

PRODUCCIÓN DE ACEITE VEGETAL HIDROTRATADO EN ESPAÑA: CONFORMIDAD CON LA DIRECTIVA 2009/28/EC EN EL AHORRO DE EMISIONES DE GEI

Daniel Garraín

Israel Herrera

Carmen Lago

Yolanda Lechón

CIEMAT – Dpto. Energía – Ud. Análisis de Sistemas Energéticos, Madrid (España)

Abstract

Oil hydrotreating units in refineries are aimed at reducing the sulphur content of mineral fuels in order to get compliance with standard specifications. Moreover, this process is one of the best available technologies to obtain biofuels from vegetable oil at present. This study presents the GHG emissions of the biofuel HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) obtained from vegetable oil by means of co-processing with conventional fossil fuel in hydrotreating facilities of two crude-oil refineries, using the LCA methodology. Results were compared with a mixture (in the same shares) of FAME (Fatty Acid Methyl Ester), a biofuel obtained by means of transesterification of vegetable oil, and mineral diesel. Results highlight that the HVO mixed with mineral diesel has at least the same environmental performance compared to a mixture of FAME and mineral diesel. GHG emissions savings compared to standard diesel from Renewable Energy European Directive 2009/28/Ec are exposed. In addition, sensitivity analysis have been conducted in order to assess the influence in results of different data sources and different allocation processes that LCA standards suggest, showing the most relevant hot-spots that influence the improvement of previous results.

Keywords: *HVO; FAME; GHG emissions; Directive 2009/28/EC*

Resumen

Las unidades de hidrotratamiento en refinerías están destinadas a reducir el contenido de azufre de los combustibles minerales a fin de cumplir las especificaciones requeridas. Este proceso es una de las mejores tecnologías disponibles en la actualidad para obtener biocombustibles a partir de hidrogenación de aceite vegetal. Este estudio presenta las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los biocombustibles HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) obtenidos a partir de co-procesamiento de aceite y combustibles fósiles convencionales en las instalaciones de hidrotratamiento de dos refinerías españolas, utilizando la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Los resultados se compararon con mezclas de FAME (*Fatty Acid Metil Ester*, biocombustible obtenido por transesterificación de aceites) y diésel, obteniendo que el HVO mezclado con diésel tiene, por lo menos, el mismo comportamiento medioambiental. Además se han calculado los ahorros de emisiones de GEI con respecto al diésel estándar de Directiva de Energías Renovables 2009/28/CE. Finalmente, se presentan diversos análisis de sensibilidad con el fin de evaluar la influencia en los resultados de la procedencia de los datos y de los

procesos de asignación diferentes según la normativa que regula el método ACV, mostrando así los puntos susceptibles de mejora en los resultados anteriores.

Palabras clave: HVO; FAME; emisiones de GEI; Directiva 2009/28/EC

1. Introducción

La Directiva europea 2009/28/CE del 23 de abril de 2009 (RED, 2009), relativa al fomento de las energías renovables en Europa, fija objetivos nacionales obligatorios en relación con la cuota de energías renovables y el consumo final de energía, y con la cuota de energía procedente de fuentes renovables en el transporte que, en 2020, deberá ser como mínimo, equivalente al 10% de su consumo final de energía en el transporte y que incluye los biocarburantes, electricidad de fuentes renovables utilizada por los coches eléctricos e hidrógeno procedente de energías renovables y utilizado en el transporte. La misma directiva define los criterios de sostenibilidad, para los biocarburantes y biolíquidos, que deberán cumplir para ser incluidos en la evaluación de los requisitos de la directiva en relación con los objetivos nacionales.

Uno de los criterios de sostenibilidad que requiere una cuantificación, a lo largo del proceso de obtención, es la obligación de una reducción de los gases de efecto invernadero (GEI) con respecto a los carburantes fósiles. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es la metodología que permite, de forma objetiva, calcular la reducción de los GEI a lo largo de todo el proceso de producción de los biocarburantes y su comparación con otros carburantes o biocarburantes que desempeñan la misma función.

2. Hidrotratamiento de aceites vegetales y su comportamiento medioambiental

Las unidades de hidrotratamiento de las refinerías petrolíferas tienen como objetivo la reducción del contenido de azufre de los combustibles diésel para adaptarlos a las especificaciones determinadas. No obstante, una de las tecnologías disponibles actualmente para producir biocombustibles a partir de aceite vegetal es precisamente este proceso de tratamiento con hidrógeno en refinerías, obteniendo así el aceite vegetal hidrotratado (HVO, del inglés *Hydrotreated Vegetable Oil*).

