernadero como el funcionamiento del mismo proporcionarán nuevas oportunidades de empleo para la población local.
- ODS 2 – Hambre Cero: El invernadero supone una fuente de alimentos y, por tanto, contribuye a aumentar la seguridad alimentaria y la disponibilidad de alimentos saludables y nutritivos.
- ODS 8 – Trabajo Decente y Crecimiento Económico: De la misma forma que con el objetivo primero (ODS 1).

## Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 2.1 ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS RESIDUOS

La economía circular consiste en un sistema de producción y consumo fundado en la reutilización, renovación y el reciclaje de materias primas y productos existentes para que los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible [9]. De este modo se genera un valor añadido y el ciclo de vida de los recursos se extiende.



Economía circular [9]

Esto supone reducir los desechos a un mínimo y limitar el uso de vertederos. La implementación de un modelo con estas características supone un claro avance en contraste con el modelo tradicional de “usar y tirar”. El modelo tradicional requiere mucha materia prima y energía y no es sostenible a largo plazo (menos aun teniendo en cuenta la situación actual en cuanto al precio de los recursos naturales y al incremento del precio de la energía).

Esta idea de economía circular concuerda con los objetivos de la Unión Europea para lograr transformar la agricultura en una industria más moderna y eficiente con sus recursos. El aprovechamiento de los residuos (tanto orgánicos como inorgánicos) y su vuelta al ciclo.

El sector de la agricultura, en particular la agricultura intensiva, puede alcanzar un potencial mucho mayor gracias a la transformación de los restos de cosecha en biomasa, así como la reutilización y el reciclaje de los plásticos de invernadero. Esto se ve posible gracias a los avances tecnológicos y a las investigaciones realizadas. Este conocimiento de nuevas tecnologías posibilita la valorización de las materias de forma más eficiente, empleando los subproductos de una actividad en la siguiente para así cerrar los ciclos de producción.

Tanto los flujos de residuos vegetales como los flujos de residuos plásticos pueden ser tratados para alargar la vida de estos y así tener un menor impacto tanto en la economía como en el medio ambiente. Entre las posibilidades que brinda esta economía circular, algunas de las formas en que se puede alargar la vida útil de los residuos orgánicos de invernadero son:

- Transformación de residuos vegetales en biomasa: obtención de una fuente de energía limpia a partir de los restos de las matas.
- Condensado: resultante en el secado térmico de la mata de invernadero para su almacenamiento y posterior transformación en biomasa. Se obtiene un agua con partículas disueltas que se puede emplear para abono líquido o agua de riego.
- Cenizas: generación de cenizas de alto valor añadido para empleo en fertilizantes, mejora de terrenos, etc.
- Creación de sumideros de carbono.
- Reciclaje de plásticos de invernadero.

Se trata de acogerse a sinergias entre los subproductos resultantes y las necesidades energéticas y de aprovechamiento para cerrar los ciclos de vida de los residuos.

## ***2.2 POLÍTICAS DE LA UNIÓN EUROPEA PARA LA PROMOCIÓN DE UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE***

### **2.2.1 POLÍTICAS MEDIOAMBIENTALES**

La degradación ambiental como consecuencia directa del mal uso de plaguicidas y del desecho de los residuos agrarios es una amenaza para Europa y el resto del mundo. Además de esta degradación del ecosistema, el cambio climático también preocupa a la Unión Europea, que tiene por objetivo la adopción de medidas para combatir este calentamiento global como parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que entran dentro del acuerdo de París sobre el clima [12].

El afrontar estos desafíos se sitúa en un lugar central del Pacto Verde de la Unión Europea. Con este pacto se pretenden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del medio ambiente en general. El Pacto Verde busca transformar la agricultura dentro de la UE en una economía moderna, eficiente con sus recursos y competitiva [13].

Además de reducir las emisiones y frenar el cambio climático, se ha visto durante la crisis por la pandemia de COVID-19 que los sistemas de alimentación no pueden ser resistentes si estos no son sostenibles. Los precios de las materias primas están al alza y esto hace que, muchas veces, la producción alcance precios insostenibles para el agricultor.

Por estos motivos la Unión Europea ha visto necesario rediseñar los sistemas alimentarios. El sistema actual genera casi un tercio de las emisiones a nivel mundial de gases de efecto invernadero, no permite retornos económicos razonables, genera enormes cantidades de residuos que acaban en el vertedero y consume muchos recursos naturales [14].

Seguir el camino sostenible del aprovechamiento ofrece oportunidades para todavía más personas dentro de la cadena de valor de la agricultura intensiva. La práctica de los nuevos descubrimientos (transformación de residuos orgánicos en biomasa para combustible, extracción del agua de los residuos vegetales para su vuelta al ciclo, etc.) así como las nuevas tecnologías será beneficioso para todas las partes interesadas.

Los objetivos de la Unión Europea en cuanto a agricultura se aúnan en la Estrategia «De la Granja a la Mesa». Los principales objetivos son los siguientes [14]:

- Tener un impacto ambiental neutro.
- Ayudar a mitigar el problema del cambio climático.
- Revertir la pérdida de biodiversidad.
- Generar rendimientos económicos más justos, impulsando la competitividad de la UE y promoviendo el comercio justo.



De la Granja a la Mesa. Fuente [14]

### **2.2.2 POLÍTICAS SOCIALES**

Además de estos objetivos, la UE tiene otros objetivos dentro del marco de la agricultura. Uno de estos objetivos es el conseguir que más jóvenes se dediquen a la agricultura en la Unión Europea. El envejecimiento de la población agrícola es un problema y la UE brinda ayudas y parte de sus presupuestos a animar a los más jóvenes a dedicarse a ello. Apoyar a la próxima generación de agricultores es esencial tanto para aumentar la competitividad dentro del sector como para abastecer a Europa con alimentos durante mucho más tiempo.

El aumento en las ayudas económicas y la incorporación de los avances tecnológicos en el campo pueden presentar una gran oportunidad para atraer a trabajadores jóvenes y formados que, de otra manera, no habrían decidido unirse al sector agroalimentario.

El Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) es el encargado de destinar las ayudas disponibles a los jóvenes agricultores en Europa. Estas ayudas ascenderán a 1.000 millones de euros y consisten en subvenciones, préstamos (con unos intereses muy bajos) o garantías para apoyar el desarrollo de empresas rurales o para asesoramiento [15].

Además de estas ayudas económicas y de las campañas lanzadas para impulsar la tecnificación de las explotaciones agrarias, las instituciones de la Comunidad Europea trabajan en una reforma del marco legislativo para fomentar el cambio del modelo de residuos presente, con un claro carácter lineal, hacia un modelo de economía circular.

### ***2.3 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE INVERNADERO***

La mayor parte de los desechos agrícolas se desperdician sin darles ningún uso. Esto implica, no solo un impacto visual negativo en las zonas rurales, sino también la eliminación de una gran cantidad de desechos que podrían ser utilizados. La gestión de estos recursos es todavía inadecuada. Algunas de las razones principales por las que la correcta gestión de los residuos es ineficaz son [16]:

- Se concentran en momentos específicos del año. Principalmente se generarán residuos cuando se termine la campaña. Esto implica la existencia de picos de residuos durante momentos periódicos (finales de campaña).
- Los desechos se encuentran dispersos por toda la tierra, lo que dificulta enormemente la logística para su recolección.
- Materiales muy dispares: la actividad agrícola precisa de muchos componentes, los cuales están compuestos por distintos materiales. Esta mezcla de plásticos, residuos orgánicos y de otras clases de residuos hacen complicado su tratamiento

### 2.3.1 TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS EN ENERGÍA

Una de las claves para conseguir un modelo de economía circular es la transformación de los residuos en energía. Con los avances tecnológicos actuales, es posible obtener de los restos de las matas una fuente de energía con un buen rendimiento energético.

Esta fuente de energía calorífica se obtiene a través de la compresión de los residuos vegetales secos que quedan de la recogida de las cosechas. Estos residuos vegetales comprimidos se denominan pellets y se utilizan como combustible para generar bioenergía.

La biomasa como fuente de energía tiene una serie de ventajas [17]:

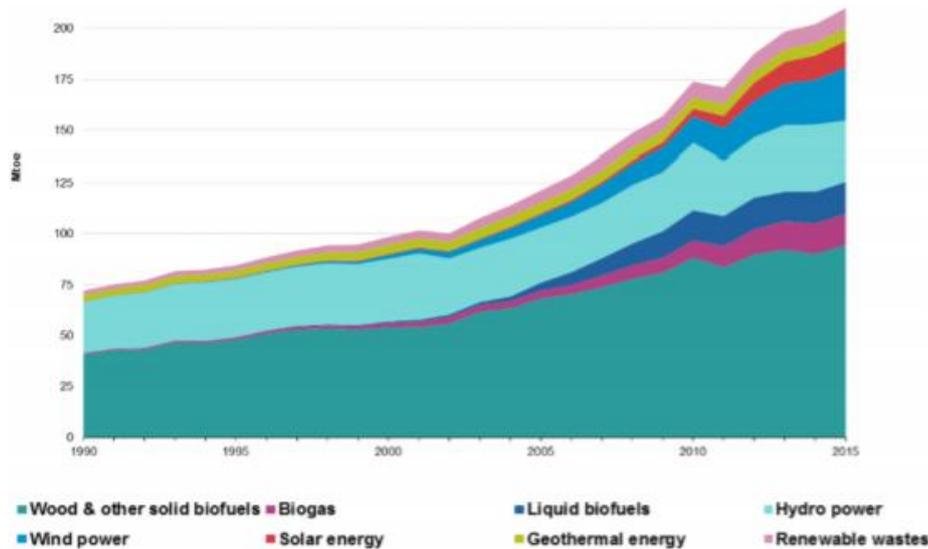
1. Se trata de un tipo de energía renovable que no depende de los fenómenos meteorológicos (viento, insolación) y con una producción de 8.000 horas/año.
2. Una planta de biomasa presenta unas emisiones de CO<sub>2</sub> 1.000 veces menor a una central térmica de carbón y 400 veces inferior a un ciclo combinado de gas.
3. Reduce la dependencia de centrales de carbón y nucleares.
4. Los pellets son un combustible de fácil manejo y transporte.
5. Tienen un coste mínimo en comparación con otros tipos de combustibles caloríficos.

El uso de biomasa es amplio a nivel global. Generalmente la biomasa se emplea para ser transformada en energía térmica (por delante de la energía eléctrica). Este tipo de energía sostenible supone el 10 % de la energía producida a nivel global [17]:

Energía eléctrica (en TWh)		Energía térmica (calor derivado en TJ)	
	Total		Total
2000	164	2000	414 081
2005	227	2005	530 237
2010	372	2010	781 020
2015	528	2015	940 492
2016	571	2016	1 053 861

*Figura. Generación de energía eléctrica a partir de biomasa. Fuente: World Bioenergy Association (2018) [17]*

En Europa en particular el uso de biomasa es muy amplio. Siempre ha sido la fuente principal de energía renovable por delante del biogás, la energía hidráulica o la eólica.



*Figura. Consumo bruto de energía renovable UE hasta 2015. Fuente: Eurostat.*

El potencial de España en cuanto a producción de energía por medio de biomasa es enorme, en parte por los residuos hortofrutícolas. Sin embargo, en España la utilización de recursos biomásicos está infrautilizada. De hecho, España se encuentra a la cola de Europa cuando se trata de aprovechamiento de recursos biomásicos [17].

Se trata por tanto de una fuente de energía limpia y de fácil acceso que puede incluso emplearse para calefactar invernaderos durante las épocas más frías para así aumentar el rendimiento de los invernaderos.

### **2.3.2 TRATAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS DE INVERNADERO**

Además de cubrir cultivos, el plástico también sirve como un excelente material para crear estructuras temporales que pueden albergar diferentes cultivos, para los sistemas de riego y para los túneles. Al mismo tiempo, el plástico también cumple un papel fundamental en la comercialización de estos productos agroalimentarios, tanto a nivel logístico como a nivel

comercial. Envases o plásticos de embalaje, entre otros, son esenciales para la logística de estos productos.

En cuanto a volumen, España es el segundo país del mundo en superficie agrícola invernada con una producción de plásticos de 42.000 toneladas al año [19]. Esto convierte a España en la mayor potencia en cuanto al uso de film agrícola (plástico para las cubiertas de los invernaderos) de Europa.

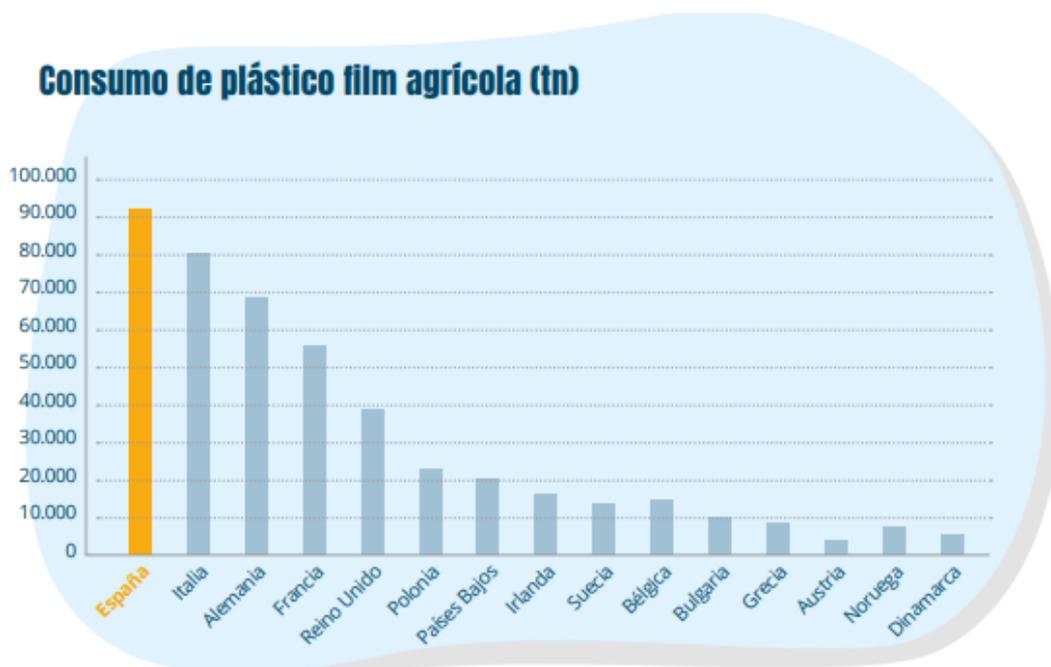


Figura: Consumo de plástico agrícola en España. Fuente: Plastívoros

Estos plásticos, por lo general, tienen una vida útil de entre tres y cuatro años. La duración de estos films depende de la calidad del plástico y de otros diversos factores como pueden ser:

- Tipo de plástico (monocapa o multicapa).
- Espesor del plástico.
- Cantidad de radiación solar que reciba.
- Productos fitosanitarios.

El uso masivo de estos plásticos, debido a la mejora en productividad que producen, hace necesario que exista un modelo de sistema para gestionar correctamente este tipo de residuos y fomentar la puesta en marcha de la economía circular.

Del conjunto total de plásticos agrícolas (films agrícolas principalmente) se generan 33.500 toneladas al año, de los que el 85% son tratados según cifras de la Junta de Andalucía [20]. Esto supone que 5.000 toneladas quedan sin ser tratadas cada año y se van acumulando. Se trata de un problema muy grave que afecta en gran medida al medio ambiente del litoral del poniente almeriense y que afecta tanto a la contaminación de aguas y tierras superficiales, a las aguas subterráneas y a la salud de la gente.

Para regular la gestión de los plásticos agrícolas, se puso en marcha el Decreto 104/2000. El objetivo que persigue este decreto es promover y mejorar la recogida, transporte y reciclaje de estos residuos. Además, se buscaba vigilar los lugares donde se depositaban [20].

En esa misma línea se constituyó MAPLA (Medio Ambiente Agricultura y Plásticos), como una asociación de productores de plástico, con el objetivo de organizar y contribuir a financiar un nuevo modelo de gestión circular de los residuos plásticos agrarios en España. Esta asociación cuenta con más de un 85% de representación de los productores y distribuidores de plásticos en España [21]. Al mismo tiempo, MAPLA cuenta con una Comisión de Representantes Agrarios (CRA) para establecer una comunicación bilateral y colaborar con los agricultores para obtener mejores resultados.

MAPLA plantea la creación de una entidad administradora que organice la gestión de los residuos de plásticos agrarios, en la que se vean representados desde los productores hasta los distribuidores y consumidores [21]. Este proyecto facilitaría la entrega de estos residuos para su correcta gestión. Muchos de estos residuos ya están siendo reciclados, pero la implantación de un modelo organizado facilitaría la gestión a todos los agentes involucrados y sería mucho más eficiente.

Con esto se lograría evitar el vertido de plásticos agrícolas y facilitar el proceso de recogida a los agricultores para su correcta gestión. Como consecuencia se incrementaría el índice de

recogida y de reciclado de plástico. Una vez recogido, se convertiría en materias plásticas con las que fabricar nuevos productos. El objetivo final sería la recuperación del 100% de los residuos de film plástico agrícola.

Los objetivos de MAPLA, además, están en línea con los objetivos de reducción de los desperdicios establecidos por la Unión Europea al ser MAPLA miembro de APE Europe (Agriculture Plastic and Environment).

### **2.3.3 CENTROS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN ESPAÑA**

Como se ha visto, los gestores de residuos en la zona de estudio no tienen capacidad suficiente de tratarlo debido principalmente a la falta de espacio y a la falta de mercado de compost.

El problema con el compost generado por los centros gestores es que este no es certificable. La presencia de rafia de polipropileno en los vegetales dificulta su tratamiento y valorización [21]. Otro grave problema asociado a la gestión de restos vegetales es la alta estacionalidad de su producción. Más del 60% de la entrada anual de estos residuos se concentra entre los meses de febrero y junio-julio [22]. Debido a esto, las gestoras no tienen la posibilidad de tratar en un breve periodo de tiempo tanto volumen de residuos.

En relación con la falta de espacio y de capacidad, también hay dificultades de logística para el transporte de las matas a los centros gestores. La elevada dispersión de los puntos de recogida hace difícil su transporte y almacenamiento.

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

### **3.1 JUSTIFICACIÓN**

#### **3.1.1 ANÁLISIS DE TRABAJOS PREVIOS**

Se realizó completa de los trabajos sobre los invernaderos y su impacto en el medio ambiente dentro de la región del Poniente de Almería. Una vez realizado este análisis de la literatura, se pudo determinar que, aunque se han realizado informes relacionados con la agricultura, existen limitaciones y oportunidades de mejora para estudiar el impacto ambiental con respecto a la construcción de los invernaderos.

