

VIABILIDAD MEDIOAMBIENTAL DEL CO-PROCESAMIENTO DE ACEITES VEGETALES EN UNIDADES DE HIDROTRATAMIENTO PARA OBTENER BIOCARBURANTES MEDIANTE ACV

Daniel Garraín

Israel Herrera

Carmen Lago

Yolanda Lechón

Rosa Sáez

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

Abstract

Oil hydrotreating units in refineries are aimed at reducing the sulfur content of fuels to accomplish standard particular specifications. However, this process is currently one of the best available technologies to produce biofuels from vegetable oil in a refinery.

This study highlights the theoretical life cycle assessment (LCA) of diesel and vegetal oil to obtain HDAV (Hidro Diesel Aceite Vegetal) biofuel by mixing. Results were compared with other biofuel production processes, such as those obtained by transesterification of vegetable oil (FAME, fatty acid methylester). It has also been included the production of conventional fossil diesel as a benchmark.

Co-processing of vegetable oils with conventional fossil fuel is a novel way to incorporate biodiesel to accomplish European Directives 2009/28/EC and 2009/30/EC. Vegetable oils can be co-processed in these units if several adaptations are performed, so some properties could be improved in comparison with conventional fuel such as density and cetane number.

Keywords: *Hydrotreatment; LCA; Transesterification; refinery; HDAV; HVO*

Resumen

El conjunto de procesos que conforman 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 y mejorar su calidad. No obstante, una de las tecnologías disponibles actualmente para producir biocarburantes a partir de aceite vegetal es precisamente este proceso.

En este estudio se ha realizado el análisis de ciclo de vida (ACV) teórico del proceso de hidrotratamiento de combustible diésel y aceite vegetal para obtener el biocarburante HDAV (Hidro Diésel Aceite Vegetal) mediante mezclado. Se pretende comparar con otros procesos de producción de biocarburantes, como la transesterificación de aceite vegetal para obtener el biodiésel FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*). Los resultados mostrarán además la comparación con el diésel < 10 ppm de azufre como combustible fósil convencional.

El co-procesamiento de aceites vegetales junto con el combustible fósil convencional constituye una forma novedosa de incorporar biocarburantes para el cumplimiento de las

Directivas 2009/28/CE y 2009/30/CE. Los aceites vegetales se pueden co-procesar en estas unidades con la realización de diversas adaptaciones, y favorecen la mejora de alguna de las propiedades del combustible convencional, tales como la densidad y el índice de cetano.

Palabras clave: Hidrotratamiento; ACV; Transesterificación; refinería; HDAV; HVO

1. Introducción

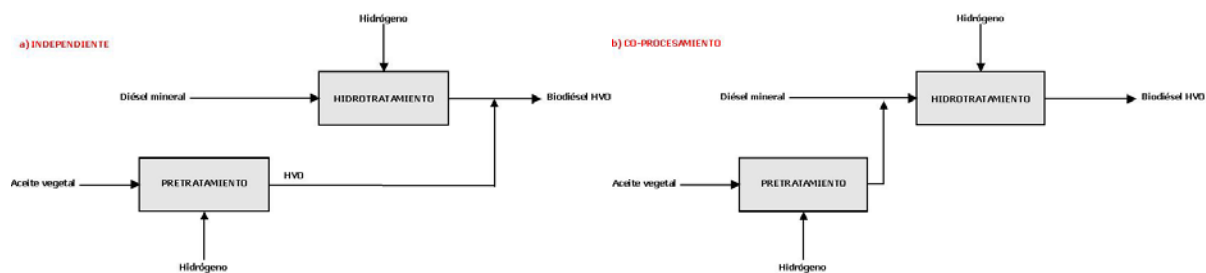
1.1 Proceso de hidrotratamiento de aceites vegetales en refinería

El conjunto de procesos que conforman 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 y mejorar su calidad. 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.

El proceso de hidrotratamiento de aceites vegetales, no solo añade el procesamiento de materia prima renovable al esquema de refinado del petróleo, sino también permite la utilización de las instalaciones existentes.

La hidrogenación de aceites vegetales y grasas animales produce un biocarburante diésel que 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 situadas en las refinerías de petróleo convencional, para así producir una única salida de biodiésel combinado. La figura 1 muestra un diagrama de flujo general de estas dos técnicas.

