



Cambio climático, ahorro de energía y biocarburantes

Una oportunidad para el sector agrícola español

Según las últimas estimaciones, en España las emisiones de gases invernadero entre 1990 y 2005 han aumentado un 48%, lo que supone triplicar el incremento que permite a España el Protocolo de Kioto. La utilización de biocarburantes en el transporte es una de las medidas previstas para invertir esta tendencia.

Su promoción representa una oportunidad para el sector agrícola español. El análisis de ciclo de vida de los biocarburantes que a continuación se comenta, pone de manifiesto el interés que supone la utilización de materia prima española en este proceso.

El Ministerio de Medio Ambiente, en cola-

boración con otros Ministerios con responsabilidades en la materia, está poniendo todos los medios a su alcance para incidir de un modo eficaz en los sectores denominados "difusos", entre los que se encuentra el sector transporte, responsables en gran medida de la emisión de gases de efecto invernadero.

En el sector transporte ese incremento ha sido del 60%, correspondiendo al transporte por carretera un incremento del 73%, debido principalmente al aumento de la demanda de vehículos para el transporte de personas y mercancías por carretera.

Una de las políticas que se pretende aplicar al sector transporte, relacionadas con el cambio climático, es el fomento del uso de

biocarburantes mediante la aplicación del Real Decreto 61/2006, que transpone la Directiva 2003/30/EC, por la que se establece un objetivo indicativo de penetración de estos combustibles en el transporte del 5,75% para 2010. Además, en la reciente propuesta de Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2012 (EECC 2012), relacionada con el paquete de medidas integradas sobre energía y cambio climático presentadas por la Comisión Europea el 10 de enero de 2007, se propone que en el año 2020 se pueda asegurar la aportación mínima del 10% de biocarburantes en el transporte en España.

Un convenio marco de colaboración entre el MMA y el Centro de Investigaciones Ener-

géticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) ha hecho posible cuantificar los beneficios que supone para nuestro país el uso de biocombustibles en dos aspectos fundamentales como son el ahorro de energía fósil y las emisiones de CO₂ evitadas por su utilización en sustitución de los combustibles tradicionales.

En una primera fase del estudio se evaluaron estos dos parámetros en los procesos de producción y uso del bioetanol en mezcla con la gasolina. En una segunda fase se han analizado los procesos de producción de biodiésel de aceites de semillas oleaginosas, aceites usados y diésel en España y se han cuantificado sus impactos en el cambio climático y en el consumo de energía a lo largo de todo el proceso.

En el estudio se ha utilizado la metodología de Análisis de Ciclo de Vida y ha sido supervisado por un grupo revisor formado por expertos investigadores y representantes de los sectores implicados. Los resultados, presentados en este artículo, ponen de relieve los beneficios medioambientales que el bioetanol y el biodiésel pueden suponer en nuestra lucha por el cambio climático. De este modo se pretende aportar una iniciativa más para hacer posible el cumplimiento de los objetivos de Kyoto.

■ **Objetivos, alcance e hipótesis**

Los objetivos de este estudio han sido:

- ◆ Evaluar y cuantificar los impactos medioambientales de dos combustibles que cumplen funciones equivalentes por una parte, el etanol obtenido a partir de cereales y la gasolina, y por otra, el biodiésel de aceites de semillas oleaginosas y de aceites usados, y el diésel. En ambos casos, a lo largo de todo su ciclo de vida comparando sus impactos asociados.
- ◆ Identificar y evaluar las oportunidades para reducir dichos impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida una vez detectados los impactos en cada fase del proceso (extracción, producción, transformación, distribución y uso).
- ◆ Analizar los beneficios medioambientales de los combustibles estudiados.

El estudio de ACV se ha realizado según la metodología normalizada de Análisis de Ciclo de Vida, siguiendo para ello la serie de normas internacionales UNE-EN-ISO 14040-44.