Este biocarburante diésel obtenido puede mezclarse en cualquier proporción con el diésel mineral. El proceso consiste en hacer reaccionar el aceite vegetal o las grasas animales con hidrógeno (generalmente procedente de la misma refinería) en presencia de un catalizador. Existen dos tipos principales de las plantas de hidrogenación: (a) independientes, que incluyen su propio equipo de hidrogenación, en la que el biodiésel producido puede ser mezclado con gasóleo convencional posteriormente en refinería, y (b) de co-procesamiento, en las que el aceite vegetal se mezcla con el diésel mineral (pretratado o no) para su tratamiento posterior con hidrógeno en las plantas sitas en las refinerías de petróleo convencional, para así producir una única salida de biodiésel combinado.

Los aceites vegetales se pueden co-procesar de forma óptima en estas unidades con la realización de diversas adaptaciones en la instalación. El biocarburante obtenido favorece la mejora de alguna de las propiedades del combustible convencional, tales como la densidad y el índice de cetano. Generalmente, con el co-procesamiento se reducen los costes de capital de la planta de hidrogenación, pero también se produce una merma en la producción de diésel mineral < 10 ppm de la refinería (IEA Bioenergy, 2009).

En la bibliografía se pueden encontrar estudios de ACV de biocarburantes a partir de diversos tipos de aceites vegetales obtenidos mediante esta técnica de tratamiento con hidrógeno. En los estudios de Garraín et al., (2010, 2011) se pueden consultar diversas

comparaciones de diferentes aspectos medioambientales de los HVOs frente a los combustibles diésel convencionales.

3. Definición de objetivos y alcance del estudio

En este trabajo, se ha realizado el ACV del HVO denominado 'HidroBioDiésel' (HBD), biocombustible obtenido por hidrot ratamiento de aceites vegetales en las plantas convencionales de refino, mediante co-procesamiento con diésel mineral. El objetivo del estudio es la comparación con el obtenido por transesterificación de aceite (el denominado FAME, del inglés *Fatty Acid Methyl Ester*) y con el diésel mineral tradicional con un contenido en azufre inferior a 10 ppm. Se ha considerado el HBD obtenido en pruebas a escala industrial en las refinerías de Puertollano (Ciudad Real) y Cartagena (Murcia). Los resultados mostrarán los impactos medioambientales en las categorías de consumo energético fósil y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), o calentamiento global, del biocombustible producido (mezcla de HBD y diésel < 10 ppm) y una mezcla de FAME y diésel > 10 ppm en las mismas proporciones de salida. Para ello, se ha utilizado la herramienta informática SimaPro 7.1 y el método de caracterización denominado *CML baseline 2000*.

El alcance considerado en los productos comparados abarcará desde la extracción de las materias primas hasta la salida del combustible en cada refinería (en el caso de HBD y diésel < 10 ppm) o en la planta de transesterificación (en el caso de FAME). La unidad funcional seleccionada a la que se referirán los resultados ha sido la cantidad de combustible expresada en MJ, ya que el uso final de los combustibles estudiados es la producción de energía.

4. Análisis de inventario

Se han definido tres subsistemas en el estudio:

- **Sistema FAME:** en el que se han considerado los datos de extracción y transporte de aceite refinado de soja de Argentina de los estudios de Hilbert et al. (2009), y los datos del proceso de transesterificación (refino) a partir de una adaptación de Lechón et al. (2006).
- **Sistema diésel < 10 ppm:** en el que los datos para cada refinería tanto de origen, extracción y transporte de crudo como del refino y obtención de productos han sido proporcionados por técnicos de las propias refinerías.
- **Sistema HBD:** en el que para la parte vegetal del producto se han considerado los mismos datos de inventario que los correspondientes al sistema FAME desde la actividad agrícola hasta la llegada al proceso de transesterificación. Para el caso de la parte mineral se han considerado los mismos datos de inventario que los correspondientes al sistema diésel < 10 ppm de las refinerías desde la extracción y transporte del crudo hasta la llegada al proceso de refino. El proceso de co-procesamiento (refino) de aceite y crudo ha consistido en la introducción de aceite vegetal de soja en diferentes porcentajes en el flujo del combustible diésel a la entrada de la unidad de hidrot ratamiento. Para poder obtener datos de inventario y calcular el beneficio medioambiental del HBD se han realizado diferentes 'test-run': i) El primero de ellos fue realizado con la carga y condiciones de operación habituales para establecer el caso base con que comparar los resultados de la prueba de co-procesado. Este test se hizo con la misma carga con la que se co-procesa el aceite vegetal, aproximadamente. En condiciones estables se tomaron muestras de carga y productos para cerrar el balance de materia y calcular rendimientos, consumo de hidrógeno y análisis de propiedades de carga y producto; ii) Los siguientes 'test-run' se realizaron con la carga

habitual considerando la adiciones de aceite en el flujo de entrada. Al realizar esta adición se modificaron las condiciones de operación: caudal de hidrógeno, relación carga/hidrógeno, temperatura de operación, etc. Una vez obtenido el producto en especificación, se mantuvieron las condiciones durante el tiempo necesario para tomar el muestreo necesario: carga, productos (nuevo gasóleo, gases, etc.). El estudio del beneficio medioambiental se realizó en cada caso por diferencia con el caso base; iii) Una vez finalizadas las adiciones, se volvió al caso base de introducción única de combustible diésel sin desulfurar y sin aceite vegetal, para poder evaluar así la actividad catalítica una vez se haya desorbido el CO/CO₂ retenido el catalizador y que produce inhibición temporal. Este proceso era necesario para evaluar la pérdida de actividad catalítica permanente debida al co-procesamiento de aceite, mediante la comparación con el azufre obtenido en el primer test. De cara a este estudio de impacto medioambiental, este proceso no aportó ninguna consecuencia.