Según la literatura que se ha investigado, actualmente no existen estudios comparativos que aborden el impacto ambiental considerando como factores la huella de carbono, el consumo energético, el consumo de agua y la gestión de los desechos, asociados al uso de diferentes materiales y tipologías en la construcción de invernaderos para la región del Poniente almeriense.

#### **3.1.2 NECESIDAD DE REDUCIR LA HUELLA AMBIENTAL**

La importancia de disminuir el impacto ocasionado en el medio ambiente por la construcción de invernaderos en Almería se ha puesto de manifiesto a través del análisis de los trabajos previos. El crecimiento de la industria agrícola en Almería y en otras zonas han aumentado la presión sobre el medio ambiente ya que la actividad agrícola se ha intensificado.

Por ello, la adopción de prácticas más respetuosas con el entorno es necesaria debido a la creciente concienciación dentro de la población sobre el cambio climático y la degradación del medio ambiente.

De acuerdo con las metas establecidas por la UE, reducir la huella ecológica es todavía más importante para, de este modo, cumplir con los objetivos establecidos.

### **3.1.3 BENEFICIOS Y RELEVANCIA DEL PROYECTO**

El estudio sobre la disminución del impacto ambiental de los invernaderos de Almería tiene un gran valor. La conservación de los recursos (especialmente del agua, debido a la falta de este recurso por el clima seco de la zona) y la mitigación de la huella de carbono podrían mejorarse significativamente mediante la implementación de prácticas más sostenibles y mediante el estudio del impacto en estos recursos del uso de distintos materiales y tipologías en la construcción de los invernaderos

Por ello, es importante realizar este estudio. Para así obtener una imagen completa y fundamentada que ayude a tomar decisiones informadas sobre cómo diseñar y desarrollar los invernaderos de manera que se minimice el impacto con el medio ambiente y sean más sostenibles.

Asimismo, el estudio podría servir como modelo para otras regiones con condiciones agrícolas similares como la Región de Murcia, donde la actividad agrícola intensiva está presente.

## **3.2 OBJETIVOS**

Con este trabajo, se pretenden resolver los siguientes objetivos:

- Estudio e identificación de las condiciones tecnológicas para llevar a cabo una correcta gestión de los residuos agrícolas.
- Identificar las principales tipologías de invernaderos en uso en la región del estudio y las tendencias con respecto al uso de materiales de construcción tanto para la estructura como para la cubierta del invernadero.
- Proporcionar una comparación objetiva del impacto en la huella ecológica del uso de distintas tipologías de invernadero, así como del uso de distintos materiales para la construcción de un invernadero en la zona del poniente de Almería.

- Identificar oportunidades de mejora para la reducción del impacto ambiental tanto en lo que respecta al uso de energía, como al consumo de agua y a la huella de carbono a través del uso adecuado de materiales para la obra.
- Valorar el efecto de diferentes prácticas y estrategias durante el proceso de construcción y durante la etapa de producción normal del invernadero (una vez haya finalizado la obra) para así establecer soluciones preventivas para acotar el alcance de estas acciones.
- Realizar un análisis crítico de los resultados obtenidos mediante las herramientas de la ecoauditoría y el estudio del impacto medioambiental. Agua, CO<sub>2</sub>, consumo energético...
- Establecer propuestas fundadas para la mejora de la situación actual.

### **3.3 METODOLOGÍA**

Para cualquier estudio, es importante explicar cómo se ha realizado. La metodología se sustenta en la utilización de dos herramientas: la Ecoauditoría y el Estudio del Análisis Medioambiental. Estos instrumentos permitieron realizar una valoración de los distintos aspectos ambientales asociados a la construcción del invernadero.

Las fases del estudio fueron las siguientes:

1. Definición de los objetivos del estudio

Se establecieron los objetivos concretos que se querían alcanzar en el estudio. Estos objetivos son los definidos en el apartado anterior.

2. Recogida de datos para la Ecoauditoría:

Se recopilaron datos relacionados con el análisis de la Ecoauditoría. Esto incluye las diferentes tipologías y materiales empleados para la construcción de los invernaderos,

así como datos específicos de factores de emisión, consumo de energía o consumo de agua asociados a los distintos materiales.

3. Desarrollo de la Ecoauditoría:

Se realizaron los cálculos para la estimación de la cantidad de material necesario para la estructura y la cubierta del invernadero de acuerdo con los datos recogidos y se ponderó para ajustarlo a la unidad funcional. Después de esto se calculó el impacto asociado con cada escenario (tipología y materiales utilizados).

4. Aplicación del Estudio del Impacto Medioambiental:

Se estudió el impacto de posibles medidas para la mitigación de la huella ecológica con respecto a los distintos medios (medio físico, medio perceptual, medio socioeconómico, ...).

5. Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos:

Se elaboraron conclusiones respaldadas por los resultados obtenidos para la reducción del impacto ambiental.

## **Capítulo 4. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO**

### **4.1 ECOAUDITORÍA**

Las auditorías ambientales, o ecoauditorías, son instrumentos que sirven para analizar y medir el efecto que tiene cada parte de un proceso en el medio ambiente [7]. Consiste en un método sistemático que permite identificar oportunidades de mejora para, de este modo, desarrollar estrategias que reduzcan el impacto medioambiental y fomenten la sostenibilidad.

De este modo, gracias a la ecoauditoría se puede identificar en qué parte del proceso productivo (materiales, fabricación transporte, etc.) hay un mayor gasto energético, o cuál de las partes lleva asociada una mayor huella de carbono.

Una ecoauditoría puede englobar distintos aspectos ambientales como el uso de recursos naturales (como agua y energía), la emisión de gases de efecto invernadero o la producción de desechos. Nuestro estudio se centrará en el consumo de energía, en las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera y en el consumo de agua.

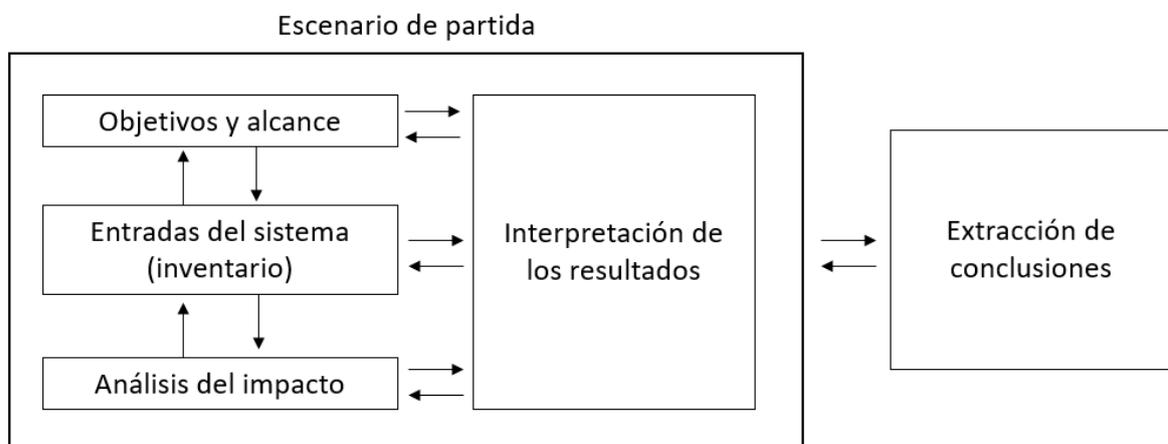
A la hora de realizar una ecoauditoría es importante resaltar que las entradas de nuestro sistema dependen de ciertos factores como los procesos de obtención de ciertos materiales o del equipamiento utilizado para la manufacturación de la materia prima.

Por tanto, la incertidumbre en una ecoauditoría es significativa, pero no se busca la precisión cuantitativa. Lo que se pretende encontrar son los puntos dónde poner el foco dentro de nuestro sistema, identificar dentro de todos los procesos distintos las áreas de mejora para reducir tanto la huella de carbono como el consumo energético y, así, establecer medidas que supongan una mejora para el medio ambiente.

La calidad del medio agrario mejorará y la cantidad de subproductos producidos a partir de la construcción del invernadero se reducirá como resultado de las medidas tomadas a partir del análisis de la ecoauditoría.

Las partes en las que se estructurará la ecoauditoría son cinco y se disponen del siguiente modo:

- I. Análisis del escenario de partida
- II. Definición del objetivo y alcance de la ecoauditoría
- III. Definición de entradas del sistema
- IV. Obtención de los datos de salida del sistema
- V. Interpretación de los resultados



Esquema del funcionamiento de la Ecoauditoría. Elaboración propia.

#### **4.1.1 ANÁLISIS DEL ESCENARIO DE PARTIDA**

El objeto sometido a estudio será un invernadero para la producción comercial localizado en El Ejido, Almería. En este se cultivarán productos hortofrutícolas como tomate o pimiento durante todo el año (el cultivo elegido es indiferente ya que no será significativo para el análisis de la ecoauditoría).



Localización geográfica de El Ejido. Fuente: Google imágenes

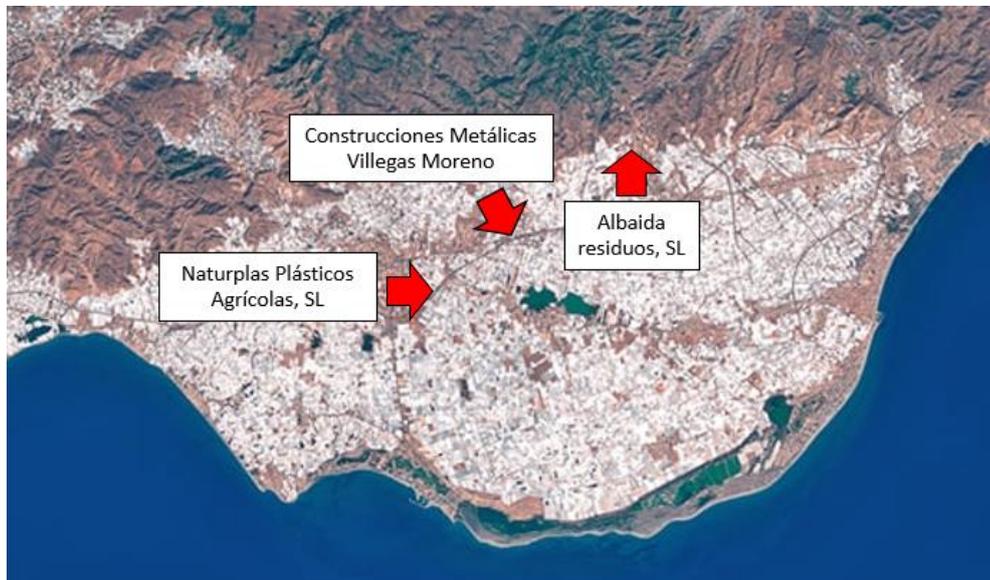
El invernadero tendrá unas dimensiones de 3.600 m<sup>2</sup>. Tendrá 60 metros de largo y 60 metros de ancho. La altura del invernadero dependerá del tipo de estructura elegida para la construcción del mismo. Más adelante, en la sección de entradas del sistema, se especificarán los tipos de estructura a analizar.

El plástico de cubierta del invernadero será monocapa y se valorará el impacto de diversos tipos de plásticos. Del mismo modo, se estudiará el impacto del uso de distintos materiales para la estructura. Al igual que con las tipologías de invernaderos a estudiar, se explicará más adelante.

Para contar con los materiales para la construcción del invernadero, se contará con los siguientes proveedores de materiales: Naturplas Plásticos Agrícolas, SL y Construcciones Metálicas Villegas Moreno, SL.

Además, para la recogida y tratamiento de los residuos tanto orgánicos como inorgánicos, se hará uso de la empresa Albaida Residuos, SL.

Fueron escogidos por encontrarse dentro de la zona de estudio. A continuación, se muestra la localización de los proveedores y de la planta de residuos:



Localización de los proveedores y del vertedero

Como se puede ver, la distancia entre los proveedores de materiales para la construcción del invernadero, la zona de estudio (área de invernaderos de El Ejido) y la empresa de gestión de residuos es reducida. Por esto, la fase de transporte de material para construcción y transporte hacia la zona de tratamiento de residuos no se tendrá en cuenta a la hora de realizar el estudio del impacto ecológico.

La vida útil del invernadero será de 15 años y se tendrá en cuenta la vida útil de los distintos materiales que componen el mismo a la hora de evaluar posibles alternativas. Esto es particularmente importante ya que se pretende reducir al máximo la generación de residuos.

#### **4.1.2 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DE LA ECOAUDITORÍA**

La finalidad de la ecoauditoría es realizar una evaluación de algunos aspectos asociados a la construcción de un invernadero en la zona del Poniente de Almería. Para abordar este proceso, se analizarán los siguientes aspectos:

- Gasto energético asociado (medido en kWh)
- Huella de carbono (medido en kg CO<sub>2</sub>/kg)
- Huella o gasto de agua
- Durabilidad y vida útil

El objetivo de este análisis es proporcionar una comparación objetiva de la sensibilidad ambiental y energética de construcción de un invernadero bajo diferentes situaciones o escenarios (distintos tipos de estructuras para estos invernaderos, distintos tipos de plásticos, etc.). Los objetivos específicos son los siguientes:

- I. Examinar y comparar los efectos ambientales de los diferentes materiales empleados para el invernadero, tomando en cuenta su ciclo de vida completo desde la extracción de las materias primas hasta su transformación y posterior reciclaje.
- II. Comparar la huella de carbono de cada material utilizado en la construcción. Esta huella de carbono se calculará para la extracción de los materiales y su transformación.
- III. Comparar el consumo energético asociado a los distintos materiales empleados. Se hará considerando tanto la energía incorporada en la obtención de la materia como la transformación y manufacturación de esta materia prima.
- IV. Comparar el consumo de agua (huella de agua) provocado por la construcción del invernadero según los distintos escenarios. Este punto es especialmente relevante por la zona de estudio ya que el acceso a fuentes de agua es limitado.

- V. Identificar áreas de mejora para reducir tanto la huella de carbono, como el consumo energético y el consumo de agua en la construcción del invernadero a través de la selección adecuada de materiales de construcción.

Para alcanzar estos objetivos, se define una unidad funcional y una frontera de estudio (el alcance del estudio):

#### ***4.1.2.1 Unidad funcional***

Según la norma ISO 14040 [23], se debe definir una unidad funcional como punto de referencia para el estudio completo. Es decir, debe estar completamente en línea con el propósito del estudio. La unidad funcional debe permitir comparar el impacto ambiental de diferentes opciones de plásticos y materiales de construcción en relación con la producción del cultivo objetivo.

Al margen de los productos hortofrutícolas que se quieran obtener, el tipo de invernadero y su estructura no varía. Esto significa que, para distintos productos (ya sea tomate, pimiento, pepino, etc.), el invernadero será el mismo.

Por tanto, la unidad funcional para evaluar el impacto del uso de distintos materiales plásticos para la cubierta del invernadero o el impacto de emplear ciertos materiales de construcción un invernadero serán **100 m<sup>2</sup> de invernadero**.

Esta es la unidad de referencia elegida para realizar los cálculos y, una vez llevado a cabo el análisis, comparar y extraer conclusiones en base a esa unidad funcional.

#### ***4.1.2.2 Frontera del estudio***

Para obtener resultados más precisos, el límite del análisis debe definirse claramente. Como ya se mencionó, la huella de carbono, el consumo de energía y el consumo de agua serán los factores principales del estudio.

El estudio tendrá en cuenta todas las fases pertinentes del ciclo de vida del invernadero, desde la extracción de los materiales hasta su gestión final (ya sean o no reciclados). Se

tendrán en cuenta los siguientes aspectos a la hora de calcular los factores: obtención de los materiales, transformación de los materiales y gestión de los residuos generados.

Con respecto a los factores del estudio (huella de carbono, energía consumida y consumo de agua), se estudiará su impacto durante las etapas de extracción de materia prima y durante la etapa de transformación de esta. Asimismo, se calculará la contribución positiva debida a la gestión de los materiales una vez terminada su vida útil.

En definitiva, el estudio de auditoría medioambiental se enfocará en evaluar el impacto del uso de distintos materiales para la construcción del invernadero en términos de huella de carbono, consumo de energía y consumo de agua. La frontera del análisis abarcará la extracción de la materia prima, su procesamiento y transformación en material para la estructura o cubierta del invernadero y la gestión de los mismos cuando la vida útil de estos termine.

Es importante destacar que este estudio se centra en el análisis del impacto ambiental de los materiales del invernadero. No se incluirán aspectos relacionados con la operación y el cultivo de plantas en el propio invernadero. Tampoco se tendrá en consideración el mantenimiento, si fuese necesario, del invernadero.

Por tanto, las etapas que se cubrirán del ciclo de vida del invernadero serán las siguientes:

- Extracción de materia prima.
- Transformación de la materia prima.
- Gestión de los residuos.

El impacto de otros materiales estructurales como el cemento. No se tendrá en cuenta ya que se supone una cimentación idéntica para los escenarios propuestos por lo que no será un factor diferencial para el análisis. Tampoco se tendrán en cuenta las mallas de invernadero ni las sujeciones y anclajes de la estructura.

Además, el gasto energético y la huella de carbono asociada al transporte no entrará en el espectro del estudio. La justificación de este enfoque se sustenta en un impacto muy

semejante en cualquiera de los escenarios propuestos ya que el recorrido para la llegada de los materiales será idéntico para todas las situaciones y, por ello, no supondrá un punto de distinción.

El impacto durante el proceso de construcción de la estructura y durante la instalación de la cubierta tampoco será una entrada del sistema. Esto incluirá la repercusión del empleo de maquinaria y equipos auxiliares durante la construcción. Se supondrá que este impacto es, del mismo modo que ocurre con el transporte, el mismo para los distintos escenarios y, por tanto, no supone un factor a tener en cuenta.

#### **4.1.3 DEFINICIÓN DE ENTRADAS DEL SISTEMA**

Como se ha explicado anteriormente, se analizarán distintos escenarios para un invernadero. Esto se hará con el objetivo de determinar en cuál el impacto es mayor. Las alternativas evaluadas en el marco de la construcción del invernadero fueron las siguientes:

- Uso de dos tipologías de invernadero
- Uso de distintos tipos de plásticos agrícolas
- Uso de distintos tipos de materiales para la estructura del invernadero
- Uso de acolchado de plástico

##### Tipos de estructuras de invernadero:

Según la conformación de los elementos estructurales, la tipología de un invernadero será de un modo u otro. La estructura de un invernadero eficaz debe tener las siguientes características [24]:

- I. Durabilidad y resistencia: Capacidad de mantener su integridad a lo largo del tiempo. La estructura debe ser lo suficientemente resistente para resistir la fuerza del viento
- II. Buena iluminación: El diseño debe permitir que la luz solar entre al invernadero de manera suficiente. Esto supone minimizar las sombras dentro del invernadero.