Como base de comparación de todos los

■ **Según las últimas estimaciones, en España las emisiones de gases invernadero entre 1990 y 2005 han aumentado un 48%, lo que supone triplicar el incremento que permite a España el Protocolo de Kyoto**

sistemas estudiados, a lo largo del trabajo y, por tanto, de los resultados, se ha utilizado la unidad funcional, definida como la cantidad de combustible expresada en MJ, de cada tipo de combustible, que es necesaria para conducir un kilómetro en un vehículo de combustible flexible (Ford Focus 1.6i 16V Zetec Flexifuel), en el caso del bioetanol, y de combustible diésel (Ford Focus 1.8 Tddi 90CV) en el caso del biodiésel. En ambos casos circulando según el ciclo de conducción definido en la Directiva 98/69/CE. En base a este concepto, todos los resultados sobre energía o emisiones GEI se expresan en este artículo por kilómetro recorrido.

Los sistemas estudiados en el Análisis de Ciclo de Vida han sido en función de las distintas mezclas posibles, tanto para el bioetanol (tres sistemas estudiados) como para el biodiésel donde, además, se ha contemplado el escenario de aceites usados. Los datos han sido recogidos de instalaciones productivas específicas vinculadas a los procesos actuales en España. Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera sea importante y cuyas emisiones se espera sean relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en la producción agrícola de los cereales y semillas oleaginosas, en la transformación a etanol y a biodiésel, los procesos que se desarrollan en la extracción y refinado del petróleo y los procesos en la etapa de combustión de los combustibles en los motores. Para ello se han solicitado datos a entidades directamente vinculadas a estos procesos y a investigadores agrónomos los corres-

pondientes a las etapas de producción agrícola.

Las principales hipótesis y supuestos de estos estudios están relacionados con los siguientes aspectos:

En el caso del bioetanol, el origen del cereal usado en las plantas de producción de etanol es tanto nacional, cultivado en zonas cerealistas españolas y transportado por tierra a la planta de producción de bioetanol, como importado y transportado por tierra o mar hasta la planta de transformación. Según información recibida de los productores de etanol, el porcentaje de uso de cereal importado o nacional es variable y depende del precio del mismo.

En este estudio de ACV se ha considerado que se utiliza un 100% de cereal nacional. No obstante, se ha hecho un análisis de sensibilidad para evaluar la influencia de utilizar el cereal importado en un 50%. Respecto a la utilización de la tierra para el cultivo de los cereales se ha considerado que el destino alternativo de esta tierra hubiera sido dejarla en retirada. También se ha considerado que, de acuerdo con la bibliografía científica, el CO₂ se fija tanto en la parte del cultivo que se cosecha (grano y paja) como en aquellas partes que quedan en el terreno (rastros y raíces). Después de la cosecha, los residuos de los cultivos se mineralizan en gran parte y vuelven a la forma de CO₂, pero una parte del carbono absorbido por las plantas se transfiere al suelo en forma de rizodepositos. Estos depositos 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. No obstante se ha realizado un análisis de sensibilidad para evaluar la influencia de no considerar la existencia de fijación permanente de carbono en el suelo.

En el caso del biodiésel, el origen de las semillas oleaginosas usadas en las plantas de producción de biodiésel es tanto nacional, cultivado en zonas agrícolas españolas y transportado por tierra a la planta de producción de biodiésel, como importado y transportado por tierra o mar hasta la planta de transformación. Según información recibida de las empresas extractoras de aceite y productoras de biodiésel, los porcentajes y orígenes de los aceites vegetales crudos en el proceso de transformación a biodiésel son variables, dependiendo de los precios de los distintos aceites y semillas en el mercado, pero una distribución representativa de la situación actual podría ser ▶

► la siguiente: colza 25%, del cual un 5% es de producción nacional y un 95% importada de Francia; soja 40%, importada de EEUU; palma 25%, importada de Malasia, y girasol 10%, de producción nacional. Se ha considerado que parte de la colza y toda la soja se importan en forma de semilla y se transportan por tren y barco hasta la planta extractora, que se localiza en las cercanías del puerto de Bilbao.

