

INGENIERÍA AMBIENTAL PARA LA INDUSTRIA DE PROCESOS

Análisis de Ciclo de Vida

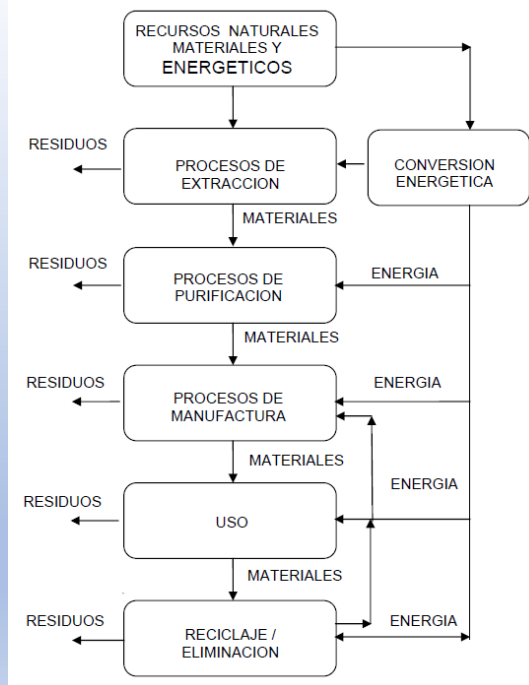
1

- Los procesos industriales no sólo generan residuos, sino que también consumen recursos naturales, requieren infraestructura de transporte, utilizan insumos químicos, agua y energía, y generan productos que deben ser transportados, consumidos y, en algunos casos, reutilizados antes de su eliminación final.
- En cada una de estas instancias se generan impactos ambientales diversos, los que deben ser tomados en consideración cuando se desea evaluar el efecto de un proceso sobre el medio ambiente.
- El análisis del ciclo de vida (ACV) consiste en evaluar cada uno de los efectos ambientales generados a lo largo de la vida del producto, vale decir, desde las fuentes de recursos primarios (ie. desde su “cuna”), hasta el consumo y disposición final (ie. hasta su “tumba”). Ello permite identificar los impactos sobre los diferentes compartimentos ambientales más allá de los límites de la planta productiva.

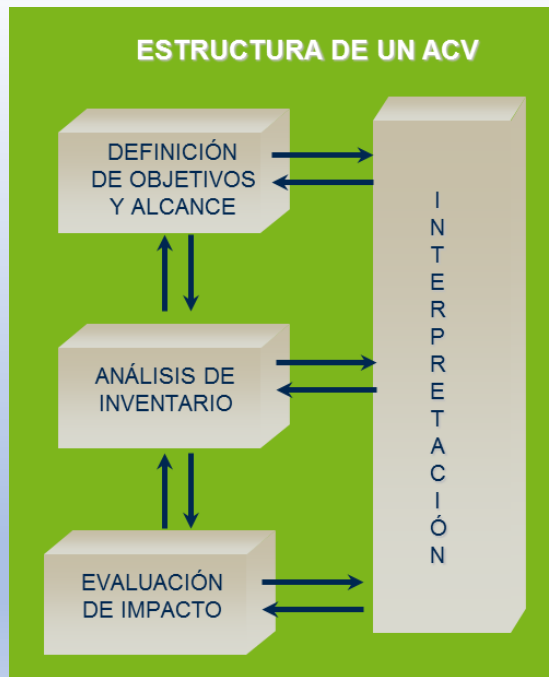
2

- Norma ISO 14040: “el Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”

3



4



5

- **DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE**

- Funciones que definen al sistema (Si el ACV se hace para comparar dos alternativas deben tener la misma función).
- Unidad funcional sobre la que se efectuarán los balances
- Límites del sistema

- **ANÁLISIS DE INVENTARIO**

- Entradas: materias primas y fuentes de energía
 - Salidas: productos y emisiones
- (también pueden aparecer aspectos tales como: uso del suelo, ruido, etc.)

Procedimiento:

- Diagrama de flujo
- Niveles de precisión
- Límites del sistema
- Recolección de datos y balances
- Redefinición de los objetivos y alcances.