Figura 1: Alternativas para la producción de biodiésel por hidrotratamiento



En el sector del transporte, el uso de los biocarburantes se evidencia como una alternativa fiable para conseguir reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. 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).

1.2 Análisis de ciclo de vida previos de biocarburantes obtenidos por hidrotratamiento

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. A continuación se presentan una selección de los más relevantes.

Marinangeli et al. (2005) realizaron un estudio para evaluar las posibilidades del uso de materias primas renovables en las refinerías comunes. Llegaron a la conclusión que el biocarburante obtenido a partir de hidrotratamiento de aceites vegetales o grasas (denominado 'Green diesel') era una de las mejores opciones a considerar por parte de las propias refinerías, los agricultores y los productores de productos forestales. El Green diesel posee mejores propiedades además de ser más económico y poseer un comportamiento medioambiental menos agresivo. Para constatar esto último, realizaron un ACV con el objetivo de analizar el consumo de energía fósil y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con los combustibles tradicionales y un biodiesel producido por transesterificación. Como ejemplo, los resultados mostraron una reducción alrededor del 60% con respecto a la gasolina y diésel tradicionales y de un 20-30% con respecto al biodiésel en cuanto a la emisión de GEI.

Para comparar los beneficios medioambientales del biocarburante denominado NExBTL (de Neste Oil Corporation) frente a los tradicionales, Reinhardt et al. (2006) realizaron un balance energético y de GEI a través de un ACV. El NExBTL es un biocarburante que se obtiene por hidrotratamiento a partir de aceites vegetales y grasas. En el caso de estudio, los aceites hidrotratados fueron de colza y de palma. Los resultados muestran una clara ventaja medioambiental en las dos categorías consideradas al compararlo con un diésel convencional. No obstante, éstos difieren bastante dependiendo de donde se considere la procedencia de los aceites y no dependen de las variaciones energéticas del proceso en sí o del mayor suministro de hidrógeno requerido. Finalmente remarcan, por analogías con otros estudios, que los resultados en otras categorías de impacto como la acidificación, la eutrofización, la pérdida de biodiversidad o el uso de suelo pueden ser desfavorables debido al mayor uso de fertilizantes para los cultivos y la posibilidad de transformación del tipo de suelo.

El estudio publicado de Nikander (2008) también muestra el caso de estudio del biocarburante NExBTL, enfocado a la cadena de producción del biocombustible en cuanto a emisiones de GEI del transporte y la intensidad energética mediante el método de evaluación del ACV. Centrarón el estudio en el producto a partir de tres diferentes materias primas: grasas animales, aceite de palma y aceite de colza. Los resultados de la evaluación del impacto muestran que el total de emisiones directas de GEI en la producción depende considerablemente del tipo de materia prima y los tipos de energía utilizada en los procesos productivos, reduciéndose entre un 30 y un 80%. En cuanto a la intensidad energética afirma que se encuentra casi al mismo nivel que el sistema combustible fósil de referencia. Finalmente, hace hincapié en la carencia de emisiones indirectas de GEI debidas al cambio en el uso de suelo en tierras de cultivo.

Kalnes et al. (2007, 2008) realizan el estudio de impacto medioambiental del 'Green diesel' fabricado por United Oil Products (UOP) y Eni S.p.A, mediante el método registrado como 'UOP/Eni Ecofining'. Este nuevo proceso consta de saturación catalítica, hidro-desoxigenación, descarboxilación y posteriores reacciones de hidro-isomerización para producir un biocarburante parafínico rico en materias primas renovables que contienen triglicéridos y ácidos grasos, a partir de aceites de soja y palma. Este producto resultante tiene un valor de índice de cetano alto, buenas propiedades en frío y permanece estable en el almacenaje. Además es totalmente compatible para su mezcla con combustibles diésel estándar derivados del petróleo. Para mostrar los beneficios medioambientales del producto, realizaron un estudio de ACV en comparación con los diésel derivados del petróleo y con

biocarburantes obtenidos por transesterificación. En cuanto al uso de energía fósil, es mucho menor en comparación con todos los casos ya provenga el hidrógeno para el proceso del exterior (lo que conlleva un mayor consumo) o forme parte integral del mismo. No obstante, el consumo energético a partir de la biomasa es mucho mayor, haciendo que el consumo energético global sea similar en todos los casos. Calculan el valor del balance energético neto (NEB), definido como la energía total del combustible dividida por todos los insumos de energía fósil en el ciclo de vida, obteniendo valores entre 3 y 5 para el Green diesel (los valores mayores que la unidad indican una reducción neta de recursos fósiles). Finalmente, en cuanto a las emisiones de GEI, se produce una reducción de más del 80% con el uso del Green diesel a partir de la soja, aunque cabe destacar que no se han considerado las emisiones de óxidos de nitrógeno en el trabajo.

