

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA EL TRANSPORTE

Autor principal: Yolanda Lechón Pérez

Institución: CIEMAT

Teléfono: 91 3466321

E-mail: yolanda.lechon@ciemat.

Otros autores: Helena Cabal, C. Lago, L. Izquierdo C. de la Rúa, R. Sáez.

RESÚMEN

Este trabajo consta de dos partes diferenciadas. La primera está dedicada a la realización de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) comparativo del etanol obtenido a partir de cereales y de la gasolina de EN-223 incluyendo mezclas de ambos en diferentes proporciones (E5 y E85). La segunda comprende un ACV comparativo del biodiésel puro obtenido a partir de aceites vegetales crudos (BD100A1) y aceites vegetales usados (BD100A2) y del diesel de origen fósil donde también se han tenido en cuenta diferentes mezclas de ambos combustibles (BD5 y BD10).

Para analizar las cargas ambientales debidas a los combustibles estudiados se ha seguido la metodología descrita en las normas internacionales ISO 14040-43 sobre Análisis de Ciclo de Vida.

La unidad funcional utilizada en ambos ACV ha sido definida como la cantidad de cada uno de los combustibles estudiados, expresada en MJ, necesaria para recorrer un kilómetro con un vehículo determinado, flexifuel en la primera parte del estudio y diesel en la segunda.

Los resultados obtenidos están relacionados con dos aspectos importantes: (i) el consumo de energía en los procesos de producción y distribución de cada uno de los combustibles y (ii) las emisiones de gases de efecto invernadero producidas a lo largo del ciclo de vida de cada combustible.

Con respecto al consumo de energía en los procesos mencionados anteriormente, se ha calculado: (i) la eficiencia energética en el ciclo de vida para cada combustible definida como el ratio entre la energía contenida en el combustible y el total de energía primaria necesaria para producir y distribuir ese combustible y (ii) el ratio de energía fósil definido como el ratio de la energía contenida en el combustible y la energía fósil necesaria para producir y distribuir el combustible.

De este estudio se extraen dos conclusiones fundamentales. A medida que aumenta la proporción del combustible alternativo en la mezcla, se advierte una mejora en los balances energéticos del ciclo de vida de los combustibles y una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero.

La realización de éste Análisis de Ciclo de Vida de combustibles alternativos para el transporte ha sido solicitada al CIEMAT y financiada por el Ministerio de Medio Ambiente con el fin de responder a la necesidad de promoción del uso de combustibles alternativos basándose en un estudio técnico que avale los beneficios ambientales de los mismos.

INTRODUCCIÓN

Para alcanzar los objetivos marcados por la Directiva y los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto, es necesario un aumento en el uso de biocombustibles que debe ir acompañado de un análisis detallado de los impactos medioambientales producidos para poder elegir cuales son los que deben ser promocionados y la mejor manera de hacerlo.

A partir de la publicación en nuestro país del Plan de Energías Renovables 2005-2010 y de la Directiva del Parlamento Europeo 2003/30/EC en relación a la promoción del uso de los biocombustibles y otros combustibles renovables, se ha generado un importante debate acerca de beneficios medioambientales reales de estos biocombustibles comparados con el uso de los combustibles convencionales en el sector transporte.

Los impactos medioambientales de la producción de biocombustibles dependen en gran parte de las condiciones particulares en las que elaboran. Estas condiciones varían de un país a otro debido a diferencias en las materias primas utilizadas, en los procesos de transformación, en las tecnologías de uso final y en las mezclas.

El Ministerio de Medio Ambiente ha iniciado un proyecto para la evaluación de los impactos medioambientales de la producción de biocombustibles en España. En una primera fase del proyecto se analizó la producción de bioetanol [1]. En la segunda fase se acaba de terminar el análisis de la producción de biodiesel. El trabajo que aquí se presenta ha sido desarrollado y financiado en el marco de este proyecto.

Para la evaluación de los impactos medioambientales de los biocombustibles y su comparación con los combustibles fósiles objeto de este estudio se ha elegido la metodología de Análisis de Ciclo de Vida descrita en la serie de estándares internacionales ISO 14040.

Esta metodología consta de cuatro etapas principales:

- 1) Definición del objetivo y alcance del estudio
- 2) Análisis de inventario
- 3) Evaluación de impacto, e
- 4) Interpretación de resultados

DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

Objetivos

Los objetivos del estudio son:

- La evaluación de los impactos medioambientales, a lo largo de todo el ciclo de vida, de las diferentes mezclas de bioetanol obtenido a partir de cereales con gasolina de EN-223 y la comparación con los impactos medioambientales de ésta última.
- La evaluación de los impactos medioambientales, a lo largo de todo el ciclo de vida, de las diferentes mezclas de biodiesel obtenido a partir de aceites vegetales crudos y también de aceites usados con diesel EN-590 y la comparación con los impactos medioambientales de éste último.
- La identificación y evaluación de oportunidades para reducir los impactos medioambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de los combustibles analizados.

Sistemas

En la primera parte del estudio, se han definido los siguientes sistemas a analizar:

- Sistema E5: producción y uso de bioetanol de cereales en mezcla al 5% con 95% de gasolina EN-223
- Sistema E85: producción y uso de bioetanol de cereales en mezcla al 85% con 15% de gasolina EN-223
- Sistema Gasolina EN-223: producción y uso de gasolina EN-223 al 100%

En la segunda parte del estudio, se han definido los siguientes sistemas a analizar:

- Sistema BD5A1: producción y uso de biodiesel de aceites vegetales crudos en mezcla al 5% con 95% de diesel EN-590
- Sistema BD5A2: producción y uso de biodiesel de aceites vegetales usados en mezcla al 5% con 95% de diesel EN-590
- Sistema BD10A1: producción y uso de biodiesel de aceites vegetales crudos en mezcla al 10% con 90% de diesel EN-590
- Sistema BD10A2: producción y uso de biodiesel de aceites vegetales usados en mezcla al 10% con 90% de diesel EN-590
- Sistema BD100A1: producción y uso de biodiesel de aceites vegetales crudos al 100%
- Sistema BD100A2: producción y uso de biodiesel de aceites vegetales usados al 100%
- Sistema Diesel EN-590: producción y uso de diesel EN-590 al 100%.