En todos los casos, al tratarse de procesos de fabricación multiproducto, la asignación de cargas ambientales a cada producto se realizó por el contenido energético de los mismos, siguiendo la norma UNE-EN-ISO 14044:2006 y la recomendación de la Directiva Europea 28/2009/CE (RED, 2009) de energías renovables.

5. Resultados: Comparación HBD vs FAME

Una vez considerados los datos de inventario de todos los subsistemas, los resultados se muestran a continuación, desglosados de forma general en las fases siguientes:

- **Extracción y transporte:** en el caso del crudo (para los sistemas diésel < 10 ppm y HBD) comprende las fases de extracción y transporte hasta la llegada al refino, y en el caso del aceite vegetal (para los sistemas FAME y HBD) comprende las fases agrícolas, extracción, refinado y transporte hasta la llegada al proceso de transesterificación o hidrot ratamiento según el caso
- **Procesado:** en el caso de los sistemas diésel < 10 ppm y HBD comprende la fase de refino (hidrot ratamiento) en la refinería, mientras que en el caso del sistema FAME comprende la fase de transesterificación en planta.

5.1 Categoría de consumo de energía fósil

La figura 1 muestra los resultados de los consumos de energía para producir un MJ de FAME desglosados por cada etapa, obteniendo 0,32 MJ/MJ en la parte de extracción y transporte (incluyendo el cultivo de semillas, y la extracción y refinado de aceite vegetal) y 0,14 para la fase de procesado o transesterificación.

En la figura 2 se muestran los resultados para el combustible diésel < 10 ppm en cada una de las refinerías, desglosados en la fase de extracción y transporte, y la fase de procesado. En este caso se ha considerado la energía interna propia del crudo en la fase de extracción y transporte, de ahí su valor mayor que la unidad. Al comparar los dos combustibles diésel se observa un mayor consumo energético en la refinería de Puertollano. Esto es debido a que en esta refinería se procesan crudos más densos y se obtienen productos de un mayor valor añadido, de ahí que el consumo sea superior. De la comparativa entre los análisis medioambientales de los diésel < 10 ppm y los más referenciados obtenidos de la bibliografía de refinerías europeas, como son el estudio del JRC-Eucar-Concawe (JEC, 2007) y la base de datos internacionalmente reconocida de Ecoinvent (www.ecoinvent.ch), se puede afirmar que, al no realizarse los mismos planteamientos y suposiciones en el ACV, no son comparables unos estudios con otros. No obstante los resultados obtenidos para el combustible diésel < 10 ppm de las refinerías bajo estudio se pueden encontrar en el rango de valores promedio de refinerías en Europa.

Figura 1: Consumo de energía (MJ consumido/MJ producido) en las etapas de producción del combustible FAME

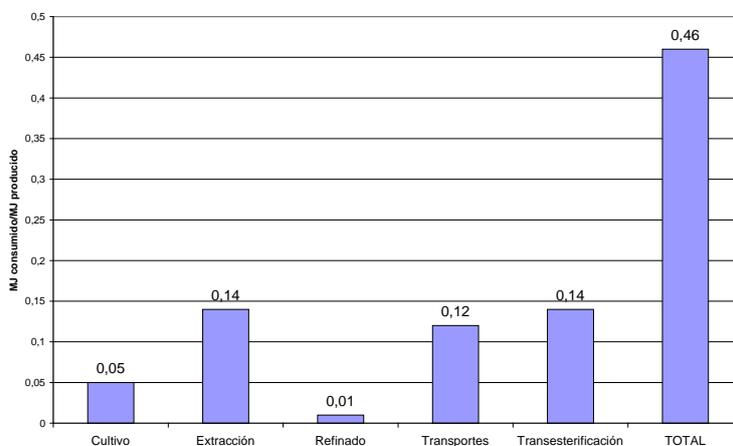
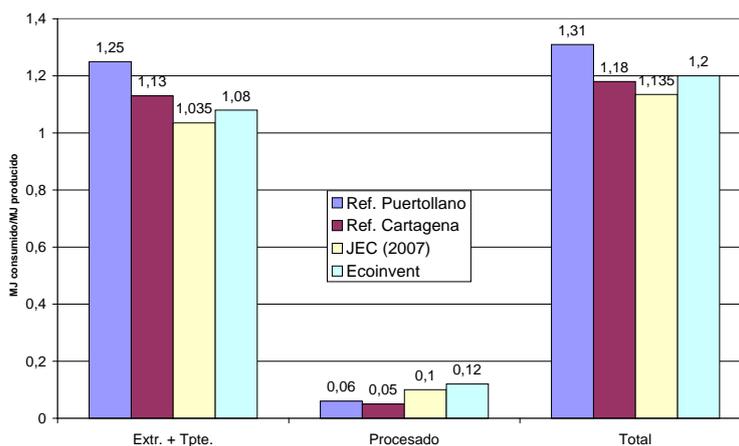