Rettenmaier et al. (2008) comparan los impactos asociados al medio ambiente de los biocarburantes obtenidos a partir de aceite vegetal de *jatropha* por transesterificación (JME) directa y por hidrotratamiento (HVO) con el diésel convencional. Solamente considerando los ahorros energéticos y las emisiones de GEI, el HVO frente al diésel es mucho más favorable. No obstante remarcan que en otras categorías como la acidificación o la eutrofización existe una clara desventaja. Si se compara el JME con el HVO, no existen apenas diferencias salvo en el consumo energético que es un poco más favorable al JME por el mayor consumo de combustibles para el proceso de elaboración de HVO.

Aatola et al. (2008) realizan un estudio en cuanto a las propiedades del biocarburante HVO para reducir el consumo de combustible y las emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas en un motor diésel. Para ello compararon el HVO con combustible diésel fósil sin azufre y con una mezcla al 30% con este último. Los resultados reflejan una reducción de las emisiones de CO, hidrocarburos (HC) totales, humos y NO_x. En la mayoría de las mediciones realizadas, se observaron que las reducciones de HC y CO no son tan importantes como las de NO_x y humos debido a la baja emisión de HC y CO de los motores diésel de por sí. Finalmente, afirman que el resultado del estudio sugiere que realizando una optimización en los parámetros de inyección de combustible para el HVO, pueden lograrse incluso reducciones más significativas de las emisiones.

El estudio comparativo más actualizado, realizado por Moser et al. (2009), muestra las emisiones y las propiedades de los biocarburantes obtenidos a partir de mezclas al 20% de aceite de soja parcialmente hidrogenado (PHSME) y metil-ésteres de soja (SME) con combustible diesel con muy bajo contenido de azufre (ULSD), en comparación con el propio ULSD. Las mezclas mejoraron diversas propiedades como la viscosidad cinemática y el número de cetano, además de presentar un menor contenido de azufre. Con respecto a las emisiones, las mezclas exhiben menores emisiones de partículas (PM) y CO, y una reducción significativa de las emisiones de HC, aunque produjeron un ligero aumento de los NO_x y un mayor consumo de combustible, aunque de menor relevancia en el PHSME.

La tabla 1 siguiente muestra, a modo de resumen, los principales aspectos medioambientales de la producción de aceites vegetales hidrotratados frente a combustibles convencionales a partir de los estudios de ACV anteriormente citados.

Tabla 1. Principales aspectos medioambientales de los HVO frente a los diesel convencionales

Referencia	Producto	Reducción en GEI	Reducción en consumo energético	Otros efectos y comentarios
Marinangeli et al. (2005)	Green diesel	60% aprox.	60% aprox.	20-30% mejora medioambiental respecto a biodiésel FAME
Reinhardt et al. (2006)	NExBTL de colza	1-3 t CO ₂ eq/ha·yr	20-40 GJ/ha·yr	-
	NExBTL de palma	3-7 t CO ₂ eq/ha·yr	120-155 GJ/ha·yr	-
Nikander (2008)	NExBTL	30-80%	No hay apenas diferencias en total	-
Kalnes et al. (2007, 2008)	Green diesel	Más del 80% (sin NO _x)	No hay apenas diferencias en total	NEB diésel < 1 NEB GD = 3-5
Rettenmaier et al. (2008)	HVO de Jatropha	800 kg CO ₂ eq/ha·yr	13 GJ/ha·yr	Similar a biodiésel JME
Aatola et al. (2008)	HVO genérico	-	-	Reducción de 20-30% en humos, 6% en combustible y 15% en NO _x
Moser et al. (2009)	PHSME mezclado al 20%	-	-	Reducción de 20% en HC, 11% en CO y 28% en PM