Unidad funcional

Se define la Unidad Funcional (UF) como la cantidad de cada combustible, en MJ, necesaria para conducir un kilómetro en un vehículo de pasajeros y con un ciclo de conducción definido en la Directiva 98/69/EC. Esta UF se utiliza para comparar los distintos sistemas.

En el caso del bioetanol y la gasolina, el vehículo elegido es un automóvil de combustible flexible que puede utilizar gasolina o mezclas de gasolina y bioetanol a porcentajes variables indistintamente. De este modo se ha podido hacer la comparación entre los distintos combustibles en las mismas condiciones. Para el biodiesel y el diesel, el vehículo elegido ha sido un automóvil con motor diesel con prestaciones equivalentes al elegido para el bioetanol y la gasolina. Los datos de consumo de ambos vehículos han sido proporcionados por la compañía Ford.

Límites de los sistemas

- Límites geográficos: Aunque el estudio limita el uso de los combustibles al territorio español, hay etapas del ciclo de vida que se encuentran fuera de nuestro país por lo que

también deben ser tenidas en cuenta. Es el caso de las etapas de extracción y transporte del crudo, de la producción y transporte del cereal importado para la producción de bioetanol y de la producción y transporte de semilla de colza, soja y palma para la producción de biodiesel. Siempre que ha sido posible se han utilizado datos nacionales supliendo la falta de información con datos recogidos a través de exhaustivas búsquedas bibliográficas.

- Límites temporales: Se ha tomado como horizonte temporal el año 2003 para el estudio del bioetanol y la gasolina y el año 2006 para el estudio del biodiesel y el diesel.
- Etapas excluidas: Se han excluido las etapas de construcción y mantenimiento de infraestructuras, maquinaria y equipos, vehículos de transporte y vehículos de pasajeros.
- El suelo como parte del sistema productivo: Se ha incluido el suelo productivo hasta la profundidad del nivel freático al considerarlo parte del sistema productivo y no parte del medio ambiente.

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

En la figura 1 se muestra un esquema de los procesos implicados en los sistemas E5, E85 y gasolina EN-223. El sistema de referencia incluye las actividades que se llevan a cabo fuera de los límites de sistemas analizados y como alternativa a las actividades que se realizan dentro de los límites de éstos. Esto incluye los procesos de producción de productos que son sustituidos por co-productos de nuestros sistemas.

Las figuras 2 y 3 muestran los esquemas de los procesos implicados en los sistemas BD5A1, BD5A2, BD10A1, BD10A2, BD100A1, BD100A2 y Diesel EN-590. . El sistema de referencia consiste en dejar las tierras en retirada.

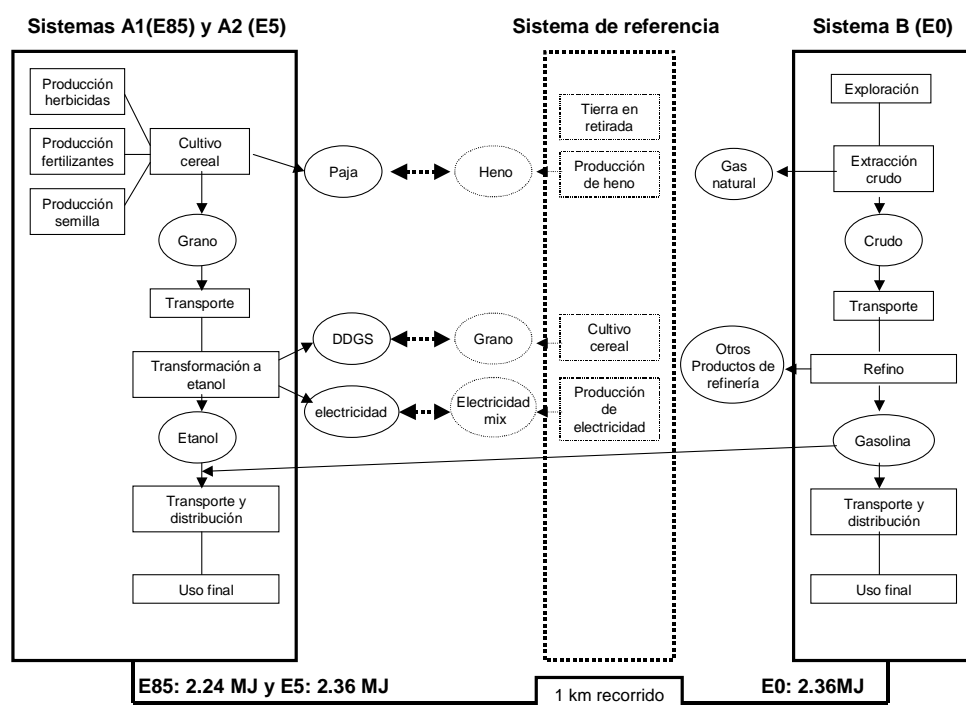


Figura 1. Procesos de los sistemas de producción y uso de bioetanol, gasolina y sus mezclas