- III. Ventilación adecuada: Para evitar la acumulación de calor, humedad y gases, la estructura debe permitir una buena circulación de aire. Esto puede lograrse mediante la implementación de ventanas laterales y ventanas cenitales.
- IV. Cumplimiento normativo: La estructura debe cumplir con las regulaciones y normas locales relacionadas con la construcción de invernaderos [24].

Con esto, para realizar una comparativa específica y modélica de la compatibilidad ambiental de las distintas tipologías de invernaderos, se estudian dos tipologías de invernaderos: invernadero tipo Almería (o tipo raspa y amagado) e invernadero tipo capilla (o multitúnel). Estos son los tipos de invernaderos elegidos ya que se tratan de dos de los principales tipos de invernaderos en la zona de estudio.



Proporción de los tipos de invernaderos en Almería [25]

Ambos tipos, además de ser los más populares, cuentan con la posibilidad de instalar ventanas cenitales para así refrigerar el interior del invernadero. Esto es especialmente importante ya que el invernadero propuesto es de grandes dimensiones y solo con ventilación lateral no bastaría para refrigerar toda el área de cultivo.

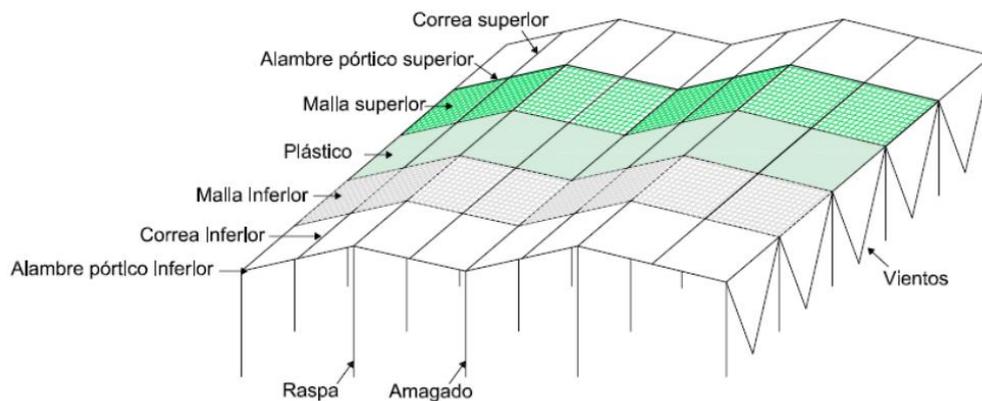
- **Invernadero tipo Raspa y Amagado:**

Dentro de la clase de invernaderos de tipo Almería, la variante más común es el invernadero tipo raspa y amagado. Los invernaderos de este subtipo suponen el 76% del total de invernaderos de la zona de estudio debido a sus prestaciones [25].

En general, esta estructura está hecha de tubos de perfil circular. Cada capilla tendrá una altura a cumbre de entre 3,5 y 4 metros. Esta diferencia de alturas es lo que se conoce como raspa (parte más elevada de la estructura) y amagado (parte más baja de la estructura). El objetivo de esta diferencia de alturas es la prevención de bolsas de agua y el aprovechamiento del agua de lluvia gracias a la circulación del agua por canales. Los laterales del invernadero tendrán una altura de 2,5 metros.

La cubierta plástica se encuentra sujeta mediante dos mallas metálicas (una malla superior y una malla inferior) para asegurar la estabilidad de esta.

A continuación, se muestra un esquema de la estructura del invernadero raspa y amagado:



Estructura de un invernadero de tipo Raspa y Amagado. Google imágenes

Las ventajas de esta estructura incluyen las siguientes:

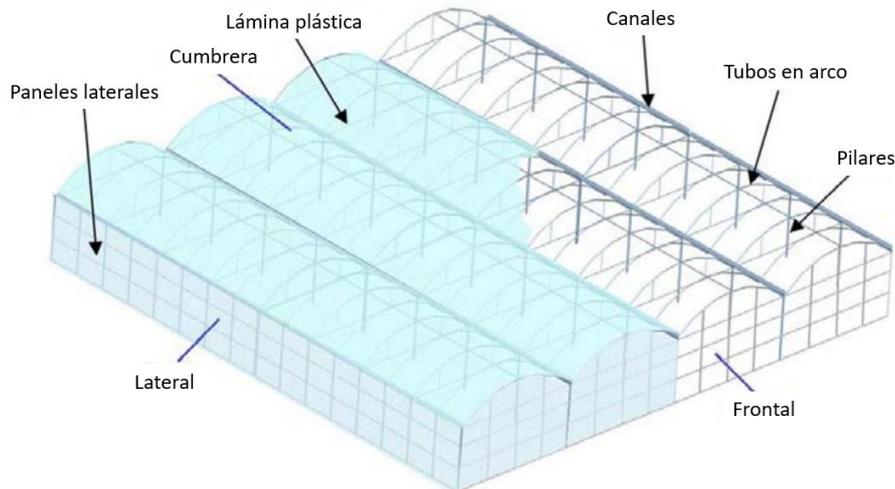
- Estructura económica: se trata del tipo de invernadero, junto con el invernadero tipo parral, más accesible.
- Buena capacidad de control del clima con la posibilidad de incluir ventilación cenital.
- Gran resistencia al viento: Debido a los perfiles tubulares inclinados a los lados del invernadero y su baja altura.
- Montaje rápido y sin soldaduras.

- **Invernadero tipo multitúnel:**

El invernadero multitúnel está menos extendido que el de tipo Almería, pero está presente en plantaciones más tecnificadas (aproximadamente un 16%) [25]. Se caracteriza por la forma de la cubierta, compuesta por arcos semicirculares.

La estructura del invernadero multitúnel es más compleja y costosa que la del invernadero tipo raspa y amagado. La bóveda del invernadero, con forma semicircular, se crea mediante el uso de arcos en la cubierta. El invernadero alcanza una altura superior al del invernadero raspa y amagado, alcanzando alturas a cumbre de entre 4,5 y 6 metros.

A continuación, se muestra un esquema de la estructura del invernadero multitúnel:



Estructura de un invernadero tipo Multitúnel

Este tipo de invernadero tiene unas mejores prestaciones que el de tipo raspa y amagado. Las principales ventajas de esta estructura son:

- La superficie de este tipo de invernadero está más libre de obstáculos y, por tanto, tiene menos sombras.

- Posibilidad de instalas ventilación frontal y cenital. La ventilación de esta tipología de invernadero es superior debido al incremento de altura con respecto al invernadero raspa y amagado.
- Al igual que con el invernadero del tipo raspa y amagado, su montaje no requiere de soldadura.

No obstante, requieren de un mayor coste de inversión. Esto se justifica con un incremento de la rentabilidad de la explotación. Además, existe la posibilidad de incorporar sistemas activos de control de la temperatura de los cultivos para las épocas más frías del año debido a la altura del invernadero.

#### Tipos de plásticos agrícolas:

Un buen material de cubierta debe presentar las siguientes características:

- Conservación de sus propiedades a lo largo de su vida útil. Esto es esencial para asegurar una producción estable durante los años que dure el plástico de cubierta.
- Transmisividad lumínica óptima. Para aprovechar la singularidad de la zona y así aprovechar las horas de luz.
- Vida útil del plástico igual o superior a los dos años. En línea con el objetivo de reducir al máximo los residuos.

Teniendo cuanta estas cualidades a cumplir, y viendo los plásticos más comunes dentro de la zona de estudio, se seleccionan tres materiales para compararlos. Estos son los siguientes:

#### - Polietileno (PE):

Se trata del plástico más popular para su empleo como cubierta [26]. Es un material resistente a los rayos UV y flexible. Este material proporciona una barrera efectiva contra malezas además de retener el agua proveniente de la evaporización y de ayudar a mantener una temperatura estable dentro del invernadero.

Los hay de baja, media y alta densidad. Para nuestro caso de estudio, se elegirá el polietileno de baja densidad (PEBD) con un espesor de 200 micras (800 galgas) [27].

Entre sus cualidades, destaca su bajo costo y alta disponibilidad, sus buenas condiciones de transmisión de la luz y aislamiento térmico (para reducir la pérdida de calor durante la noche) y su resistencia a condiciones adversas. Sin embargo, tienen la vida útil más corta de todos los materiales de cubierta a estudiar.

- Acetato de vinilo etileno (EVA):

Es un tipo de material flexible. Al igual que con el polietileno, las láminas de film de EVA tendrán un espesor de 200 micras (800 galgas).

Entre sus características está la alta transparencia de la película (lo que supone una transmisividad de la luz solar muy amplia), su buena capacidad de retención del calor (actúa como aislante térmico) y una resistencia a la intemperie excelente.

- Policarbonato (PC):

A diferencia de los otros dos, el policarbonato es un plástico rígido. Debido a esto, este tipo de material solo se estudiará para el caso del invernadero de tipo capilla. El tipo de policarbonato elegido para la estructura serán láminas de policarbonato celular de 6 mm de grosor.

La principal cualidad del policarbonato es su amplia vida útil. Además, presenta una alta resistencia mecánica, una alta transividad de la luz solar y un buen aislamiento térmico



Figura: (a) Plástico rígido (PC); (b) Plástico flexible (LDPE, EVA)

Se presenta la siguiente tabla a modo resumen de las características de cada material:

<i><b>Factor</b></i>	<b>LDPE</b>	<b>EVA</b>	<b>PC</b>
<i>Resistencia</i>	Media. Susceptible a rasgaduras y perforaciones.	Buena resistencia a la intemperie.	Altamente resistente a impactos y a la rotura.
Vida útil	3 – 4 años.	3 – 4 años.	10 – 15 años.
<i>Transmisibilidad de la luz</i>	Alta transmisibilidad.	Alta transmisibilidad. Menor en comparación al LDPE.	Menor transmisibilidad que el resto.
<i>Transmisión del calor</i>	Resistencia media a los rayos UV.	Buena resistencia a los rayos UV.	Excelente resistencia a los rayos UV.
<i>Compatibilidad con aditivos</i>	Compatible con amplia gama de aditivos.	Compatible con amplia gama de aditivos.	No requiere aditivos adicionales.
<i>Costo</i>	Opción más económica.	Más costoso que el LDPE.	Material más costoso de los tres.

Tabla: Valoración de las principales propiedades de los materiales de cubierta

#### Uso de distintos materiales estructurales:

Además de la tipología, se quiere evaluar el impacto que tendrá el empleo de distintos tipos de materiales para la estructura del invernadero. Los materiales a estudiar serán el acero galvanizado y el aluminio.

Las elecciones en cuanto a los materiales de los invernaderos se basan principalmente en factores de uso común. Otra opción para la estructura sería la madera, pero, debido a su coste de mantenimiento las estructuras de manera han pasado a un segundo plano por lo que no será estudiada.

El impacto de estos materiales se medirá en su peso por parte de la estructura del invernadero (columnas, vigas y arcos).

A modo de comparación, se presenta la siguiente tabla:

<b>Factor</b>	<b>Acero galvanizado</b>	<b>Aluminio</b>
<i>Resistencia estructural</i>	Alta resistencia y durabilidad El revestimiento de zinc proporciona protección contra corrosión	No es tan resistente como el acero galvanizado Altamente resistente a la corrosión en su estado natural
<i>Conductividad térmica</i>	Alta conductividad, lo que supone un peor control térmico	Baja conductividad, lo que ayuda a reducir la transferencia de calor (mejor control térmico)
<i>Disponibilidad</i>	Alta disponibilidad de perfiles y componentes.	La disponibilidad de perfiles y componentes de aluminio es limitada
<i>Costo</i>	Tiende a ser más económico en comparación con el aluminio.	Es más costoso que el acero galvanizado debido a su menor disponibilidad

Tabla: Valoración de las principales propiedades de los materiales estructurales

#### Uso de acolchado plástico:

Durante la fase de producción es habitual el uso de acolchado de plástico. Este se emplea para mejorar la producción de hortalizas. El acolchado cambia el modelo de flujo de calor y evaporación de agua al crear una barrera impermeable. De esta forma se generan unas mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos y se reduce el consumo de agua de riego.



Figura: Acolchado de plástico

Además de reducir el consumo de agua de riego, estos plásticos aumentan la precocidad produciéndose una germinación más rápida y actúan como barrera física frente a las malas hierbas.

El material más empleado es el polietileno por su elevada resistencia física y su precio.

#### **4.1.4 OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE SALIDA DEL SISTEMA**

Los cálculos se dividirán en las siguientes secciones con el objetivo de identificar la mejor alternativa en cuanto a la estructura y materiales elegidos:

##### **4.1.4.1 Cálculo de los materiales**

A continuación, se realizaron los siguientes cálculos para determinar la cantidad de materiales empleados para la construcción del invernadero descrito anteriormente:

###### **4.1.4.1.1 Estructura metálica:**

En función de las dimensiones de cada tipología de invernadero, se determina, de forma estimada, la cantidad de material a utilizar en el invernadero.

Para garantizar que la estructura cumple con los requisitos estructurales básicos, se considerarán los siguientes elementos para la estructura del invernadero: pilares, apoyos, refuerzos, correas y arcos.

Con esto, los cálculos serán los siguientes:

### I. Invernadero tipo Almería:

Esta estructura está compuesta por tres tipos de pilares distintos: pilares de raspa, pilares de amagado y pilares interiores (que se encuentran inclinados como muestra la imagen a continuación):

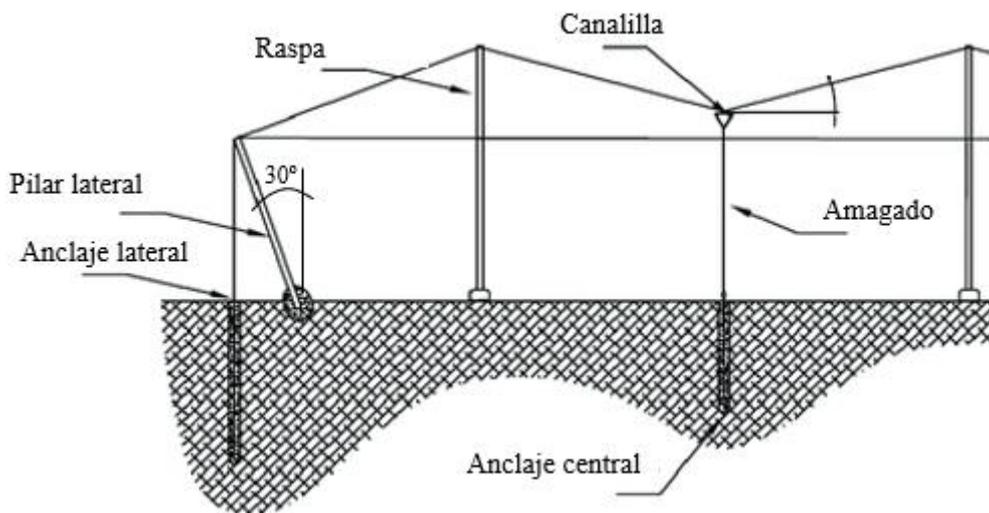


Figura: Perfil de un invernadero tipo Raspa y Amagado

La altura de los pilares interiores es de 3,5 metros para los pilares de amagado y de 4 metros para los pilares de raspa de acuerdo con la normativa [28]. La longitud de los pilares laterales, teniendo en cuenta que la altura en el lateral es de 2,5 metros y un ángulo del pilar lateral de 30° será la siguiente:

$$L_{pilar\ lateral} = \frac{2,5\ m}{\cos(30^\circ)} = 2,88\ m$$

De este modo quedaría cumplimentado el real decreto 486/97 que especifica que la altura libre en un puesto de trabajo no puede ser menor de 2,5 metros [28].

Para los pilares, se establece una separación de 4 metros para asegurar la estabilidad de la estructura. A continuación, se muestra la distribución espacial de los distintos tipos de pilares:

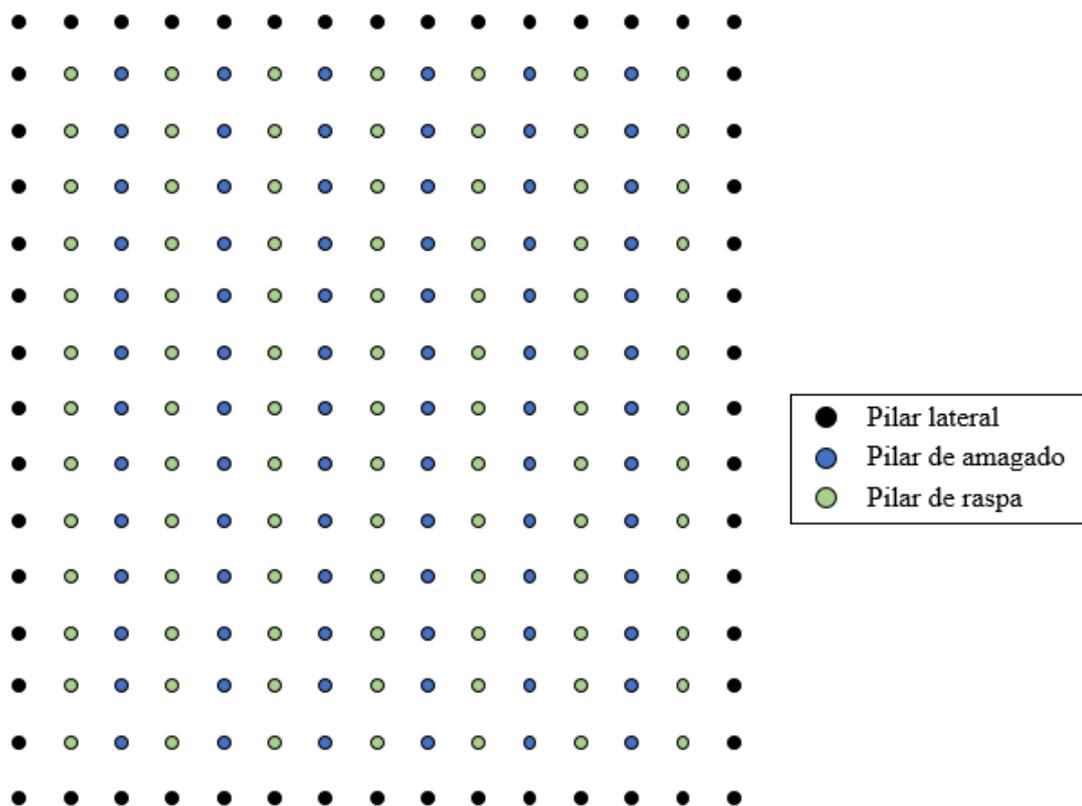


Figura: Distribución de los pilares para un invernadero tipo Raspa y Amagado

Según se muestra en la figura, los números de pilares serán:

Nº pilares laterales	60
Nº pilares de raspa	98
Nº pilares de amagado	98

Tabla: Número de pilares en el invernadero tipo Raspa y Amagado

Al estar la estructura compuesta íntegramente por tubos metálicos de perfil circular, se puede determinar el peso aproximado de la estructura a partir de los metros lineales de tubo:

$$M. \text{lineales} = N_{p.laterales}^o * L_{p.laterales} + N_{p.raspa}^o * L_{p.raspa} + N_{p.amagado}^o * L_{p.amagado}$$

$$M. \text{lineales} = 60 * 2,88 + 98 * 4 + 98 * 3,5 = 908,21 \text{ m}$$

Conocidos los metros lineales, se calcula el peso de la estructura para los dos materiales objeto de estudio. Para ambos materiales se han escogido perfiles de 76 mm de diámetro y 3 mm de espesor.