2. Objetivo y alcance

De acuerdo con la metodología del ACV, la definición del objetivo y el alcance, es la fase en la que se describe porqué, cómo y para qué se desarrolla el estudio. En este sentido, el objetivo del estudio es la realización del ACV teórico del proceso de hidrotreatment de combustible diésel y aceite vegetal para obtener al mezclarlos el biocombustible HDAV, a partir de datos bibliográficos. Se pretende comparar con otros procesos de producción de biocombustibles, como la transesterificación de aceite vegetal para obtener el biodiésel FAME, en los que los datos se han adaptado a partir de estudios en los que los mismos provienen de instalaciones específicas productivas. Los resultados mostrarán el análisis medioambiental comparativo del HDAV con una mezcla de las mismas proporciones del mismo combustible diésel y FAME, además de compararlo con el diésel < 10 ppm de azufre como combustible convencional.

Con este estudio se pretende demostrar la viabilidad medioambiental de llevar a cabo el procesamiento conjunto para su posterior implementación en refinerías, previa realización de las pertinentes pruebas piloto e industriales.

Los límites de los sistemas en estudio se detallan en las figuras 2 y 3 para la mezcla de HVO y diésel (HDAV), y la mezcla de FAME y diésel respectivamente.

Figura 2: Límites del sistema considerados para la producción de HDAV

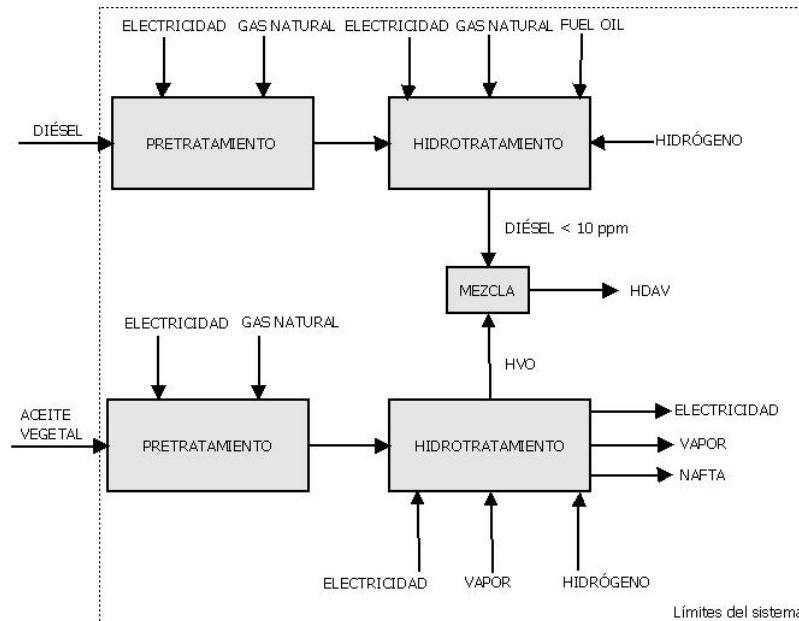
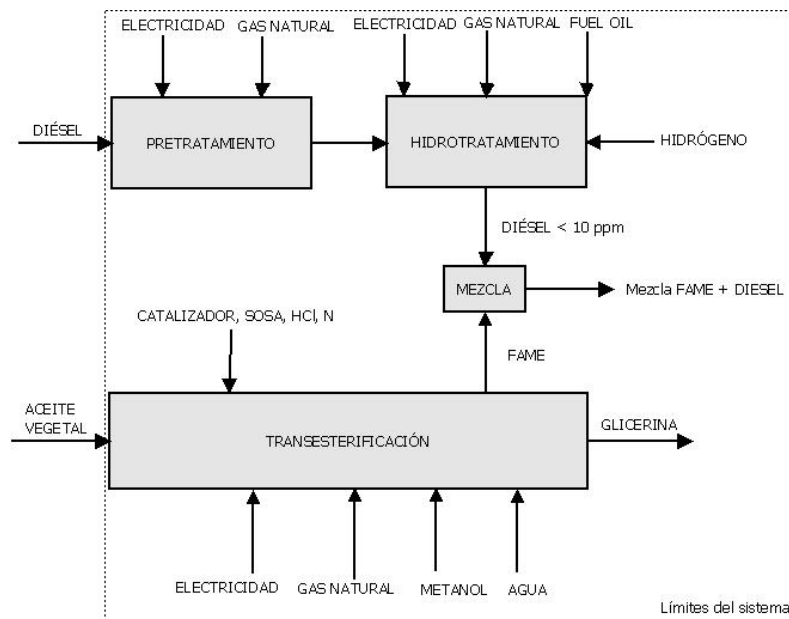


Figura 3: Límites del sistema considerados para la producción de mezcla de FAME y diésel



La unidad funcional a la que se van a referir los resultados es la cantidad de combustible expresada en unidades energéticas, es decir, en megajulios (MJ).