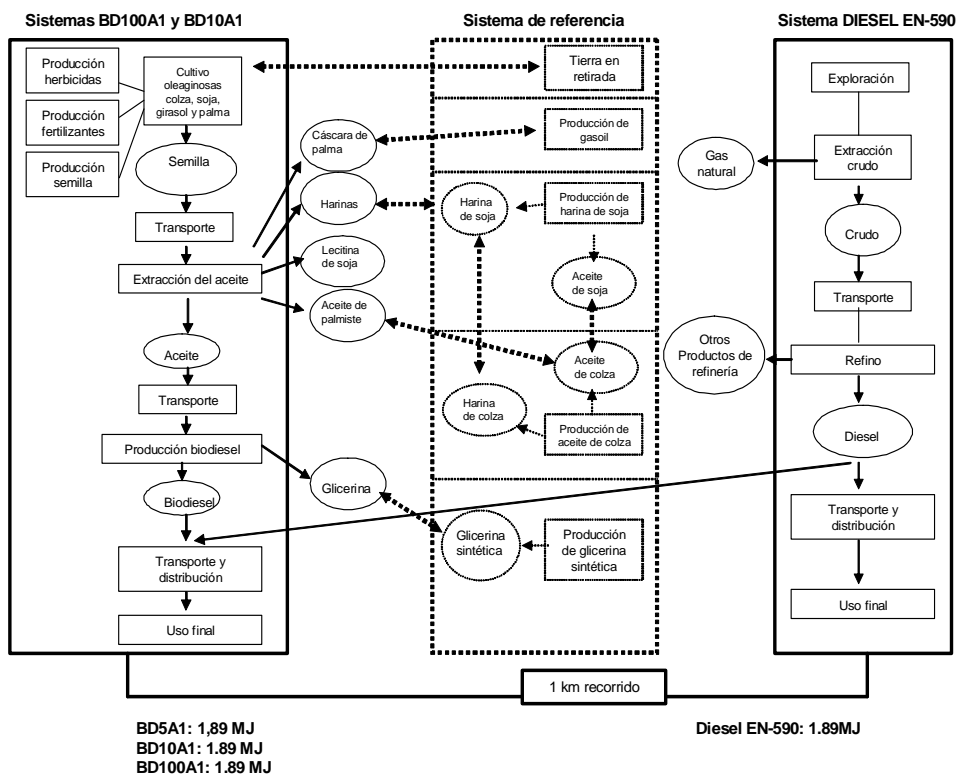


Figura 2. Procesos de los sistemas de producción y uso de biodiesel de aceites vegetales crudos, diesel y sus mezclas

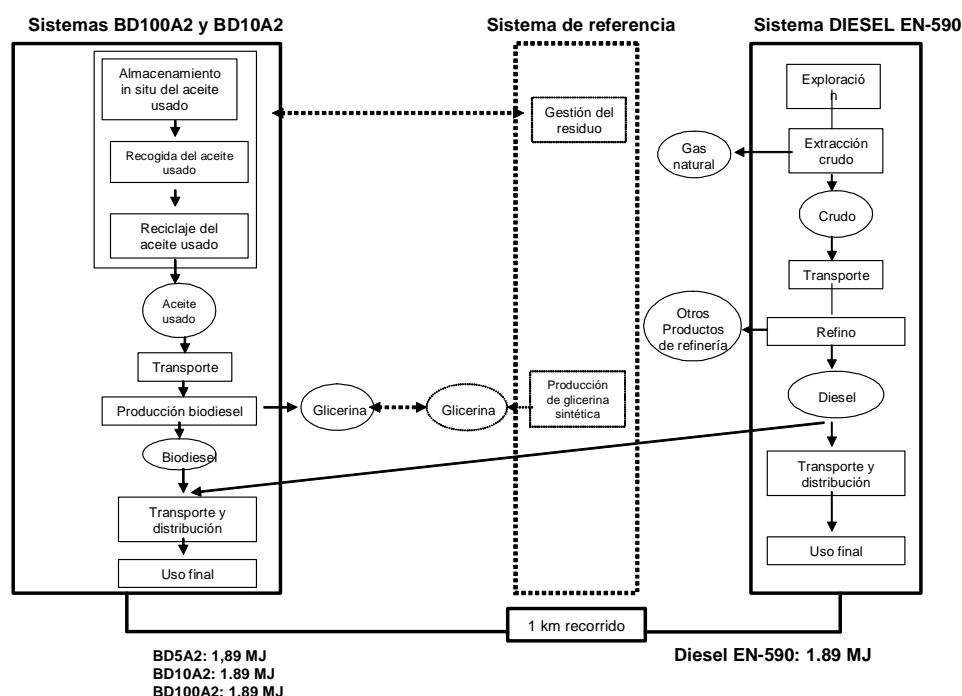


Figura 3. Procesos de los sistemas de producción y uso de biodiesel de aceites vegetales usados, diesel y sus mezclas

ANÁLISIS DE INVENTARIO

Los métodos utilizados en la realización del análisis de inventario de las etapas agrícolas están basados en la metodología desarrollada en la Acción Concertada de la UE AIR3-CT94-2028 "Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture" [2].

Fuentes de datos

Los datos de las etapas de producción agrícola nacional de los cereales y de las semillas oleaginosas han sido proporcionados por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. Los datos sobre la producción de soja se han tomado de Sheehan et al [3]. Los datos de cultivo de colza se han tomado de Ceuterick et al [4]. Y los datos de cultivo de palma y producción de aceite de palma se han tomado de Pleanjai et al [5].

Los datos de los procesos de transformación a bioetanol han sido proporcionados por Abengoa Bioenergía, los de extracción de aceite de girasol, soja y colza por el grupo BUNGE-IBÉRICA y MOYRESA-GIRASOL, los de recogida de aceites vegetales usados por ECOGRAS, los datos de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales crudos por el grupo Acciona y los de biodiesel a partir de aceites vegetales usados por BIONOR TRANSFORMACIÓN S.A y BIONET EUROPA S.L. .

Los datos de extracción de crudo se han obtenido de la EIA y la EPA de EEUU y bibliografía especializada y los de transporte y refino de la AOP.

