

## **El bioetanol como carburante alternativo: análisis del proceso de producción, evaluación del coste y revisión de la fiscalidad actual**

**Susana Ortiz Marcos, Mercedes Fernández García**

Departamento de Organización Industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Alberto Aguilera, 25. 28015 Madrid. [sortiz@doi.icaei.upco.es](mailto:sortiz@doi.icaei.upco.es), [mercedes@doi.icaei.upco.es](mailto:mercedes@doi.icaei.upco.es)

### **Resumen**

*Debido al creciente consumo del petróleo, se plantea el desarrollo de nuevos combustibles que no sea necesario importar, que tengan un impacto ambiental menor y cuyo consumo no reduzca su disponibilidad, es decir, que sean renovables. Actualmente se pretende desarrollar biocarburantes, o combustibles para la automoción obtenidos a partir de materia prima vegetal, como sustitutivos de las gasolinas o de sus aditivos, y de los gasóleos. Existen dos tipos de biocombustibles: el bioetanol y el biodiesel. El principal inconveniente del bioetanol es el elevado coste de producción frente a otro tipo de combustibles. En el presente artículo se hará un análisis del proceso productivo para detectar los principales generadores de coste y poder apuntar soluciones que permitan reducir su coste actual y conseguir así un precio competitivo respecto a los hidrocarburos convencionales. Así mismo es importante realizar de forma paralela al proceso productivo, un estudio adecuado de la fiscalidad de los combustibles. El Libro Blanco de las energías renovables de la Unión Europea (1997) establece como objetivo alcanzar, en 2010, una penetración mínima del 12% de dichas fuentes de energía en el ámbito de la Unión.*

**Palabras clave:** biocombustibles, bioetanol, coste producción, fiscalidad

### **1. Introducción**

El uso de biocombustibles como carburantes en el sector de la automoción\* es una iniciativa que comenzó en Brasil en los años 80, se impulsó en Estados Unidos en los años 90 y recientemente ha sido adoptada en la Unión Europea por la Directiva sobre el fomento del uso de biocarburantes en el transporte de Marzo de 2003.

La biomasa, y en concreto los biocombustibles, constituye una parte importante de las energías renovables. La introducción de las energías renovables ha sido impulsada, en general, por una serie de medidas legislativas entre las que se encuentran las exenciones fiscales o las primas por unidad de energía producida, aparte de las posibles subvenciones a la inversión inicial. Estas ventajas monetarias se han explicado y justificado por el menor *coste social* (coste marginal de producción + coste externo). Es decir, el kWh producido por cualquier generador renovable, produce un impacto menor sobre el medio ambiente y la salud de las personas, cuya valoración económica ha sido realizada en los últimos años en distintos países bajo el título genérico de *externalidades de la energía*.

---

\* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Industria en la convocatoria PROFIT 2003, con referencia FIT-120 300-2003-5, titulado "Internacionalización de los costes externos del bioetanol para su utilización como combustible en el transporte" en colaboración con Ecocarburantes Españoles, del grupo Abengoa.

El presente estudio se va a limitar al análisis de ciertos aspectos de la producción y utilización de bioetanol como elemento que puede reemplazar a las gasolinas o complementarlas en diversas opciones técnicas existentes. Mundialmente el bioetanol se está produciendo a partir de productos con gran contenido de azúcar como sucede en Brasil o a partir de fermentación de cereales como se realiza en Estados Unidos, con el maíz, o España. Existe la posibilidad de producir etanol a partir de productos lignocelulósicos o herbáceos, pero esta tecnología está aún en una fase incipiente. La producción de biodiesel se ha realizado de manera testimonial respondiendo a iniciativas muy loables que han logrado cantidades no significativas para el consumo nacional. La introducción de bioetanol como combustible en el mercado se puede efectuar:

- a) Reemplazando el actual compuesto oxigenado, MTBE (éter butílico del metanol) por ETBE (éter butílico del etanol)
- b) Reemplazando el MTBE por bioetanol directamente en una proporción del 5% para lograr el mismo octanaje de las gasolinas actualmente utilizadas
- c) Introduciendo en las gasolinas una proporción mayor de bioetanol hasta llegar a la mezcla aceptada por determinados vehículos de fabricación española

Los aspectos de la producción y utilización del bioetanol que se van a considerar en el presente artículo son los siguientes:

- Estudio del sistema de producción actual en España. La materia prima, como se ha dicho anteriormente, está constituida por cereales importados en gran mayoría. Este particular no permite hacer una valoración económica ni de impacto medioambiental de esta parte del ciclo de vida del bioetanol. Se desconoce el sistema de cultivo, la mecanización de las faenas agrarias y los fertilizantes y pesticidas empleados. El estudio se va a limitar al proceso de producción del bioetanol en la fábrica que Ecocarburantes Españoles S.A. posee en Escombreras atendiendo esencialmente al coste del proceso de producción.
- Finalmente se realizará un estudio de la situación regulatoria existente en España, analizando los problemas reales que pueden presentar su aplicación. Se contemplará las posibles ventajas fiscales que se podrían aplicar a la utilización del bioetanol, teniendo en cuenta los impactos ambientales de forma análoga a como se ha venido realizando con otras energías renovables.

