

# ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA PROVENIENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

Master Energías Renovables.



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Noelia Martín García

Directores:

Stella Moreno Grau

Francisco Vera García

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en primer lugar a mis directores del trabajo fin de master, Stella Moreno Grau y Francisco Vera García por sus innumerables consejos y su tiempo invertido en mí, pero sobre todo por haber aceptado ser mis consejeros. Pero en especial a Stella Moreno porque su ayuda ha sido fundamental.

He de agradecer también a Yolanda Fernández Nava profesora de la universidad de Gijón por permitirme guiarme con su trabajo de ACV.

Y, para terminar, agradecer a mi familia porque son incondicionales y siempre están ahí en cada paso que doy. Así como Javier que siempre está para ayudarme con mis dificultades tecnológicas.

## RESUMEN

En el siguiente proceso se realizará un análisis de ciclo de vida, herramienta que servirá para cuantificar y calificar los posibles impactos ambientales que tienen lugar durante el proceso de producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos agrícolas, siendo elegido más concretamente la paja de trigo.

Durante el proceso de análisis de ciclo de vida se trabajará en las diferentes fases del proceso que están definidas en la Norma ISO, así como se definirán los distintos subsistemas que tienen lugar durante la producción para contabilizar las entradas y salidas de energía y materia.

Para la elección de los diferentes procesos a elegir en las etapas se ha tenido en cuenta el gasto energético y de materia puesto que se busca reducir este balance, como ejemplo de ello se ha elegido la explosión de vapor como método de pretratamiento o la fermentación y sacarificación simultánea en la transformación.

Al finalizar este trabajo se llegará a una discusión sobre el uso de esta herramienta, en la actualidad es común la utilización de software específicos que facilitan el trabajo, en el caso de este estudio y como se menciona en apartados posteriores han surgido problemas técnicos y se ha tenido que recurrir a métodos teóricos. Aun así, se puede concluir que el uso de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica tiene grandes ventajas frente a el uso de combustibles fósiles, también incluir que a día de hoy es una buena forma de reciclaje de los residuos agrícolas.

En cuanto a la evaluación de impactos que se ha realizado del ciclo de vida de este proceso, se ha podido observar que la mayoría de ellos son asumibles ya que son moderados.

## ABSTRACT

In the following process, a life cycle analysis will be carried out, a tool that will serve to quantify and qualify the possible environmental impacts that take place during the bioethanol production process from lignocellulosic biomass from agricultural waste, wheat straw being chosen more specifically.

During the life cycle analysis process, work will be carried out in the different phases of the process that are defined in the ISO Standard, as well as the different subsystems that take place during production to account for energy and material inputs and outputs.

The choice of the different processes to be chosen at each stage has taken into account the energy and material costs, since the aim is to reduce this balance, as an example of which the steam explosion has been chosen as a pre-treatment method or the simultaneous fermentation and saccharification in the transformation process.

At the end of this work, a discussion will be reached about the use of this tool, at present it is common to use specific software that facilitates the work, in the case of this study and as mentioned in later sections, technical problems have arisen and it has had to resort to theoretical methods. Even so, it can be concluded that the use of bioethanol from lignocellulosic biomass has great advantages over the use of fossil fuels, also include that today is a good way to recycle agricultural waste.

With regard to the evaluation of the impacts of the life cycle of this process, it has been observed that most of them are assumable since they are moderate.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>4</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>10</b>
<b>3. EL BIOETANOL.....</b>	<b>11</b>
3.1. ORIGEN Y CONCEPTO .....	11
3.2. ESTRUCTURA DE LA BIOMASA LIGNOCELULOSA.....	12
3.3. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO .....	14
<b>4. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....</b>	<b>15</b>
4.1. DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA .....	15
4.2. DESARROLLO DE UN ACV .....	17
<i>Etapa1. Definición del objetivo y alcance.....</i>	<i>17</i>
<i>Etapa 2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV) .....</i>	<i>17</i>
<i>Etapa 3. Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) .....</i>	<i>19</i>
<i>Etapa 4. Interpretación del ciclo de vida .....</i>	<i>20</i>
<b>5. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE PAJA DE TRIGO .....</b>	<b>21</b>
5.1. Etapa 1: Objeto y Alcance del estudio.....	21
<i>Definición del objetivo:.....</i>	<i>21</i>
<i>Alcance del ACV: .....</i>	<i>22</i>
5.2. ETAPA 2. INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV).....	27
5.3. ETAPA 3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV).....	37
<i>Lista de chequeo: .....</i>	<i>42</i>
<i>Matriz de Identificación .....</i>	<i>47</i>
<i>Caracterización de los impactos.....</i>	<i>53</i>
<b>6. discusiones .....</b>	<b>58</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>60</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición del material lignocelulósico .....	13
Tabla 2: Balance subsistema 1 .....	29
Tabla 3: Balance Subsistema 2 .....	31
Tabla 4: Balance Subsistema 3 .....	33
Tabla 5: Balance subsistema 4 .....	35
Tabla 6: Balance Subsistema actividades auxiliares .....	36
Tabla 7: Puntos intermedios de la EIA.....	39
Tabla 8: Puntos finales de la EIA.....	40
Tabla 9: Lista de chequeo del medio natural .....	45
Tabla 10 : Lista de chequeo del medio socioeconómico .....	46
Tabla 11 : Matriz de Identificación de impactos .....	52
Tabla 12 : Matriz de caracterización de los impactos .....	57

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Producción mundial de crudo y estimación de la producción futura por regiones. (Adaptación de EWG 2007) .....	8
Ilustración 2: Estructura de biomasa lignocelulósica (Figura adaptada desde Tomme et al., 1995).....	12
Ilustración 3: Etapas del Ciclo de Vida del producto (Ilustración de Eointeligencia) ....	15
Ilustración 4: Fases de un ACV .....	16
Ilustración 5: Etapas del Análisis .....	18
Ilustración 6: Elementos de la fase EICV .....	19
Ilustración 7: Esquema de los subsistemas del proceso (Elaboración propia) .....	25
Ilustración 8: Resumen subsistema 1 .....	28
Ilustración 10: Resumen subsistema 3 .....	32
Ilustración 11: Resumen Subsistema 4.....	34
Ilustración 12: Ejemplo de esquema de evaluación (Udo de Haes y col., 1999b) .....	38

## 1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

El bioetanol ha ganado importancia en los últimos años influenciado por la crisis del petróleo, las especulaciones sobre su agotamiento, la inviabilidad económica de los actuales yacimientos (la rentabilidad del yacimiento no es viable si se compara con la inversión que se necesita para las infraestructuras de la explotación) y la subida en los precios del crudo, han puesto en el punto de mira a biocombustibles como el bioetanol, haciendo de los mismos una alternativa al petróleo.

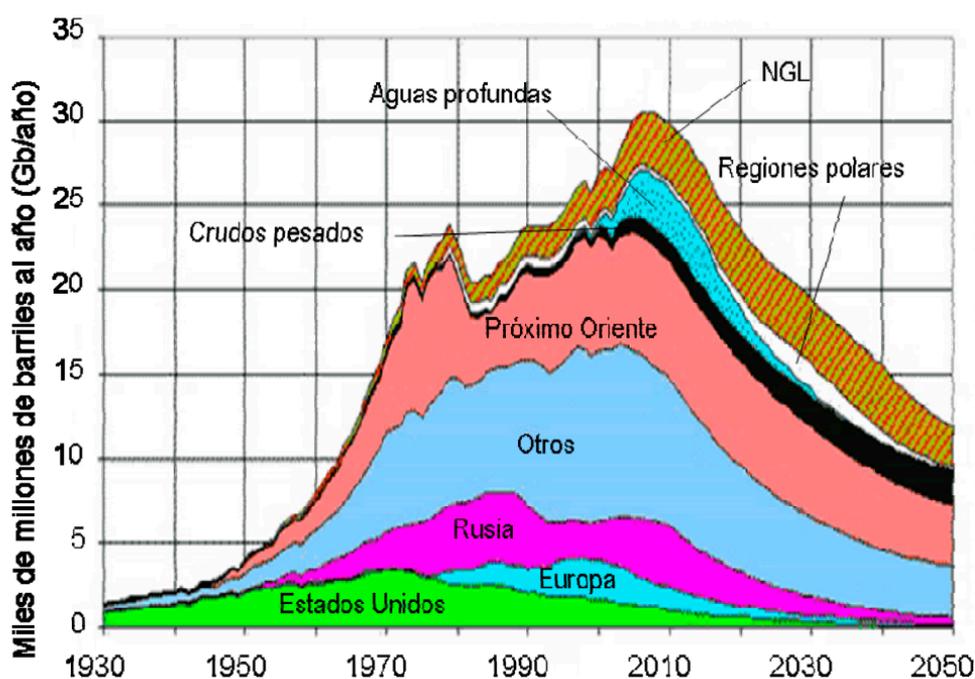


Ilustración 1: Producción mundial de crudo y estimación de la producción futura por regiones. (Adaptación de EWG 2007)

El bioetanol es una fuente de energía conocida y de simplicidad relativa, puesto que es un aditivo sencillo de la gasolina. Este biocombustible que podría denominarse como ecológico, es conocido desde hace tiempo, tanto es así que ya en la primera guerra mundial se experimentó con el etanol para producir acetona, producto que se utilizaría a su vez para producir cordita, pólvora que sería importante en dicha guerra.

A día de hoy, como se ha mencionado anteriormente, el bioetanol ha ganado una gran importancia, tanto es así que se está creando una gran carrera de investigación alrededor de él.