- Acero galvanizado:

El perfil de acero galvanizado tiene una masa lineal de 5,4 kg por metro lineal.

$$\text{Peso estructura acero galvanizado} = M. \text{lineales} * 5,4 = \mathbf{4904,31 \text{ kg}}$$

- Aluminio:

El perfil de aluminio tiene una masa lineal de 1,967 kg por metro lineal.

$$\text{Peso estructura aluminio} = M. \text{lineales} * 1,967 = \mathbf{1786,44 \text{ kg}}$$

## II. Invernadero multitúnel:

La estructura de los invernaderos multitúnel está compuesta por pilares y arcos metálicos. Los pilares tendrán una altura de 4,5 metros.

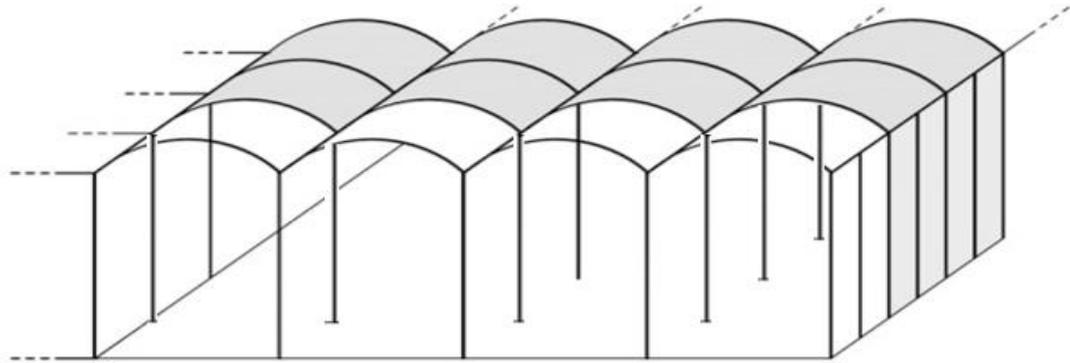


Figura: Estructura de pilares y arcos de un invernadero Multitúnel

Para este caso, se establece una separación de 6 metros entre pilares. Para los arcos que forman parte de la estructura, se supondrá una longitud para estos de 6,5 metros. Con esto, se calculan los metros lineales de tubos circulares de la estructura:

$$M. \text{ lineales} = N^{\circ}_{\text{pilares}} * L_{\text{pilares}} + N^{\circ}_{\text{arcos}} * L_{\text{arcos}}$$

$$M. \text{ lineales} = (11 * 11) * 4,5 + (10 * 10) * 6,5 = 1194,5 \text{ m}$$

A continuación, se calcula el peso de la estructura para los dos materiales objeto de estudio. Los perfiles elegidos para la estructura son los mismos que para el caso anterior (76 mm de diámetro y 3 mm de espesor).

- Acero galvanizado:

$$\text{Peso estructura acero galvanizado} = M. \text{ lineales} * 5,4 = \mathbf{6450,3 \text{ kg}}$$

- Aluminio:

$$\text{Peso estructura aluminio} = M. \text{ lineales} * 1,967 = \mathbf{2349,58 \text{ kg}}$$

#### 4.1.4.1.2 Materiales de cubierta (plásticos):

Como se indicó previamente en el punto de entradas al sistema el grosor de plástico elegido será de 200 micras (o 800 galgas) para el polietileno de baja densidad (PEBD) y el acetato de etileno (EVA) y de 6 mm para el policarbonato.

Calculando la superficie de plástico para los dos tipos de invernaderos, se podrá obtener el peso total de los diferentes tipos de plásticos:

##### I. Invernadero tipo Almería:

- Superficie de plástico:

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

$$A_{film} = h_{lateral} * Perímetro + A_{techo}$$

$$A_{film} = 4 * 2,5 * 60 + (60 * 60) = 4200 m^2$$

- Volumen de plástico:

$$V_{plástico} = A_{film} * Espesor_{film}$$

$$V_{plástico} = 4200 * 200 * 10^{-6} = 0,84 m^3$$

- Masa de plástico:

La masa de plástico dependerá del material usado.

- Polietileno de baja densidad (PEBD):

$$\rho_{PEBD} = 0,92 g/cm^3$$

$$m_{PEBD} = V_{plástico} * \rho_{PEBD}$$

$$m_{PEBD} = 0,84 * 10^3 * 0,92 = 772,8 kg PEBD$$

- Acetato de vinilo etileno (EVA):

$$\rho_{EVA} = 0,95 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{PEBD} = V_{plástico} * \rho_{PEBD}$$

$$m_{EVA} = 0,84 * 10^3 * 0,95 = 798 \text{ kg EVA}$$

## II. Invernadero tipo multitúnel:

- Superficie de plástico:

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

$$A_{film} = h_{lateral} * Perímetro + A_{techo}$$

$$A_{film} = 4,5 * 4 * 60 + (60 * 60) = 4680 \text{ m}^2$$

- Volumen de plástico:
  - Plásticos flexibles (PEBD y EVA):

$$V_{PEBD/EVA} = A_{film} * Espesor_{film}$$

$$V_{PEBD/EVA} = 4680 * 200 * 10^{-6} = 0,936 \text{ m}^3$$

- Plástico rígido (PC):

$$V_{PC} = A_{film} * Espesor_{PC}$$

$$V_{PC} = 4680 * 6 * 10^{-3} = 28,08 \text{ m}^3$$

- Masa de plástico:

La masa de plástico dependerá del material usado.

- Polietileno de baja densidad (PEBD):

$$\rho_{PEBD} = 0,92 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{PEBD} = V_{PEBD/EVA} * \rho_{PEBD}$$

$$m_{PEBD} = 0,936 * 10^3 * 0,92 = 861,1 \text{ kg PEBD}$$

- Acetato de vinilo etileno (EVA):

$$\rho_{EVA} = 0,95 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{EVA} = V_{PEBD/EVA} * \rho_{EVA}$$

$$m_{EVA} = 0,936 * 10^3 * 0,95 = 889,2 \text{ kg EVA}$$

- Policarbonato (PC):

$$\rho_{PC} = 1,2 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{PC} = V_{PC} * \rho_{PC}$$

$$m_{PC} = 28,08 * 10^3 * 1,2 = 33696 \text{ kg PC}$$

#### 4.1.4.1.3 Acolchado de plástico

El material empleado será polietileno de baja densidad (PEBD) con un grosor de 50 micras (200 galgas) [29]. El área ocupada por el acolchado dependerá en gran medida del cultivo del invernadero. Para nuestro caso, se supondrá que el acolchado ocupa un 50% del área del invernadero.

Con esto, se calcula la cantidad de plástico para el acolchado:

- Superficie de plástico:

$$A_{acolchado} = 0,5 * A_{invernadero}$$

$$A_{film} = 0,5 * 3600 = 1800 \text{ m}^2$$

- Volumen de plástico:

$$V_{acolchado} = A_{acolchado} * \text{Espesor}_{acolchado}$$

$$V_{acolchado} = 1800 * 50 * 10^{-6} = 0,09 \text{ m}^3$$

- Masa de plástico:

$$\rho_{PEBD} = 0,92 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{acolchado} = V_{acolchado} * \rho_{PEBD}$$

$$m_{acolchado} = 0,84 * 10^3 * 0,92 = 82,8 \text{ kg PEBD}$$

#### ***4.1.4.2 Cálculo de la energía y emisiones equivalentes***

Una vez calculadas las cantidades de materia que se necesitan para los distintos escenarios, calculamos la energía equivalente, las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes y el consumo de agua. Esto se hará a partir de los datos tabulados encontrados en GrantaPack [30]. Todos los cálculos para la ecoauditoría se obtendrán a partir de su base de datos.

Para calcular el impacto total, se calculará el gasto de energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la huella de agua durante el proceso de obtención de la materia prima y durante el proceso de transformación de esta. Por último, se calculará la energía recuperada y las emisiones evitadas debidas al reciclaje de estos materiales.

Los datos tabulados para los distintos materiales están comprendidos entre un rango de valores- Esto se debe a que la energía equivalente, las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes y el

consumo de agua dependerán en gran medida de los procesos utilizados. Para nuestro cálculo, se utilizó un enfoque conservador para, de este modo, minimizar el riesgo de sobreestimar cualquier resultado o conclusión.

Además, las entradas de los materiales para los cálculos se harán en base a la unidad funcional (100 m<sup>2</sup>) de invernadero. Por tanto, la masa para las operaciones se calculará del siguiente modo:

$$Masa\ materiales = \frac{Masa\ total}{Área\ invernadero} * 100$$

Por otro lado, para analizar el impacto real de uso de los distintos materiales, es importante tener en cuenta la vida útil de estos materiales. A diferencia de lo que pasa con los materiales estructurales, los materiales para la cubierta presentan vidas útiles muy dispares, por lo que se tendrá que poner en valor.

Para que la vida útil de los plásticos se vea reflejada en los resultados, la cantidad de material estará ponderada para un tiempo de uso de 15 años (vida del invernadero de manera estimada) para así poder representar de manera más fiel el impacto de cada material. Esta ponderación tan solo afectará a los materiales de cubierta puesto que los materiales estructurales tienen una vida útil superior a estos 15 años de vida del invernadero.

Para esta ponderación, se establecen las siguientes vidas útiles para los distintos plásticos:

- Polietileno: 3 años de vida útil.
- EVA: 3 años de vida útil.
- PC: >15 años de vida útil.

De este modo, se considerará el total de materiales necesario para cubrir la demanda del invernadero en el periodo de 15 años del estudio.

#### 4.1.4.2.1 Materiales

A continuación, se muestran los factores de emisión, la energía equivalente y consumo de agua en la producción de materia prima para los distintos materiales a emplear durante la construcción. Estos factores serán la base del cálculo para la ecoauditoría.

Materiales estructurales:

Material	Energía equivalente	Factor de Emisión CO <sub>2</sub> eq	Consumo de agua
Acero galvanizado	29,3 MJ/kg	2,21 CO <sub>2</sub> eq/kg	44 l/kg
Aluminio	183 MJ/kg	11,8 CO <sub>2</sub> eq/kg	1000 l/kg

Tabla: Energía equivalente, factor de emisión y consumo de agua para los materiales estructurales

Materiales plásticos:

Material	Energía equivalente	Factor de Emisión CO <sub>2</sub> eq	Consumo de agua
PEBD	76,1 MJ/kg	1,77 kg CO <sub>2</sub> eq/kg	55,3 l/kg
EVA	75,1 MJ/kg	2,01 kg CO <sub>2</sub> eq/kg	2,66 l/kg
PC	100 MJ/kg	4,53 kg CO <sub>2</sub> eq/kg	165 l/kg

Tabla: Energía equivalente, factor de emisión y consumo de agua para los materiales de cubierta

A partir de estos factores, los cálculos serán los siguientes:

$$\text{Energía} = \text{Cantidad material} * \text{Energía equivalente}$$

$$CO_2 \text{ generado} = \text{Cantidad material} * \text{Factor de Emisión } (CO_2eq)$$

2) Invernadero tipo Rapa y Amagado:

- Material estructura:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq	Consumo de agua
Acero galvanizado	136,23	3.991,56 MJ	301,07 kg CO <sub>2</sub>	5.994,16 l
Aluminio	49,62	9.081,07 MJ	585,55 kg CO <sub>2</sub>	49.623,33 l

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales estructurales en invernadero Raspa y Amagado

- Material de cubierta:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq	Consumo de agua
PEBD	107,33	8168,07 MJ	189,98 kg CO <sub>2</sub>	5935,53 l
EVA	110,83	8323,58 MJ	222,775 kg CO <sub>2</sub>	294,82 l

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales de cubierta en invernadero Raspa y Amagado

3) Invernadero tipo multitúnel:

- Material estructura:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq	Consumo de agua
Acero galvanizado	179,18	5.249,83 MJ	395,97 kg CO <sub>2</sub>	7.883,7 l
Aluminio	65,23	11.944 MJ	770,14 kg CO <sub>2</sub>	65.266,11 l

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales estructurales en invernadero Multitúnel

- Material cubierta:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq	Consumo de agua
PEBD	119,59	9.101,34 MJ	211,68 kg CO <sub>2</sub>	6.613,72 l
EVA	123,5	9.274,85 MJ	248,23 kg CO <sub>2</sub>	328,51 l
PC	936	93.600 MJ	4.240 kg CO <sub>2</sub>	154.440 l

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales de cubierta en invernadero Multitúnel

#### 4.1.4.2.2 Transformación

Una vez producida la materia prima, esta será transformada para obtener el product final deseado. Para la fase de transformación de la materia prima, no se tendrá en cuenta el consumo de agua.

- Materiales estructurales:

Los materiales estructurales se verán sometidos a una serie de procesos de extrusión, laminado y mecanizado final para la obtención de los perfiles tubulares que conformarán la estructura. Estos tendrán el siguiente impacto:

Material	Energía equivalente	Factor de Emisión CO <sub>2</sub> eq
Acero galvanizado	11,1 MJ/kg	0,832 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
Aluminio	10,9 MJ/kg	0,667 kg CO <sub>2</sub> eq/kg

Tabla: Impacto de la transformación de los materiales estructurales

- Materiales plásticos:

En el caso de los materiales plásticos, se someterán a un proceso de extrusión para la obtención del film para la cubierta. Estos tendrán el siguiente impacto:

Material	Energía equivalente	Factor de Emisión CO <sub>2</sub> eq
<b>PEBD</b>	5,9 MJ/kg	0,442 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
<b>EVA</b>	5,83 MJ/kg	0,466 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
<b>PC</b>	5,78 MJ/kg	0,434 kg CO <sub>2</sub> eq/kg

Tabla: Impacto de la transformación de los materiales plásticos

A partir de estos factores, los cálculos serán los siguientes:

$$Energía = Cantidad\ material * Energía\ equivalente$$

$$CO_2\ generado = Cantidad\ material * Factor\ de\ Emisión\ (CO_2eq)$$

1) Invernadero tipo Almería:

- Material estructura:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq
Acero galvanizado	136,23	1.512,16 MJ	113,34 kg CO <sub>2</sub>
Aluminio	49,62	540,89 MJ	33,10 kg CO <sub>2</sub>

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales estructurales en invernadero Raspa y Amagado

- Material cubierta:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq
PEBD	107,33	633,27 MJ	47,44 kg CO <sub>2</sub>
EVA	110,83	646,15 MJ	51,65 kg CO <sub>2</sub>

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales de cubierta en invernadero Raspa y Amagado

2) Invernadero tipo multitúnel:

- Material estructura:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq
Acero galvanizado	179,18	1.988,84 MJ	149,07 kg CO <sub>2</sub>
Aluminio	65,23	711,4 MJ	43,53 kg CO <sub>2</sub>

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales estructurales en invernadero Multitúnel

- Material cubierta:

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq
PEBD	119,59	705,62 MJ	52,86 kg CO <sub>2</sub>
EVA	123,5	720 MJ	57,55 kg CO <sub>2</sub>
PC	936	5.410,08 MJ	406,22 kg CO <sub>2</sub>

Tabla: Impacto del uso de distintos materiales de cubierta en invernadero Multitúnel

#### 4.1.4.2.3 Gestión de residuos

Una vez transcurrida la vida útil de los materiales, estos serán llevados al gestor de residuos. Para esta fase de reciclado. Se supondrá despreciable el 56ecycla de agua.