Los datos recopilados para el ACV del proceso de hidrotratamiento para obtener tanto el diésel < 10 ppm y el HVO provienen de fuentes ya publicadas. Se han utilizado bases de datos disponibles en la herramienta informática SimaPro v.7.1 y otras publicaciones relevantes. En el caso del FAME, los datos han sido adaptados del trabajo de Lechón et al. (2006), los cuales fueron recogidos de instalaciones específicas. No obstante, para los procesos en los cuales no se han conseguido datos primarios, se ha recurrido al uso de los incluidos en la herramienta.

3. Análisis de inventario

3.1 Datos de inventario del proceso de transesterificación de aceite vegetal

La reacción de transesterificación convierte el aceite vegetal en biodiésel en la que la corriente proveniente del pretratamiento, ingresa en un reactor en el cual se produce la transesterificación de los triglicéridos con metanol en presencia de un catalizador. El producto de la reacción se compone básicamente de metiléster de ácido graso (FAME) y glicerina. El metanol en exceso y el catalizador deben ser neutralizado, por lo que se mezclan con un ácido (normalmente HCl) en la cantidad necesaria.

En el caso de que la glicerina sea purificada, su tratamiento consistiría en una instalación para eliminar los jabones y ácidos grasos libres que pudiera contener. Posteriormente se rectificaría, siendo necesario para alcanzar la calidad farmacéutica proceder a la decoloración y desodorización, efectuado generalmente con carbón activo. Siguiendo la metodología de cálculo de las emisiones de GEI de la Directiva Europea 2009/28/CE (DOUE, 2009a), relativo al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, la glicerina se ha considerado como un residuo, por tanto, no asignándosele carga ambiental alguna.

La tabla 2 muestra los datos y sus fuentes para el proceso de transesterificación del aceite vegetal considerado.

Tabla 2. Datos de inventario de consumos de materia y energía para el proceso de transesterificación de aceite vegetal, por kg de FAME

ENTRADAS			
Concepto	Cantidad	Ud.	Fuente de datos
Agua de proceso	0,670	kg	Adaptado de Lechón et al. (2006)
Metanol	0,100	kg	“
HCl	0,012	kg	“
Catalizador	0,017	kg	“
Sosa cáustica (al 50%)	0,002	kg	“
Nitrógeno	0,001	Nm ³	“
Electricidad	0,046	kWh	“
Gas natural (95% ef.)	0,779	MJ	“
SALIDAS			
Concepto	Cantidad	Ud.	Fuente de datos
Glicerina	0,096	kg	Adaptado de Lechón et al. (2006)

3.2 Datos de inventario del proceso de hidrotratamiento de diésel y aceite

La tabla 3 muestra los datos de consumos de materiales y energía para la producción de diésel < 10 ppm en una unidad de hidrotratamiento considerando fundamentalmente la base de datos de Ecoinvent (Dones et al., 2007) y la guía de Mejores Técnicas Disponibles del sector de refino del petróleo del Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2004). Para la

comparación del impacto entre las mezclas se ha considerado un consumo de hidrógeno de 6,6 MJ/kg de diésel, cuyo poder calorífico es de 120 MJ/kg.

Tabla 3. Datos de inventario de consumos de materia y energía para el proceso de hidrotratamiento de combustible diésel, por kg de diésel < 10 ppm

ENTRADAS			
Concepto	Cantidad	Ud.	Fuente de datos
Hidrógeno	1,2-12	MJ	MMA (2004)
Electricidad	0,00147	kWh	Dones et al. (2007)
Fuel oil pesado	0,04270	MJ	"
Gas natural	0,12400	MJ	"
SALIDAS			
Concepto	Cantidad	Ud.	Fuente de datos
Calor residual	0,00530	MJ	Dones et al. (2007)

En la tabla 4 se resumen los datos de la producción de HVO en una unidad de hidrotratamiento, considerando como fuente principal el estudio de Reinhardt et al. (2006). Para considerar los co-productos del proceso de formación de HVO (nafta, electricidad y vapor) se tiene en cuenta la asignación de impactos por extensión de los límites del sistema, por lo que sus impactos medioambientales serán restados ya que son productos que se utilizan en la propia refinería.