6

TABLA 10.2: BALANCE DE MATERIALES Y ENERGIA EN ANALISIS DE INVENTARIO

| ENTRADAS | | |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Desde la Naturaleza | Desde la Tecnósfera |
| Materias primas | | |
| Insumos | | |
| Agua | | |
| Combustibles | | |
| Electricidad | | |
| SALIDAS | | |
| | Hacia la Naturaleza | Hacia la Tecnósfera |
| Productos | | |
| Residuos a tratamiento | | |
| Emisiones líquidas | | |
| Emisiones gaseosas | | |
| Emisiones sólidas | | |

7

- **EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA**
 - Clasificación:
 - Recursos naturales
 - Salud humana
 - Entorno natural
 - Caracterización, categorías de impacto:
 - Calentamiento global
 - Agotamiento de la capa de ozono
 - Toxicidad humana
 - Acidificación
 - Eutrofización
 - Uso de suelo
 - Etc.
 - Normalización, ponderación

8

| Categorías de impacto ambiental | | Indicadores de la categoría de impacto |
|--|--|---|
| Cambio climático | Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. | Kilogramo equivalente de CO ₂ . |
| Agotamiento de la capa de ozono | Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica. | Kilogramo equivalente de CFC-11. |
| Eutrofización terrestre | Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutriente, donde aumenta la biomasa y hay empobrecimiento de la diversidad. | Mol equivalente de N. |
| Eutrofización acuática | | Agua dulce: kilogramo equivalente de P. Agua de mar: kilogramo equivalente de N. |
| Acidificación | Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua como consecuencia del aporte de ácidos. | Mol equivalente de H ⁺ . |
| Agotamiento de los recursos - agua | Consumo de materiales extraídos de la naturaleza. | m ³ de consumo de agua en relación con la escasez de agua a nivel local. |
| Agotamiento de los recursos - minerales, fósiles | | Kilogramo equivalente de Sb. |
| Formación fotoquímica de ozono | Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono-O ₃ es el más importante por su abundancia y toxicidad). | Kilogramo equivalente de COVNM. |

9

| | | |
|---|--|--|
| Ecotoxicidad para ecosistemas de agua dulce | Efectos considerables sobre los compuestos que existen de manera natural en el medio natural por la presencia de compuestos xenobióticos como los bifenilos policlorinados (PCB) y ciertos insecticidas. | CTUe (Unidad tóxica comparativa para los ecosistemas). |
| Toxicidad humana (cancerígenos) | Nivel de riesgo por exposición a tóxicos ambientales cancerígenos. | CTUe (Unidad tóxica comparativa para las personas). |
| Toxicidad humana (no cancerígenos) | Nivel de riesgo por exposición a tóxicos ambientales no-cancerígenos. | CTUe (Unidad tóxica comparativa para las personas). |
| Partículas / sustancias inorgánicas con efectos respiratorios | Partículas delgadas, sólidas, divididas o suspendidas en el aire. Pueden originarse de la pulverización de metales o minerales tales como roca o suelos. Ejemplos de polvos inorgánicos son la sílice, asbestos y carbón. | Kilogramo equivalente de PM _{2,5} . |
| Radiación ionizante (efectos sobre la salud humana) | Tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos X) o partículas (partículas alfa y beta o neutrones). La desintegración espontánea de los átomos se denomina radiactividad, y la energía excedente emitida es una forma de radiación ionizante. | Kilogramo equivalente de U235 (en el aire). |
| Transformación del suelo | Alteración de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo por el uso que se hace. | Kilogramo (déficit). |

Tabla 1. Categorías de impacto ambiental. Fuente: Unión Europea, 2013.

10

| Factores de caracterización para la categoría de calentamiento global | | |
|---|------------------|--|
| Sustancia | | Factor de caracterización Kg eq. CO ₂ (IPCC, 2007) |
| Dióxido de carbono | CO ₂ | 1 |
| Metano | CH ₄ | 21 |
| Óxido nitroso | N ₂ O | 298 |
| Hidrofluorocarbonos | CFCs | 124 – 14.800 |
| Hexafluoruro de azufre | SF ₆ | 22.800 |

Tabla 2. Elementos de la fase Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida. Fuente: IPCC, 2007.

11

Huella de Carbono

- Indicador que integra conceptos de ciclo de vida, pero que se limita a un único impacto, el efecto invernadero.
- Permite cuantificar la cantidad de emisiones de GEI medida en emisiones de CO₂ equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a actividades de origen humano.