En el estudio que se va a realizar a continuación se va a centrar en tratar la biomasa lignocelulósica, que sería toda aquella biomasa vegetal constituida fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa, y lignina. Se excluirían en este caso la biomasa constituida principalmente por almidón, proteínas y azúcares, como es el caso de los granos, cereales, mieles y otros. Dejando así también de lado el debate ético que se ha generado alrededor del uso de granos y cereales para la producción de bioetanol cuando este mismo podría servir como alimento para una gran parte de la población, teniendo en cuenta que gran parte de la población mundial malvive sin alimento diario.

Los materiales lignocelulósicos, en el caso presente los provenientes de residuos agrícolas, tienen como ventaja que son renovables y biodegradables, puesto que son el resultado del proceso de fotosíntesis de los vegetales mediante la energía solar. Teniendo en cuenta lo anterior, su empleo como combustible lo convierte en una manera sostenible y beneficiaria con el medio ambiente de aprovechar la energía solar.

Existen gran cantidad de tipos de biomasa lignocelulósica, como se ha mencionado antes, el trabajo se centrará en los provenientes de residuos agrícolas, a continuación, se muestran algunos ejemplos:

- Paja y Bagazo de caña de azúcar
- Pulpa de café
- Residuos de producciones de frutales
- Pajas de cosechas de cereales
- Residuos de producción de vinos, aceites y otros productos.

## 2. OBJETIVO

El objetivo de este proyecto fin de master es analizar los aspectos ambientales e impactos ambientales potenciales de la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos agrícolas, más específicamente la paja, mediante la técnica del análisis de ciclo de vida. Llevando a cabo este análisis desde la cuna hasta la tumba.

Se tratarán los beneficios del aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica puesto que se trata de la energía renovable alternativa al petróleo. Y tras finalizar el análisis de ciclo de vida se evaluarán los resultados obtenidos llegando a unas conclusiones.

### 3. EL BIOETANOL

#### 3.1. ORIGEN Y CONCEPTO

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

Según la directiva 2003/30/CE: biomasa es “fracción biodegradable de productos de desecho y residuos procedentes de la agricultura, silvicultura y de las industrias relacionadas, así como de la fracción biodegradable de residuos industriales y municipales”.

Atendiendo a su origen, la biomasa se puede clasificar en:

- Biomasa natural: se produce en la naturaleza sin intervención del hombre.
- Biomasa residual: es un subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc) silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (bagazos, cáscaras, vinazas...) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles...) así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.
- Cultivos energéticos: están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria, existen otros cultivos como los lignocelulósicos forestales, herbáceos y cosechas.

### 3.2. ESTRUCTURA DE LA BIOMASA LIGNOCELULOSA

La biomasa lignocelulósica es en su mayoría de origen vegetal. Está formada por tejidos vegetales cuyas células contienen una pared celular que está constituida por microfibrillas de celulosa, formando capas recubiertas de hemicelulosa y sobre las que se deposita la lignina, como se muestra en la ilustración 2 que se muestra a continuación...

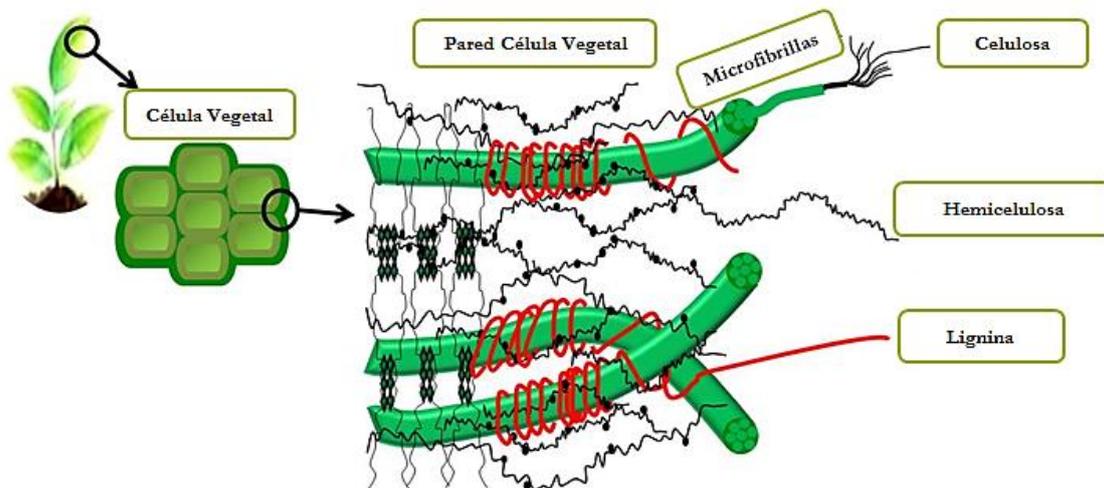


Ilustración 2: Estructura de biomasa lignocelulósica (Figura adaptada desde Tomme et al., 1995)

Para entender bien su composición, se explicará brevemente los diferentes componentes:

- **Celulosa:** es un biopolímero compuesto exclusivamente de  $\beta$ -glucosa. Se trata de la biomolécula más abundante. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo, haciéndolas impenetrables al agua, lo que sea insoluble al agua y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales. Su función en los vegetales es formar parte de los tejidos de sostén.

- **Hemicelulosa:** Se trata de un polisacárido compuesto por más de un tipo de monosacáridos formando una cadena lineal ramificada. Entre los monosacáridos destacan la glucosa o la fructosa, aunque el porcentaje del resto de monosacáridos también es importante como se muestra en la tabla 1. Forma parte de las paredes de la célula vegetal, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina.
- **Lignina:** es una clase de polímeros orgánicos complejos que forman materiales estructurales importantes en los tejidos de soporte de plantas vasculares y de algunas algas. La lignina es particularmente importante en la formación de paredes celulares.

Material lignocelulosico	Xilosa	Manosa	Galactosa	Arabinosa	Grupo Acetilo	Ácido Urónico
<b>Paja de Trigo</b>	16,9–18,5	0 – 0,7	0,7 – 2,2	1,6 – 2,1	2,4	2,2

Tabla 1: Composición del material lignocelulósico en porcentajes.

### 3.3. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

El aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica comienza en todos los casos con una combustión. Depende del producto que se quiera obtener, se realizan procesos complementarios.

La biomasa se puede quemar directamente en un horno produciendo calor, o añadir antes de este proceso tratamientos físicos, químicos... produciendo un producto líquido o gaseoso que podemos utilizar en calderas que nos producen trabajo y calor, el cual se utilizaría en máquinas industriales y en motores de combustión interna.

En cuanto a las aplicaciones, son diversas, puesto que como se ha comentado anteriormente existen gran variedad de biomasa y distintas tecnologías de transformación. Podemos destacar:

- **Producción de energía térmica:** es el aprovechamiento más común para el uso de la biomasa sólida, con él se provee de calor y agua caliente sanitaria a viviendas.
- **Producción de energía eléctrica:** se obtiene a partir de biomasa residual y cultivos energéticos, se trata de un sistema más complejo de aprovechamiento, se precisa de centrales térmicas específicas.
- **Producción de biocombustibles:** En este aprovechamiento se debe distinguir dos vías: la producción de biocarburantes para vehículos con motor diésel que se obtienen a partir de cultivos oleaginosos y los segundos, los biocarburantes destinados a motores de encendido provocado, que se obtienen a partir de cultivos o especies ricas en azúcares.
- **Producción de gases combustibles:** es la menos conocida. Consiste en la obtención de un gas a partir de la descomposición de la biomasa. Dicho gas está compuesto básicamente por metano, no tiene elevado contenido calorífico, pero es útil en la industria ganadera y agrícola.

## 4. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

### 4.1. DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Cuando se habla de Análisis de Ciclo de Vida o ACV se refiere a una herramienta de gestión ambiental que pretende analizar de una manera objetiva y metódica los aspectos e impactos potenciales del producto (en este caso de la producción de biodiesel a partir de lignocelulosa) desde la cuna a la tumba (desde la adquisición de la materia prima hasta su disposición final). Dicho análisis se realiza como una visión general para evitar desplazamientos de carga ambiental potencial entre etapas de dicho ciclo.



Ilustración 3: Etapas del Ciclo de Vida del producto (Ilustración de EcoInteligencia)

La norma ISO 14040:2006 define que un estudio de ACV tiene cuatro fases:

- **La fase de definición del objetivo y el alcance:** se deben dejar claros los límites y el nivel de detalle que se pretende realizar en el estudio, para ello es importante saber cuál es el fin del análisis.

- **La fase de análisis del inventario (ICV):** se trata de un inventario de datos de entrada/salida en relación con el sistema que se estudia, esta recopilación tiene que cumplir los objetivos del estudio.
- **La fase de evaluación del impacto ambiental (EICV):** Durante esta fase se evalúan los resultados de la fase anterior desde un punto de vista ambiental.
- **La fase de interpretación:** por último, se interpretan los resultados obtenidos en las fases anteriores para sacar conclusiones y poder tomar decisiones.



Ilustración 4: Fases de un ACV

Para la implantación de un ACV se deben consultar las siguientes normas:

- ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- ISO 14044 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

## 4.2. DESARROLLO DE UN ACV

El Desarrollo del ACV nos permite analizar las entradas y salidas de los sistemas del producto o proceso a estudio, evaluando en cada entrada y salida los impactos ambientales potenciales que están asociados a estas mismas.

El Desarrollo de un ACV se divide en diferentes etapas definidas que se explicaran a continuación.

---

### ETAPA1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE

La Etapa primera, o definición del objetivo y alcance, según la Norma ISO 14040 incluye los límites del sistema y el nivel de detalle, así como la profundidad y amplitud del ACV.

---

### ETAPA 2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

Esta etapa se basa en la recopilación de datos que nos ayudaran a comprender las etapas posteriores. Es importante tener bien definidos los flujos de entradas (materias primas y fuentes de energía que actúen en el proceso) y salida (emisiones al aire, agua y suelo) que tienen lugar durante el ciclo de vida de un producto.