Los datos de distribución de las mezclas han sido proporcionados por el Grupo Cepsa, CLH, Abengoa Energía y Acciona.

Por último, los datos de uso en vehículos han sido facilitados por la compañía Ford y a través de búsquedas bibliográficas.

Hipótesis principales

Origen del cereal y las semillas

En el ACV del bioetanol se ha considerado todo el cereal de origen nacional. En el análisis de sensibilidad posterior se ha evaluado la influencia de considerar que un 50% del cereal es importado.

En el ACV de biodiesel se ha considerado que se produce a partir de aceites vegetales crudos procedentes de distintas semillas y también a partir de aceites vegetales usados. En el primer caso la proporción en la que entran los aceites es la siguiente: 10% de aceite de girasol nacional, 40% de aceite de soja importada de EEUU, 25% de aceite de colza nacional e importada de Francia en una relación 5/95 y 25% de aceite de palma importado de Tailandia. En el análisis de sensibilidad posterior se ha evaluado el efecto de un cambio en estas proporciones y también en el origen de las semillas.

Fijación del CO₂ por parte de la biomasa

El crecimiento del cultivo es un importante sumidero de CO₂ atmosférico ya que éste es utilizado por la planta en el proceso de la fotosíntesis para formar sus propios compuestos de carbono orgánicos: la semilla, las partes aéreas y las raíces. El CO₂ contenido en el grano de cereal y en la semilla oleaginosa 1) se transforma en bioetanol y biodiesel respectivamente que al quemarse en el motor del vehículo emiten las correspondientes cantidades de CO₂, 2) en el caso del bioetanol además se libera en el proceso de fermentación y 3) se transforma en carbono contenido en los granos y solubles secos destilados (DDGS) en el caso del cereal y en la harina en el caso de la semilla oleaginosa, utilizados ambos co-productos para alimentación de ganado, y retorna como CO₂. En la producción de aceite de palma, la fibra y la cáscara de palma es un residuo que se utiliza como combustible emitiendo las calderas CO₂.

Para tener en cuenta el CO₂ fijado durante el crecimiento de la planta, todas estas cantidades emitidas no se han contabilizado como emisiones al igual que las procedentes de la degradación de los residuos agrícolas y de la combustión en los motores de los vehículos.

La paja tiene su uso como alimento del ganado o se deja en el suelo, de forma que todo el C fijado en ella termina al final mineralizado en forma de CO₂ emitido a la atmósfera. Este CO₂, como ha sido previamente fijado por el cultivo no se ha considerado una emisión del ciclo.

Parte del carbono absorbido por las plantas en su proceso de crecimiento se transfiere al suelo en forma de compuestos denominados rizodepósitos, que son formas inmovilizadas de C que no se transforman de nuevo en CO₂ y por tanto se consideran como una fijación neta de CO₂ atmosférico por el cultivo. En el caso de los cultivos de cereal, existe una amplia evidencia empírica de la existencia de estos rizodepósitos que permiten estimar la cantidad de C inmovilizado en el suelo [6]. Esta cantidad se ha estimado en 41,67 kg C/t biomasa. En el caso de los cultivos de oleaginosas y de palma, no existen estudios que permitan cuantificar esta fijación de C por lo que no se ha considerado la existencia de rizodepósitos.

Emisiones de N₂O desde el suelo agrícola

Estas emisiones tienen su causa en el uso de fertilizantes nitrogenados y contribuyen a aumentar la concentración de gases de efecto invernadero. Los datos utilizados en este estudio se han recogido en la bibliografía especializada. Dado el amplio rango de valores

encontrados se ha tomado como valor de referencia una tasa de emisión de N₂O de 1% del nitrógeno usado, que está basada en estudios realizados en nuestro país [7] y entra dentro de los valores aportados por la metodología del IPCC.

Reglas de asignación

Según la metodología descrita en las series ISO-14040, cuando en un procesos hay más de un producto resultante es necesario aplicar unas reglas de asignación. En el ACV del bioetanol, estos procesos son la producción del grano de cereal que tiene como co-producto la paja y la producción del bioetanol que tiene como co-productos los DDGS y el CO₂ de la fermentación y tiene salida en la producción de bebidas gaseosas. En el ACV del biodiesel, la producción del aceite crudo tiene como co-producto la harina, el refino del aceite tiene como co-producto pastas jabonosas y la producción de biodiesel de aceites crudos vegetales y usados tiene como co-producto glicerinas. En los ACV de la gasolina y el diesel, la extracción del crudo tiene como co-producto el gas natural y el refino además del combustible analizado tiene otros co-productos como el GLP, naftas, keroseno, parafinas, etc.

El método de asignación elegido es el de extensión de los límites del sistema. Como alternativa en los posteriores análisis de sensibilidad se ha usado también la asignación en base al valor económico del producto y co-productos.

RESULTADOS

Los resultados se refieren a dos aspectos del análisis: el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida de las mezclas.

Balances energéticos

Se ha calculado 1) la energía primaria total, 2) la energía fósil extraída en la producción y uso de cada mezcla, 3) la eficiencia energética del ciclo de vida definida como el ratio entre la energía contenida en el producto y la energía primaria total necesaria para su producción y distribución y 4) el ratio de energía fósil definido como el ratio entre la energía contenida en el producto y la energía fósil necesaria para su producción y distribución.

Resultados del balance energético de los ACV de bioetanol y gasolina

En la producción y uso de la mezcla E85 se ahorra un 17% de energía primaria por kilómetro recorrido en comparación con la producción y uso de la gasolina EN-223. En el caso de la mezcla E5 el ahorro es de un 0,28%.