12

Ejemplo: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL PROCESO DE PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE UN MIX DE MATERIAS PRIMAS GRASAS EN LA EMPRESA ALCOHOLES DEL URUGUAY (ALUR)



- El objetivo del estudio puede resumirse en:
 - Cuantificar y evaluar los impactos ambientales potenciales generados en la transformación de las diversas materias primas grasas, desde el cultivo de las materias primas y el tratamiento de residuos grasos, hasta la obtención de biodiesel y otros co-productos (harinas y glicerina).
 - Cuantificar los impactos asociados la cadena de transformación para las categorías de cambio climático y balance energético.
 - Identificar y evaluar las oportunidades para reducir dichos impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida, una vez detectados los impactos en cada etapa de la cadena de transformación (obtención de materias primas, transformación, distribución y fin de vida)

13

- Función del sistema estudiado El sistema estudiado cumple la función de, a partir de diferentes materias primas grasas (cultivo de oleaginosas y residuos grasos) y de su posterior adecuación, producir harinas, glicerina y biodiesel.
- Unidad funcional: 1 MJ de biodiesel
- Sistemas estudiados:

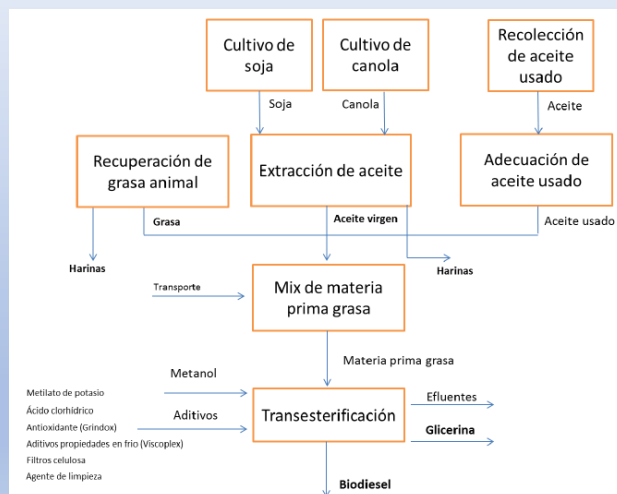


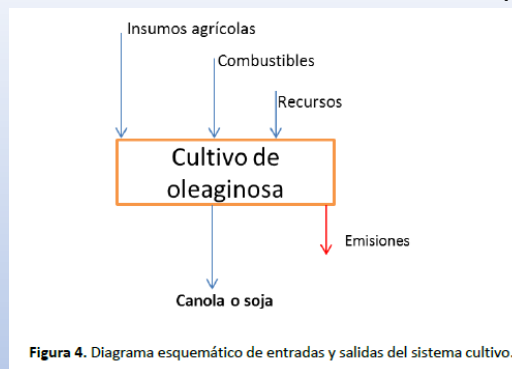
Figura 3. Diagrama general de la cadena de transformación del mix de materias primas grasas en biodiesel.

14

- Límites
 - Geográficos: territorio nacional, insumos importados
 - Temporales: año 2015
 - Etapas excluidas: infraestructura y maquinaria
- Descripción de los productos:
 - Biodiesel
 - Harina
- Cuantificación de la unidad funcional: La obtención de 1 t de biodiesel, implica la producción de 0.18 t de glicerina y 3.34t de harinas de origen vegetal (de las cuales 3.15t provienen de la extracción del aceite de soja y 0.19t de la canola) y 0.37t de harinas de origen animal. Durante la etapa de análisis de inventario, serán establecidas las relaciones de estos productos respecto a la unidad funcional definida (1MJ de biodiesel)
- Datos necesarios. Requisitos de calidad de los mismos.
 - Datos proporcionados por la empresa
 - Publicaciones y bases de datos (ECOINVENT, etc)
 - Herramienta informática (SIMAPRO)

15

- Para cada subsistema se realizan los análisis de inventario, p.ej., Cultivo de Soja y Canola:



- Labores agrícolas: (preparación, abono, siembra, tratamientos, cosecha, transporte de insumos)
- Otros procesos: Producción de fertilizantes, fitosanitarios, producción y consumo de combustible, emisiones por aplicación de fertilizantes.
- Etapas y procesos no considerados: envases, embalajes, producción de maquinaria, etc.