La realización de un inventario de ciclo de vida es un proceso iterativo, a medida que se avance en el estudio del proyecto, se van a conocer nuevos datos por lo que los límites podrían ser modificados.

En el proyecto a analizar se han definido diferentes subsistemas dentro del sistema global, para facilitar su estudio, por lo que, se van a estudiar y cuantificar las entradas y salidas de cada uno de ellos individualmente.

Esta etapa del análisis se divide a su vez en distintas partes:

### Recopilación de datos

- Entradas de energía, materia prima , entradas auxiliares y otras entradas físicas.
- Productos, coproductos y residuos.
- Emisiones al aire, vertidos al agua y suelo
- Otros aspectos ambientales

### Cálculo de datos

- Validación de los datos recopilados
- Relación de los datos con los procesos unitarios
- Relación de los datos con el flujo de referencia de la unidad funcional.

### Asignación de flujos , emisiones y vertidos.

#### Ilustración 5: Etapas del Análisis

En el proyecto que se está desarrollando los datos que se van a utilizar se van a obtener de balances de energía y materia y de fuentes bibliográficas.

### ETAPA 3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

Durante la fase de Evaluación del impacto del ciclo de vida se va a evaluar los impactos ambientales potenciales que tienen lugar en cada sistema del producto, utilizando los resultados obtenidos en la fase anterior.

Se asociarán los datos obtenidos en la ICV, con las categorías de impactos ambientales específicos y con los indicadores de esas categorías, todo ello con el fin de comprender dichos impactos.

En la siguiente figura se pueden ver los elementos de la fase que estamos desarrollando:

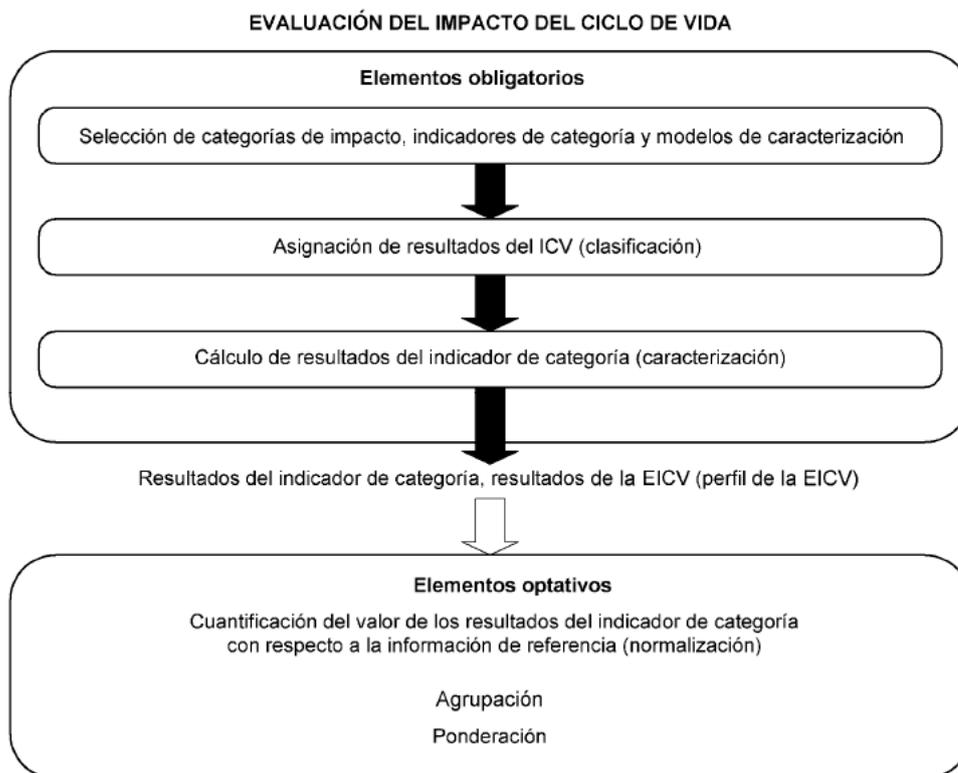


Ilustración 6: Elementos de la fase EICV

---

#### ETAPA 4. INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

La interpretación del ciclo de vida es la fase que discute los resultados obtenidos de las fases anteriores, sirve como referencia a la hora de tomar decisiones o simplemente de llegar a una conclusión.

Esta fase permite llegar a la conclusión de que sistema del producto tiene mayores impactos y buscar posibles soluciones a ello.

## 5. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE PAJA DE TRIGO

En el capítulo anterior se ha definido como sería un análisis de ciclo de vida, en esta ocasión se centra específicamente en la realización del análisis de ciclo de vida de la producción de bioetanol a partir de paja de trigo, profundizando más en lo que es un análisis de ciclo de vida real.

### 5.1. ETAPA 1: OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

---

#### *DEFINICIÓN DEL OBJETIVO:*

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un ACV de la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica, centrándose en aquella que proviene de residuos agrícolas, más específicamente la paja.

Se realizará el análisis desde la cuna hasta la tumba, teniendo en cuenta que este ciclo comenzaría en la recolección de la paja, considerando la recolección como la cuna, hasta la utilización por combustión en motores de combustión interna del biocarburante (bioetanol) que se haya generado denominando esto como la tumba.

Los objetivos a analizar se podrían definir como:

- Obtener el valor de emisiones de óxido de carbono que el proceso de transformación haya generado, valorando así las emisiones netas que producen la utilización de este tipo de biocarburantes.
- Analizar las oportunidades que ofrece el aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica.

- Cuantificar y evaluar los impactos ambientales potenciales generados en el proceso de producción.
- Identificar las posibilidades que existen para reducir los impactos que se han fijado anteriormente

---

#### ALCANCE DEL ACV:

Según la norma UNE-ISO 14040.2006 se debe definir:

- *Sistema del producto a estudiar:* Se dividirá el proceso en varios sistemas para hacer más sencilla su evaluación, estos sistemas se reflejarán en el siguiente gráfico haciendo a su vez referencia a los subsistemas que actúan en él.
  - **Sistema de pretratamiento:** se incluirá la recolección, el transporte y la manipulación de la paja hasta la planta de tratamiento, almacenamiento, procesos para reducir el tamaño, así como lograr la apertura del material fibroso que facilite la posterior penetración de los agentes químicos de hidrólisis. También formaría partes el tratamiento termoquímico, el cual se utiliza para ablandar la lignina y la hemicelulosa, esta parte también es importante para ayudar en la siguiente fase a que las enzimas o microorganismos puedan trabajar.
  - **Sistema de sacarificación y fermentación:** La etapa de fermentación tiene como objetivo fermentar los azúcares y la xilosa a etanol, utilizando normalmente tratamientos enzimáticos. Se va a optar por una sacarificación y fermentación simultánea (SSF) usando células de fuentes externas, las razones para elegir este método son su rendimiento y su velocidad de hidrólisis, que habitualmente son mayor, se necesita una carga menor de enzimas, lo que reduce costes y para terminar el riesgo de contaminación es menor.
  - **Sistema de destilación:** abarca la obtención del etanol crudo, la rectificación y la deshidratación

- **Sistema de actividades auxiliares:** consiste en las actividades que ayudan a solucionar el problema de los residuos generados en las anteriores etapas, como son:
  - Productos químicos
  - Biomasa celular residual de la fermentación
  - Agua residual del proceso
  - Vinazas, que son los residuos de la destilación
  - *Funciones del sistema del producto:*

El sistema estudiado cumple la función de, a partir de la paja proveniente de residuos agrícolas y de su transformación, producir etanol que pueda ser usado en motores.

- *La unidad funcional*

La unidad funcional actúa como una medida de referencia en el sistema, con la que se puede comparar el comportamiento de las entradas y salidas del mismo. En el presente estudio se tomará como unidad funcional 1 kg de bioetanol.

Teniendo en cuenta que en todos los procesos se ha definido como unidad funcional un kilogramo (kg) de bioetanol, el número de hectáreas necesarias de diferentes cultivos para la producción de dicha cantidad y los productos que de dicha transformación se obtienen:

Terreno	8,4 m <sup>2</sup>
Cantidad	3 kg

- *Sistemas estudiados:*

Para realizar un estudio más detallado del sistema, se dividirá el proceso de producción en:

- Subsistemas: Son las distintas fases que van teniendo lugar durante el sistema global, se dividen así para facilitar los cálculos. Se representarán en el diagrama mediante cuadros azules.
- Entradas: tanto de materia como de energía. Se representan en color verde.
- Salidas: de materia y energía. Se representan en color morado.
- Flujo de producto: son aquellas materias que son transferidas de un subsistema a otro.
- Entrada principal: en este caso se trata de la paja de trigo
- Producto final: Bioetanol.

En la ilustración 7 se pueden observar los subsistemas en los que se ha dividido el proceso.

Análisis del Ciclo de Vida de la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos agrícolas.