A continuación se muestra la fracción 56ecyclable en el suministro habitual para cada material:

	RESIDUO	% RECICLABLE
Materiales estructurales	Acero galvanizado	40%
	Aluminio	41%
Materiales de cubierta	Polietileno (PE)	8,2%
	Etilvinilacetato (EVA)	0,1%
	Policarbonato (PC)	0,67%

Tasa de reciclabilidad de los distintos residuos

El proceso de reciclaje supone también un consumo de energía y unas emisiones de CO<sub>2</sub>. Estas son las siguientes:

- Materiales estructurales:

<b>Material</b>	<b>Energía equivalente</b>	<b>Factor de Emisión CO<sub>2</sub> eq</b>
Acero galvanizado	7,71 MJ/kg	0,606 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
Aluminio	31,7 MJ/kg	2,48 kg CO <sub>2</sub> eq/kg

- Materiales plásticos:

<b>Material</b>	<b>Energía equivalente</b>	<b>Factor de Emisión CO<sub>2</sub> eq</b>
PE	25,4 MJ/kg	0,898 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
EVA	25,5 MJ/kg	0,682 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
PC	35 MJ/kg	2,32 kg CO <sub>2</sub> eq/kg

En el caso de que los plásticos no sean reciclables, estos podrán ser llevados a un vertedero o bien podrán ser quemados para la obtención de energía. El aporte energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la combustión de los plásticos es la siguiente:

<b>Material</b>	<b>Calor neto combustión</b>	<b>Factor de Emisión CO<sub>2</sub> eq</b>
PE	44 MJ/kg	3,06 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
EVA	39,2 MJ/kg	2,82 kg CO <sub>2</sub> eq/kg
PC	30,3 MJ/kg	2,7 kg CO <sub>2</sub> eq/kg

A partir de estos factores, los cálculos serán los siguientes:

- Material estructural:
  - Material para reciclaje:

$$\text{Masa material reciclado} = \text{Masa total} * \% \text{masa reciclable}$$

$$\text{Energía consumida} = \text{Masa material reciclado} * \text{Energía equivalente}$$

$$\text{CO}_2 \text{ generado} = \text{Masa material reciclado} * \text{Factor de Emisión (CO}_2\text{eq)}$$

- Energía, emisiones y agua evitadas en la producción primaria:

$$\text{Energía evitada} = \text{Masa material reciclado} * \text{Energía equivalente}$$

$$\text{CO}_2 \text{ evitado} = \text{Masa material reciclado} * \text{Factor de Emisión (CO}_2\text{eq)}$$

- Total del proceso de reciclaje:

$$\text{Energía recuperada} = \text{Energía evitada} - \text{Energía consumida}$$

$$**Emisión CO<sub>2</sub> recuperado** = CO<sub>2</sub> evitado – CO<sub>2</sub> generado$$

- Material de cubierta:
  - Plástico para reciclaje:

$$*Masa plástico reciclado = Masa total * %masa reciclable*$$

$$*Energía consumida = Masa plástico reciclado * Energía equivalente*$$

$$*CO<sub>2</sub> generado = Masa plástico reciclado * Factor de Emisión (CO<sub>2</sub>eq)*$$

- Energía, emisiones y agua evitadas en la producción primaria:

$$*Energía evitada = Masa plástico * Energía equivalente*$$

$$*CO<sub>2</sub> evitado = Masa plástico reciclado * Factor de Emisión (CO<sub>2</sub>eq)*$$

Siendo:

$$*Energía equivalente = E. Obtención + E. Transformación*$$

$$*Factor de Emisión (CO<sub>2</sub>eq) = F. Emisión. Obtención + F. Emisión, Transformación*$$

- Total del proceso de reciclaje:

$$**Energía recuperada** = Energía evitada – Energía consumida$$

$$**Emisión CO<sub>2</sub> recuperado** = CO<sub>2</sub> evitado – CO<sub>2</sub> generado$$

- Combustión de plásticos:

$$*Masa plástico no reciclado = Masa total * %masa no reciclable*$$

*Energía recuperada comb = Masa material no reciclado \* Calor neto comb*

*CO<sub>2</sub> generado = Masa plástico no reciclado \* Factor de Emisión (CO<sub>2</sub>eq)*

- Invernadero tipo Almería:

- Material estructura:

Material	Material reciclado	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> recuperado	Agua recuperada
Acero galvanizado	54,49 kg	-1.176,49 MJ	-87,41 kg CO <sub>2</sub>	2.397,66 l
Aluminio	20,34 kg	-3.078,28 MJ	-189,62 kg CO <sub>2</sub>	20.345,57 l

- Material de cubierta:

Plástico reciclado:

Material	Material reciclado	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> recuperado	Agua recuperada
PEBD	8,8 kg	-446,23 MJ	-7,67 kg CO <sub>2</sub>	486,71 l
EVA	0,11 kg	-2,83 MJ	-0,15 kg CO <sub>2</sub>	0,29 l

Plástico combustión:

Material	Material combustión	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> generado
PEBD	91,52 kg	-4.335,41 MJ	301,51 kg CO <sub>2</sub>
EVA	110,72 kg	-4.340,32 MJ	312,24 kg CO <sub>2</sub>

- Invernadero tipo multitúnel:
  - Material estructura:

Material	Material reciclado	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> recuperado	Agua recuperada
Acero galvanizado	71,67 kg	-1.547,35 MJ	-114,96 kg CO <sub>2</sub>	3.153,48 l
Aluminio	26,76 kg	-4.048,65 MJ	-249,39 kg CO <sub>2</sub>	26.749,1 l

- Material cubierta:

Plástico reciclado:

Material	Material reciclado	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> recuperado	Agua recuperada
PEBD	9,81 kg	-737,5 MJ	-8,55 kg CO <sub>2</sub>	542,32 l
EVA	0,12 kg	-0,25 MJ	-0,16 kg CO <sub>2</sub>	0,33 l
PC	6,29 kg	-614,40 MJ	-13,90 kg CO <sub>2</sub>	1.037,84 l

Tabla X:

Plástico combustión:

Material	Material reciclado	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> generado
PEBD	109,79 kg	-4.830,77 MJ	335,95 kg CO <sub>2</sub>
EVA	123,38 kg	-4.836,36 MJ	347,92 kg CO <sub>2</sub>
PC	929,71 kg	-28,170,21 MJ	2.510,22 kg CO <sub>2</sub>

#### 4.1.4.2.4 Impacto del acolchado de plástico

El impacto que tendrá el acolchado de plástico para un área de uso de 100 m<sup>2</sup> es el siguiente:

- Materiales + transformación

Material	Cantidad (kg)	Energía equivalente	Emisión CO <sub>2</sub> eq	Consumo de agua
PEBD	2,30	188,6 MJ	5,09 kg CO <sub>2</sub>	127,19 l

- Gestión del residuo:

Plástico reciclado:

Material	Material reciclado	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> recuperado	Agua recuperada
PEBD	0,19 kg	- 9,56 MJ	- 0,16 kg CO <sub>2</sub>	10,42 l

Plástico combustión:

Material	Material combustión	Energía recuperada	CO <sub>2</sub> generado
PEBD	2,11 kg	-92,9 MJ	6,46 kg CO <sub>2</sub>

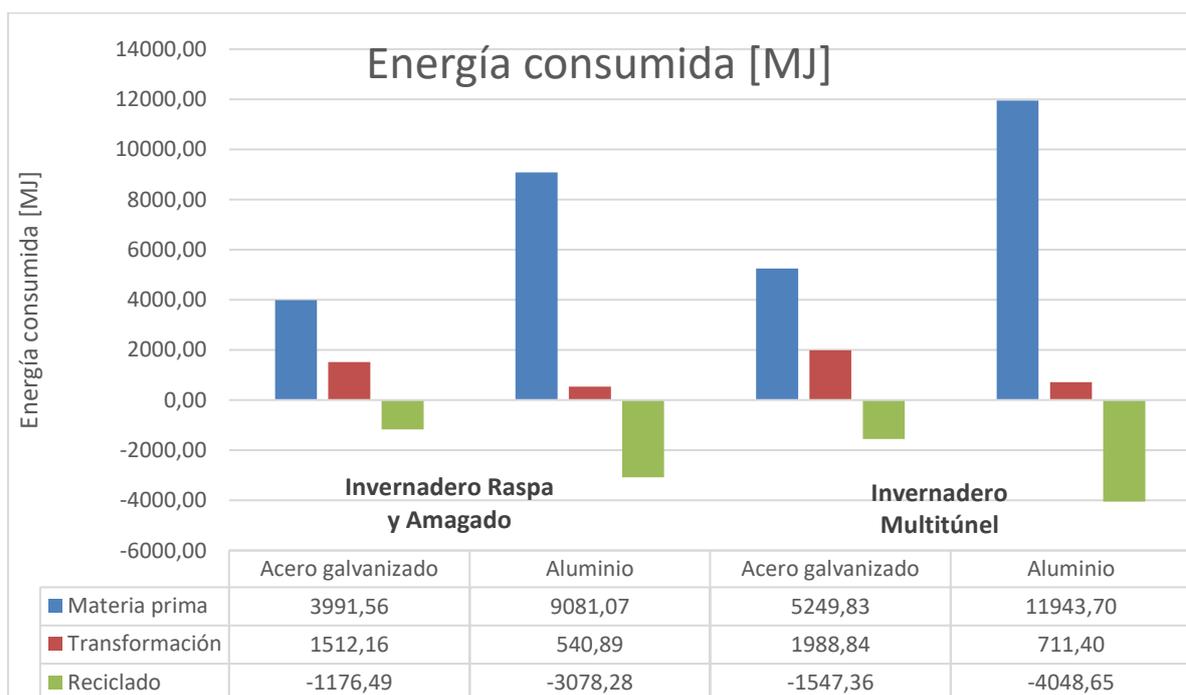
#### 4.1.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados de los cálculos de la energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y agua consumida equivalentes para 100 m<sup>2</sup> de invernadero, en este apartado se presentan los resultados.

Para analizar los resultados obtenidos en primer lugar se estudiarán los impactos individualmente (consumo de energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y huella de agua)

##### 4.1.5.1 Consumo de energía

Primero, se muestra el impacto de la elección entre los distintos tipos de estructuras (tipología y material) en el consumo energético:



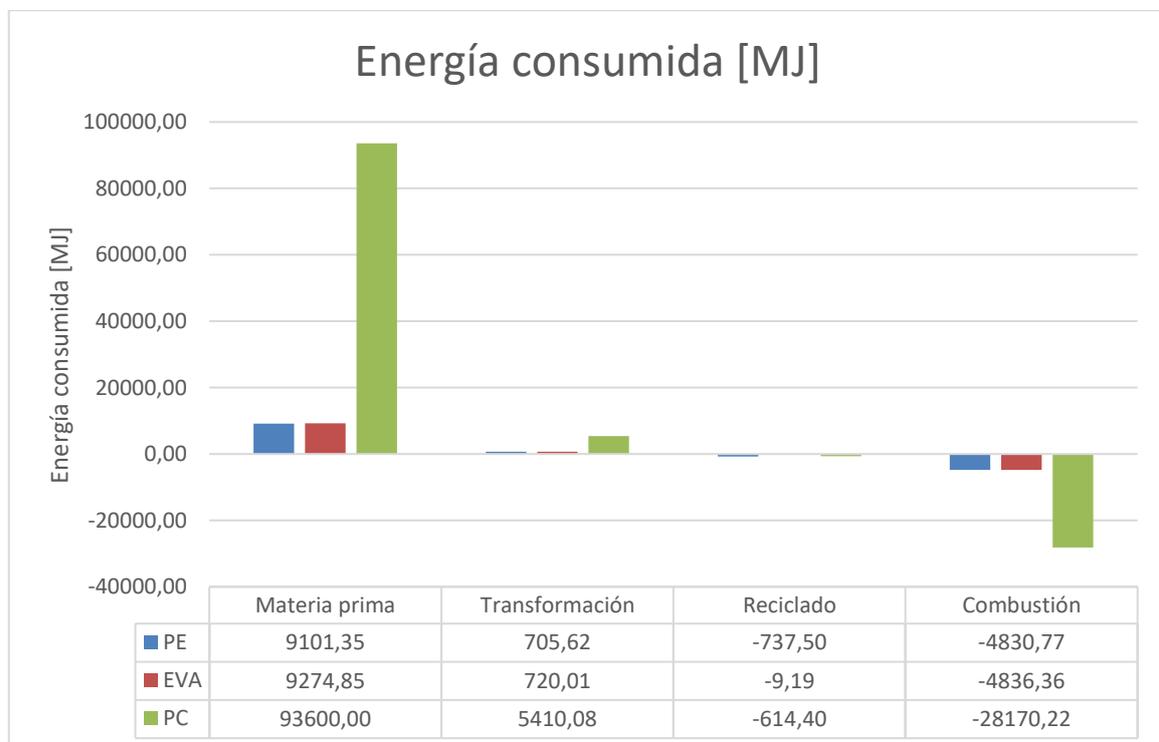
#### Energía consumida en función de la tipología y el material estructural

A primera vista puede verse como el tipo de invernadero afecta en gran medida el consumo energético, siendo el invernadero multitúnel más costoso. Esto se debe a que el invernadero tipo multitúnel tienen un peso mayor al invernadero del tipo raspa y amagado (31,52% mayor).

También puede observarse que el mayor gasto energético ocurre en la fase de obtención de la materia prima. Este consumo energético en la fase de obtención de la materia prima para invernaderos de aluminio es 16,8 veces superior que la energía necesaria para la transformación del aluminio. En cambio, el consumo energético se encuentra más repartido en el caso de las estructuras de acero galvanizado siendo el consumo en la obtención de materia prima 2,64 veces superior.

Por último, en lo que se refiere al material reciclado, su recuperación supone un ahorro de energía alto. Este ahorro se debe principalmente a la energía evitada de la producción de este material de nuevo.

En cuanto al gasto energético debido a los materiales de cubierta, se muestran los resultados para el invernadero de tipo multitúnel (los gastos energéticos para el invernadero tipo raspa y amagado son proporcionales):



Energía consumida en función del material de cubierta

De entrada, el consumo energético en el caso del empleo de policarbonato como material para la cubierta es muy superior al consumo en los otros escenarios. El motivo de esto es la cantidad de material empleado para fabricar las cubiertas de policarbonato celulares. Estas, como se explicó anteriormente, tienen un grosor de 6 mm (6.000 micras) mientras que en el caso de las cubiertas de polietileno de baja densidad y de el EVA tienen un grosor de 200 micras.

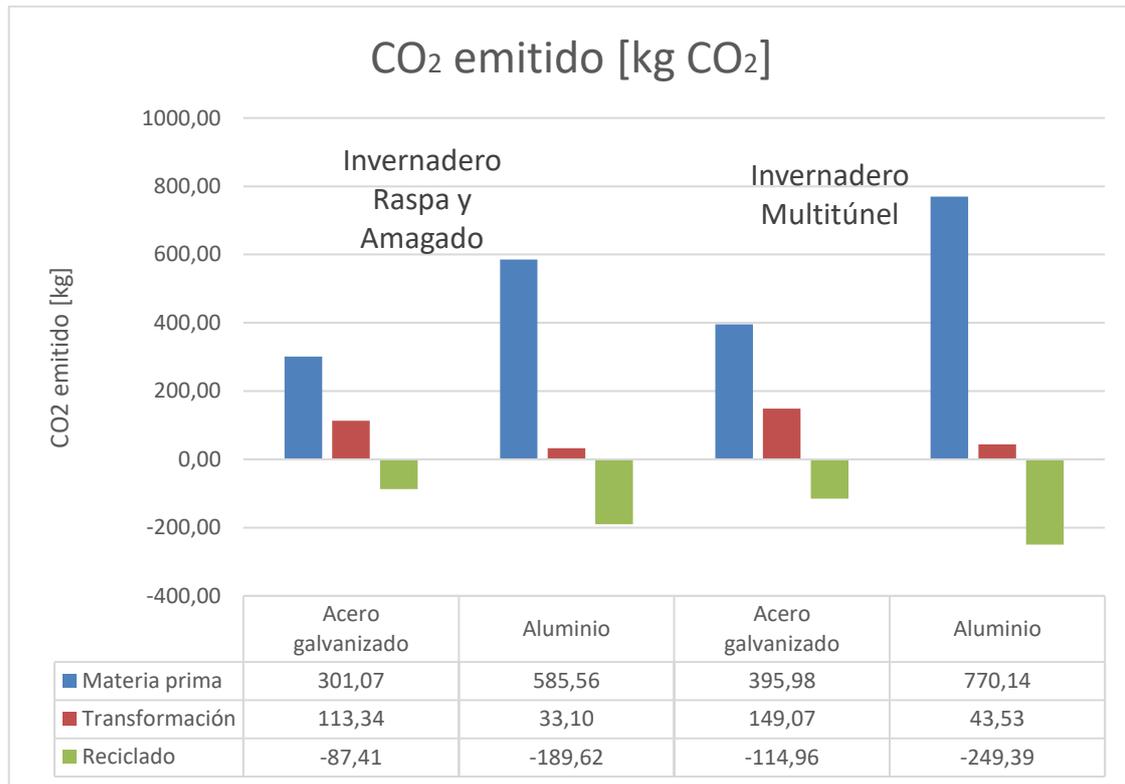
Tanto el polietileno de baja densidad como el acetato de vinilo etileno tienen gastos energéticos muy parecidos a lo largo de su ciclo de vida.

Asimismo, la transformación y el reciclado de los tres materiales tiene muy poco peso dentro del global del consumo energético. La energía recuperada mediante el reciclaje es escasa debido a los bajos porcentajes de materiales reciclables.

Esta baja proporción de materiales reciclables hace atractiva la posibilidad de la quema del plástico en lugar del uso del vertedero. De este modo se recupera la energía que no se obtiene de forma indirecta mediante el reciclaje. Sin embargo, como se mostrará más adelante, esta combustión tendrá un impacto muy perjudicial debido a la emisión de CO<sub>2</sub>.

#### 4.1.5.2 Emisiones de CO<sub>2</sub>

En primer lugar, se muestra el impacto de la elección entre los distintos tipos de estructuras:



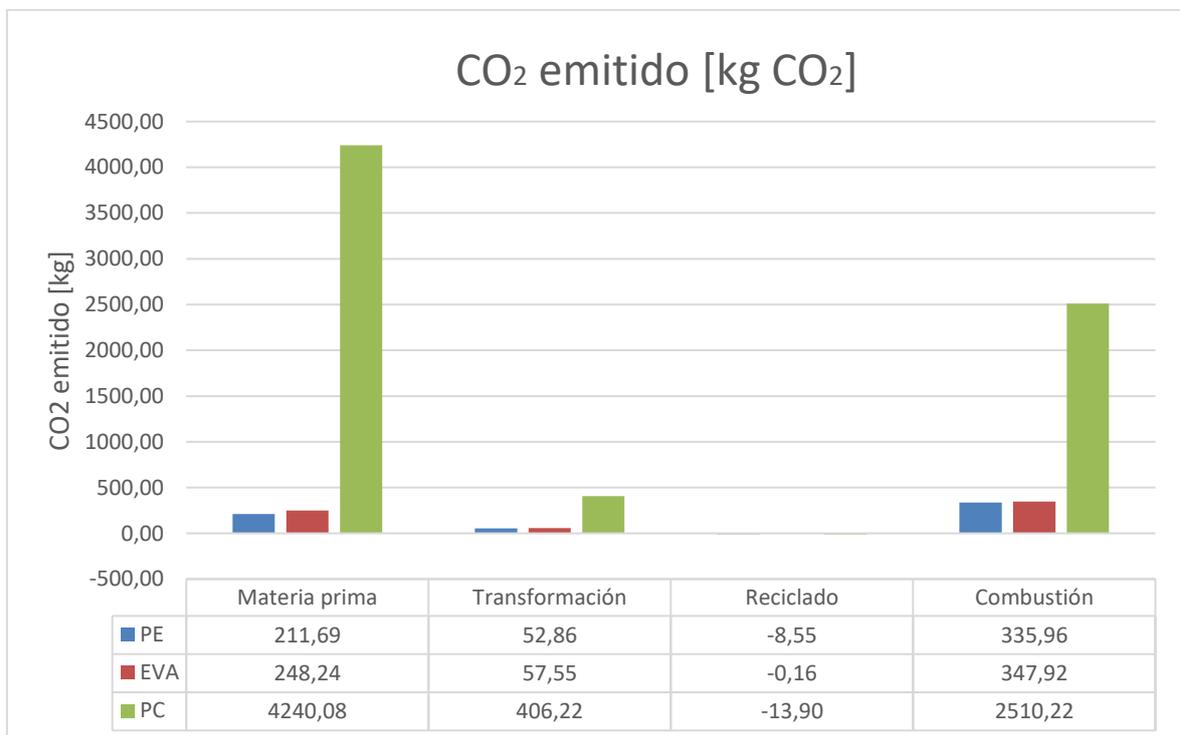
CO<sub>2</sub> emitido en función de la tipología y el material estructural

En un primer análisis, al igual que ocurría en el estudio del consumo energético, se puede observar que el principal agente es la obtención de materia prima. En esta fase la emisión de dióxido de carbono es mayor. Asimismo, para el acero galvanizado el proceso de transformación será un factor con mayor peso en lo que se refiere a emisiones de CO<sub>2</sub> que para el aluminio.