Figura 2: Comparación de consumo energético de los combustibles diésel < 10 ppm de las refinerías con otros estudios (MJ consumido/MJ producido)



Para el sistema HBD, en la etapa de hidrotreamiento, los beneficios medioambientales aportados por la introducción del aceite se han calculado como la resta de consumo energético y de emisiones al caso base de producción de combustible fósil. Las siguientes figuras muestran los resultados de cada mezcla o test en cada refinería, desglosados en las fases descritas.

Finalmente se presenta la comparación de los consumos energéticos entre los productos obtenidos en el proceso de hidrotreamiento y una mezcla de FAME y diésel < 10 ppm en las mismas proporciones que las de la salida del sistema HBD. La tabla 1 muestra los resultados para cada refinería.

Figura 3: Consumo de energía (MJ consumido/MJ producido) de los distintos porcentajes de HBD puro en la etapas de producción del sistema HBD en las refinerías de Puertollano (izqda.) y Cartagena (dcha.)

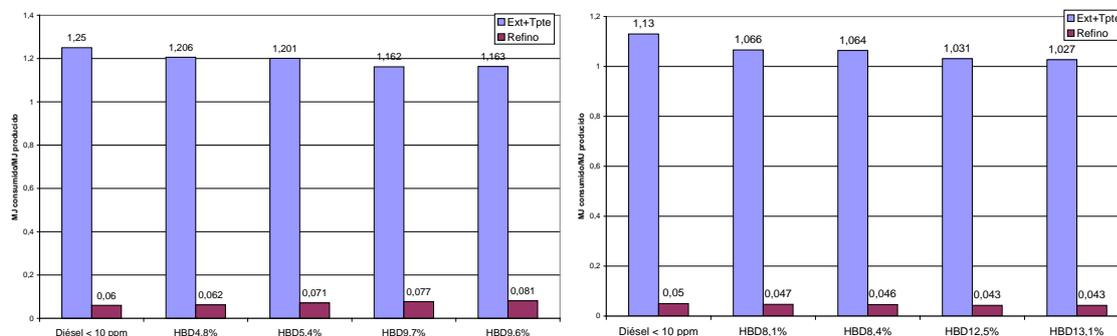


Tabla 1. Comparación del consumo energético de los sistemas HBD y mezclas de FAME y diésel < 10 ppm en cada refinería (MJ consumido/MJ producido)

Refinería	% HBD	FAME + diésel < 10 ppm	HBD + combustible fósil
Puertollano	4,8	1,269	1,269
	5,4	1,264	1,272
	9,7	1,228	1,238
	9,6	1,228	1,243
Cartagena	8,1	1,122	1,113
	8,4	1,120	1,110
	12,5	1,090	1,075
	13,1	1,086	1,070

5.2 Categoría de calentamiento global

La figura 4 muestra los resultados de las emisiones de GEI para producir un MJ de FAME desglosados por cada etapa, obteniendo 16,88 g CO₂ eq/MJ en la parte de extracción y transporte (incluyendo el cultivo de semillas, y la extracción y refinado de aceite vegetal) y 5,02 para la fase de procesado o transesterificación.

En la figura 5 se muestran los resultados para el combustible diésel < 10 ppm en cada una de las refinerías, desglosados en la fase de extracción y transporte, y la fase de procesado. De la misma forma que para la categoría anterior se observa un mayor consumo energético en la refinería de Puertollano, debido a que en esta refinería se procesa crudos más densos y se obtienen productos de un mayor valor añadido. Igualmente, los resultados obtenidos para el combustible diésel < 10 ppm de las refinerías bajo estudio se pueden encontrar en el rango de valores promedio de refinerías en Europa.

La figura 6 muestra los resultados de cada mezcla o test en cada refinería para el sistema HBD, desglosados en las fases descritas. Finalmente se presenta la comparación de las emisiones de GEI entre los productos obtenidos en el proceso de hidrotreamiento y una mezcla de FAME y diésel < 10 ppm en las mismas proporciones que las de la salida del sistema HBD. La tabla 2 muestra los resultados para cada refinería.