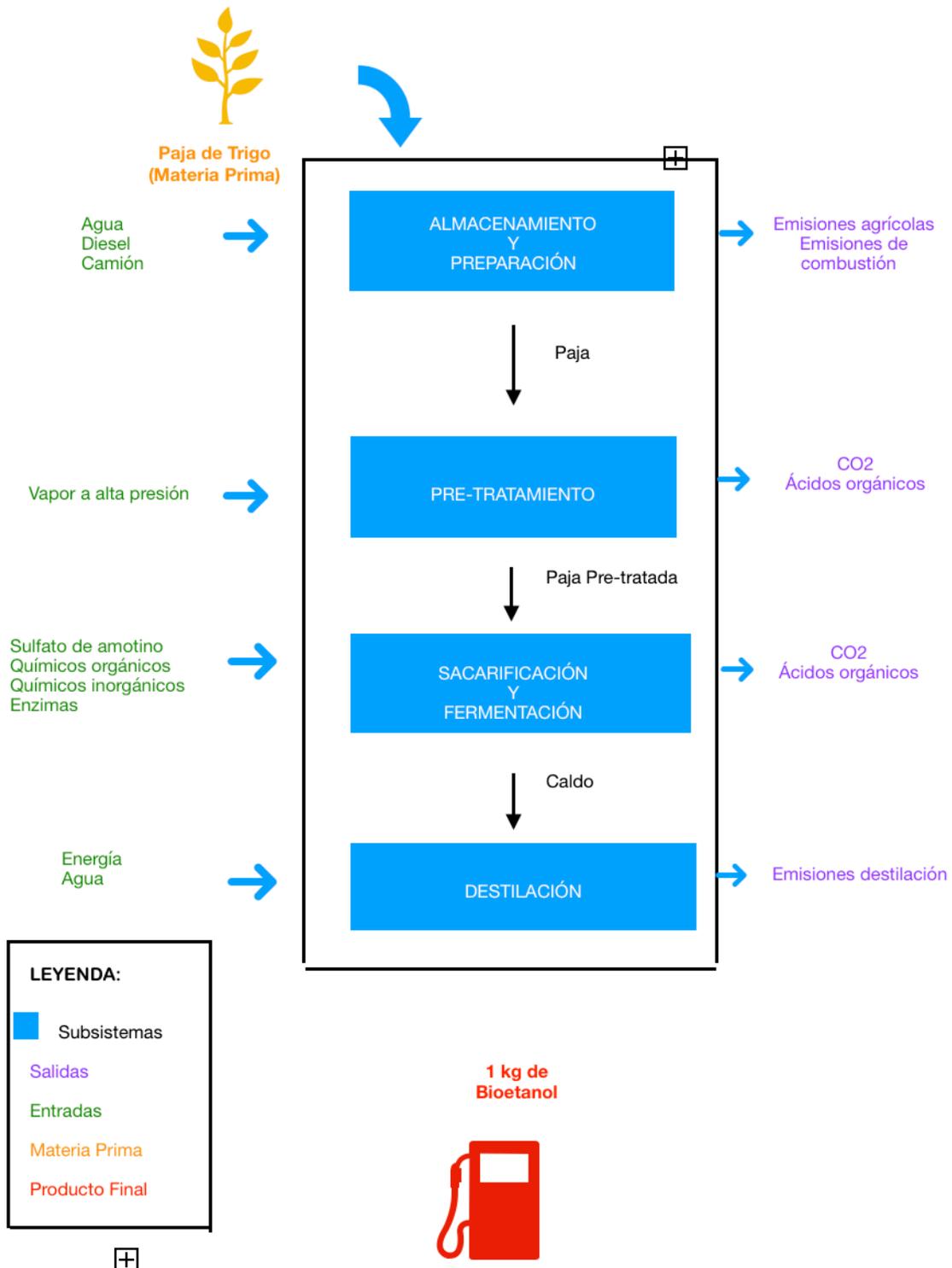


Ilustración 7: Esquema de los subsistemas del proceso (Elaboración propia)

- *Los límites del sistema:*

Los límites del sistema se definen como los procesos que deben incluirse dentro del ACV y el nivel de detalle de estudio. Se dividen en:

**Límites geográficos:** Hemos utilizado la paja como materia prima, la cual es una de las fuentes más abundantes de materia prima del mundo. En la península ibérica su cultivo es muy amplio por lo que no haría falta superar estos límites geográficos.

**Límites temporales:** consideraremos como límites de los procesos el año 2016 y 2017.

**Etapas excluidas del análisis:** en el análisis que se está realizando se ha excluido las cargas de los procesos agrícolas anteriores a la recogida de la paja y su separación del grano.

- *Requisitos de calidad de los datos*

Según la normativa se han de definir las bases de datos utilizadas, así como las fuentes de información, para asegurar que los datos cumplen los criterios de calidad establecidos en dicha normativa.

Para el estudio del sistema que se ha planteado, se ha dividido en distintos subsistemas para un estudio de su flujo más claro y conciso. Atendiendo a la cuna y tumba establecidas, se dividirá en: almacenamiento y preparación, pretratamiento, sacarificación y fermentación, destilación y para finalizar actividades auxiliares.

Durante la búsqueda de dichos datos se han tenido ciertos problemas a la hora de su obtención, puesto que las bases de datos más fiables y usadas son de uso privado.

Por ello mismo, se ha realizado un estudio o comparación de los datos usados en diversas tesis doctorales e investigaciones que se encuentran públicas.

## 5.2. ETAPA 2. INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

Durante la etapa de inventario del ciclo de vida se realizarán una serie de cálculos para conocer los flujos de entrada y salida en cada uno de los subsistemas que se han definido en apartados anteriores.

Así se define, como entradas la materia procedente de fuentes externas o subsistemas anteriores y salidas las emisiones al aire, agua y suelo e inclusive materia que será necesaria en subsistemas posteriores.

Durante todo el balance de energía y materia se relacionará los flujos de energía y materia con la unidad funcional.

Como se ha dicho anteriormente, se dividirá el sistema en diferentes subsistemas:

### ○ *Subsistema 1. Almacenamiento y preparación*

Como se ha determinado se estudiará el proceso a partir de los trabajos de almacenamiento de la paja recogida, la preparación de la misma (separación del grano) y empaquetamiento de esta, no se tendrán en cuenta procesos anteriores como son el cultivo del trigo, uso de fertilizantes, etc. En el siguiente diagrama se muestra de una manera clara tanto las entradas, los procesos, así como las salidas.



Ilustración 8: Resumen subsistema 1

Se incluyen como entradas principales la paja de trigo y el camión que la empaqueta.

En primer lugar, centrándonos en la paja de trigo tenemos varios datos de diferentes estudios. El primero nos indica que por cada hectárea de trigo cultivado se recoge una media de 3409 t de paja, y que para la producción de una tonelada de bioetanol se necesitan 0,85 ha de trigo; se llega a la conclusión de que, atendiendo a nuestra unidad funcional de producción de 1 kg de bioetanol, necesitamos 8,5 m<sup>2</sup> o 3 kg de paja.

En otro estudio se considera que se recogen 5,94 t de paja/ha de trigo, este cálculo es en base seca, considerando un contenido de humedad del 15 %, lo que serían 5,940 kg de paja.

El proceso de transporte hace referencia al transporte de la paja de trigo desde la zona de cultivo hasta la planta de transformación o biorefinería. Se determina que será aproximadamente de 10 km ya que se supone que se encontrará en una zona cercana y que el camión será de aproximadamente 16 t, dato que se obtiene de una comparación realizada con varios catálogos de transportes agrícolas. Todos estos datos quedan recopilados en la tabla 2, que muestra las entradas y salidas de este subsistema.

Tabla 2. INVENTARIO S1 PARA LA OBTENCION DE 1 KG DE BIOETANOL	
Entradas desde la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Paja de trigo (suponemos un valor medio de recolección)	3
Transporte	
	Cantidad (t)
Camión	16
Salidas a la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Paja de trigo empaquetada	3

Tabla 2: Balance subsistema 1

○ *Subsistema 2. Pretratamiento*

El segundo subsistema incluye los procesos para el pretratamiento de la paja empaquetada.

El pretratamiento de la paja de trigo se llevará a cabo mediante explosión de vapor, que es un proceso que combina un efecto químico con un efecto mecánico. Con este pretratamiento se espera debilitar la estructura lignocelulósica, para facilitar el tratamiento de la misma, esto se produce sometiéndola a altas temperaturas y presión para finalmente realizar una descompresión rápida.

Entre los diferentes procesos existentes, se ha decantado por la explosión de vapor por una de sus ventajas frente al resto, que es el consumo de energía que es un 70% menor a los tratamientos mecánicos.

Como en el anterior subsistema se realiza un balance de entradas y salidas, tabla 3, teniendo en cuenta la energía necesaria que se requiere para la realización de dicho proceso.

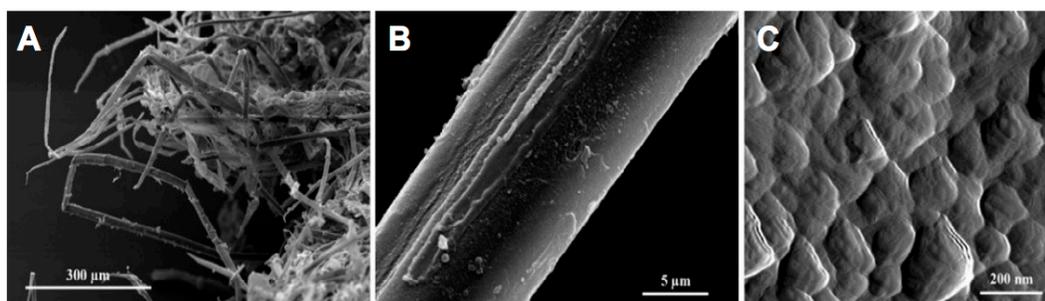


Ilustración 9: Imágenes de MEB y MFA de paja de trigo pretratada por EV. (A) Separación de fibras tras la EV (imagen por MEB). (B) Capa superficial de una fibra individual con depósitos de polímeros de la pared celular (MEB). (C) Depósitos globulares característicos de la lignina (imagen por MFA) (Kristensen y col., 2008)

Tabla 3. INVENTARIO S2 PARA LA OBTENCION DE 1 KG DE BIOETANOL	
Entradas desde la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Paja de trigo (suponemos un valor medio de recolección)	3
Vapor a alta presión	3,8
Energía	Cantidad (MJ)
Electricidad	3,8
Entradas desde el medio ambiente	
Materiales	Cantidad (L)
Agua	5,3
Salidas a la Tecnosfera	

Materiales	Cantidad (kg)
Paja de trigo pretratada	10,85
Salidas al medio ambiente	
Materiales	Cantidad (g)
Ácido acético (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )	30

Tabla 3: Balance Subsistema 2

○ *Subsistema 3. Sacarificación y fermentación*

Para el tercer subsistema se ha decantado por una sacarificación y fermentación simultánea, reduciendo así el aporte de enzimas y el riesgo de contaminación por el proceso. Mediante este paso se transformará la glucosa en etanol.