Tabla 4. Datos de inventario de consumos de materia y energía para el proceso de hidrotratamiento de aceite vegetal, por kg de HVO

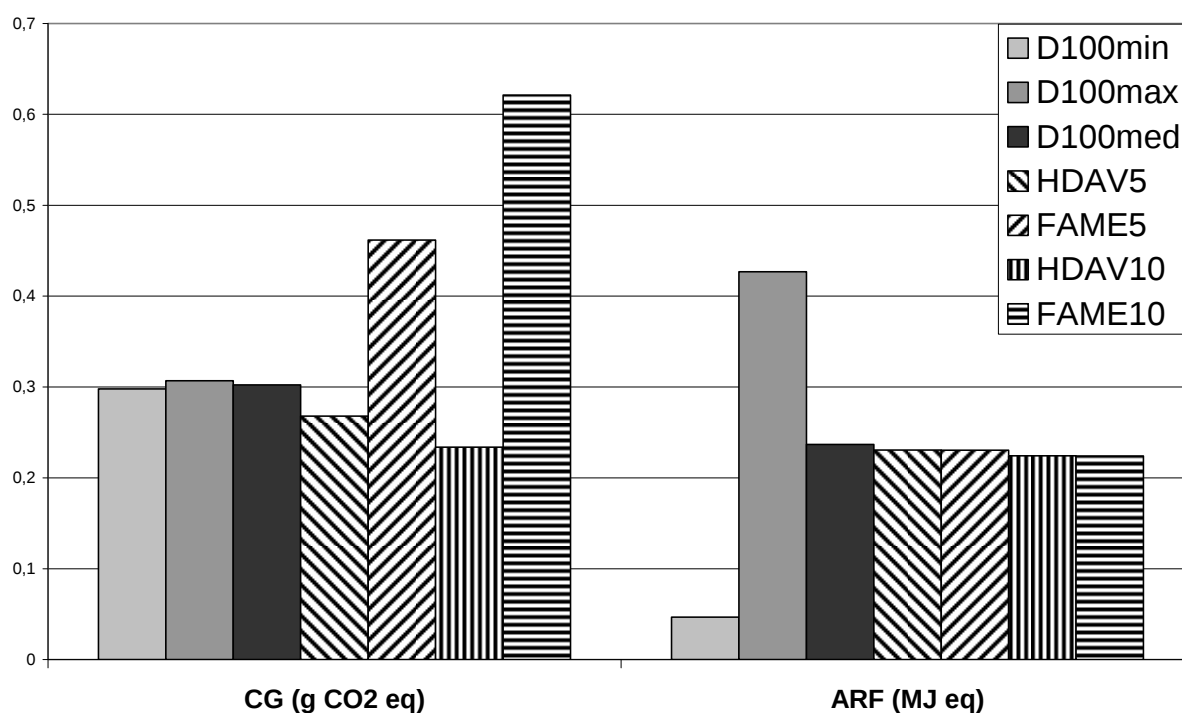
ENTRADAS			
Concepto	Cantidad	Ud.	Fuente de datos
Hidrógeno	3,77	MJ	Reinhardt et al. (2006)
Electricidad	0,1935	kWh	"
Vapor	1,43	MJ	"
SALIDAS			
Concepto	Cantidad	Ud.	Fuente de datos
Nafta	0,0098	kg	Reinhardt et al. (2006)
Vapor	1,5200	MJ	"
Electricidad	0,2190	kWh	"

4. Resultados y discusión: Evaluación del impacto medioambiental

Las mezclas de productos consideradas han correspondido al 5% y al 10% en peso de HDAV (HDAV5, HDAV10) y FAME (FAME5, FAME10) con respecto del diésel < 10 ppm. En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos por cada MJ de biocombustible producido. Para ello se ha utilizado el programa informático de evaluación SimaPro v.7.1 (PRé, 2007) con el método de caracterización de CML 2 baseline 2000, para las categorías de impacto de calentamiento global (CG) y de agotamiento de recursos fósiles no renovables (ARF). Los poderes caloríficos utilizados de los carburantes han sido de 43,33 MJ/kg, 44,00 MJ/kg y 37,20 MJ/kg, para el diésel < 10 ppm, HVO y FAME respectivamente.