Figura 4: Emisiones de GEI (g CO₂ eq/MJ) en las etapas de producción del combustible FAME

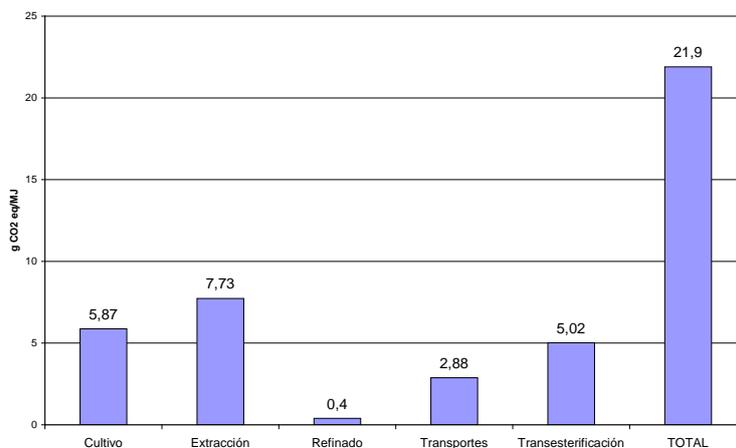


Figura 5: Comparación de las emisiones de GEI de los combustibles diésel < 10 ppm de las refinerías con otros estudios (g CO₂ eq/MJ)

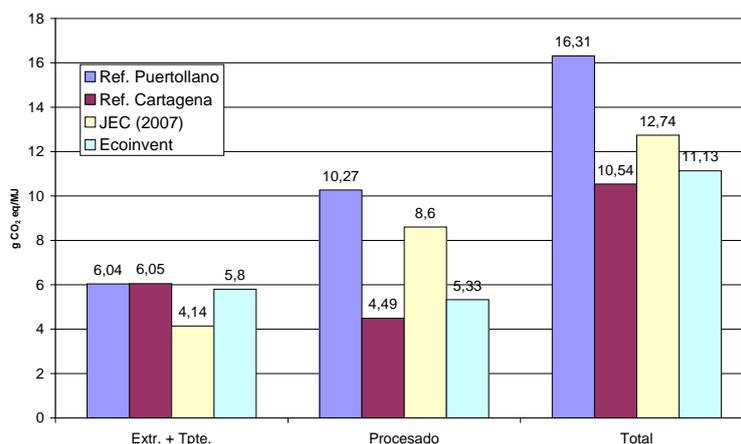


Figura 6: Emisiones de GEI (g CO₂ eq/MJ) de los distintos porcentajes de HBD puro en las etapas de producción del sistema HBD en Puertollano (izqda.) y Cartagena (dcha.)

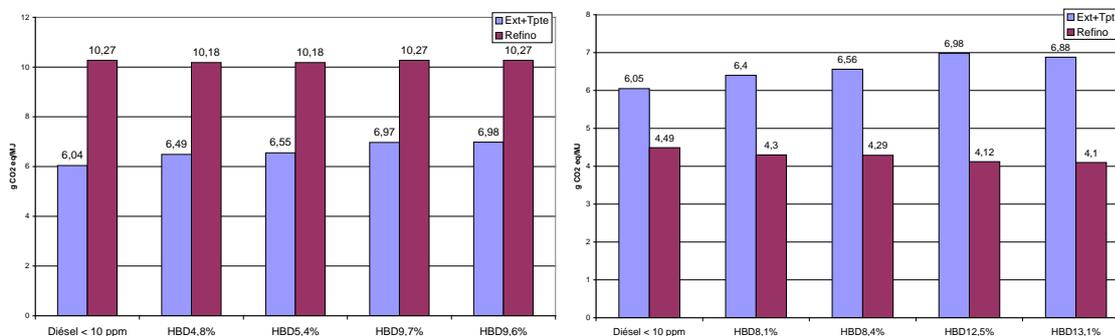


Tabla 2. Comparación la emisiones de GEI de los sistemas HBD y mezclas de FAME y diésel < 10 ppm en cada refinería (g CO₂ eq/MJ)

Refinería	% HBD	FAME + diésel < 10 ppm	HBD + combustible fósil
Puertollano	4,8	16,58	16,66
	5,4	16,61	16,72
	9,7	16,85	17,19
	9,6	16,85	17,20
Cartagena	8,1	11,46	10,70
	8,4	11,49	10,85
	12,5	11,96	11,11
	13,1	12,03	10,98

6. Análisis de sensibilidad

Se han considerado una serie de variables (analíticas y metodológicas) sobre las que se ha realizado un análisis de sensibilidad de los resultados del ACV, en cuanto a emisiones de GEI. Las variables elegidas han sido las siguientes:

- Producción de HBD 100% en las unidades de desulfuración a partir de aceite vegetal. En este caso se presentan los resultados en el caso hipotético de que se introdujera solamente aceite. Dichos resultados se obtienen mediante extrapolación al 100% del balance de cada test.
- Utilización de los valores por defecto de la directiva 2009/28/CE (RED, 2009) de las fases de extracción y transporte de aceite refinado en el caso de FAME y HVO de colza.
- Proceso de asignación de los co-productos obtenidos en la producción en el sistema HBD como productos evitados o sustituidos.