De la misma forma que ocurría con el uso de energía, el mayor peso del invernadero tipo multitúnel también se ve reflejado en unas emisiones mayores de dióxido de carbono.

En última instancia, el acero galvanizado tendrá un menor impacto en la huella de carbono que el aluminio con unas emisiones totales de 327 kg de CO<sub>2</sub> frente a los 429 kg de CO<sub>2</sub> emitidos si se opta por aluminio.

En el ámbito de las emisiones debidas a los materiales de cubierta, los resultados para el invernadero multitúnel son los siguientes:



#### CO<sub>2</sub> emitido en función del material de cubierta

De forma análoga a los resultados obtenidos para el consumo energético debido a los plásticos, el mayor generador de emisiones de CO<sub>2</sub> será el policarbonato debido a la materia prima empleada para esta opción.

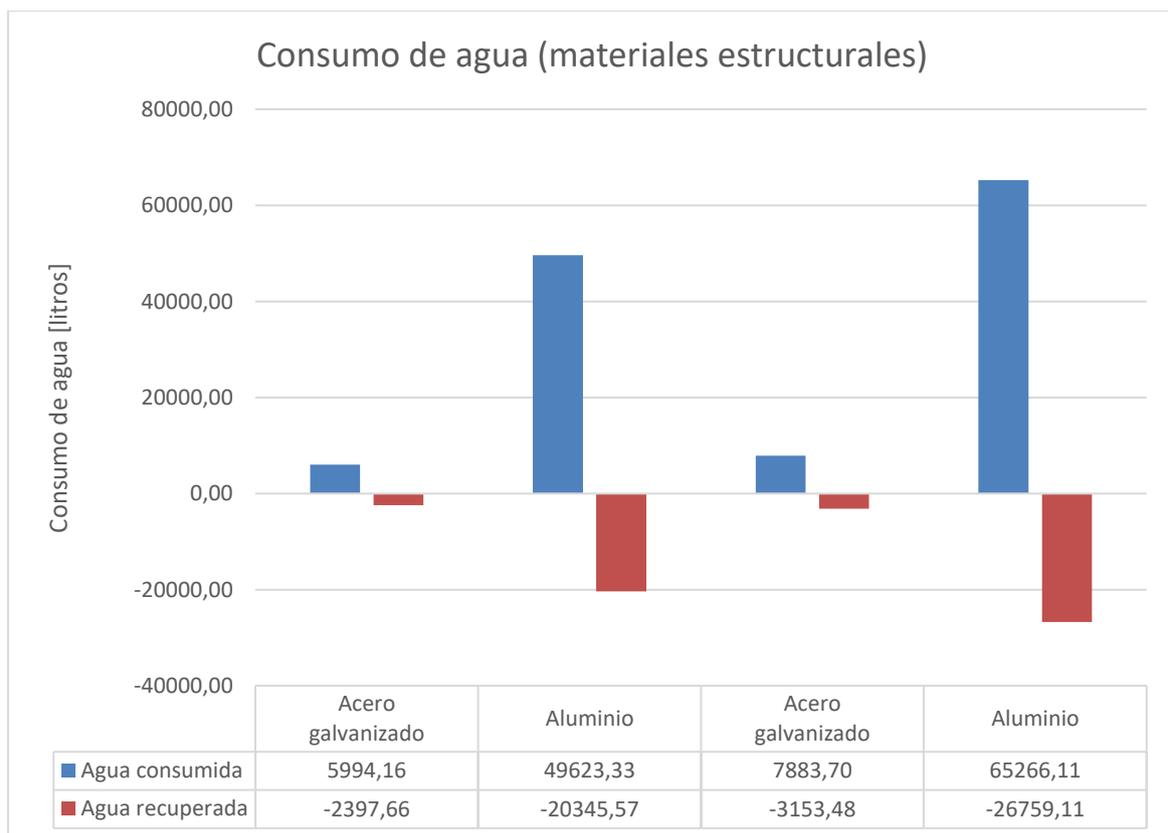
Un aspecto a destacar en vista a los resultados es el impacto en la huella de carbono de la combustión de los plásticos como método para su gestión. La combustión de estos supone un aporte de energía pero supone un impacto negativo para el medio ambiente. Para los escenarios de uso de polietileno de baja densidad y de EVA, este factor supone mayores

emisiones de dióxido de carbono que la extracción del material. Esto podría suponer llevarlos a un punto de concentración como un vertedero para no emitir más CO<sub>2</sub>, pero el gasto energético no se vería reducido.

Destacar que la combustión emite más CO<sub>2</sub> que la propia extracción y transformación del plástico

#### 4.1.5.3 Huella de agua

En primer lugar, los resultados del impacto en el consumo de agua serán los siguientes para las distintas tipologías de invernaderos y de materiales estructurales:

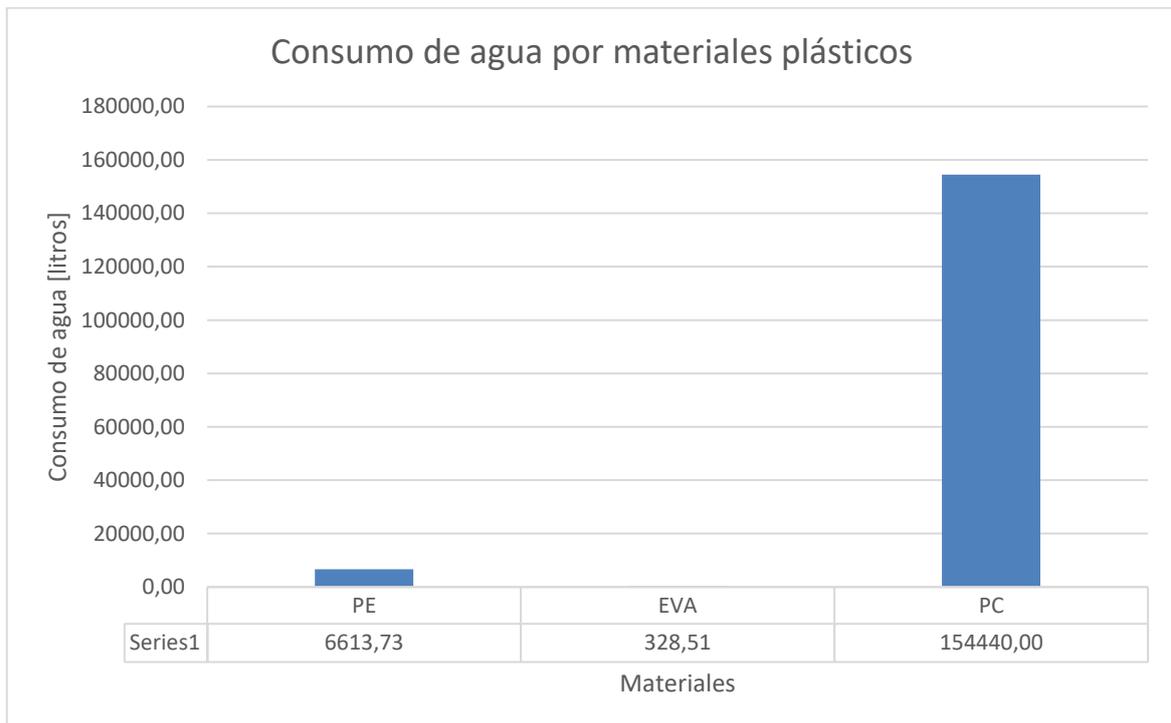


*Ilustración 1 Agua consumida en función de la tipología y el material estructural*

En lo que concierne al consumo de agua, el aluminio como material estructural supondrá un consumo de agua mucho más elevado que en el caso del acero galvanizado (8,28 veces más

consumo de agua). El agua recuperada en ambos casos refleja el ahorro de agua debido al aprovechamiento de estos materiales (no serán fabricados nuevamente)

Por otra parte, el consumo de agua derivado del uso de los distintos materiales para la cubierta será el siguiente:



#### Agua consumida en función del material de cubierta

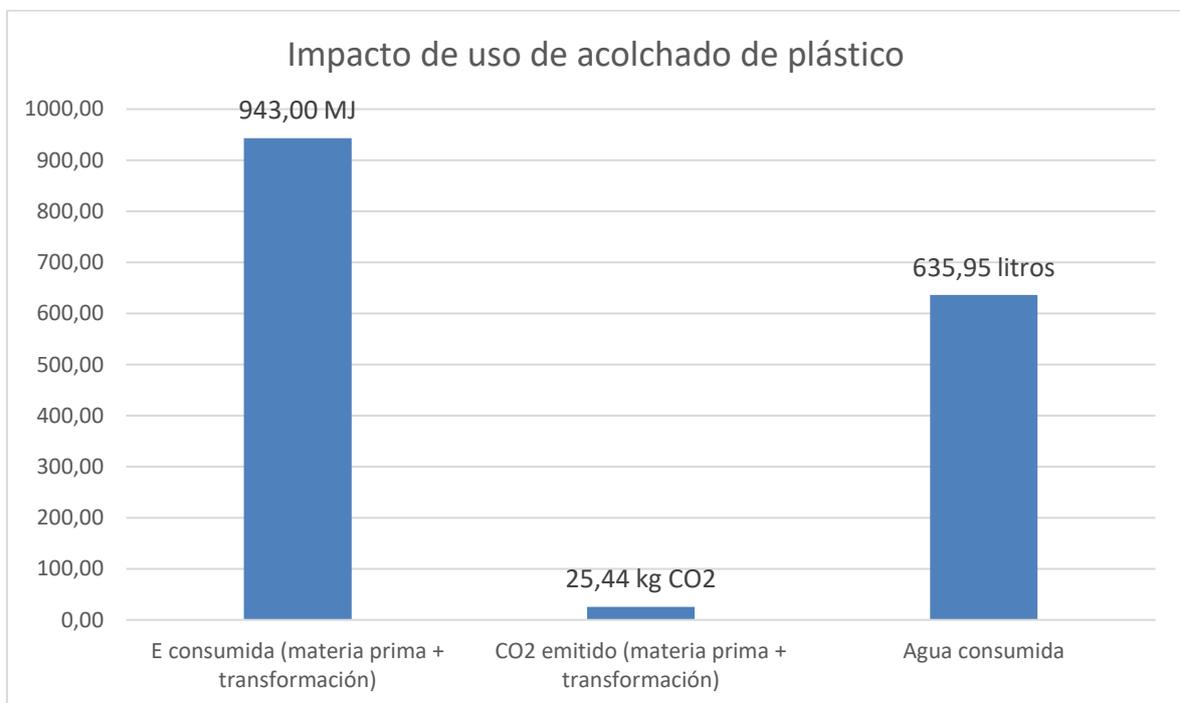
En este caso el consumo de agua de determinará íntegramente por su uso en la etapa inicial de obtención de los materiales.

Como se puede apreciar, el policarbonato tendrá asociada la mayor huella de agua. La razón detrás de esto es la mayor cantidad de plástico empleado en los invernaderos con cubiertas de policarbonato y su consumo de agua por kilogramo de material obtenido con 165 l/kg frente a los 55,2 l/kg del polietileno de baja densidad o los 2,66 l/kg del EVA.

En cuanto a la comparativa entre el polietileno de baja densidad y el EVA, el plástico EVA presenta una huella de agua muy inferior a la del polietileno de baja densidad con tan solo un 4,97% de agua consumida respecto del polietileno de baja densidad.

#### **4.1.5.4 Impacto del uso de acolchado de plástico**

Los resultados obtenidos para el uso de acolchado de plástico son los siguientes:



#### **Impacto del uso de acolchado de plástico**

En primer lugar, se observa como el impacto generado en todos los niveles (consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de agua) es menor que el de la cubierta del mismo material. El impacto es de menos del 10% del de la cubierta y esto se explica por la cantidad de plástico empleada para la cubierta frente a la cantidad empleada para el acolchado. El acolchado tiene un espesor de una cuarta parte y ocupa una superficie considerablemente menor.

Este impacto generado por la cubierta se justifica con un mayor rendimiento del invernadero (aumentando la precocidad de los cultivos) y con un menor gasto de agua de riego.

Al igual que con el plástico de cubierta, este podrá ser reciclado, aunque hay que tener en cuenta el bajo factor de reciclabilidad del polietileno (8,2%).

## **4.2 ESTUDIO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL**

El estudio de impacto ambiental (EIA) se trata de un proceso de valoración sistemática que se realiza de manera previa a la implementación de un proyecto o actividad para, en cierto modo, hacer un pronóstico del impacto ambiental del mismo. De este modo se pueden anticipar los efectos ambientales que suponen ciertas acciones y se llega a soluciones con unos efectos negativos mínimos.

Esta herramienta ambiental, por tanto, permite por tanto identificar el efecto de ciertos factores sobre el medioambiente y establecer un orden de prioridad sobre los factores más dañinos o más beneficiosos sobre el medio. En el caso particular, el objetivo será determinar las posibles repercusiones sobre el medioambiente de la construcción de un invernadero en la zona de estudio.

Para esto, primero se identificarán los factores a evaluar. Estos factores ambientales pueden tener un impacto positivo o negativo tanto durante el período inicial de construcción del invernadero como durante el período de operación después de su construcción.

El objetivo de este estudio será valorar el impacto de diferentes acciones durante el proceso de construcción y durante la fase de uso del invernadero. Así se podrá determinar qué acciones tienen mayor impacto en el medio y se podrán establecer soluciones preventivas para evitar o limitar el alcance de estas acciones.

Las partes principales de este estudio del impacto medioambiental (EIM) son las siguientes:

- Elaboración de un inventario ambiental
- Elaboración de las matrices de impacto ambiental
- Conclusiones del estudio

## **4.2.1 INVENTARIO AMBIENTAL**

El inventario ambiental sirve para recopilar todos los aspectos ambientales del proceso de construcción y funcionamiento del invernadero comercial que tienen un impacto ambiental asociado. En nuestro caso, el inventario ambiental abarcará el medio físico, biótico, perceptual y socioeconómico.

Para especificar con mayor precisión el impacto del invernadero, se decidió dividir el análisis en los siguientes puntos:

- i. Fase de construcción del invernadero
- ii. Fase de uso del invernadero
- iii. Otros aspectos a tener en cuenta

### ***4.2.1.1 Fase de construcción del invernadero***

Dentro de la etapa de construcción, hay diferentes factores ambientales que se pueden ver afectados. Estos podrán afectar tanto de manera positiva como negativa. Los factores a valorar son los siguientes:

❖ Uso de recursos naturales

Como ya se vio con el estudio de la ecoauditoría, para la construcción de un invernadero requiere de una variedad de materiales como el acero para la estructura o los plásticos para la cubierta. También se vio en el apartado anterior que estos tienen un impacto significativo en el medio ambiente debido a su extracción y transformación.

Además, durante la construcción será necesario el uso de agua para la preparación del terreno, la instalación de sistemas de riego u otras actividades como para la mezcla de cemento. Es crucial administrar este recurso de manera efectiva y evitar desperdicios o mañas prácticas, especialmente porque es escaso en el área de estudio.

❖ Generación de residuos

La producción de residuos de construcción es otro factor a tener en cuenta. Tanto en la fase de excavación y preparación del terreno como en la fase de montaje de la estructura se generan desechos. Entre los desechos generados se encuentran escombros derivados de la limpieza inicial del terreno o restos de materiales de construcción (desechos de demolición, embalajes, etc.). Estos tendrán que ser gestionados correctamente para reducir el impacto ambiental. Todos los desechos sólidos producidos durante la construcción serán recolectados y tratados por un gestor de desechos autorizado.

Además de los residuos sólidos generados, también existe la posibilidad de generación de descargas de aguas residuales. Estas supondrán también un potencial problema por una posible contaminación de aguas superficiales o por la contaminación del suelo.

❖ Consumo de energía

La construcción de un invernadero requiere del uso de energía para actividades como la operación de maquinaria o la iluminación de obras. El consumo de energía eléctrica y el empleo de combustibles fósiles para la construcción como el petróleo o el gas natural (para la calefacción), es necesario. Estos activos son finitos y su explotación afecta negativamente al entorno debido a la emisión de gases perjudiciales para el medio ambiente.

❖ Emisiones atmosféricas

Durante la construcción, se emiten gases y partículas como gases de escape de los vehículos de construcción o polvo procedente del movimiento de tierras.

Tal y como se indicó previamente, el uso de combustibles fósiles en la fase de construcción implica la emisión de gases de efecto invernadero. Estos son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) entre otros y contribuyen en gran medida al calentamiento global.

Estas emisiones principalmente son debidas a la obra (excavación del terreno y montaje del invernadero), aunque también se emiten gases de escape durante el transporte de materiales. La obra necesita de un flujo continuo de vehículos durante toda la fase de construcción. Los gases emitidos por estos vehículos de transporte también emiten gases y generan contaminación atmosférica.

En cuanto a la calidad del aire, esta también se verá afectada. Sin embargo, a la hora de realizar la evaluación del impacto medioambiental hay que tener en cuenta que el invernadero se encontrará en una zona rural, por lo que el impacto de la obra en la calidad del aire de poblaciones cercanas, como El Ejido, La Mojonera o Las Norias será limitada.

❖ Alteración del suelo

El movimiento de tierras que tiene lugar en las fases iniciales de la construcción del invernadero supondrá la destrucción de la cobertura vegetal del suelo. Este movimiento de tierras se debe a la nivelación del terreno principalmente, aunque también a la creación de caminos de acceso. También puede verse afectada la permeabilidad del suelo debido al movimiento de tierras, que puede influir negativamente durante la fase de producción.



Figura: Acciones durante la construcción. Fuente: Google imágenes

#### ***4.2.1.2 Fase del uso del invernadero***

En esta fase, los factores a valorar son los siguientes:

❖ Uso de agua:

El agua durante la fase operativa de un invernadero se emplea para el riego de plantas. Este consumo dependerá del cultivo y de las técnicas de riego empleadas.

Para el invernadero, se empleará un sistema de riego por goteo. Este es el sistema más popular en los invernaderos de Almería por su eficiencia. Existen otros sistemas de riego como el riego por aspersión (que supone muchas pérdidas de agua) o la hidroponía (que supone una inversión muy difícil de asumir) que no se van a estudiar. Solo se estudiará el impacto del sistema de riego por goteo. Los sistemas actuales de riego por goteo permiten reducir la cantidad de agua desechada a lo largo del proceso productivo gracias a una aplicación precisa y controlada del agua. De este modo, se reducen las pérdidas por evaporación.