## **2. Análisis económico de la producción de bioetanol**

### **2.1. Descripción del proceso de obtención del bioetanol**

El 40% del etanol producido en el mundo se obtiene a partir de cereales. Las nuevas plantas construidas en los últimos 5 años utilizan sólo esta materia prima con unos índices de conversión elevados, del orden del 96% y del 90%.

La opción española de producción industrial de bioetanol se ha concretado en la utilización de cereal (trigo y cebada) como materia prima básica, con posibilidad de utilizar los excedentes de la industria remolachera transformados en jugos azucarados de bajo costo, así como los excedentes vinícolas subastados en Bruselas.

El objeto de la planta para la cual se ha realizado este análisis, es la producción de etanol con una riqueza del 99,75% en peso a 20°C, **a partir de cereales, principalmente cebada**. Para ello, se describirá en primer lugar el proceso de obtención del bioetanol y a continuación se irán identificando los costes asociados al proceso.

El resumen del proceso sería el siguiente: se transforma el almidón del cereal en glucosa, obteniéndose unos mostos azucarados que se fermentan por medio de levaduras. El mosto alcohólico obtenido se somete a destilación, para enriquecer el contenido alcohólico y posteriormente se deshidrata por medio de tamices moleculares. En el proceso de destilación se separan las vinazas que contienen todo el cereal que no se ha convertido en alcohol, que se recupera en una unidad de recuperación de subproductos por medio de decantación-centrifugación, concentración por evaporación a vacío de la fase líquida, y desecación de la fase sólida y fase líquida concentrada en un secadero.