6.1 Producción de HBD 100% hipotético

De la extrapolación al 100% de los resultados de cada test, se obtienen los valores siguientes: En la refinería de Puertollano se tienen valores entre 26,30 y 27,70 g CO₂ eq/MJ, mientras que en la de Cartagena, los valores oscilan entre 19,45 y 20,09 g CO₂ eq/MJ. El valor es mayor debido a las cargas ambientales procedentes de la fase de cultivo y preparación del aceite (Garraín et al., 2011).

6.2 Utilización de los valores por defecto de la directiva 2009/28/CE (RED, 2009) de las fases de extracción y transporte de aceite refinado

La tabla 3 muestra las emisiones comparadas de la misma forma que anteriormente para los casos de consideración del uso de los valores por defecto de RED (2009) de las fases de extracción y transporte de aceite.

6.3 Asignación de los co-productos obtenidos en la producción del sistema HBD como productos evitados o sustituidos

En el proceso de hidrogenación de aceite se obtienen co-productos como GLP, metano, propano, butano y otros gases de mayor cadena de carbono. La realización de las

asignaciones de consumos energéticos y emisiones en todos los procesos multiproducto se ha realizado en función del contenido energético de los propios productos, tal y como recomienda la Directiva RED (2009). No obstante, la norma ISO 14044:2006 permite la posibilidad de realizar otro tipo de asignaciones según convenga. Las tablas 4 y 5 muestran los resultados en el caso que la asignación de los co-productos obtenidos en la fase de producción de HBD se hubiera realizado como productos evitados, en distintos procesos de extracción de aceite anteriormente estudiados (valores calculados de Hilbert et al. (2009) y valores por defecto de RED (2009)). En este caso, los gases obtenidos sustituirían a gas de refinería de combustión fabricado en las propias refinerías de Puertollano y Cartagena.

Tabla 3. Comparación de las emisiones de GEI de los sistemas HBD y mezclas de HVO teórico y diésel < 10 ppm en cada refinería, considerando los valores agrícolas por defecto de FAME y HVO de colza de la Directiva 2009/28/CE (g CO₂ eq/MJ producido) (Garraín et al. 2011)

Refinería	% HBD	FAME + diésel (FAME)	HBD + comb. fósil (FAME)	FAME + diésel (HVO)	HBD + comb. fósil (HVO)
Puertollano	4,8	18,12	17,46	17,62	17,44
	5,4	18,35	17,62	17,79	17,60
	9,7	19,97	18,77	18,96	18,74
	9,6	19,93	18,77	18,94	18,74
Cartagena	8,1	14,06	11,95	13,22	11,93
	8,4	14,19	12,17	13,32	12,14
	12,5	15,98	13,06	14,68	13,03
	13,1	16,24	12,97	14,88	12,94

Tabla 4. Comparación de las emisiones de GEI de los sistemas HBD y mezclas de FAME y diésel < 10 ppm en cada refinería, con la asignación por productos evitados (g CO₂ eq/MJ producido) (Garraín et al. 2011)

Refinería	% HBD	FAME + diésel < 10 ppm	HBD + combustible fósil
Puertollano	4,8	16,58	16,48
	5,4	16,61	16,52
	9,7	16,85	16,78
	9,6	16,85	16,83
Cartagena	8,1	11,46	10,25
	8,4	11,49	10,60
	12,5	11,96	10,80
	13,1	12,03	10,40

Tabla 5. Comparación de las emisiones de GEI de los sistemas HBD y mezclas de HVO teórico y diésel < 10 ppm en cada refinería, considerando la asignación por productos evitados y los valores agrícolas por defecto de FAME y HVO de colza de la Directiva 2009/28/CE (g CO₂ eq/MJ producido) (Garraín et al. 2011)

Refinería	% HBD	FAME + diésel (FAME)	HBD + comb. fósil (FAME)	FAME + diésel (HVO)	HBD + comb. fósil (HVO)
Puertollano	4,8	18,12	17,28	17,62	17,26
	5,4	18,35	17,41	17,79	17,39
	9,7	19,97	18,37	18,96	18,34
	9,6	19,93	18,40	18,94	18,37
Cartagena	8,1	14,06	11,49	13,22	11,47
	8,4	14,19	11,92	13,32	11,90
	12,5	15,98	12,75	14,68	12,72
	13,1	16,24	12,39	14,88	12,36