En la figura también se muestran los resultados del impacto del hidrotreatmento de combustible diésel para obtener diésel < 10 ppm puro. La denominación de D100min, D100max, D100med se corresponde con el consumo de hidrógeno mínimo, máximo y medio (el considerado para las mezclas) respectivamente según los datos de MMA (2004) de la tabla 3.

Figura 4: Resultados del impacto medioambiental de los combustibles por MJ producido



De los valores de la figura se demuestra que el procesado con hidrógeno del aceite vegetal para la obtención de biocombustibles logra beneficios medioambientales frente al proceso de transesterificación en cuanto a la disminución de emisiones de GEI se refiere. Si se considera la categoría de ARF, el resultado de la comparación entre ambos procesos es muy similar.

Considerando lo anterior y la comparación con los valores del diésel < 10 ppm, se puede afirmar que, aunque el proceso de transesterificación reduce el consumo de fósiles por la aportación de aceites vegetales, considerados como no fósiles, el proceso de hidrotreatmento está mucho más optimizado en cuanto a las limitaciones en emisiones atmosféricas. Aunque observando la disparidad entre los resultados desde D100min a D100max en la categoría de ARF, es muy importante obtener y optimizar el consumo real de hidrógeno en el proceso de hidrotreatmento.

Además de la mejora producida en las emisiones de GEI en el HDAV en este proceso frente al diésel < 10 ppm, cabría destacar que si se considerara todo el ACV desde el cultivo de oleaginosas y extracción del crudo, la mejora sería mayor al considerar la absorción de CO₂ producida por las tareas de cultivo, como se ha demostrado en estudios bibliográficos previos (Marinangeli et al., 2005; Lechón et al., 2006).

5. Conclusiones y recomendaciones

El co-procesamiento de aceites vegetales junto con el combustible fósil convencional, mediante la incorporación de porcentajes de aceite a las unidades de hidrotreatment para la reducción del contenido de azufre del combustible diésel tradicional, sería viable desde el punto de vista medioambiental frente a otros procesos obtención de biocarburantes. En el estudio ha quedado demostrado el beneficio en la emisiones de GEI del proceso independiente de hidrotreatment con respecto a la transesterificación, por lo que el co-procesamiento, además de constituir una forma novedosa de incorporar biocarburantes para el cumplimiento de las Directivas Europeas 2009/28/CE (DOUE, 2009a) y 2009/30/CE (DOUE, 2009b), reduciría aún más las emisiones de GEI y los consumos energéticos por el menor número de operaciones que se desarrollarían (doble proceso de hidrotreatment y posterior mezclado).

No obstante, cabría esperar diferencias en los resultados finales en cuanto a eficiencia energética con respecto a los teóricos debidas a la exotermicidad de la reacción de hidrogenación de aceite, ya que las instalaciones aún no estarían completamente optimizadas para este proceso.

Finalmente, no se debe olvidar la importancia que tiene en los procesos de refinería la asignación de impactos entre todos sus co-productos. En el estudio de Garraín et al. (2010) se pone de manifiesto la necesidad de datos reales de la propia refinería, en cuanto a consumos energéticos se refiere. De esta forma podrían ajustarse aún más los resultados y reflejar las consecuencias reales de las mejoras tecnológicas llevadas a cabo en un proceso determinado en cuanto a eficiencia energética y medioambiental, como sería el caso del co-procesamiento.

6. Referencias

- Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T., Mikkonen, S. (2008). *Hydrotreated vegetable oil (HVO) as a renewable diesel fuel: Trade-off between NOx, particulate emission, and fuel consumption of heavy duty engine*. SAE International 2008-01-2500, Helsinki University of Technology & Neste Oil, Finlandia.
- Dones, R., Bauer, C., Bollinger, R., Burger, B., Faist Emmenegger, M., Frischknecht, R., Heck, T., Jungbluth, N., Röder, A., Tuschsmid, M. (2007). *Life cycle inventories of energy systems: Results for current systems in Switzerland and other UCTE countries*. Ecoinvent report No. 5, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Suiza.
- DOUE. (2009a) 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.
- DOUE. (2009b). Diario Oficial de la Unión Europea (05/06/2009). Directiva 2009/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diésel y el gasóleo, se introduce un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de gases de

efecto invernadero, se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en relación con las especificaciones del combustible utilizado por los buques de navegación interior y se deroga la Directiva 93/12/CEE.