### 2.1.1. Esquema del proceso

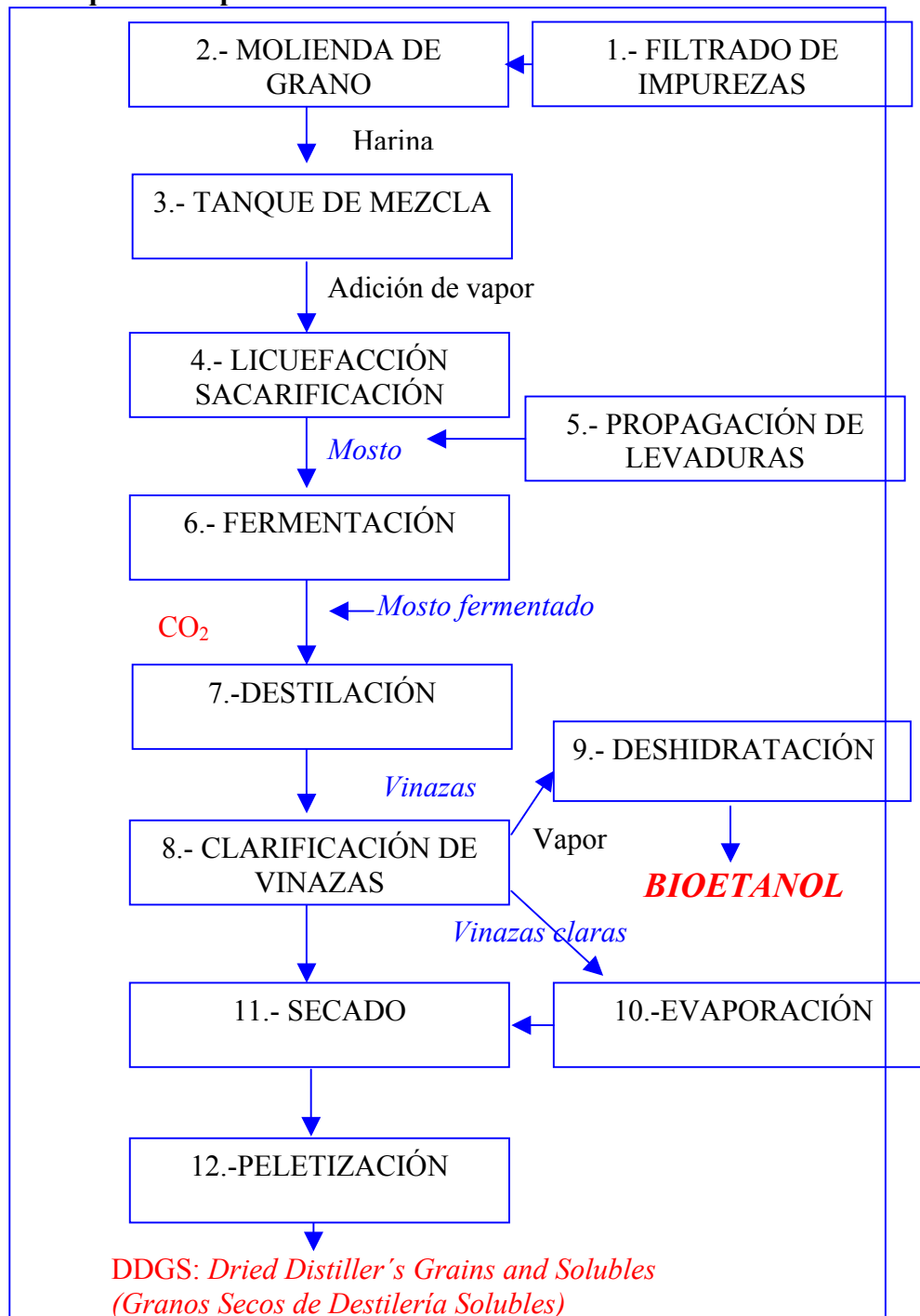


Figura 1. Esquema del proceso de obtención del bioetanol

### 2.2. Proceso de obtención del bioetanol

El primer paso del proceso de producción consiste en la separación de las impurezas del grano (1) para pasar a continuación a su molienda (2) y formar una harina. Dicha harina junto con agua y algunas enzimas y productos químicos cuya función es romper el grano, pasan al tanque de mezcla (3). En este tanque se añaden ácido fosfórico, nutrientes para levaduras y amonio para mantener el pH, se adiciona vapor y se pasa a su licuefacción y sacarificación (4)

para liberar el almidón. Es ahora cuando se propagan las levaduras (5) y este mosto se enfría (de 90°C a 30°C) antes de pasar a la fermentación (6). La principal parte del coste de la producción está en las primeras etapas: molienda, conversión del almidón y fermentación. La contaminación del mosto es uno de los principales problemas que surgen en la obtención del alcohol. Una limpieza correcta es esencial para controlar el crecimiento de organismos indeseados, que pueden reducir los rendimientos o producir productos de fermentación no convenientes. La solución más apropiada es el tratamiento de los tanques con sustancias químicas (sosa, dióxido de cloro).

Este consumo de químicos y las enzimas usadas en mezcla suponen un incremento en el coste bastante importante.

Después de la fermentación, en el proceso se genera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que se separa y emplea en la fabricación de carbonato de estroncio y bebidas carbónicas.

El mosto fermentado pasa a destilarse (7) en las columnas de destilación separando el sólido no fermentable y el agua con etanol.

El agua de vinazas, libre de alcohol, se extrae por la parte inferior de la columna de rectificación. Esta agua se mezcla con la lechada de harina procedente del tanque. El siguiente paso consiste en la deshidratación del etanol (9), por medio de tamices moleculares.

Las vinazas procedentes de la destilación separan en las centrifugas la mayor parte de los sólidos no fermentables en suspensión en forma de una torta. Las vinazas claras, con menos cantidad de materia sólida, y que constituyen la fase líquida de la centrifugación, se recogen en los tanques de almacenaje.

Una parte de las vinazas claras se pueden reciclar a la conversión de almidón en función de los requerimientos del proceso y el resto de las aguas claras que salen de los decantadores, que no se reciclan, son evaporadas mediante un evaporador para formar un jarabe espeso muy rico en proteínas. El agua limpia separada del jarabe se reincorpora al proceso. La torta húmeda (40% sólido, 60% humedad), procedente de las centrifugas, formando una mezcla homogénea con el jarabe procedente del evaporador, alimentan un secadero (11), donde se introducen en contracorriente los gases de escape de la turbina de gas, tras pasar por el generador de vapor, a temperatura inferior a 400°C. Esta torta húmeda se seca hasta un 10% de humedad. Las harinas de DDGS (Granos Secos de Destilería Solubles) a la salida del secadero son de difícil manejo y su almacenamiento plantearía muchos problemas, por lo que su comercialización sería complicada y el precio de venta bajo o nulo. Por todo ello, se procede a su peletización (12).