7. Resultados: Ahorro de emisiones de GEI según RED (2009)

Para el cálculo de los ahorros en las emisiones de GEI del producto HBD hay que considerar el ciclo completo de vida (*Well-to-Wheel*, WtW), es decir, considerar los consumos producidos en el transporte y distribución de los combustibles, y los de la combustión de los mismos. Para el caso de combustible diésel se han tenido en cuenta los valores del estudio JEC (2007) para valores medios en Europa: 1,10 g CO₂ eq/MJ para el transporte, depósito y distribución, y 73,25 para la combustión. Para el HBD se ha considerado el mismo valor para el transporte y la distribución, y en el caso de la combustión, se considerado nula la emisión de la parte vegetal ya que el dióxido de carbono tiene su origen biogénico. La tabla 6 muestra los resultados medios de las emisiones de cada producto estudiado con las diferentes consideraciones tanto en asignación de impactos como de valores de cultivo, extracción y transporte de aceite.

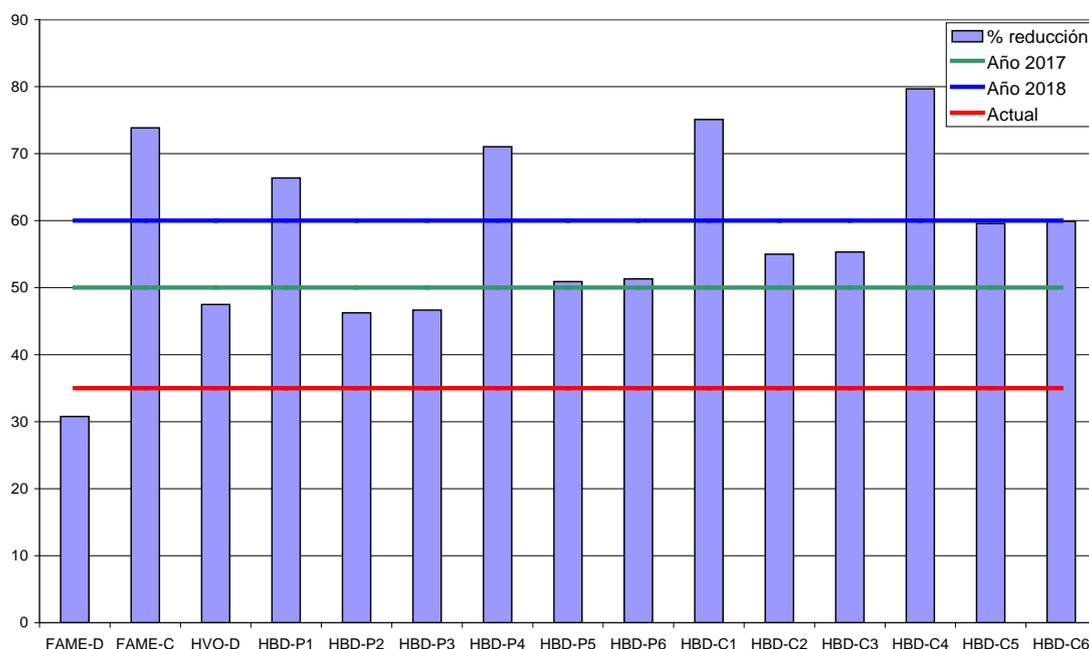
Tabla 6. Comparación de las emisiones de GEI (WtW) de todos los sistemas estudiados según el tipo de asignación de impactos y los valores tomados para las etapas de extracción y transporte (g CO₂ eq/MJ producido) (Garraín et al., 2011)

Sistema (acrónimo)	Asignación por	Valores de extracción y transporte	GEI
Diésel Puertollano (Diésel-P)	Cont. energético	Hilbert et al. (2009)	90,66
Diésel Cartagena (Diésel-C)	Cont. energético	Hilbert et al. (2009)	84,89
FAME Directiva (FAME-D)	RED (2009)	RED (2009)	58,00
FAME Calculado (FAME-C)	Cont. energético	Hilbert et al. (2009)	21,90
HVO Directiva (HVO-D)	RED (2009)	Directiva 2009/28/CE	44,00
HBD 100% hipot. PTLN (HBD-P1)	Cont. energético	Hilbert et al. (2009)	28,17
HBD 100% hipot. PTLN (HBD-P2)	Cont. energético	RED (2009) (FAME)	45,05
HBD 100% hipot. PTLN (HBD-P3)	Cont. energético	RED (2009) (HVO)	44,70
HBD 100% hipot. PTLN (HBD-P4)	Productos evitados	Hilbert et al. (2009)	24,27
HBD 100% hipot. PTLN (HBD-P5)	Productos evitados	RED (2009) (FAME)	41,15
HBD 100% hipot. PTLN (HBD-P6)	Productos evitados	RED (2009) (HVO)	40,80