En cuanto a la energía fósil, la producción y uso de la mezcla E85 supone un ahorro de un 36% por kilómetro recorrido en comparación con la producción y uso de la gasolina EN-223. En el caso de la mezcla E5 el ahorro es de un 1,12% de energía fósil.

La eficiencia energética obtenida para todo el ciclo de vida de las mezclas y de la gasolina EN-223 es de $0,965 \frac{\text{MJ}_{\text{combustible}}}{\text{MJ}_{\text{energía primaria}}}$ para el E85, $0,844 \frac{\text{MJ}_{\text{combustible}}}{\text{MJ}_{\text{energía primaria}}}$ para el E5 y $0,839 \frac{\text{MJ}_{\text{combustible}}}{\text{MJ}_{\text{energía primaria}}}$ para la gasolina EN-223.

En cuanto al ratio de energía fósil para la producción de bioetanol puro y gasolina EN-223 se han obtenido valores de 1,49 y 0,848 MJ_{combustible}/MJ_{energía fósil} respectivamente. Para todo el ciclo de vida de las mezclas y de la gasolina EN-223 se han obtenido valores de 1,262 MJ_{combustible}/MJ_{energía fósil} para el E85, 0,860 MJ_{combustible}/MJ_{energía fósil} para el E5 y 0,848 MJ_{combustible}/MJ_{energía fósil} para la gasolina EN-223.

En la figura 4 están representados los resultados obtenidos para la eficiencia energética y el ratio de energía fósil en MJ de combustible por MJ de energía primaria o fósil para las mezclas E85 y E5 y para la gasolina EN-223 (E0). Se observa cómo en la mezcla con mayor proporción de bioetanol, E85, la eficiencia y el ratio de energía fósil alcanzan los valores más altos. Cuando la proporción de bioetanol en la mezcla es pequeña los resultados son similares a los obtenidos para la gasolina EN-223.

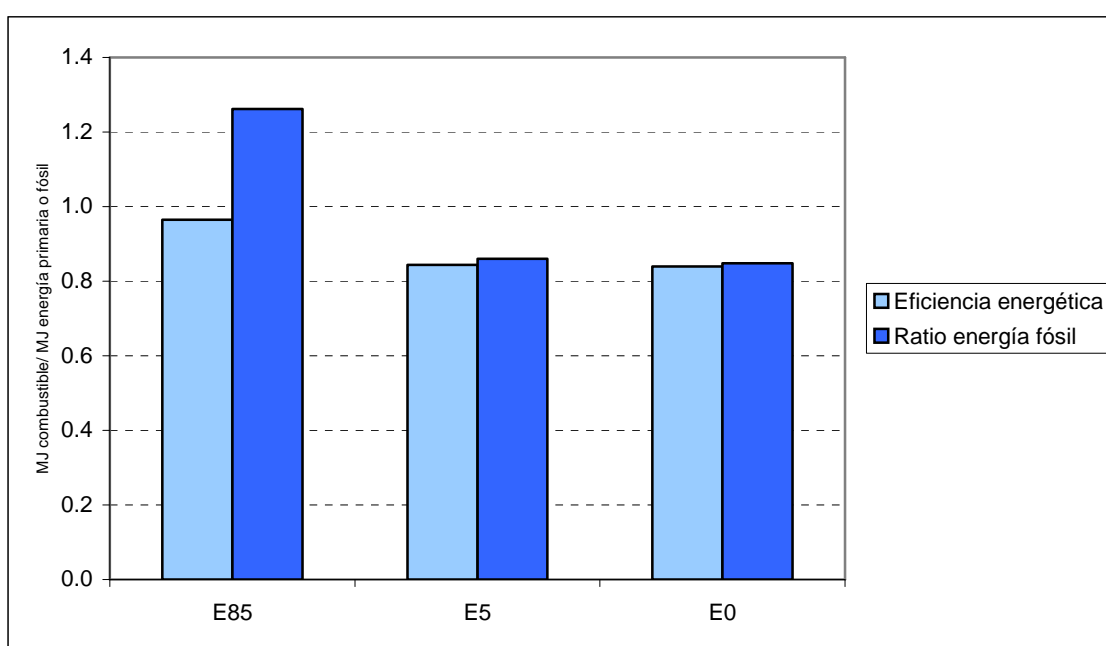


Figura 4. Eficiencia energética y ratio de energía fósil de las mezclas E85 y E5 y de la gasolina

El refino del crudo es un proceso que lleva asociado un elevado consumo de energía fósil y domina el consumo total en la producción de la gasolina y el E5. En el E85 la proporción de gasolina es pequeña por lo que ésta etapa tiene menos contribución siendo, como puede verse en la figura 5, tan intensiva energéticamente como la etapa de producción del grano y menos que la etapa de transformación a bioetanol.