Dentro de este subsistema se incluye la entrada de los nutrientes y químicos, así como su transporte, para su posterior uso en los procesos de sacarificación y fermentación. Se utilizará el mismo modelo de camión utilizado anteriormente (16 t) pero se modificará la distancia a la que se encuentran las materias. Balance especificado en la tabla 4.



Ilustración 9: Resumen subsistema 3

Tabla 4. INVENTARIO S3 PARA LA OBTENCION DE 1 KG DE BIOETANOL	
Entradas desde la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Paja de trigo pretratada	10,85
Químicos orgánicos	0,085
Químicos inorgánicos	0,0025
Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) (SO <sub>4</sub> ) como N	0,0015
Enzima	0,5
Energía	Cantidad (MJ)
Electricidad	1
Transporte	Cantidad (t)

Camión	16
Entradas desde el medio ambiente	
Materiales	Cantidad (L)
Agua	0,8
Salidas a la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Caldo	12
Salidas al medio ambiente	
Materiales	Cantidad (kg)
CO2	0,7

Tabla 4: Balance Subsistema 3

○ *Subsistema 4. Destilación*

Este subsistema cuenta con la destilación, considerada en tres etapas: obtención del etanol crudo 45%, rectificación a 96% y deshidratación a 99,9%.

Se utilizará el caldo proveniente de la anterior etapa y sin necesidad de transporte alguno. La energía proviene de la misma refinería como resultado de procesos adyacentes.

Se han de tener en cuenta las salidas al medio ambiente, como se muestra en la tabla 5, puesto que son una gran fuente de contaminación.

Para entender las entradas y salidas de este proceso se ha de explicar cómo tiene lugar. El objetivo principal es separar el caldo que está formado por etanol y agua para ello se realizaran una serie de destilaciones repetitivas en las que se ira obteniendo un caldo más limpio de agua.



Ilustración 10: Resumen Subsistema 4

Tabla 5. INVENTARIO S4 PARA LA OBTENCION DE 1 KG DE BIOETANOL	
Entradas desde la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Caldo	12
Energía	Cantidad (MJ)
Calor	200
Electricidad	0,17
Salidas a la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Agua residual	7,5
Jarabe y residuos solidos	3,4
Etanol	0,8

Salidas al medio ambiente	
Materiales	Cantidad (kg)
Bioetanol	18

Tabla 5: Balance subsistema 4

○ *Subsistema 5. Actividades auxiliares*

Se consideran como actividades auxiliares, la depuración de las aguas residuales provenientes del subsistema 4, así como la producción de energía que se utilizará en cualquiera de los subsistemas anteriores. Todo ello queda englobado en la tabla 6.

Tabla 6. INVENTARIO ACTIVIDADES AUXILIARES PARA LA OBTENCION DE 1 KG DE BIOETANOL	
Entradas desde la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (kg)
Agua residual	7,5
Jarabe y residuos solidos	3,4
Energía	Cantidad (MJ)
Electricidad	1,1
Transporte	Cantidad (t)
Camión	16
Entradas desde el medio ambiente	

Materiales	Cantidad (L)
Agua	100
Salidas a la Tecnosfera	
Materiales	Cantidad (MJ)
Calor producido	200
Salidas al medio ambiente	
Materiales	Cantidad (kg)
CO <sub>2</sub>	0,3

Tabla 6: Balance Subsistema actividades auxiliares

### 5.3. ETAPA 3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

La EICV es una evaluación del impacto que tiene el producto o el proceso a estudiar en el medio ambiente, todo ello con un enfoque relativo basado en la unidad funcional. En todo momento, el EICV debe estar enlazado con el resto de fases del ACV, para conseguir lograr el objetivo y el alcance del estudio.

Según la norma UNE-ISO 14044 la EICV debe estar constituida por los siguientes elementos:

- **Elementos obligatorios:**

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.
- Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas (clasificación).
- Cálculo de los resultados de indicadores de categoría (caracterización).

- **Elementos opcionales:**

- Normalización: cálculo de la magnitud de los resultados de categorías en relación con la información de referencia.
- Agrupación: organización y posible clasificación de las categorías de impacto
- Ponderación: conversión y posible suma de los resultados del indicador a través de las categorías de impacto utilizando factores numéricos basados en juicios de valor, los datos previos a la ponderación deberían seguir estando disponibles.
- Análisis de la calidad de los datos: mejor comprensión de la fiabilidad en la recopilación de los resultados del indicador y del perfil de la EICV.

Otra de las diferencias entre los distintos métodos de evaluación que se debe definir es la elección entre el método “Endpoint” y el método “Midpoint”.

- Endpoint: analiza el efecto último del impacto ambiental.
- Midpoint: analiza los efectos intermedios.

En el caso de las categorías midpoint se proporciona información más detallada de los impactos: el momento y la manera en que afectan al medio ambiente. Con las categorías endpoint se busca una evaluación más global.

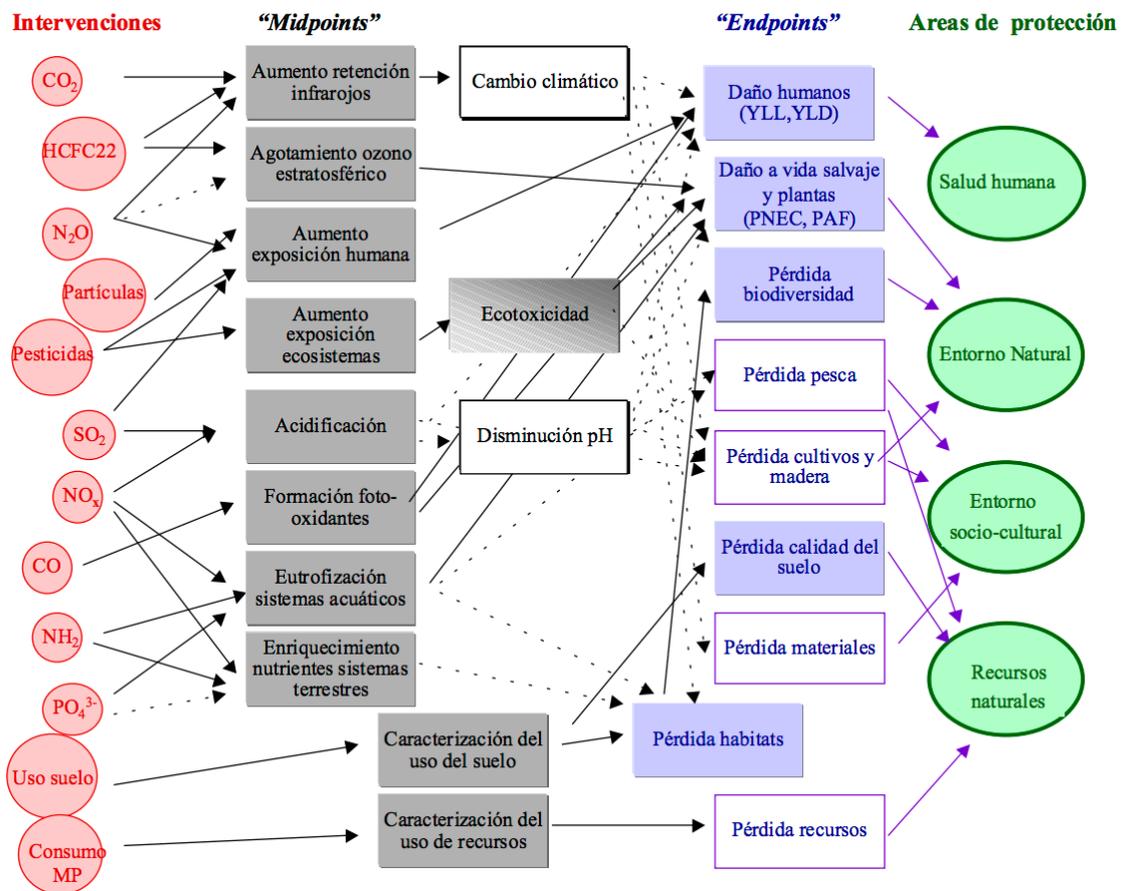


Ilustración 11: Ejemplo de esquema de evaluación (Udo de Haes y col., 1999b)

A la hora de seleccionar una categoría de impacto tenemos que tener en cuenta que existen diferentes métodos. En este trabajo se ha decidido seguir el método Récipe, que combina los métodos CML2001 y Eco- Indicator99, se trata de una metodología que se usa a nivel europeo y que a su vez combina dos enfoques: el orientado al problema ambiental y al daño. Incluye dos grupos de categorías que se muestran en la tabla 7 y 8:

PUNTOS INTERMEDIOS	
Cambio Climático	Radiación ionizante
Disminución de la capa de ozono	Acidificación terrestre
Toxicidad humana	Eutrofización marina
Formación de oxidantes fotoquímicos	Eco toxicidad terrestre
Formación de materia particulada	Eco toxicidad de agua dulce
Eco toxicidad marina	Ocupación de terreno agrícola
Ocupación de terreno urbano	Transformación de terreno natural
Disminución de cantidad de agua dulce	Disminución de recursos minerales
Disminución de combustibles fósiles	Eutrofización de agua dulce