HBD 100% hipot. CTGN (HBD-C1)	Cont. energético	Hilbert et al. (2009)	20,86
HBD 100% hipot. CTGN (HBD-C2)	Cont. energético	RED (2009) (FAME)	37,71
HBD 100% hipot. CTGN (HBD-C3)	Cont. energético	RED (2009) (HVO)	37,44
HBD 100% hipot. CTGN (HBD-C4)	Productos evitados	Hilbert et al. (2009)	17,03
HBD 100% hipot. CTGN (HBD-C5)	Productos evitados	RED (2009) (FAME)	33,88
HBD 100% hipot. CTGN (HBD-C6)	Productos evitados	RED (2009) (HVO)	33,61

La figura 7 muestra los valores del porcentaje de ahorro de emisiones de GEI con respecto al estándar de la directiva (83,8 g CO₂/MJ de diésel) de todos los sistemas renovables estudiados. En ella están marcados los mínimos que deben cumplirse para el año actual (35%), el año 2017 (50%) y el 2018 (60%).

Figura 7. Porcentaje de ahorro de emisiones de los combustibles renovables bajo estudio con respecto al estándar de la Directiva Europea 2009/28/CE (RED, 2009) (Garraín et al., 2011)



8. Conclusiones

El proceso de hidrotreatment conjunto de aceite vegetal y combustible fósil (sistema HBD) puede tener como mínimo un perfil medioambiental muy similar a su homólogo de transesterificación y posterior mezcla con carburante diésel (mezcla de FAME y combustible mineral). El estudio de las categorías de consumo de energía fósil y de calentamiento global ha permitido obtener resultados muy similares en la comparativa de ambos sistemas. No obstante, este comportamiento puede variar si se tienen en consideración tanto unas variables como unos aspectos metodológicos, según se resumen a continuación:

- *Localización del proceso:* Existe una notable diferencia a la hora de realizar el proceso de refino (o hidrotreatment) en una refinería u otra. El mayor impacto en la refinería de Puertollano se debe a que en la misma se procesan crudos más densos y se obtienen productos de un mayor valor añadido, de ahí que la eficiencia energética sea superior.
- *Procedencia de los datos bibliográficos:* Se han considerado los datos de producción de aceite refinado para su hidrogenación a partir de diferentes fuentes. Tomando y tratando

los datos de este refinado a partir de la RED (2009), se produce un descenso de las emisiones de GEI al compararlos con los calculados, ya que la directiva posee un valor de emisiones de GEI más elevado en el caso de transesterificación, lo cual penaliza más a la mezcla de FAME y combustible fósil en comparación con el sistema HBD.

- *Procedimiento de asignación de impactos*: Dos de las diferentes formas que permite la norma UNE-EN-ISO 14044:2006 para realizar el procedimiento de asignación de cargas o impactos se han realizado en este estudio, obteniendo un mejor perfil medioambiental del producto cuando la asignación se realiza por el proceso de sustitución al de contenido energético. No obstante, las directivas referidas a sistemas energéticos recomiendan la asignación por contenido energético debido a la funcionalidad de los mismos.

9. Referencias

- Garraín, D., Herrera, I., Lago, C., Lechón, Y., Sáez, R. (2011) "Análisis de ciclo de vida de biocarburantes de aceite vegetal hidrotelado, Colección Documentos CIEMAT, ISBN: 978-84-7834-663-9, 2011, Madrid (España).
- Hilbert, J.A., Donato, L.B., Muzio, J., Huerga, I. (2009) "Comparative analysis of energetic consumption and greenhouse gas emissions from the production of biodiesel from soy under conventional and no till farming systems", Boletín nº 6, Doc N° IIR-BC-INF-06-09, INTA, Argentina.
- IEA Bioenergy (2009) "Bioenergy – A sustainable and reliable energy source. Main Report", IEA Bioenergy: ExCo: 2009: 06 (disponible en: <http://www.ieabioenergy.com>).
- JEC (2007) "Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Well-to-Wheels report, version 2c", CONCAWE/EUCAR/EC-JRC-IES report.
- Lechón, Y., Cabal, H., de la Rúa, C., Lago, C., Izquierdo, L., Sáez, R., Fernández, M. (2006) "Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase II: Análisis del ciclo de vida comparativo del biodiésel y del diésel", Centro de Publicaciones – Secretaría Gral. Técnica – Ministerio de Medio Ambiente, ISBN: 84-8320-376-6, Madrid (España).
- RED (2009) Diario Oficial de la Unión Europea (05.06.2009). Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- UNE-EN-ISO 14040:2006 – Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia.
- UNE-EN-ISO 14044:2006 – Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y directrices.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Daniel Garraín Cordero
Ministerio de Economía y Competitividad
CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas)
Departamento de Energía – Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos
Av. Complutense, 40 – E28040 Madrid (España)
Tel: +34 913466091; Fax: +34 913466005
E-mail: daniel.garrain@ciemat.es; URL: <http://www.ciemat.es>