A pesar de que el uso de agua sea significativamente menor que en sistemas de cultivo al aire, la poca disponibilidad del recurso en la zona convierte este factor en un punto clave para el análisis medioambiental.

El uso de agua se relaciona principalmente con el riego de plantas, pero también se emplea para otras actividades como para el mantenimiento y limpieza del invernadero.

También se valora la posibilidad del empleo de canales para aprovechar el agua de lluvia o sistemas de recuperación del agua.

❖ Uso de energía:

El consumo energético una vez terminada la construcción del invernadero tiene un peso mucho menor dentro del análisis medioambiental.

Se empleará esta energía para el manejo de los sistemas de iluminación y para los equipos auxiliares. Los equipos auxiliares con los que contará el invernadero son: sistema de

riego (bombas de agua) y sistema de control para monitorizar algunos indicadores como la temperatura o la humedad dentro del invernadero.

❖ Uso de productos químicos:

Durante la campaña 2021/22, se cultivaron un total de 26.739 hectáreas con técnicas de control químico de control de plagas, lo que supuso la cifra más alta de la historia [4]. El uso de fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos para el cultivo de las hortalizas tiene un impacto muy grande en el estudio del impacto medioambiental. Estos productos pueden afectar al medio biótico, al aire, al suelo y al agua.

Si bien es cierto que estos productos suponen una de las bases fundamentales del invernadero como sistema de producción, si no son tratados como se debe pueden provocar grandes daños al medio. No obstante, su uso se puede limitar para evitar una destrucción mayor. Su uso excesivo puede dar lugar a la aparición de resistencias frente a dichos productos por parte de las plagas y tiene efectos tóxicos para la fauna y la flora.

Para el invernadero se considera el uso de los siguientes productos químicos agrícolas: fertilizantes, herbicidas, pesticidas y funguicidas.

4.2.2 Una vez usados estos productos, han de ser reciclados y gestionados de manera correcta [31].

❖ Generación de residuos:

La generación continuada de residuos es otro de los factores a tratar. Tanto residuos orgánicos (restos plantas, podas y material vegetal) como residuos inorgánicos (productos plásticos de envases y del film agrícola o productos estructurales) son generados a lo largo de la campaña.

Ambos tipos de residuos requieren de una gestión adecuada. Los residuos orgánicos serán acumulados y podrán contribuir a la producción de compost o biomasa. Mientras tanto, los residuos inorgánicos serán de igual manera reciclados para reducir su impacto ambiental y darles una segunda vida.

❖ Emisiones de gases de efecto invernadero:

La emisión de estos gases de efecto invernadero (GEI) durante la etapa de producción del invernadero se deberá principalmente al consumo de energía. El impacto dependerá principalmente del uso de sistemas de calefacción u otros sistemas auxiliares que consuman energía y de la fuente de dicha energía.

Todos estos gases supondrán un impacto en el cambio climático y un aumento del calentamiento global.



Figura: Factores durante la fase de uso del invernadero

#### ***4.2.2.1 Otros aspectos a tener en cuenta***

Además de los factores ya descritos, existen otros factores que también suponen un impacto sobre el medio ambiente. Estos son los siguientes:

❖ Impacto perceptual:

La construcción del invernadero tendrá un impacto en el medio perceptual. Este impacto se reflejará tanto a nivel visual, a nivel paisajístico y a nivel de ruido y vibraciones.

- Fase de construcción:

El paisaje previo puede verse alterado por la presencia de maquinaria, equipos y estructuras durante la construcción. El movimiento de tierras y la obra pueden ser visualmente desfavorables.

Asimismo, los ruidos producidos por la maquinaria y el tránsito constante de vehículos tendrán un impacto negativo.

- Fase de producción:

Los invernaderos en funcionamiento pueden cambiar el paisaje natural o agrícola anterior. Sin embargo, este no es el caso particular ya que la zona está ocupada por invernaderos para producción comercial muy similares.

Es importante resaltar que el invernadero se instalará en una zona rural por lo que el impacto no es el mismo que si la obra se realizase en una zona urbana. Es decir, no afecta en gran medida a la estética del entorno. Además, la apreciación del impacto visual varía según los individuos.

❖ Impacto socioeconómico:

La construcción del invernadero también tendrá un impacto en el medio socioeconómico. Los factores que se pueden ver afectados son los siguientes:

Fase de construcción:

- Generación de empleo: Se requiere mano de obra para realizar las distintas tareas durante la fase de construcción. Esto podría beneficiar a la comunidad local e impulsar la economía regional ofreciendo oportunidades de empleo.
- Estimulación económica: La obra del invernadero supone la adquisición de materiales y servicios, lo que puede fomentar la economía local. Proveedores de material de construcción, contratistas y otros actores de la economía se verían beneficiados.

Fase de funcionamiento:

- **Generación de empleo:** Se pueden establecer puestos de trabajo para la operación del invernadero, así como para otras tareas como el mantenimiento de la instalación o la supervisión del invernadero. Esto beneficia a la comunidad local al brindar empleo estable y ayudar a reducir el desempleo

En áreas con altas tasas de desempleo, la construcción de invernaderos supone una fuente importante de empleo. La creación de empleos en el sector agrícola puede mejorar las condiciones económicas y sociales de la comunidad.

- **Impacto cultural:** Los invernaderos pueden afectar la dinámica cultural y social de una región. De este modo, muchos de los inmigrantes procedentes de países africanos pueden tener la oportunidad de trabajar y de insertarse en la sociedad de la zona.



Figura: Impacto perceptual



Figura: Impacto socioeconómico

### **4.2.3 ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MATRICES DE IMPACTO MEDIOAMBIENTAL**

Una vez identificados los factores ambientales afectados por las obras y el funcionamiento del invernadero, es necesario llevar a cabo una cuantificación del grado en que dichos factores han sido impactados. También se estudiará el posible efecto de ciertas acciones (medidas protectoras y/o preventivas) a favor de reducir el impacto medioambiental con la idea de predecir en cierto modo su utilidad. Para lograrlo, se requerirá la elaboración de una

matriz de impacto ambiental, utilizando la ecuación de importancia como herramienta de apoyo.

A continuación, se elabora una matriz de impacto ambiental individual para cada uno de los factores a tener en cuenta. De este modo se podrá cuantificar el grado en que dichos factores se han visto afectados. Para calcular el impacto de cada acción, se empleará la ecuación de importancia de Vicente Conesa [32]. La ecuación es la siguiente:

$$\text{Impacto} = I = \pm(3 * In + 2 * E + P + RV + RC + SI + AC + EF + PR)$$

Siendo:

- In: Intensidad. Grado de incidencia de la acción sobre el elemento considerado.
- E: Extensión. Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto. La extensión irá desde puntual (<10%) hasta total (>90%).
- P: Persistencia. Tiempo que permanece el impacto ambiental desde su aparición hasta su vuelta a las condiciones iniciales.
- M: Momento. Tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo de sus efectos. Irá desde instantáneo (0 años) hasta largo plazo (>5 años).
- RV: Reversibilidad o posibilidad de retomar en más o menos tiempo el estado inicial por medios naturales.
- RC: Recuperabilidad o la posibilidad de retomar en más o menos tiempo el estado inicial por medios artificiales.
- SI: Sinergia o la fuerza con la que un impacto ambiental simple aumenta otro impacto.
- AC: Acumulación: Medida en la que un impacto adquiere más fuerza cuanto más tiempo esté actuando.
- EF: Efecto: Medida en la que una acción afecta directamente mediante causa-efecto a un factor o lo hace de forma indirecta.
- PR: Periodicidad: Regularidad con la que se produce un efecto.

Los posibles valores son los siguientes:

SIGNO	
Beneficioso	+
Perjudicial	-

Extensión (E)	
Puntual	1
Parcial	2
Extenso	4
Total	8

Persistencia (P)	
Fugaz	1
Temporal	2
Permanente	4

Sinergia (SI)	
Sin sinergismo	1
Sinérgico	2
Muy sinérgico	4

Efecto (EF)	
Indirecto	1
Directo	4

Recuperabilidad (RC)	
Corto plazo	1
Medio plazo	2
Irreversible	4

Intensidad (In)	
Baja	1
Media	2
Alta	4
Muy alta	8
Destrucción total	12

Momento (M)	
Largo plazo	1
Medio plazo	2
Corto	4
Crítico	8

Reversibilidad (RV)	
Corto plazo	1
Medio plazo	2
Irreversible	4

Acumulación (AC)	
No produce efectos acumulativos	1
Acumula moderadamente	2
Efecto acumulativo	4

Periodicidad (PR)	
Irregular	1
Periódico	2
Continuo	4

Tabla de factores

A la hora de determinar el grado de efecto que tendrán las acciones sobre el medio, se considera lo siguiente:

- $I < 25$ : Impactos compatibles
- $26 < I < 50$ : Impactos moderados
- $51 < I < 75$ : Impactos severos
- $76 < I$ : Impactos críticos

Fase de construcción del invernadero:

I. Impacto sobre el uso de recursos naturales

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Uso de plásticos para la cubierta	-1	8	4	4	4	2	2	1	1	4	2	-52	Severo
Consumo de agua durante la construcción	-1	4	1	4	2	4	4	1	1	4	2	-36	Moderado
Uso de acero para la estructura	-1	8	4	4	4	4	4	1	1	4	1	-55	Severo
Uso de materiales adicionales	-1	2	1	4	2	2	2	1	1	4	1	-25	Compatible
Planificación eficiente	1	4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	28	Moderado
Reutilización y reciclaje de materiales	1	4	4	2	2	1	1	4	2	1	1	34	Moderado

Tabla: Impacto sobre uso de recursos naturales durante la fase de producción

En base a la matriz de impacto ambiental, se puede ver como el uso de materias primas para la construcción de la estructura y de la cubierta del invernadero supone el mayor impacto (impacto severo). Estas materias primas tienen un impacto tan notorio debido a la energía, huella de carbono y agua empleada para la obtención y transformación de estos materiales (como vio en la ecoauditoría). El consumo de agua durante la construcción también tendrá un impacto notable.

Las medidas protectoras (planificación eficiente y reutilización y reciclaje de materiales) impactan de manera positiva en el conjunto de la obra. Un estudio detallado de la

cantidad de materia a utilizar o el aprovechamiento de las materias para darles una segunda vida son acciones a tener en cuenta.

El impacto positivo del reciclaje de estos materiales de construcción sería mayor de no ser por la baja fracción de los residuos que son recuperables (particularmente de los plásticos).

## II. Generación de residuos

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Desperdicio de materiales de construcción	-1	2	2	4	2	2	2	4	2	4	1	-31	Moderado
Envases y embalajes	-1	1	1	4	2	1	1	2	1	4	1	-21	Compatible
Residuos de preparación del terreno	-1	4	2	4	2	2	2	2	2	4	1	-35	Moderado
Residuos de limpieza y saneamiento	-1	1	1	4	2	1	1	1	1	4	1	-20	Compatible
Residuos de instalaciones eléctricas y fontanería	-1	1	1	4	2	1	2	2	1	4	1	-22	Compatible
Gestión adecuada de los residuos	1	8	4	2	4	2	2	4	2	1	2	51	Severo
Planificación eficiente	1	4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	28	Moderado

Tabla: Impacto sobre la generación de residuos durante la fase de construcción

En cuanto a la generación de residuos, los mayores impactos negativos vienen asociados al desperdicio de materiales de construcción (debido a una mala planificación) y a los residuos provenientes de la preparación del terreno (nivelación y movimiento de tierra).

La mejor acción para reducir este impacto negativo es la gestión adecuada de los residuos. Esto es una colaboración con los centros de reciclaje locales para una disposición final adecuada de los residuos.

Una planificación eficiente es una medida preventiva que también permitirá reducir los residuos generados, minimizando los residuos desde el inicio de la obra.

### III. Consumo de energía

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Uso de maquinaria y equipos	-1	4	1	2	2	2	1	1	2	4	1	-29	Moderado
Uso de sistemas de iluminación	-1	1	1	2	1	1	1	1	2	4	1	-18	Compatible
Transporte de material	-1	4	1	2	2	2	1	1	2	4	2	-30	Moderado
Uso de proveedores locales	1	4	2	1	2	1	1	4	1	4	1	31	Moderado
Aprovechamiento de iluminación natural	1	1	1	1	4	1	1	1	2	4	1	20	Compatible
Apagado de equipos no utilizados	1	1	1	1	4	1	1	1	2	4	1	20	Compatible
Formación y concienciación	1	2	2	1	1	1	1	4	1	1	1	21	Compatible
Uso de equipos eficientes	1	2	1	1	4	1	1	1	2	4	1	23	Compatible

Tabla: Impacto sobre el consumo de energía durante la fase de construcción

En términos de consumo energético, el mayor consumo de energía se deberá al transporte de materias y al uso de maquinaria para construcción. Estas dos actividades son de carácter intensivo ya que requieren de mucha energía.

La principal medida para disminuir el consumo energético será la utilización de proveedores regionales para los materiales de construcción. Seleccionando suministradores locales, el transporte desde estos hasta la obra será inferior y se verá reflejado en una disminución del uso de combustible.

Algunas medidas preventivas como el uso de equipos eficientes, la formación de los trabajadores para la optimización de los equipos de trabajo o el aprovechamiento de la luz natural suman para disminuir el impacto energético.

IV. Emisiones atmosféricas

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Vehículos de transporte y maquinaria	-1	4	2	4	1	2	2	1	2	4	2	-34	Moderado
Polvo y partículas	-1	2	1	4	2	1	1	1	2	4	1	-24	Compatible
Productos químicos (pinturas, ...)	-1	4	2	4	2	2	2	1	1	1	1	-30	Moderado
Emisiones de fuentes auxiliares	-1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	-17	Compatible
Quema de residuos	-1	4	1	4	1	2	2	1	2	4	1	-31	Moderado
Uso de proveedores locales	1	4	2	1	2	1	1	4	1	4	1	31	Moderado
Uso de energía renovable	1	4	2	2	2	1	1	4	1	4	1	32	Moderado
Control de polvo y emisiones	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	20	Compatible
Seguimiento y control de las emisiones	1	2	2	2	2	1	1	4	1	1	1	23	Compatible

Tabla: Impacto sobre las emisiones atmosféricas durante la fase de construcción

Respecto a la matriz de impacto obtenida, las mayores fuentes de emisiones atmosféricas serán los vehículos y maquinaria y el uso de productos químicos. La maquinaria y el transporte supondrán la mayor fuente de gases de efecto invernadero debido a que su uso será muy intensivo durante la construcción. Por otro lado, el uso de materiales químicos como la pintura deberá hacerse correctamente ya que, de ser empleados de manera negligente, pueden suponer la emisión de gases tóxicos como los NO<sub>x</sub>.

Entre las medidas correctivas a implantar, la preferencia por proveedores locales, al igual que en lo que respecta al consumo de energía, se presenta como una medida muy eficaz, reduciendo las distancias de transporte, se emitirán menos gases. Otra solución sería el uso de equipos que operen con fuentes de energía renovable. De esta forma la emisión de gases se reduciría por completo.

Las demás medidas, como el control de polvo y emisiones o su seguimiento resultan de poco impacto. Esto se debe a que estas emisiones son puntuales y no se encuentran

concentradas en un solo punto (transporte, maquinaria, fuentes auxiliares, etc.) por lo que su control es más complejo.

V. Impacto sobre la alteración del suelo

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Excavación y nivelación del terreno	-1	8	4	4	4	4	2	2	1	4	1	-54	Severo
Compactación del suelo	-1	4	4	4	2	2	2	2	1	4	1	-38	Moderado
Remoción de vegetación	-1	4	4	4	4	2	1	2	1	4	1	-39	Moderado
Erosión del suelo	-1	4	4	4	2	2	2	1	1	4	1	-37	Moderado
Contaminación del suelo	-1	2	4	2	2	2	2	1	2	1	1	-27	Moderado
Alteración del drenaje	-1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	-22	Compatible
Pérdida de calidad del suelo	-1	2	2	4	1	1	1	2	1	1	1	-22	Compatible
Restauración del suelo	1	2	2	2	2	1	1	2	1	4	1	24	Compatible
Excavación y nivelación controladas	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	21	Compatible
Conservación de la capa vegetal	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	17	Compatible

Tabla: Impacto sobre la alteración del suelo durante la fase de construcción

El impacto sobre el suelo de la zona de construcción será alto. La excavación del mismo para su nivelación junto con otras múltiples acciones asociadas a este movimiento de tierras lleva asociado un alto impacto medioambiental.

Las medidas correctivas en este caso tendrán un alcance muy reducido puesto que la erosión del suelo es total.

Fase de producción del invernadero:

I. Consumo de agua

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Riego de plantas	-1	8	4	4	4	2	2	2	4	4	4	-58	Severo
Limpieza y lavado	-1	2	2	4	1	2	1	2	2	4	2	-28	Moderado
Pérdidas y fugas de agua	-1	1	1	4	1	2	1	1	2	1	1	-18	Compatible
Uso de acolchad de plástico	1	4	4	4	4	1	1	2	2	4	1	39	Moderado
Recirculación y reutilización del agua	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	20	Compatible
Captación y almacenamiento de agua de lluvia	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	17	Compatible

Tabla: Impacto sobre el consumo de agua durante la fase de producción

En términos de consumo de agua, la mayor parte irá destinada al riego de las plantas donde su uso continuado implica un impacto severo en el uso de este recurso. También tendrá otros usos como la limpieza. Además, parte de esta agua se verá perdida por fugas.

Para frenar este consumo, la acción principal a tomar será la instalación de acolchado de plástico. Este ayuda a reducir significativamente la pérdida de agua. Otras medidas como la recirculación y reutilización de agua también serán importantes. La captación de agua de lluvia para su uso en el invernadero tiene poco peso en la matriz de impactos ya que la zona de estudio se caracteriza por su sequedad.

## II. Consumo de energía

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Consumo de energía eléctrica	-1	1	2	4	1	1	1	1	1	4	4	-24	Compatible
Uso de combustibles fósiles	-1	2	2	4	2	2	2	1	4	4	4	-33	Moderado
Eficiencia energética de los equipos	1	2	1	2	1	1	1	4	1	1	1	20	Compatible
Uso de energías renovables	1	2	2	2	1	1	1	1	1	4	4	25	Compatible
Uso de sistemas de control y automatización	1	1	1	2	1	1	1	4	1	1	1	17	Compatible
Eficiencia energética del invernadero	1	1	1	2	1	1	1	4	1	1	1	17	Compatible
Gestión de la demanda eléctrica	1	1	1	2	1	1	1	4	1	1	1	17	Compatible

Tabla: Impacto sobre el consumo de energía durante la fase de producción

En el caso del consumo de energía, existen diversas medidas para mitigar este consumo. Una opción para reducir el impacto medioambiental del consumo de la misma es el uso de equipos con una eficiencia energética alta. De este modo, además de reducir el uso de combustibles fósiles, se emitirán menos gases tóxicos a la atmósfera. Otra opción sería la automatización de los sistemas de calefacción e iluminación.