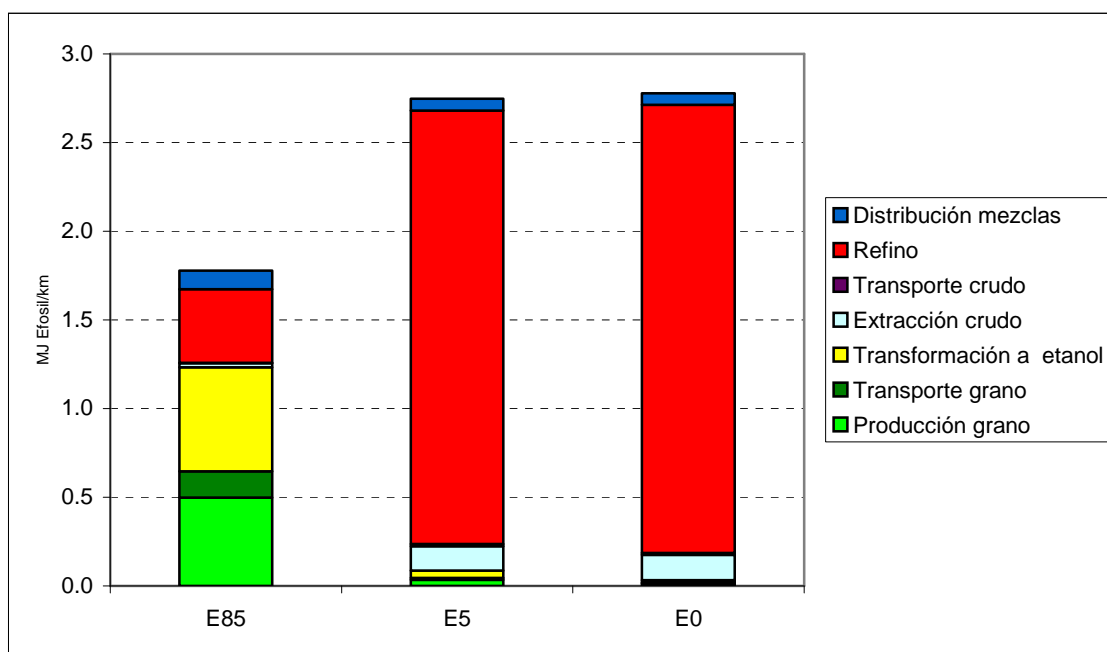


Figura 5. Energía fósil necesaria en cada etapa de producción y distribución de las mezclas E85 y E5 y de la gasolina

Resultados del balance energético de los ACV de biodiesel y diesel

En la producción y uso de biodiesel de aceites vegetales crudos se ahorra un 45% de energía primaria por kilómetro recorrido en comparación con la producción y uso del diesel EN-590 y en el biodiesel de aceites vegetales usados el ahorro es de un 69%. En el caso de las mezclas BD10A1, BD10A2, BD5A1 y BD5A2 el ahorro es de un 4%, 7%, 2% y 3% respectivamente.

En cuanto a la energía fósil, la producción y uso de biodiesel de aceites vegetales crudos supone un ahorro de un 74% por kilómetro recorrido en comparación con la producción y uso del diesel EN-590 y en el biodiesel de aceites vegetales usados el ahorro es de un 95%. En el caso de las mezclas BD10A1, BD10A2, BD5A1 y BD5A2 el ahorro es de un 7%, 9%, 3% y 4% de energía fósil respectivamente.

La eficiencia energética obtenida para todo el ciclo de vida del biodiesel, las mezclas y del diesel EN-590 es de 1,745 MJ combustible/MJ energía primaria para el BD100A1, 3,149 MJ combustible/MJ energía primaria para el BD100A2, 1,004 MJ combustible/MJ energía primaria para el BD10A1, 1,032 MJ combustible/MJ energía primaria para el BD10A2, 0,984 MJ combustible/MJ energía primaria para el BD5A1, 0,997 MJ combustible/MJ energía primaria para el BD5A2 y 0,965 MJ combustible/MJ energía primaria para el diesel EN-590.

En cuanto al ratio de energía fósil para todo el ciclo de vida de las mezclas y del diesel EN-590 se han obtenido valores de 3,785 MJ combustible/MJ energía fósil para el BD100A1, 21,861 MJ combustible/MJ energía fósil para el BD100A2, 1,038 MJ combustible/MJ energía fósil para el BD10A1, 1,065 MJ combustible/MJ energía fósil para el BD10A2, 1,002 MJ combustible/MJ energía fósil para el BD5A1, 1,014 MJ combustible/MJ energía fósil para el BD5A2 y 0,968 MJ combustible/MJ energía fósil para el diesel EN-590.

En la figura 6 se han representado estos resultados de eficiencia energética y ratio de energía fósil. Se observa que las mayores eficiencias y ratios corresponden al biodiesel, en especial al de origen de aceites vegetales usados.

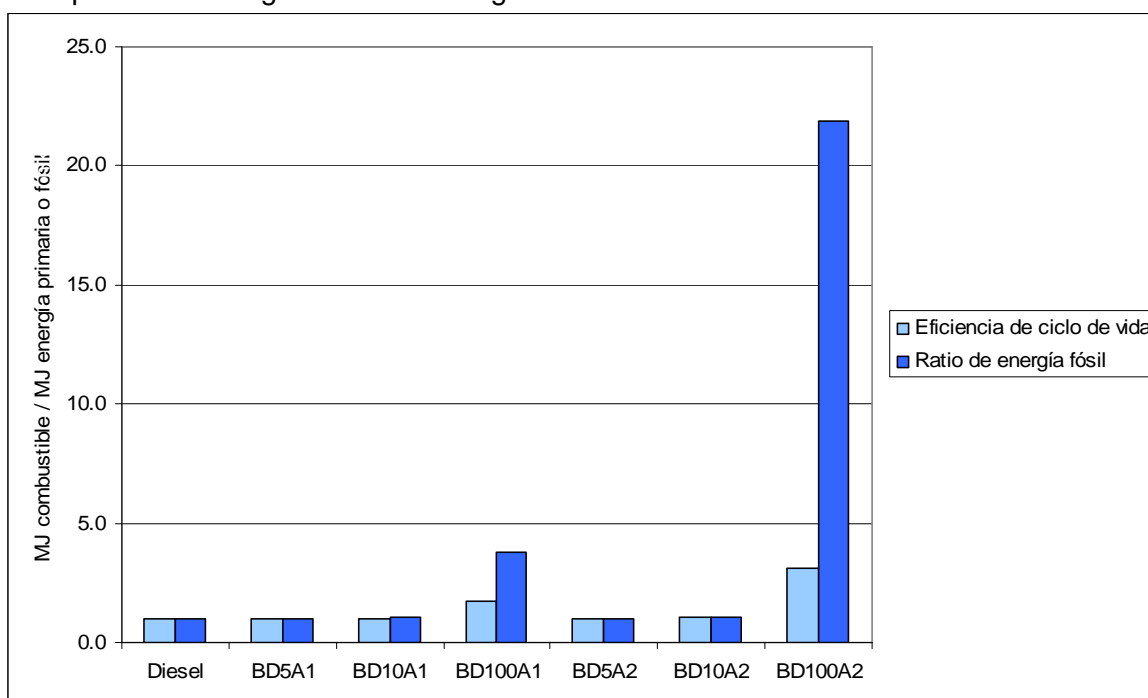


Figura 6. Eficiencia energética y ratio de energía fósil de las mezclas de biodiesel, del biodiesel puro y del diesel