El girasol y la colza nacional se cultivan en zonas españolas (Castilla y León y Cataluña, respectivamente) y se transportan hasta la instalación extractora por vía terrestre. La palma se importa en forma de aceite que llega por barco hasta puerto español y por carretera hasta la planta de transformación a biodiésel. Se ha realizado también un análisis de sensibilidad en el que se evalúa el efecto de un cambio en estas proporciones de aceites, así como el origen de algunos de ellos. Como en el caso del bioetanol, para las semillas producidas en nuestro país, el escenario de referencia respecto a la utilización de la tierra para su cultivo se ha considerado que el destino alternativo de esta tierra hubiera sido dejarla en retirada. Sin embargo, en la bibliografía científica especializada no se han encontrado datos de fijación de C en rizodépósitos en cultivos oleaginosos, por lo que no se considerará este tipo de fijación de CO₂ en el suelo.

Tanto en el caso del bioetanol como en el del biodiésel, el crecimiento del cultivo supone un importante sumidero de CO₂ atmosférico debido a la fijación de este gas en el proceso de fotosíntesis de las plantas para formar compuestos de carbono orgánicos utilizados en su crecimiento. El CO₂ fijado en la parte del cultivo que se exporta del terreno tiene dos destinos finales. La parte fijada en el grano se transformará a su vez en etanol o biodiésel que se quemará en el motor del vehículo considerado emitiendo entonces las correspondientes cantidades de CO₂, en el caso del bioetanol hay CO₂ liberado en el proceso de fermentación y en ambos casos, bioetanol y biodiésel, se producen unos coproductos (DDGS Distilled Dried Grains and Solubles, o glicerina, en el caso del biodiesel, y paja) con un contenido en carbono. Para tener en cuenta que este CO₂ se ha fijado previamente en el cultivo, las cantidades de CO₂ emitidas provenientes de la combustión del etanol, del biodiesel, de la fermentación del bioetanol y del uso de los DDGS y de la glicerina no se han contabilizado

■ En el sector transporte el incremento de las emisiones de gases invernadero ha sido del 60%, correspondiendo al transporte por carretera un incremento del 73%

zado como emisiones y se han considerado como cero.

Por otra parte, la paja tiene uso como alimento del ganado, de forma que todo el C fijado en ella termina al final mineralizado en forma de CO₂. La fijación de C en esta parte del cultivo no se ha considerado, pero tampoco se ha considerado una emisión del proceso al ser un carbono fijado previamente.

En el caso del biodiésel se ha considerado que el subproducto de los procesos de transesterificación de aceites vegetales tanto crudos como usados, la glicerina, tiene una salida fácil al mercado y por tanto evita la producción de glicerina sintética sin embargo se ha realizado un análisis de sensibilidad considerando como escenario alternativo que haya una saturación del mercado de glicerina y por tanto la glicerina obtenida en la producción de biodiésel no evite ningún proceso de producción de glicerina sintética.

■ Resultados, conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos pueden resumirse en los siguientes términos:

Respecto de los sistemas estudiados con bioetanol en comparación con la gasolina se deriva que, relativo a sus balances energéticos, puede asegurarse que el balance energético de la producción de las mezclas es tanto mejor cuanto mayor es el contenido de etanol en la mezcla.

Comparando con la gasolina 95, la mezcla al 85% de etanol de cereales con gasolina permite un ahorro de energía primaria de un

17% y la mezcla al 5% permite un ahorro de un 0,28%. La mezcla 85% permite un ahorro de energía fósil de un 36% y la mezcla 5% permite un ahorro de un 1,12%.