## III. Uso de productos químico

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Uso de pesticidas y herbicidas	-1	4	2	4	2	2	2	1	4	4	2	-37	Moderado
Uso de fertilizantes	-1	4	2	4	2	2	2	1	4	4	2	-37	Moderado
Control biológico	-1	4	1	4	2	2	2	1	4	4	2	-35	Moderado
Manejo de residuos químicos	-1	2	1	4	2	2	2	1	2	1	1	-23	Compatible
Capacitación y buenas prácticas agrícolas	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	19	Compatible
Evaluación de riesgos y monitoreo	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	19	Compatible
Cumplimiento de regulaciones y estándares	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	16	Compatible

Tabla: Impacto sobre uso de productos químicos durante la fase de producción

El uso de productos químicos supone un impacto global negativo. Estos productos han de ser manejados de forma óptima para reducir la posibilidad de causar daños en el medio ambiente. El uso correcto y las buenas prácticas agrícolas con respecto al uso de productos fitosanitarios se asegura con la formación de los operarios y con el cumplimiento de las regulaciones y estándares establecidos en el Real Decreto 1311/2012 [33].

#### IV. Generación de residuos

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Residuos de plástico	-1	4	2	4	2	2	2	1	4	4	2	-37	Moderado
Residuos orgánicos (poda y cosecha)	-1	4	2	4	2	2	2	1	4	4	4	-39	Moderado
Residuos de productos químicos	-1	4	1	4	2	1	1	1	2	4	1	-30	Moderado
Residuos de embalaje y transporte	-1	2	1	4	2	2	2	1	4	4	1	-28	Moderado
Implementación de sistema de compostaje	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	19	Compatible
Auditoría y seguimiento	1	2	1	2	2	1	1	4	1	1	1	21	Compatible
Reciclaje y reutilización de residuos inorgánicos	1	4	4	2	4	2	2	4	2	1	2	39	Moderado

Tabla: Impacto sobre la generación de residuos durante la fase de producción

De la misma forma que ocurría con la fase de construcción del invernadero, durante el uso del mismo se generan residuos de distintos tipos. La mayoría de estos derivan directamente de la actividad de producción y, por ello, el impacto de residuos orgánicos será el mayor. Una opción viable para el aprovechamiento de estos residuos será la implementación de un sistema de compostaje.

Para los residuos inorgánicos, se establecerán procedimientos para la correcta gestión de los residuos plásticos. Esto consistirá en el transporte de estos residuos a plantas de tratamiento locales.

V. Gases de efecto invernadero

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Uso de combustibles fósiles	-1	2	2	4	1	2	1	1	2	1	2	-24	Compatible
Consumo de energía eléctrica	-1	1	1	4	1	1	1	1	2	1	4	-20	Compatible
Uso de sistema de calefacción	-1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	2	-17	Compatible
Uso de fertilizantes	-1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	-18	Compatible
Gestión de residuos	1	4	2	2	2	1	1	4	1	1	2	30	Moderado
Uso de sistema de calefacción	-1	2	2	4	4	1	1	2	1	4	2	31	Compatible

Tabla: Impacto sobre los gases de efecto invernadero durante la fase de producción

En vista a los resultados obtenidos, las posibles estrategias para mitigar el efecto negativo para el medio ambiente irán ligadas directamente a las estrategias para reducir el consumo energético y al uso de equipamiento eléctrico (como sistemas de calefacción eléctricas en lugar de sistemas con calderas para combustibles fósiles).

Otros aspectos a tener en cuenta:

I. Impacto perceptual

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Alteración del paisaje	-1	2	2	2	1	2	2	1	1	4	4	-27	Moderado
Cambios en la visualización	-1	2	2	2	1	2	2	1	1	4	4	-27	Moderado
Ruido y vibraciones	-1	2	2	4	1	2	2	1	1	4	1	-26	Moderado
Olores y emisiones	-1	1	2	4	1	1	1	1	1	4	1	-21	Compatible
Cambios en la calidad del aire	-1	2	2	4	1	2	2	1	2	4	1	-27	Moderado

Tabla: Matriz de impacto perceptual

Como se puede observar, el efecto de la construcción del invernadero tendría un efecto negativo en cuanto a la percepción por varios motivos: alteración del paisaje; cambios

en la visualización; ruidos, vibraciones y olores generados durante la obra y por un deterioro en la calidad del aire.

## II. Impacto socioeconómico

Acción	Nat	In	E	M	P	RV	RC	SI	AC	EF	PR	I	
Generación de empleo	1	8	4	4	2	1	1	4	1	4	1	50	Moderado
Impacto en la economía	1	8	4	4	2	1	1	4	2	4	4	54	Severo
Adquisición de bienes y servicios	1	4	4	4	2	1	1	2	2	4	4	40	Moderado
Transferencia de conocimientos	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	19	Compatible
Relaciones con la comunidad local	1	2	2	1	4	1	1	2	1	1	1	22	Compatible
Acceso a alimentos y seguridad alimentaria	1	4	2	2	2	1	1	1	1	4	4	32	Moderado
Desarrollo rural sostenible	1	4	4	2	2	1	1	2	1	1	1	31	Moderado
Inclusión de personas en riesgo de exclusión social	1	8	4	2	4	1	1	4	1	1	1	47	Moderado

Tabla: Matriz de impacto socioeconómico

En primer lugar, supondría una estimulación económica debido a la compra de materias y a la contratación de servicios de distintos tipos. Además, se crearía empleo tanto en la fase de construcción como en la fase de producción.

Por otro lado, en el marco sociocultural también tendrá un efecto muy positivo. La contratación de personal vendrá supondrá una transmisión de las técnicas y los conocimientos a una nueva generación de agricultores. Asimismo, muchos de estos serán extranjeros venidos a España en busca de nuevas oportunidades por lo que su inclusión a la cultura y sociedad del país se acelerará.

El apoyo a proveedores y servicios locales también influiría muy positivamente en la economía de la región.

## **Capítulo 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

### **5.1 CONCLUSIONES DE LA ECOAUDITORÍA**

Tras realizar el estudio de la ecoauditoría, se obtuvieron resultados que permiten llegar a conclusiones significativas. Las conclusiones principales a las que se han llegado son las siguientes:

a) Elección de la tipología de invernadero:

En primer lugar, la ecoauditoría ha evidenciado que la elección entre una tipología de invernadero u otra tiene un gran peso en lo referente al impacto ocasionado. El invernadero de tipo multitúnel presenta un mayor gasto energético, un mayor consumo de agua y presenta una huella de carbono mayor. Para un mismo material empleado en ambos tipos de invernadero, el impacto del invernadero multitúnel es un 31,52% superior al impacto del invernadero raspa y amagado en todos los niveles de impacto medidos.

A la vista de estos resultados, se puede justificar el uso mayoritario de invernaderos tipo raspa y amagado. Su coste de inversión es menor que el de los invernaderos más tecnificados como el multitúnel y generan un menor impacto ambiental con resultados similares en cuanto a rendimiento de los cultivos []. Los invernaderos multitúnel serán preferibles tan solo para plantaciones que requieran de un grado de tecnificación superior o que necesiten de sistemas de ventilación auxiliares.

b) Material estructural:

Los datos obtenidos en cuanto al material estructural desprenden que el acero galvanizado es el material más adecuado para la estructura. Si bien el aluminio tiene mejores propiedades de conductividad térmica y resiste bien las condiciones exteriores, su instalación supone un aumento del 227% con respecto al consumo

energético, del 194% con respecto a la emisión de CO<sub>2</sub> y del 828% con respecto al consumo de agua.

c) Plástico para la cubierta:

Los datos sobre el uso de plásticos indica que el PEBD y el EVA son los plásticos más adecuados para su empleo como film agrícola dado a su bajo impacto frente al PC.

Otro resultado en cuanto a los plásticos viene en referencia de la diferencia entre la quema de los residuos plásticos no reciclables frente a su gestión en vertederos. La siguiente figura muestra la diferencia en cuanto al consumo energético de ambos escenarios:

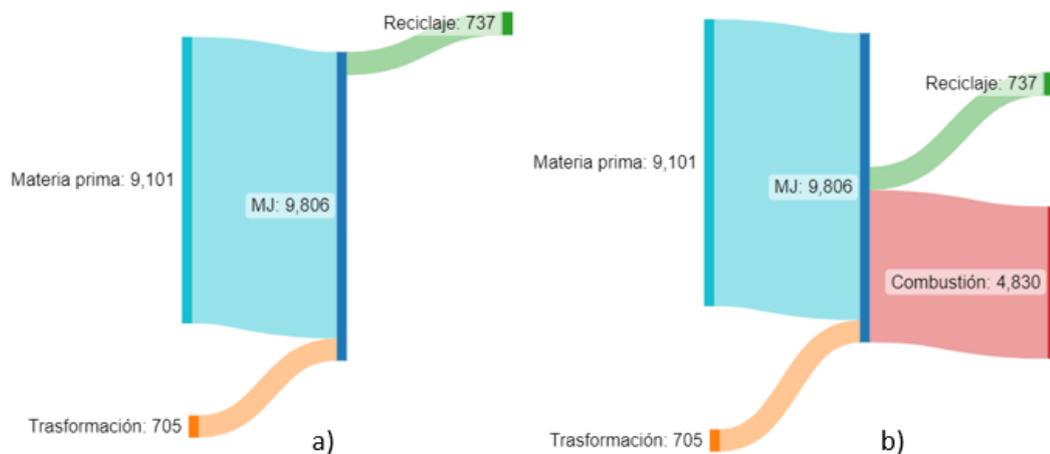


Figura: Impacto de la combustión del plástico agrícola

Como puede verse por los resultados, la quema de los plásticos no reciclables supondría un aporte de energía significativo, cubriendo gran parte de la energía suministrada en un primer momento para la obtención del plástico de cubierta.

A pesar de verse recuperada una buena parte de la energía empleada, su combustión supondría la emisión de grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Estas emisiones extra (que serían

superiores a las emisiones generadas por la obtención del plástico), hacen que la combustión de estos no sea una opción para su gestión.

d) Uso de acolchado de plástico:

Si bien es cierto que el uso de acolchado de plástico solo aumenta el impacto global del invernadero, supondrá unas mejoras de gran importancia en el medio y largo plazo debido al aumento del rendimiento del invernadero y a la reducción de pérdidas de agua.

Es importante tener en cuenta que esta metodología para evaluar el impacto ambiental, a pesar de ser metódica y constar de credibilidad dentro del ámbito de las ciencias medioambientales, tiene asociado un grado de subjetividad notorio.

## ***5.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL***

Como resultado del Estudio del Impacto Medioambiental, se pueden extraer varias conclusiones:

a) Fase de construcción del invernadero:

Los resultados obtenidos respaldan que el uso de materiales de bajo impacto ambiental como el acero galvanizado y la correcta gestión de los residuos generados afecta positivamente al medio ambiente.

Estos resultados también concluyen que, en lo que respecta al consumo de energía, el uso de proveedores locales será la medida más recomendada junto con el uso de equipos eficientes.

El uso de proveedores locales se muestra como una de las principales medidas a tomar ya que esto ayudará también a reducir las emisiones atmosféricas debidas al transporte de materiales durante la construcción.

b) Fase de operación del invernadero:

El estudio ha determinado que, en lo referente a consumo de agua, la instalación de acolchado de plástico sería la mejor opción. Además de reducir considerablemente el gasto de agua, el rendimiento también se vería mejorado por lo que tiene un efecto sinérgico en el sistema.

Por otra parte, el uso de equipos eficientes y el aumento de la eficiencia energética del invernadero reducirán el gasto energético. En lo que respecta al uso de productos químicos, la medida establecida para prevenir su uso imprudente será la formación de los operarios y su concienciación.

Para la generación de residuos, la tabla de impacto identifica el reciclaje de los residuos inorgánicos como la acción principal para mitigar su efecto negativo en el entorno.

c) Otros aspectos a tener en cuenta:

En lo que respecta al impacto socioeconómico, la construcción de un invernadero supondría un impacto en la economía local muy importante. Tanto en generación de empleo como en la contratación de servicios de empresas locales se crecerá. Además, esto también supondrá la inclusión de personas en riesgo de exclusión social que ven en la agricultura una buena oportunidad.

## Capítulo 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Nacional de Estadística, (2022). “Datos de la Encuesta de Población Activa – Sector Agroalimentario”, Cifras INE. URL: [www.ine.es](http://www.ine.es)
- [2] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2022). “Primera estimación de cifras del sector agrario”, Gobierno de España. URL: Herrero Alcántara, T. “Big Data: ¿Moda u oportunidad de negocio para el emprendedor?”, Think Big, Octubre 2014. <http://blogthinkbig.com/big-data-emprendedor/>.
- [3] Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible (2021). “Cartografía de invernaderos en Almería, Granada y Málaga” (p. 8-11), Junta de Andalucía. URL: [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-11/Cartografia%20inv\\_AL\\_GR\\_MA\\_v210928%201.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-11/Cartografia%20inv_AL_GR_MA_v210928%201.pdf)
- [4] “Análisis de la campana hortofrutícola. Campaña 2021/2022” (p. 33), Cajamar Caja Rural. URL: <https://publicacionescajamar.es/wp-content/uploads/2022/11/informe-campana-21-22.pdf>
- [5] Espinosa, A y García, F (2021) “La verdad sobre el ingredient más tóxico de nuestra alimentación” (p. 33), Amigos de la Tierra. URL: <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2021/01/Plastivoros-Amigos-de-la-Tierra.pdf>
- [6] “Sector agrícola y ganadero”, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx>
- [7] Franquesa, T “La Ecoauditoría como instrumento de educación ambiental”, Instituto Municipal de Educación. Barcelona. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.aspx>
- [8] Fernández-Pacheco, R (2021) “REinventar Almería y reducir su contaminación por plásticos” Ayuntamiento de Almería. [https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2021/07/CARTA-RESIDUOS-ALMERIA\\_CP.pdf](https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2021/07/CARTA-RESIDUOS-ALMERIA_CP.pdf)
- [9] “Economía circular: definición, importancia y beneficios” Parlamento Europeo. URL: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

- [10] “Asamblea General de las Naciones Unidas”. URL:  
<https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- [11] “La eficiencia en el uso de los recursos y la economía circular” Parlamento Europeo. URL:  
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/76/la-eficiencia-en-el-uso-de-los-recursos-y-la-economia-circular>
- [12] “Objetivos de Desarrollo Sostenible” Naciones Unidas. URL:  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [13] “Un Pacto Verde Europeo” Comisión Europea. URL:  
[https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_es](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es)
- [14] “Farm to Forks strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system” Comisión Europea. URL: [https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy\\_es](https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_es)
- [15] “Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural (FEADER)” Ministerio de Hacienda y Función Pública. URL: <https://www.fondoseuropeos.hacienda.gob.es/sitios/dgfc/ES/paginas/feader.aspx>
- [16] “Guía para la gestión de los residuos agrarios” Fundación Global Nature. URL:  
<https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2021/07/Guia-Residuos-Agrarios.pdf>
- [17] “Generación de energía eléctrica a partir de biomasa” World Bioenergy Association
- [18] “Consumo bruto de energía renovable UE hasta 2015” Eurostat. URL:  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics/es&oldid=365667](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/es&oldid=365667)
- [19] De los Ángeles, M “Los residuos plásticos agrícolas” (p. 8). Junta de Andalucía. URL:  
[https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Educacion\\_Y\\_Participacion\\_Ambiental/Educacion\\_Ambiental/Educam/Educam\\_IV/MAU\\_RU\\_y\\_A/rua10.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Educacion_Y_Participacion_Ambiental/Educacion_Ambiental/Educam/Educam_IV/MAU_RU_y_A/rua10.pdf)
- [20] “Disposiciones generales Consejería de Medio Ambiente”. Junta de Andalucía. URL:  
<https://www.juntadeandalucia.es/boja/2000/47/7#:~:text=de%20Medio%20Ambiente-DECRETO%20104%2F2000%2C%20de%202021%20de%20marzo%2C%20por%20el,gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20pl%C3%A1sticos%20agr%C3%ADcolas.>
- [21] “La futura Ley de Residuos implicará a los productores de plásticos agrícolas en la gestión”. Retema, Revista Técnica de Medio Ambiente. URL:

- <https://www.retema.es/actualidad/futura-ley-residuos-implicara-productores-plasticos-agricolas-gestion>
- [22] “Líneas de actuación de las Consejerías de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural y de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio en materia de gestión de restos vegetales en la horticultura de Andalucía” Consejerías de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural y de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. URL: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Lineas\\_actuacion\\_materia\\_gestion\\_restos\\_vegetales\\_horticultura\\_Andalucia.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Lineas_actuacion_materia_gestion_restos_vegetales_horticultura_Andalucia.pdf)
- [23] “ISO 14040:2006 (es). Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia” ISO. URL: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- [24] “UNE-EN 13031-1. Invernaderos. Cálculo y construcción” Norma Española UNE. URL: [file:///C:/Users/stic/Desktop/\(EX\)UNE-EN\\_13031-1=2020.pdf](file:///C:/Users/stic/Desktop/(EX)UNE-EN_13031-1=2020.pdf)
- [25] “El 25% de los invernadero de Almería son tipo parral y superan los 20 años de antigüedad” Agroprecios. URL: <https://www.agroprecios.com/noticias.php/noticias/3368-el-25-de-los-invernaderos-de-almeria-son-tipo-parral-y-superan-los-20-anos-de-antiguedad?len=1>
- [26] Robledo, F “Láminas de polietileno y copolímero EVA para usos en agricultura” Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. URL: [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1987\\_02.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1987_02.pdf)
- [27] “UNE 53288:1980 Plásticos reforzados con fibra de vidrio” Norma Española UNE. URL: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-53288-1980-n0020184>
- [28] “Real Decreto 486/1997, Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo” Boletín Oficial del Estado. URL: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>
- [29] “Acolchado / Siembra. Plásticos para acolchado de cultivos” Macoglass. URL: <https://www.macoglass.com/plasticos/acolchado-siembra/>
- [30] Ansys Granta EduPack. URL: <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>
- [31] “Reglamento (CE) nº 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios y por el que se derogan las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo” Agencia Estatal. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-11605>

- [32] “Metodología para el Cálculo de las Matrices Ambientales” Hidroar S.A. URL:  
<http://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Methodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>
- [33] “Real Decreto 1311/2012” Agencia Estatal. URL:  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2012-11605>