Esta notable diferencia con el resto de los combustibles se debe a varias razones que se ilustran en la figura 7. Primero, en el ciclo de vida del biodiesel a partir de aceites vegetales usados no hay un proceso de refino de producción de semilla ni de extracción de aceites, ambos procesos muy intensivos en consumo energético. Además, en el proceso de transesterificación del aceite se obtiene como co-producto glicerina que tiene un uso en el mercado industrial y por lo tanto se ha tratado como un producto evitado, es decir, con la elaboración del biodiesel se evita la fabricación de glicerina y el consumo correspondiente de energía fósil en ese proceso. De modo que en este proceso de transesterificación la energía fósil contabiliza como un valor de ahorro de energía. En un análisis de sensibilidad posterior se ha estudiado el efecto de no considerar la glicerina como co-producto con valor en el mercado.

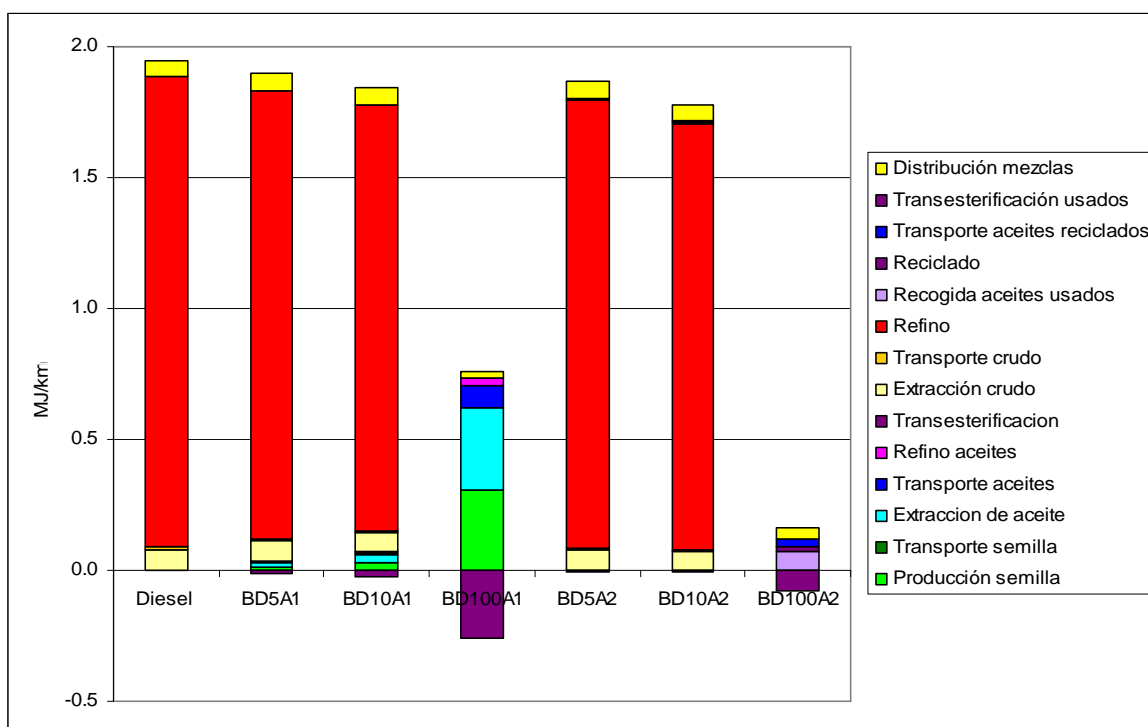


Figura 7. Energía fósil necesaria en cada etapa de producción y distribución de las mezclas de biodiesel, del biodiesel y del diesel

Cambio climático

Los resultados corresponden al inventario realizado para el CO₂, N₂O y metano durante todo el ciclo de vida de las mezclas analizadas. Para el cálculo de las emisiones en equivalentes de CO₂ se han utilizado los factores de caracterización propuestos por el IPCC [8].

Resultados de emisiones de los ACV de bioetanol y gasolina

La producción y uso de la mezcla E85 evita la emisión de 144 g de CO₂ equiv en comparación con la producción y uso de la gasolina EN-223 lo que supone un ahorro del 70% en las emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso de la producción y uso de la mezcla E5 se evita la emisión de 7 g de CO₂ equiv lo que supone un ahorro del 3%. Estos datos están representados en la figura 8.