Tabla 7: Puntos intermedios de la EIA

PUNTOS FINALES
Salud humana
Ecosistemas
Aumento del coste de recursos

Tabla 8: Puntos finales de la EIA

- **Cambio climático:** Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmosfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. Todo se definiría como el impacto de las emisiones antropogénicas en la absorción de la radiación térmica por la atmosfera terrestre. Parte de esta radiación solar es absorbida por los gases existentes en la atmosfera provocando el aumento de temperatura del que se hablaba al principio de este párrafo, estos gases son vapor de agua, CO<sub>2</sub> y otros gases como CH<sub>4</sub> N<sub>2</sub>O y CFC [kg equivalente CO<sub>2</sub>]
- **Disminución de la capa de ozono:** Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica. [kg equivalente de CFC- 11]
- **Ecotoxicidad para ecosistemas de agua dulce:** Categoría de impacto ambiental relativa a los impactos tóxicos que afectan a un ecosistema, que son nocivos para distintas especies y que cambian la estructura y función del ecosistema. La ecotoxicidad es resultado de una serie de diferentes mecanismos toxicológicos provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema. [ CTUe (Unidad tóxica comparativa para los ecosistemas)]
- **Toxicidad humana:** Categoría de impacto correspondiente a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a la absorción de sustancias tóxicas mediante la inhalación de aire, la ingesta de alimentos o agua, o la penetración a través de la piel, en la medida en que estén relacionados con el cáncer y efectos no cancerígenos. [ CTUe (Unidad tóxica comparativa para las personas)]

- **Partículas/sustancias inorgánicas con efectos respiratorios:** Categoría de impacto que corresponde a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a las emisiones de partículas y de sus precursores ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ). [kg equivalente de  $\text{PM}_{2.5}$ ]
- **Radiaciones ionizantes, efectos sobre la salud humana:** Categoría de impacto correspondiente a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a descargas radiactivas. [kg equivalente de U 235 (en el aire)]
- **Acidificación:** Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. [mol equivalente de  $\text{H}^+$ ]
- **Eutrofización, terrestre y acuática:** Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua. [mol equivalente de N]
- **Agotamiento de los recursos, minerales, fósiles:** Consumo de materiales extraídos de la naturaleza [kg equivalente de antimonio (Sb)]
- **Agotamiento de los recursos-agua:** Consumo de recursos hídricos [ $\text{m}^3$  de consumo de agua en relación con la escasez de agua a nivel local]
- **Transformación de la tierra:** Categoría de impacto correspondiente al uso (ocupación) y conversión (transformación) de una superficie de tierra por actividades tales como la agricultura, carreteras, viviendas, minería, etc. La ocupación de la tierra considera los efectos del uso de la tierra, la extensión de la superficie implicada y la duración de su ocupación (cambios en calidad multiplicados por superficie y duración). La transformación de la tierra considera la amplitud de los cambios en las propiedades de la tierra (cambios en calidad multiplicados por la superficie). [kg (déficit)]

Debido a los problemas técnicos que se explicaran en un apartado posterior, y dado que no se dispone de datos ni medios para realizar la EICV como estaba previsto

se utilizará otro método de análisis en este caso de impacto ambiental para solventar el problema y de esta manera poder concluir con el análisis del proyecto realizando una valoración de impactos.

Para ello se realizarán una serie de pasos descritos a continuación:

---

#### LISTA DE CHEQUEO:

Se trata de un método de identificación muy simple, por lo que se usa para una evaluación preliminar y orientativa. Consiste en comprobar los impactos que pueden producirse a través de las listas de referencia existentes al efecto (manuales, artículos, prensa, etc.).

Se trata de una lista de impactos negativos, positivos o no significativos, sobre el medio físico y el medio socioeconómico. Hay que destacar que estas listas de referencia, por muy completas que sean, siempre pueden tener omisiones, por lo que conviene tener en cuenta que cada estudio es un caso concreto y que se pueden producir impactos no incluidos en estas listas.

a) Medio físico:

ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
CALIDAD AMBIENTAL		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisión de contaminantes gaseosos</li> <li>-Emisión de partículas</li> <li>-Aumento de los niveles sonoros</li> <li>- Alteración de la calidad del aire por aplicación de fitosanitarios</li> <li>-Modificación del microclima</li> <li>-Emisión de olores</li> <li>-Contaminación lumínica</li> </ul>
GEOLOGÍA; LITOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Erosión y compactación del terreno</li> <li>-Degradación de estructuras geológicas</li> </ul>
EDAFOLOGÍA	-Recuperación de áridos	-Contaminación del suelo
HIDROLOGÍA		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Consumo de recursos hídricos</li> <li>-Alteración de la calidad del agua</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modificación de la tasa de infiltración de agua</li> <li>-Modificación del régimen de aguas subterráneas</li> </ul>
VEGETACIÓN		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Posible afección a especies vegetales presentes</li> <li>-Contaminación</li> </ul>
FAUNA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aparición de nuevos biotipos y nuevas especies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Destrucción de hábitats y biotopos naturales.</li> <li>-Alteración de pautas de comportamiento y desplazamiento de la fauna existente.</li> <li>-Efectos sobre la estabilidad de las comunidades y ecosistemas y molestias a la fauna.</li> <li>-Posible afección a especies animales endémicas, raras, amenazadas, vulnerables o con algún tipo de protección.</li> </ul>
PAISAJE	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Integración paisajística</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Visualización de las actuaciones.</li> <li>-Modificación de las formas, colores y texturas.</li> <li>-Pérdida de naturalidad.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Introducción de líneas geométricas que rompen con el entorno natural</li> <li>-Eliminación de componentes del paisaje e introducción de otros nuevos, modificando la diversidad</li> </ul>
<p>ÁREAS DE SENSIBILIDAD ECOLÓGICA</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Perturbación de los planes de seguimiento, conservación y recuperación de especies</li> <li>-Afección al dominio público forestal</li> <li>-Coincidencia territorial con Espacios Naturales Protegidos.</li> </ul>
<p>RED NATURA 2000</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Destrucción de hábitats</li> </ul>

Tabla 9: Lista de chequeo del medio natural

b) Medio Socioeconómico:

ASPECTOS	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
SISTEMA DEMOGRÁFICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cambios en la estructura demográfica</li> <li>-Alteraciones en la población activa</li> <li>-Modificación del plan de recogida de basura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>-Afección a la calidad de vida, condiciones y bienestar</b></li> </ul>
SISTEMA TERRITORIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modificación de equipamientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>-Ocupación e interrupción del tráfico (Vía Pecuaria y caminos)</b></li> <li><b>-Modificación de Red de abastecimiento, red de saneamiento, red eléctrica</b></li> </ul>
SISTEMA ECONOMICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Recaudación pública</li> <li>-Efecto atrayente a la inversión y desarrollo</li> <li>-Potenciación del sector terciario y creación de puestos de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>-Interrupción de la actividad agropecuaria y disminución de la productividad de los terrenos colindantes</b></li> <li><b>-Demanda de suministros y materiales</b></li> <li><b>-Aumento del número de visitantes a la zona</b></li> </ul>
ORDENACION DEL TERRITORIO Y PLANEAMIENTO URBANISTICO		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>-Modificación del Planeamiento Urbanístico</b></li> <li><b>-Incumplimiento de la normativa vigente en cuanto a edificación.</b></li> <li><b>-Falta de la señalización de obstáculos de obra</b></li> </ul>

Tabla 10 : Lista de chequeo del medio socioeconómico

---

## MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN

Las matrices usadas para la identificación de impactos, están típicamente constituidas por una lista de las actividades precisas para el desarrollo del proyecto, la cual se enfrenta, en una tabla de doble entrada, a otra lista de indicadores de impacto. Se forma así una matriz que puede usarse para la detección de las relaciones causa-efecto.

La Matriz de Identificación, que es del tipo causa-efecto, consistirá en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figurarán las acciones impactantes y en las filas los factores medioambientales susceptibles de recibir impactos.

Para la ejecución de la Matriz de Identificación de impactos (tabla 11) será necesario identificar las acciones que puedan causar impactos sobre una serie de factores del medio (Medio Físico y Medio Socioeconómico).

A continuación, se establecerán las acciones susceptibles de producir impactos durante los diversos subsistemas.

Cuando una acción determinada produce una alteración en un factor ambiental, se anota en la cuadrícula de intersección de sus correspondientes líneas (fila y columna), para después proceder a un análisis más minucioso y describirlo.

a) Subsistema 1: Almacenamiento y preparación.

- Almacenamiento y trabajos de empacamiento de la paja: Tras la recolección del grano se utilizarán maquinarias pesadas para crear las alpacas con la paja que posteriormente se utilizara para el proceso.
- Traslado de la materia: Se procederá al traslado de las alpacas de paja en camión hasta la refinería.

b) Subsistema 2: Pretratamiento.

- Pretratamiento de la paja de trigo: Se llevará a cabo mediante explosión de vapor, este proceso combina trabajos mecánicos y químicos.
  
- c) Subsistema 3: Sacarificación y fermentación.
  - Transporte de las materias primas: Se portearán todos los materiales necesarios para esta fase, tales como enzimas, químicos...
  - Sacarificación y fermentación: Procesos que tendrán lugar dentro de la refinería.
- d) Subsistema 4: Destilación.
  - Destilación: Como propiamente dice el nombre, se procederá a separar en el caldo, el agua del etanol, mediante sucesivas repeticiones del proceso.
- e) Subsistema 5: Actividades auxiliares.
  - Transporte de residuos: Tras los procesos anteriores, además del bioetanol se producen residuos sólidos que serán trasladados a plantas especializadas.
  - Depuración de aguas residuales: Provenientes de la destilación del etanol.
  - Generación de electricidad: Proceso adyacente que proporcionará energía para el resto de procesos.