Garraín, D., Herrera, I., Lago, C., Lechón, Y., Sáez, R. (2010). Asignación energética de los consumos de energía y emisiones de productos petrolíferos en refinería en el marco del ACV. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos – I Conferencia Latinoamericana de Ingeniería de Proyectos*, Madrid, España.

Huber, G.W., O'Connor, P., Corma, A. (2007). Processing biomass in conventional oil refineries: Production of high quality diesel by hydrotreating vegetable oils in heavy vacuum oil mixtures. *Applied Catalysis A: General* 329, 120-129.

IEA Bioenergy (2009). *Bioenergy – A sustainable and reliable energy source. Main Report*. IEA Bioenergy: ExCo: 2009: 06 (disponible en: <http://www.ieabioenergy.com>).

Kalnes, T., Marker, T., Shonnard, D.R. (2007). Green diesel: A second generation biofuel *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, Vol. 5, A48.

Kalnes, T.N., Marker, T., Shonnard, D.R., Koers, K.P. (2008). *Green diesel production by hydrotreating renewable feedstocks. Life cycle analysis of green diesel produced from renewable feedstocks indicates relatively high energy efficiency and low greenhouse gas emissions*. Biofuels Issue 4 (disponible en: <http://www.biofuels-tech.com>).

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.

Marinangeli, R., Marker, T., Petri, J., Kalnes, T., McCall, M., Mackowiak, D., Jerosky, B., Reagan, B., Nemeth, L., Krawczyk, M., Czernik, S., Elliott, D., Shonnard, D. (2005). *Opportunities for biorenewables in oil refineries*. Final Technical Report DE-FG36-05GO15085 from UOP LLC to U.S. Department of Energy, Des Plaines, Illinois, EEUU.

MMA, (2004). *Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector refino de petróleo*. Centro de Publicaciones – Secretaría Gral. Técnica – Ministerio de Medio Ambiente, DGCEA, ISBN: 84-8320-259-X, Madrid, España.

Moser, B.R., Williams, A., Haas, M.J., McCormick, R.L. (2009). Exhaust emissions and fuel properties of partially hydrogenated soybean oil methyl esters blended with ultra low sulphur diesel fuel. *Fuel Processing Technology*, Vol. 90, Issue 9, pp. 1122-1128.

Nikander, S. (2008). *Greenhouse gas and energy intensity assessment of product chain: Case transport biofuel*. Master's Thesis, Helsinki University of Technology – Faculty of Engineering and Architecture – Dpt. Civil and Environmental Engineering, Helsinki, Finlandia.

PRé (2007). SimaPro ® 7.1. PRé Consultants, Amersfoort, Holanda (<http://www.pre.nl>).

Reinhardt, G., Gärtner, S.O., Helms, H., Rettenmaier, N. (2006). *An assessment of energy and greenhouse gases of NExBTL*. Final Report from Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg GmbH (ifeu) by order of the Neste Oil Corporation (Porvoo, Finlandia), Heidelberg, Alemania.

Rettenmaier, N., Koppen, S., Gärtner, S.O., Reinhardt, G. (2008). *Screening life cycle assessment of hydrotreated jatropha oil*. Final Report from Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg (ifeu) by order of Daimler AG (Stuttgart, Germany), Heidelberg, Alemania.

Simáček, P., Kubicka, D., Sebor, G., Pospíšil, M. (2009). Hydroprocessed rapeseed oil as a source of hydrocarbon-based biodiesel. *Fuel* 88, 456-460.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Daniel Garraín Cordero
Ministerio de Ciencia e Innovación
CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas)
Departamento de Energía – Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos
Av. Complutense, 22 – E28040 Madrid (España)
Tel: +34 913466091
Fax: +34 913466005
E-mail: daniel.garrain@ciemat.es
URL: <http://www.ciemat.es>