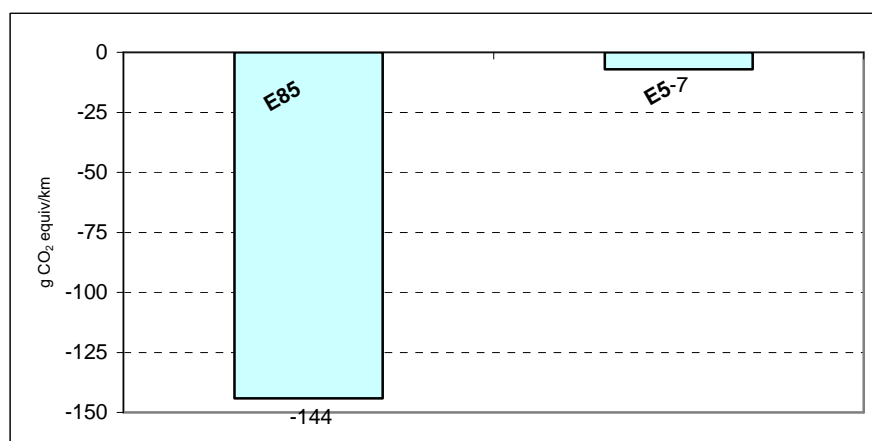


Figura 8. Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de las mezclas E85 y E5 en comparación con la gasolina

En cuanto a las etapas del ciclo de vida de la mezcla E85 se ha observado que las que aportan las mayores emisiones de gases de efecto invernadero son la etapa del uso del combustible en los vehículos debido a la combustión de la gasolina que forma parte de las mezclas seguida de la etapa de transformación a bioetanol debido a la combustión de gas natural en la planta de cogeneración.

Resultados de emisiones de los ACV de biodiesel y diesel

La producción y uso de biodiesel de aceites vegetales crudos evita la emisión de 92 g de CO₂ equiv en comparación con la producción y uso del diesel EN-590 lo que supone un ahorro del 57% en las emisiones de gases de efecto invernadero y en el biodiesel de aceites vegetales usados se evitan 144 g de CO₂ equiv con un ahorro del 88%. En el caso de la producción y uso de las mezclas BD10A1, BD10A2, BD5A1 y BD5A2 se evita la emisión de 10, 15, 5 y 8 g de CO₂ equiv lo que supone un ahorro del 6%, 9%, 3% y 5% respectivamente. Estos datos están representados en la figura 9.

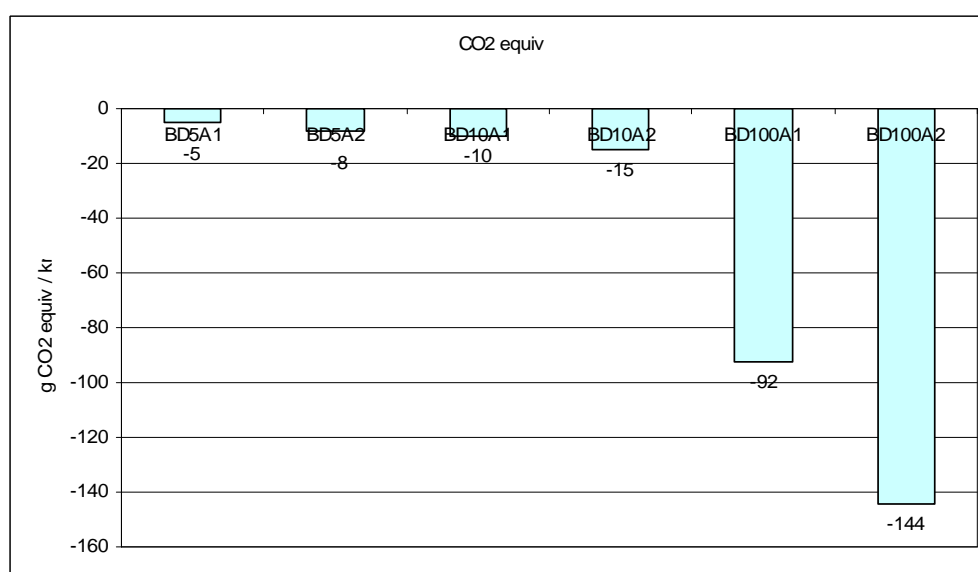


Figura 9. Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de las mezclas de biodiesel y biodiesel puro en comparación con el diesel

En cuanto a las etapas del ciclo de vida del biodiesel de aceites vegetales crudos se ha observado que las que aportan las mayores emisiones de gases de efecto invernadero son la etapa de producción de la semilla seguida de la etapa de extracción del aceite. En el biodiesel de aceites vegetales usados, las mayores emisiones corresponden a la etapa de transesterificación seguida de la etapa de recogida de los aceites usados. Por último, en las mezclas de biodiesel con diesel las etapas con las mayores emisiones son la del uso debido a la combustión de la parte del diesel en la mezcla seguida de la de extracción de aceite en el caso de los aceites vegetales crudos y de la de refino del diesel en el caso de los aceites vegetales usados.

CONCLUSIONES

El balance energético de la producción de las mezclas de biocombustible y combustible fósil es mejor cuanto mayor es el contenido de bioetanol o biodiesel en la mezcla.

Las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero son menores cuanto mayor es el contenido de biocombustible en las mezclas con combustibles fósiles.

En el caso de mezclas de biodiesel de origen de aceites vegetales usados, tanto el balance energético como el cálculo de las emisiones dan mejores resultados que cuando el origen del biodiesel son los aceites vegetales crudos.

REFERENCIAS

- [1] Lechón Y. *et al.* (2005). Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte. Fase I. Análisis del Ciclo de Vida Comparativo del Etanol de Cereales y de la Gasolina. Energías y Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente.
- [2] Audsley, E. *et al.* (1997). Harmonization of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report. Concerted Action AIR3-CT94-2028
- [3] Sheehan J. *et al.* (1998). Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus.
- [4] Ceuterick, D. *et al.* (1997). Comparative LCA of Biodiesel and Fossil Diesel Fuel. Final Report. VITO
- [5] Pleanjai, S. *et al.* (2004). Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE). 1-4 December. Hua Hin. Thailand.
- [6] Kuzyakov y Domanski (2000). Carbon Input by plants into the soil. Review. Institute of soil science and land evaluation. University of Hohenheim. Alemania.
- [7] Vallejo, A. (2003) Personal communication
- [8] Houghton, J.T. *et al.* (1996). "Climate change 1995. The Science of Climate Change" Contribution of Working Group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, Cambridge.