		Subsistema 1		Subsistema 2	Subsistema 3		Subsistema 4	Actividades Auxiliares		
Factores ambientales	Impactos	Almacenamiento o trabajos de empacamiento de la paja:	Traslado de la materia	Pretratamiento de la paja de trigo	Transporte de las materias primas	Sacarificación y fermentación	Destilación	Transporte de residuos	Depuración de aguas	Generación de electricidad
<b>Calidad ambiental</b>	Emisiones de contaminantes gaseosos	X	X	X	X	X		X		
	Emisiones de partículas		X		X			X		
	Aumento de los niveles sonoros	X	X		X			X		X
	Modificación del microclima			X						
	Emisión de olores	X		X		X	X	X	X	
<b>Geología, litología y geomorfología</b>	Erosión y compactación del terreno	X	X		X			X		

Análisis del Ciclo de Vida de la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos agrícolas.

		Subsistema 1		Subsistema 2	Subsistema 3		Subsistema 4	Actividades Auxiliares		
Factores ambientales	Impactos	Almacenamiento y trabajos de empacamiento de la paja	Traslado de la materia	Pretratamiento de la paja de trigo	Transporte de las materias primas	Sacarificación y fermentación	Destilación	Transporte de residuos	Depuración de aguas residuales	Generación de electricidad
<b>Edafología</b>	Contaminación del suelo	X	X		X			X		
	Alteración de horizontes y de las características del suelo	X	X		X			X		
<b>Hidrología</b>	Consumo de recursos hidrológicos			X		X	X		X	
	Alteración de la calidad del agua						X		X	
<b>Vegetación</b>	Contaminación									

<b>Fauna</b>	Destrucción de hábitats y biotopos naturales									
<b>Paisaje</b>	Integración paisajística							X		
<b>Medio socioeconómico</b>										
<b>Sistema demográfico</b>	Alteraciones en la población activa	V	V	V	V	V	V	V	V	
	Afección a la calidad de vida, condiciones y bienestar.						X			
<b>Sistema territorial</b>	Modificación de los servicios, plan de recogida de basuras, red de saneamiento...									
<b>Sistema económico</b>	Demanda de suministros y materiales	V			V					
	Recaudación pública							V	V	

	Potenciación del sector terciario y creación de puestos de trabajo	V	V	V	V			V	V	V
<b>Sistema Cultural</b>	Destrucción en elementos singulares del paisaje y restos arqueológicos.									
	Beneficios sobre el patrimonio Histórico-Artístico									

Tabla 111: Matriz de Identificación de impactos (X impacto negativo y V impacto positivo)

---

## CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS

La caracterización de todos los impactos reales responde a los conceptos descritos en el Anexo I del Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/86, de 28 de junio de 1986 (BOE nº 239, de 5 de octubre de 1988); aun sabiendo que están derogadas por la nueva ley de Evaluación Ambiental vigente la ley 21/2013 del 9 de diciembre se han utilizado como referencia para la realización de esta evaluación.

### a) Grado de incidencia

- Efecto notable: aquel que se manifiesta como una modificación del medio ambiente, de los recursos naturales o de sus procesos fundamentales de funcionamiento, que produzca o pueda producir en el futuro repercusiones apreciables en los mismos.
- Efecto mínimo: aquel que puede demostrarse que no es notable.

### b) Carácter genérico

- Efecto positivo: aquel admitido como tal tanto por la comunidad técnica y científica como por la población en general, en el contexto de un análisis completo de los costes y beneficios genéricos y de las externalidades de la actuación contemplada.
- Efecto negativo: aquel que se traduce en pérdida de valor naturalístico, estético-cultural, paisajístico, de productividad ecológica o en aumento de los perjuicios derivados de la contaminación de la erosión o colmatación y demás riesgos ambientales en discordancia con la estructura ecológico-geográfica, el carácter y la personalidad de una localidad determinada.

c) Tipo de acción

- Efecto directo: aquel que tiene una incidencia inmediata en algún aspecto ambiental.
- Efecto indirecto: aquel que supone incidencia inmediata respecto a la relación de un sector ambiental con otro.

d) Interrelación acciones/efectos

- Efecto simple: aquel que se manifiesta sobre un solo componente ambiental.
- Efecto acumulativo: aquel que al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor incrementa progresivamente su gravedad.
- Efecto sinérgico: aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente.

e) Momento de la actuación

- Efecto a corto, medio y largo plazo: aquel cuya incidencia puede manifestarse respectivamente dentro del tiempo comprendido en un ciclo anual, antes de cinco años, o en un período superior.

f) Duración

- Efecto permanente: aquel que supone una alteración indefinida en el tiempo de factores de acción predominante en la estructura o en la función de los sistemas de relaciones ecológicas o ambientales presentes en el lugar.
- Efecto temporal: aquel que supone alteración no permanente en el tiempo, con un plazo temporal de manifestación que puede estimarse o determinarse.

g) Reversibilidad

- Efecto reversible: aquel en el que la alteración que supone puede ser asimilada por el entorno de forma medible, a medio plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica, y de los mecanismos de autodepuración del medio.
- Efecto irreversible: aquel que supone la imposibilidad o la dificultad extrema de retornar a la situación anterior a la acción que lo produce.

h) Posibilidad de recuperación

- Efecto recuperable: aquel en que la alteración que supone puede eliminarse, o bien aquel en que la alteración que supone puede ser reemplazable.
- Efecto irrecuperable: aquel en que la alteración o pérdida que supone es imposible de reparar o restaurar.

i) Periodicidad

- Efecto periódico: aquel que se manifiesta con un modo de acción intermitente y continua en el tiempo.
- Efecto de aparición irregular: aquel que se manifiesta de forma imprevisible en el tiempo y cuyas alteraciones es preciso evaluar en función de una probabilidad de ocurrencia.
- Efecto continuo: aquel que se manifiesta con una alteración constante en el tiempo, acumulada o no.
- Efecto discontinuo: aquel que se manifiesta a través de alteraciones irregulares o intermitentes en su permanencia.

IDENTIFICACIÓN/DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS		Caracterización (Anexo I: Conceptos técnicos del Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre)	VALORACIÓN
<b>MEDIO FISICO</b>			
<b>Calidad ambiental</b>	Emisión de contaminantes gaseosos por aumento de tráfico rodado en la zona	Mínimo, Negativo, Directo, Sinérgico, Corto plazo, Temporal, Reversible, Irrecuperable, Efecto discontinuo.	MODERADO
	Aumento de los niveles sonoros producidos por la maquinaria	Mínimo, Negativo, Directo, Acumulativo, Corto plazo, Temporal, Reversible, Irrecuperable, Efecto periódico.	MODERADO
	Emisión de olores debido a los diferentes procesos de producción	Notable, Negativo, Directo, Acumulativo, Corto plazo, Temporal, Reversible, Recuperable, Efecto continuo.	SEVERO
<b>Geología, morfología y litología</b>	Erosión y compactación del terreno durante el proceso de almacenamiento y transporte	Mínimo, Negativo, Directo, Acumulativo, Corto plazo, Temporal, Irreversible, Recuperable, Efecto discontinuo.	MODERADO
<b>Edafología</b>	Alteración de horizontes y de las características del suelo por eliminación de capas superficiales fomentado por el paso de la maquinaria	Notable, Negativo, Directo, Acumulativo, Corto plazo, Permanente, Irreversible, Recuperable, Efecto discontinuo.	SEVERO
	Contaminación del suelo por vertidos	Notable, Negativo, Directo, Sinérgico, Largo plazo, Permanente, Irreversible, Irrecuperable, Efecto continuo	SEVERO

<b>Hidrología e hidrogeología</b>	Consumo de recursos hidricos	Notable, Negativo, Directo, Sinérgico, Largo plazo, Permanente, Irreversible, Recuperable, Efecto continuo	MODERADO
	Alteración de la calidad del agua por aumento de sustancias nocivas	Notable, Negativo, Directo, Sinérgico, Largo plazo, Permanente, Reversible, Recuperable, Efecto continuo	SEVERO
<b>MEDIO SOCIO-ECONÓMICO</b>			
<b>Sistema demográfico</b>	Alteraciones en la población activa por la creación de puestos de empleo	Notable, Positivo, Directo, Simple, Corto plazo, Temporal, Reversible, Recuperable, Efecto continuo	MODERADO
	Afección a la calidad de vida, condiciones y bienestar	Notable, Negativo, Directo, Acumulativo, Medio plazo, Temporal, Reversible, Recuperable, Efecto continuo	MODERADO
<b>Sistema económico</b>	Recaudación pública debido a que se recauda un impuesto por residuos	Notable, Positivo, Directo, Simple, Corto plazo, Temporal, Reversible, Irrecuperable, Efecto de aparición irregular	MODERADO
	Potenciación del sector terciario y creación de puestos de trabajo	Notable, Negativo, Indirecto, Acumulativo, Medio plazo, Temporal, Reversible, Recuperable, Efecto periódico.	MODERADO

Tabla 122 : Matriz de caracterización de los impactos

## 6. DISCUSIONES

El Objetivo principal de este trabajo era realizar un ACV de la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulosica, que como se ha podido observar en los primeros apartados, es una alternativa muy sugerente, puesto que no interfiere en materias primas que se pueden utilizar con fines alimenticios, y da un uso sostenible a residuos agrícolas, sin olvidar que su mayor aporte es sustituir en la medida de lo posible al combustible fósil.

Durante la descripción del proceso se ha buscado las alternativas más económicas a la vez que rentables en cuanto a materia prima se refiere, llegando a la conclusión de que procesos como la explosión de vapor o la fermentación y sacarificación simultanea cumplen estos requisitos, aun siendo procesos de mayor complejidad a la hora de efectuarlos.