16

Tabla 3. Datos del cultivo de Canola y Soja.

| Producto | Canola | Soja | Unidad |
|---|--------|-------|------------------|
| Rendimiento | 1300 | 2200 | Kg/ha |
| <i>Recursos naturales</i> | | | |
| Suelo | 10000 | 10000 | m ² a |
| <i>Materiales/Combustibles</i> | | | |
| Diesel | 18.5 | 20.16 | kg |
| Fertilizante P (P ₂ O ₅) | 55,2 | 48 | kg |
| Fertilizante N (urea) | 80 | NA | kg |
| Fertilizante N (Nitrato de amonio) | 21.6 | 8.4 | kg |
| Fertilizante K (K ₂ O) | 48 | 72 | kg |
| Productos fitosanitarios | 4 | 4,47 | kg |
| Transporte de insumos | 60.75 | 33.6 | tkm |
| Semillas | 3.8 | 70 | kg |
| <i>Emisiones al aire</i> | | | |
| N ₂ O por emisiones de la aplicación de Fertilizante N | 1.07 | 1.32 | kg |
| N ₂ O por combustión de diesel | 0.002 | 0.003 | kg |
| CO ₂ por combustión de diesel | 48.48 | 62.9 | kg |
| CH ₄ por combustión de diesel | 2 | 2 | g |
| CO ₂ por hidrólisis urea | 146.67 | NA | kg |

17

Definición de los indicadores de impacto:

Tabla 16. Indicadores de impacto aplicados

| Tipo de impacto | Categoría de impacto | Método y fuente |
|-----------------|----------------------|---|
| Recursos | Energía | Cumulative Energy Demand. [Frischknecht. R, et al 2003] |
| Contaminación | Cambio climático | ILCD, 2011. [EC, 2012] |

Impacto sobre el cambio climático:

Tabla 18. Emisiones de gases de efecto invernadero de la etapa de producción de canola (gCO₂equiv/kg canola).

| Emisiones N ₂ O en campo | Combustible | Fertilizante fosfatado | Fertilizante nitrogenado | Fertilizante potásico | Fitosanitarios | Transporte insumos | Semilla de siembra | TOTAL |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------|
| 322.88 | 43.70 | 74.62 | 173.62 | 10.72 | 31.90 | 5.01 | 3.97 | 666.41 |

Tabla 19. Emisiones de gases de efecto invernadero de la etapa de producción de soja (gCO₂equiv/kg soja).

| Emisiones N ₂ O en campo | Combustible | Fertilizante fosfatado | Fertilizante nitrogenado | Fertilizante potásico | Fitosanitarios | Transporte insumos | Semilla de siembra | TOTAL |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------|
| 159.00 | 32.82 | 32.01 | 1.91 | 9.52 | 21.10 | 1.64 | 49.48 | 307.48 |

Tabla 17. Potenciales de calentamiento global

| | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|----------|-----------------|-----------------|------------------|
| 100 años | 1 | 28 | 265 |

Fuente: IPCC 2014

Idem los demás subsistemas

18

Se puede comparar con otras referencias publicadas o con otras alternativas:

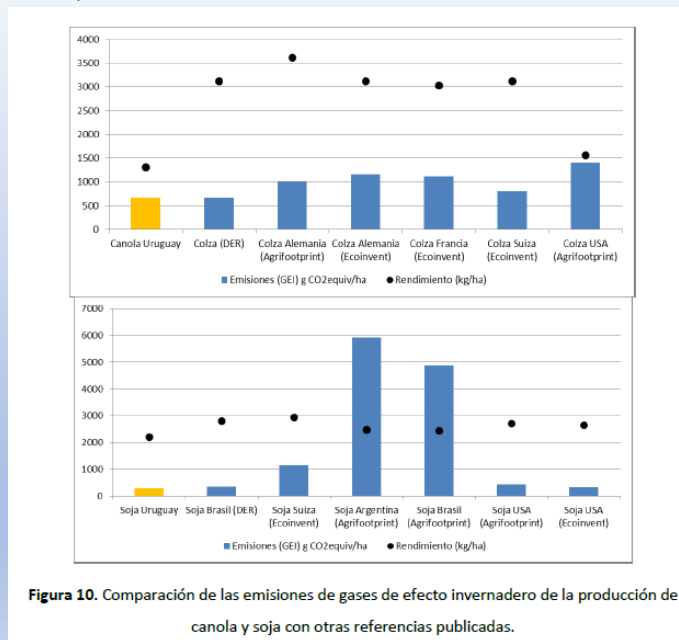


Figura 10. Comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de canola y soja con otras referencias publicadas.