En cuanto al biodiésel, y comparado con el diésel EN-590, se puede resumir que los balances energéticos del ciclo de vida de las mezclas estudiadas son tanto mejores cuanto mayor es el contenido de biodiésel, especialmente biodiésel de aceites vegetales usados en la mezcla. El biodiésel de aceites vegetales crudos permite un ahorro de energía primaria de un 45% y el biodiésel de aceites vegetales usados permite un ahorro de un 75%. Las mezclas con diésel al 10 % permiten un ahorro de energía primaria entre un 4% y un 7%. El biodiésel de aceites vegetales crudos permite un ahorro de energía fósil de un 75% y el biodiésel de aceites vegetales usados permite un ahorro de un 96%.

Los resultados sobre emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) expresados, en la mayoría de los casos, como emisiones evitadas por la utilización de las distintas mezclas de biocarburantes pueden resumirse en los siguientes términos:

Para las mezclas de bioetanol, las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero son tanto menores cuanto mayor es el contenido de etanol en la mezcla. Comparando con la gasolina 95, siempre expresado “por cada kilómetro recorrido”, se ha obtenido que la mezcla de etanol al 85% evita que se emitan 170 g CO₂ (90%) y la mezcla al 5% de etanol evita la emisión de 8 g CO₂ (4%). La mezcla de etanol al 85% evita que se emitan 144 g de gases de efecto invernadero (expresados en g CO₂ equivalentes) que supone un ahorro de un 70%, y la mezcla inferior evita la emisión de 7 g CO₂ equivalentes (3%) por cada km.

Para las mezclas con biodiésel, las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero son tanto menores cuanto mayor es el contenido de biodiésel, especialmente biodiésel de aceites vegetales usados, en la mezcla. Comparando con el diésel EN-590, y también expresado “por cada kilómetro recorrido”, se ha obtenido que el biodiésel de aceites vegetales crudos evita que se emitan 120 g CO₂ (91%) y el biodiésel de aceites vegetales usados evita que se emitan 144 g CO₂ (84 %) El biodiésel de aceites vegetales crudos evita que se emitan 92 g de gases de efecto invernadero (CO₂ equivalente) (57%) y el biodiésel de aceites vegetales usados evita que se emitan 144 g CO₂ equivalente (88%) por cada km.

A lo largo del análisis de ciclo de vida se han identificado las variables más susceptibles de influir en los resultados obtenidos y sobre ellas se ha realizado un análisis de sensibilidad. Se resumen aquí los resultados más relevantes:

En las mezclas con bioetanol, comparando siempre con la gasolina 95 y expresado, como es habitual en este estudio, por cada kilómetro recorrido, se ha observado que la no consideración de fijación neta de CO₂ en forma de rizodepósitos produce una disminución de las emisiones evitadas de este compuesto por la sustitución de gasolina 95 por las distintas mezclas estudiadas de bioetanol. Sin embargo, aun en este escenario conservador, se produce un ahorro importante de emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero en general. Este ahorro de emisiones se cuantifica, en la mezcla de 85% de etanol evita que se emitan 151 g CO₂ (79%) por cada kilómetro y la mezcla 5% evita la emisión de 7 g CO₂ (4%). La mezcla 85% evita que se emitan 125 g de gases de efecto invernadero (expresados en gramos de CO₂ equivalentes) que supone un ahorro de un 61% por km y la mezcla 5% evita la emisión de 6 g CO₂ equivalentes (3%) por km.

Las emisiones de gases de efecto invernadero de las mezclas estudiadas para el bioetanol, aumentan sensiblemente cuando se considera el escenario de introducción de cereal importado. El balance energético de la producción de las mezclas mejora cuando se considera el escenario de optimización de la localización de las plantas respecto de las zonas de producción de cereal. Asimismo, las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen sensiblemente en este último caso.