La explosión de vapor es un método en el que la biomasa preparada adecuadamente se somete a vapor a temperaturas y presiones muy altas y posteriormente se realiza una descompresión rápida, lo que provoca la explosión del tejido celular y la separación de sus componentes, lo que facilita la posterior hidrólisis. La adición de  $H_2SO_4$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$  mejora procesos posteriores.

En cuanto a la fermentación y sacarificación simultanea tiene una mayor velocidad de hidrólisis y mayor rendimiento que en los procesos que se realiza de manera separada, necesita una carga menor de enzima y reduce el riesgo de contaminación. Como desventaja se ha de comentar que se precisa un mayor compromiso entre la temperatura de operación y la velocidad total del proceso, ya que el paso de hidrólisis es más lento que la fermentación.

Durante la realización del proyecto aquí descrito han surgido diferentes dificultades que se han solventado con trabajo de investigación en la bibliografía existente sobre el tema. En algunos casos no ha sido posible tener acceso a esa

información. Favorece la existencia de estas dificultades el hecho de que las bases de datos son de acceso bajo suscripción y se encuentran dentro de las herramientas software para ACV como es el caso SIMAPRO que incluye bases de datos como son Eco-invent o el simple hecho de que para calcular los eco-indicadores que ayudan a realizar la evaluación ambiental se necesitan métodos como el usado Recipe que se encuentran dentro de la biblioteca de este programa. Programa al que no se ha tenido acceso, puesto que necesita licencia y la universidad no contaba con ella. Por estas razones se ha recurrido al uso de metodología alternativa, se ha realizado como se puede observar una evaluación de impactos del ciclo de vida en lugar de un análisis exhaustivo.

Como balance de la evaluación ambiental se llega a la conclusión de que se tratan de impactos que no son severos, y que son fruto de actividades paralelas o indirectas, como es el uso de recursos hídricos, los problemas provocados por el transporte de los materiales o el uso de maquinaria pesada en el proceso de almacenamiento. El problema más preocupante sería el que surge por la emisión de olores que se mitigaría con un emplazamiento y aislamiento adecuado. Los problemas que surgen del desplazamiento de materiales son puntuales y asumibles.

Se debe dar bastante consideración a la fase de actividades auxiliares, puesto que es uno de los puntos claves de la estrategia ambiental de este proceso, buscar una empresa de residuos y depurar de manera efectiva las aguas residuales.

## BIBLIOGRAFÍA

- I. Abril A. y Navarro E. *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Aleta Ediciones, 2012. Accesible online en: [https://www.researchgate.net/profile/Enrique\\_Navarro/publication/241216642\\_Etanol\\_a\\_partir\\_de\\_biomasa\\_lignocelulosica/links/0c96051c8409028b93000000/Etanol-a-partir-de-biomasa-lignocelulosica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Enrique_Navarro/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulosica/links/0c96051c8409028b93000000/Etanol-a-partir-de-biomasa-lignocelulosica.pdf) (29-9-2017)
- II. *Análisis comparativo de los sistemas nacionales de sostenibilidad de los biocarburantes y biolíquidos en la UE*. Comisión Nacional de Energía. 2012. Accesible online en: <https://www.cnmc.es/sites/default/files/1546654.pdf> (29-9-2017)
- III. Ballesteros M. *Biocombustibles para el transporte*. En: *Tecnologías Energéticas e Impacto Ambiental*. JEN-CIEMAT 1951-2001 pp. 357-369. McGraw-Hill. 2001
- IV. Ballesteros I. *Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica mediante un proceso de sacarificación y fermentación simultánea (SFS)*. Universidad de Alcalá de Henares: Tesis doctoral. 2000
- V. Bellido Díaz C. *Obtención de bioetanol 2g a partir de hidrolizados de paja de trigo. Fermentación conjunta de los penta y hexa carbohidratos con pichia stipitis*. Universidad de Valladolid: Tesis doctoral. 2013
- VI. *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Transbioma FP. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT 2012 Accesible online en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf> (29-9-2017)
- VII. DIRECTIVA 2014/94/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. *Relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos*. 2014

- VIII. ECORAE, Universidad de Vigo, Fondos Life, EnergyLab y Revertia. *Informe Resultados ACV. Proceso completo*. 2013. Accesible online en: <http://www.life-ecorae.eu/es/files/B1InformeResultadosACVProcesoCompleto.pdf> (29-9-2017)
- IX. Energy project NNE5-2001-00729. *Integrated biomass utilisation for production to biofuels*. Accesible online en: [https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/ieeprojects/files/projects/documents/biomass\\_futures\\_use\\_of\\_biomass\\_electricity\\_heat\\_transport\\_fuel\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/ieeprojects/files/projects/documents/biomass_futures_use_of_biomass_electricity_heat_transport_fuel_en.pdf) (29-9-2017)
- X. European Commission. *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions: Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy*. Brussels. 2013. Accesible online en: <http://cor.europa.eu/en/activities/stakeholders/Documents/com2013-17.pdf> (29-9-2017)
- XI. European Commission. *Clean fuels for transport: Member States now obliged to ensure minimum coverage of refuelling points for EU-wide mobility*. Brussels. 2014. Accesible online en: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-14-1053\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-1053_en.htm) (29-9-2017)
- XII. Fernández J. *La biomasa como fuente de energía y productos no alimentarios*. En: *La biomasa como fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Serie ponencias. Editorial CIEMAT. Madrid. 1995. Accesible online en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf> (29-9-2017)
- XIII. Garraín D., Herrera I., Lago C., Lechón Y. Saez R. *Viabilidad medioambiental del co-procesamiento de aceites vegetales en unidades de hidrotreatmento para obtener biocarburantes mediante ACV*. CIEMAT. XIV INTERNATIONAL CONGRESS ON PROJECT ENGINEERING. 2010. Accesible online en:

- [http://www.aepro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10\\_1027\\_1038.2845.pdf](http://www.aepro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10_1027_1038.2845.pdf) (29-9-2017)
- XIV. Goedkoop, Mark, y otros. *ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and endpoint level*. RIVM. 2009. Accesible online en: [http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe\\_characterisation.pdf](http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf) (29-9-2017)
- XV. Gomez Ballesteros M.F. <https://prezi.com/mejwrrjvrjfs/analisis-de-ciclo-de-vida-de-producto-acv/> 2012
- XVI. *ILCD Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context* (2011); Recomendaciones 2013/179/UE (2013). Accesible online en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32013H0179> (29-9-2017)
- XVII. Jääskeläinen H. *Biodiesel Standards & Properties*. 2009. Accesible online en: [https://www.dieselnet.com/tech/fuel\\_biodiesel\\_std.php](https://www.dieselnet.com/tech/fuel_biodiesel_std.php) (29-9-2017)
- XVIII. Lechón Y., Cabal H., Sáez R. *Análisis de ciclo de vida del cultivo de trigo y cebada para producción de bioetanol en España*. Madrid: CIEMAT. Accesible online en: <http://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/43635/ACV%20bioetanol-Y%20Lechon.pdf?sequence=2> (29-9-2017)
- XIX. Moreno Clavel J. *Nuevo proceso de sacarificación de vegetales*. Estudio Técnico y proceso. Universidad de Murcia. 1966
- XX. *Morales de la Rosa S. Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos*. Universidad Autónoma de Madrid: Tesis doctoral 2015
- XXI. Niembro, J., (p); González, M. *Categorías de evaluación de impacto de ciclo de vida vinculadas con energía: revisión y prospectiva*. 12th International Conference on Project Engineering

- XXII. *Oliva Dominguez J.M. Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre kluyveromyces marxianus.* Universidad Complutense de Madrid: Tesis doctoral. 2003
- XXIII. *Sánchez O.J., Cardona C.A. y Sánchez D.L. Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol. Una aproximación cualitativa.* Revista Universidad EAFIT 2007, 43:59-79
- XXIV. *Tomás Pejó, Ma. Elia. Bioetanol de paja de trigo: Estrategias de integración de las etapas del proceso.* Universidad de Madrid: Tesis doctoral 2010
- XXV. *Perez Jimenez. J.A. Estudio del pretratamiento con agua caliente en fase líquida de la paja de trigo para su conversión biológica a etanol.* Universidad de Jaen: Tesis doctoral. 2008
- XXVI. *UNE-EN ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.* Madrid: AENOR, 2006.
- XXVII. *UNE-EN ISO 14044. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices* Madrid: AENOR, 2006.
- XXVIII. *Vivancos Bono, JL.; Collado Ruiz, D.; Bastante Ceca, MJ.; Gómez Navarro, T.; Capuz Rizo, S. Análisis de diversas metodologías de evaluación del impacto del ciclo de vida. Accesible online en:*  
[https://www.researchgate.net/profile/Salvador\\_Capuz-Rizo/publication/312551660\\_ANALISIS\\_DE\\_DIVERSAS\\_METODOLOGIAS\\_DE\\_EVALUACION\\_DEL\\_IMPACTO\\_DEL\\_CICLO\\_DE\\_VIDA/links/5881933192851c21ff420558/ANALISIS-DE-DIVERSAS-METODOLOGIAS-DE-EVALUACION-DEL-IMPACTO-DEL-CICLO-DE-VIDA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Salvador_Capuz-Rizo/publication/312551660_ANALISIS_DE_DIVERSAS_METODOLOGIAS_DE_EVALUACION_DEL_IMPACTO_DEL_CICLO_DE_VIDA/links/5881933192851c21ff420558/ANALISIS-DE-DIVERSAS-METODOLOGIAS-DE-EVALUACION-DEL-IMPACTO-DEL-CICLO-DE-VIDA.pdf) (29-9-2017)