19

Contribución de las distintas etapas

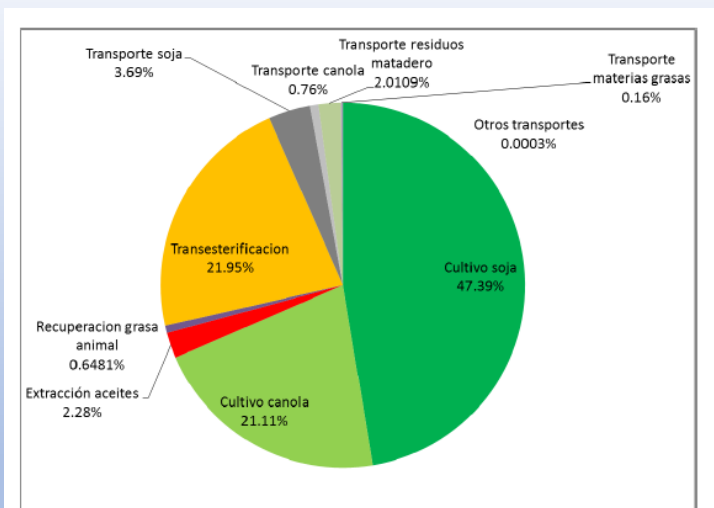


Figura 15. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de biodiesel. Contribución de las diferentes etapas

20

Comparación con referencias publicadas o alternativas:

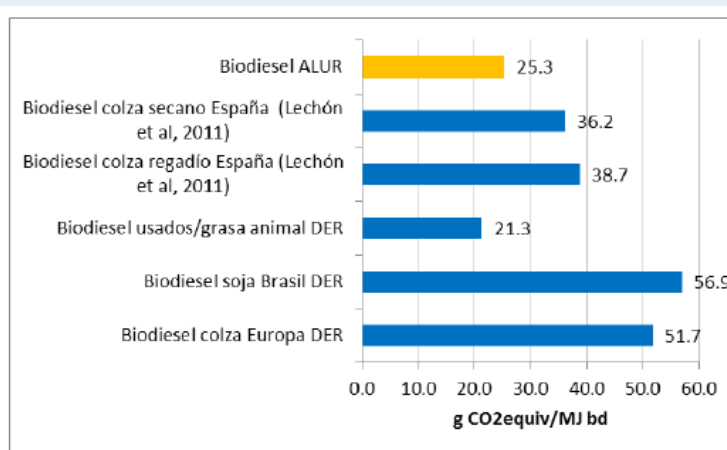


Figura 16. Comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de biodiesel con otras referencias publicadas.

21

Balance energético:

Tabla 24. Consumo de energía fósil de la etapa de producción de canola (MJ fósil/kg canola).

| Producción del combustible | Fertilizante fosfatado | Fertilizante nitrogenado | Fertilizante potásico | Fitosanitarios | Transporte insumos | Semilla de siembra | TOTAL |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|-------|
| 0.75 | 0.94 | 2.48 | 0.16 | 0.45 | 0.07 | 0.02 | 4.87 |

Tabla 25. Consumo de energía fósil de la etapa de producción de soja (MJ fósil/kg soja).

| Producción del combustible | Fertilizante fosfatado | Fertilizante nitrogenado | Fertilizante potásico | Fitosanitarios | Transporte insumos | Semilla de siembra | TOTAL |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|-------|
| 0.48 | 0.40 | 0.08 | 0.15 | 0.30 | 0.02 | 0.09 | 1.52 |

Idem demás etapas

22

Contribución de las diferentes etapas:

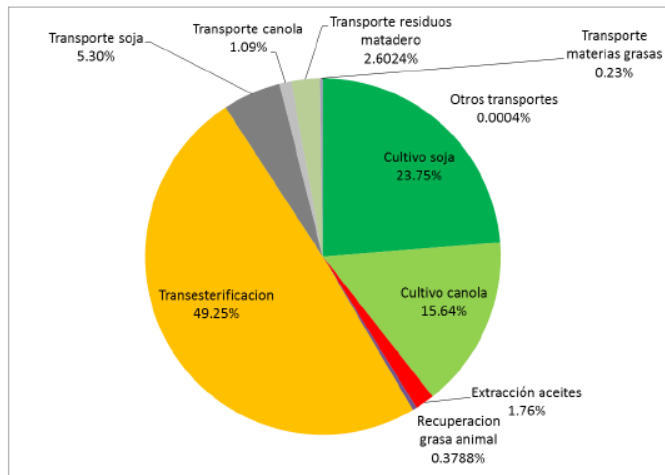


Figura 22. Consumos energéticos de la producción de biodiesel. Contribución de las diferentes etapas

23

Comparación con referencias publicadas o alternativas:

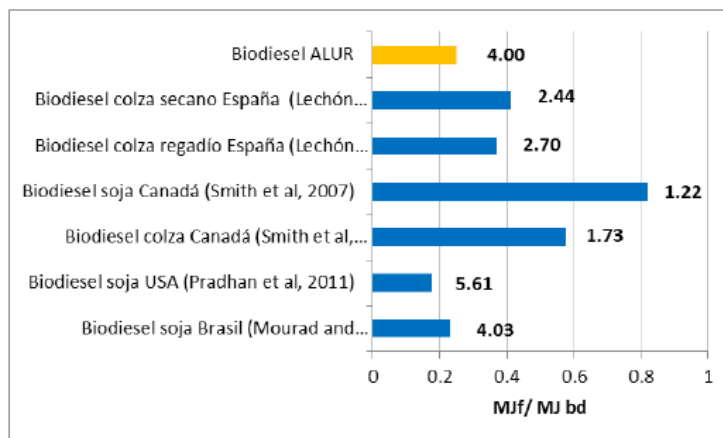


Figura 23. Comparación del consumo de energía fósil y del ratio de energía fósil de la producción de biodiesel con otras referencias publicadas.

24

INTERPRETACIÓN

- Análisis de sensibilidad: definición de distintos escenarios (p.ej. Distinto mix de aceites, etc, o distinto criterio de asignación: económica, energética, emisiones)



Figura 24. Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de biodiesel expresados en g CO2equiv/MJ biodiesel en los distintos escenarios analizados

25

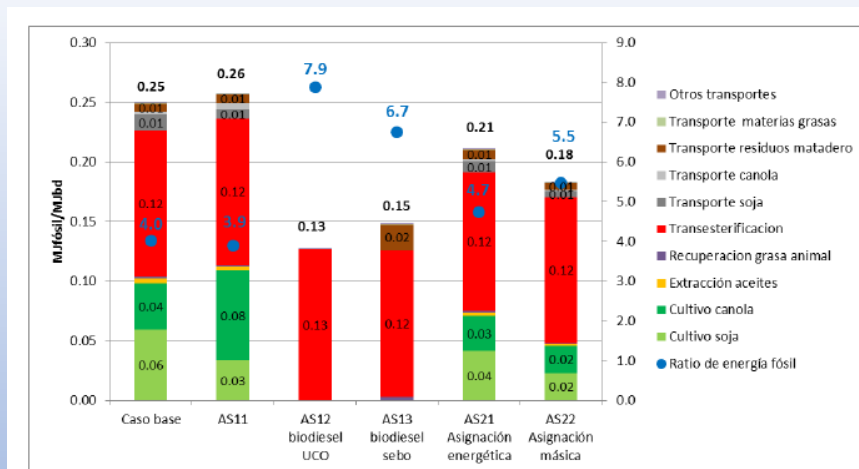


Figura 25. Consumo de energía fósil de la producción de biodiesel expresados en MJfósil/MJ biodiesel en los distintos escenarios analizados

26

Conclusiones

- Bajo las limitaciones y supuestos descritos a lo largo del estudio, la producción de biodiesel genera unas emisiones de gases de efecto invernadero de 25.29 gCO₂equiv/MJ biodiesel producido. Esto supone un ahorro de un 70% respecto del uso de un combustible fósil de referencia cuyas emisiones se estiman en 83,8 gCO₂equiv/MJ.
- Este biocarburante por tanto, cumpliría los criterios de sostenibilidad especificados en la Directiva 28/2009 EC desde el punto de vista de ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, para desarrollar un cálculo riguroso de tales ahorros, sería necesario añadir las emisiones del transporte del biocarburante hasta Europa y seguir estrictamente la metodología propuesta en dicha Directiva, en especial en cuanto a los criterios de asignación.
- El consumo de energía fósil en la producción de biodiesel, es de 0.25 MJ energía fósil/MJ biodiesel, lo que supone un ratio de energía fósil de 4. Es decir, se producen 4 MJ de energía en forma de biodiesel (medidos con su poder calorífico inferior) por cada MJ de energía fósil empleado en la cadena de producción.
- Respecto al análisis de sensibilidad realizado, los resultados muestran una gran dependencia a cambios en las consideraciones metodológicas en cuanto al método de asignación (AS2). La selección del criterio de asignación económico en el caso base conduce a unos resultados que pueden por tanto considerarse conservadores. En cuanto a la variación de la mezcla de aceites usados (AS11), los resultados no varían sensiblemente salvo si se considera el caso de la producción de biodiesel a partir exclusivamente de aceites usados (AS12) o sebo vacuno (AS22) en cuyo caso los resultados mejoran de forma muy importante.