En las mezclas con biodiésel, comparando siempre con el diésel EN-590, se ha observado que uno de los parámetros que más afecta a los sistemas que contienen biodiésel de aceites vegetales crudos es el porcentaje de los distintos aceites en la producción de biodiésel, en especial el porcentaje de aceite de palma, que incrementa mucho los consumos de energía y las emisiones GEI. Todos los sistemas con biodiésel de cualquier origen se ven afectados de forma significativa y negativamente al considerar que existiera una saturación del mercado de glicerina, tanto en el consumo como en las emisiones GEI. El origen de la semilla de colza afecta también a los resultados de consumos energéticos y emisiones GEI del biodiésel obtenido de acei-



tes vegetales crudos al 100% y sus mezclas, incrementándose sensiblemente debido fundamentalmente a la baja productividad de semillas en nuestro país.

Estos estudios de análisis de ciclo de vida permiten detectar las etapas donde se pueden introducir mejoras que pueden variar positivamente los resultados finales. Como posibles áreas de mejora de los procesos productivos de bioetanol y biodiésel que permitirían optimizar los balances energéticos y las emisiones de las mezclas que los contienen se han identificado las siguientes:

◆ **Bioetanol.** En la producción y distribución de la mezcla 85%, los mayores consumos energéticos y emisiones GEI se producen en la transformación a etanol, por lo que la optimización energética de este proceso permitiría mejorar el balance energético del etanol y de las mezclas que lo contienen. En este proceso, la principal entrada de energía es la del gas natural utilizado en la planta de cogeneración, seguido de la energía del propio grano de cereal. Una posible área de mejora, que habría que estudiar en detalle para evaluar su potencialidad para mejorar el balance energético general y disminuir las emisiones GEI, sería la utilización de biomasa residual de los cultivos que se usan para la producción de etanol, en nuestro caso la paja del cereal, como fuente de energía térmica para el proceso ya que todo el CO₂ emitido por la biomasa residual habría sido fijado previamente en la etapa de crecimiento de la biomasa.

La siguiente etapa más consumidora de energía y emisora de GEI es la producción agrícola. En la etapa agrícola

del cultivo los mayores consumos energéticos provienen de la fabricación de fertilizantes que consumen el 72% de la energía primaria necesaria en el cultivo. Las emisiones GEI se deben fundamentalmente a las emisiones de óxido nitroso originadas por el uso de fertilizantes nitrogenados, y en menor medida las emisiones procedentes de los tractores agrícolas y las derivadas del uso de energía para la fabricación de fertilizantes. Para mejorar la eficiencia energética y disminuir las emisiones GEI de esta etapa sería importante reducir el número de labores del cultivo y aumentar el rendimiento en grano del mismo. Por ello, como áreas de mejoras importantes se proponen reducir al máximo los consumos de fertilizantes y las labores de los cultivos actuales sin comprometer sus rendimientos en grano por hectárea, encontrar nuevos cultivos para obtener etanol con mayores rendimientos de biomasa por hectárea y de bajos requerimientos en fertilización y labores así como elegir adecuadamente el momento y el producto para realizar la fertilización nitrogenada en el cultivo.

◆ **Biodiésel.** En la producción y distribución de biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1), los mayores consumos energéticos y emisiones de GEI se producen en las etapas de extracción de aceite y de producción de semilla, por lo que la optimización energética de estos procesos permitiría mejorar el balance energético y las emisiones GEI del biodiésel de aceites vegetales crudos y de las mezclas que lo contienen. En el proceso de extracción de aceite, la principal entrada de energía es el gas natural y la electricidad. Por tanto, la instalación de sistemas de cogeneración en las plantas de extracción de aceite permitiría optimizar el consumo energético y reducir las emisiones GEI. Como en el caso del bioetanol, la utilización de biomasa residual permitiría reducir el consumo de energía fósil del proceso así como las emisiones GEI.

Como en el caso del bioetanol, la siguiente etapa más consumidora de energía es la producción agrícola, por tanto se proponen las mismas recomendaciones respecto a consumos y aplicación de fertilizantes, así como la investigación en nuevos cultivos para la obtención de aceites. ■