La capacidad de producción de bioetanol de la planta de Ecocarburantes Españoles, que sigue un régimen continuo de explotación, es de 100.000 m<sup>3</sup>/año a partir de 300.000 tn/año de cereal. Toda la producción de bioetanol (alcohol etílico deshidratado al 99,75% en peso), es comprado por Repsol y Cepsa para usarla, previa transformación en su derivado ETBE, como aditivo de los carburantes de vehículos con motores de gasolina sin plomo.

La planta produce además:

- 120.000 tn/año de DDGS (alimento proteico para alimentación animal),
- 80.000 tn/año de CO<sub>2</sub>, destinado a la producción de anhídrido carbónico, y
- 170 GWh generados al año de energía eléctrica en una turbina de gas de 22 MW, instalada en la planta de cogeneración que abastece al proceso de producción.

La puesta en el mercado de todos los productos y subproductos de la planta, operando a plena producción, puede suponer una facturación superior a los 60.101.210,4 euros anuales (más el correspondiente Impuesto del Valor Añadido).

### 2.3. Cálculo del coste de obtención del bioetanol

Una vez descrito el proceso, se puede pasar a realizar el cálculo de obtención del coste de producción.

Las limpiezas se realizan de forma continua, pero, dependiendo de factores externos a la planta (como calidad del grano, carga a la que opere la planta, etc.) se pueden producir contaminaciones en la fermentación que pueden obligar a realizar una limpieza más exhaustiva, fundamentalmente de la fermentación. Esto suele ocurrir unas cuatro veces al año, e incrementaría el coste anual total en químicos en un 15%. Esto no quiere decir que siempre ocurra, pero es lo normal. La situación anómala es que ocurra menos veces, como ocurrió por ejemplo en 2003, en el que este acontecimiento sólo se produjo una vez. Por tanto, una primera posible mejora en el proceso sería el poder controlar la fermentación y no llegar a estas situaciones de limpieza exhaustivos que generan un incremento del coste considerable.

A continuación se presenta en porcentaje la proporción de coste que supone cada uno de los componentes del coste en el total para el año 2003.

Tabla 1. Clasificación de costes del proceso

<b>Costes variables</b>	<b>TOTAL</b>
Consumo cereal	54,94%
Impurezas de cereal	0,08%
Consumo de Químicos y Enzimas	4,93%
Agua	4,08%
Electricidad	0,46%
Gas Natural	22,88%
<b>Total costes variables</b>	<b>87,36%</b>
<b>Costes fijos:</b>	
Gastos Personal	0,24%
Repuestos	0,95%
Mantenimiento	3,13%
Mtmto Unidad de Cogeneración	2,49%
Amortización-Subvención	5,20%
Otros costes	0,62%
<b>Total costes fijos</b>	<b>12,64%</b>
<b>Total fijos + variables</b>	<b>100,00%</b>

Como puede observarse de la tabla mostrada en la página anterior, el 87,3% del coste total de producción del bioetanol es debido a costes variables y el 12,6% restante a los fijos. De los costes variables, el 55% se deben a la materia prima, siendo el segundo en importancia Gas Natural, suponiendo un 22,8% del total de los costes variables.

En cuanto a los costes fijos, el principal componente de coste son las amortizaciones (suponen un 5,2%), incluso después de haberles restado el efecto de las subvenciones recibidas. El siguiente generador de coste fijo en importancia sería el mantenimiento de la unidad de Etanol y de la unidad de cogeneración con un 5,5%.

Por tanto, una vez analizados los costes, se podrían dar como posibles soluciones para obtener un coste competitivo con el resto de combustibles convencionales:

- aplicación de avances tecnológicos en el proceso de producción;
- reducción de costes de capital (inversión inicial);
- costes operativos (mix de materia prima).

### 3. Marco legal del sector de biocombustibles

Si la apuesta en el ámbito de la Unión Europea por el desarrollo del bioetanol como combustible alternativo –nunca sustitutivo de los combustibles fósiles, dadas las limitaciones físicas a la producción de cereal- es firme, se hace necesaria la adopción de una serie de medidas concretas de fomento por parte de las autoridades.

En la tabla que se adjunta en la siguiente página se resume la evolución de las políticas públicas sobre fomento de biocombustibles que se han llevado a cabo tanto en el ámbito de la Unión Europea como en el entorno español.

#### 3.1. Evolución del marco fiscal de los biocarburantes

Por último cabe analizar, aquella normativa fiscal que afecta a los biocarburantes. Pues no debe olvidarse que los altos costes de producción a los que se enfrentan los combustibles de origen vegetal son una de las principales barreras a su configuración como una alternativa real a los combustibles de origen fósil.

Debe, asimismo, tenerse en cuenta que el impuesto especial sobre hidrocarburos constituye más de la mitad del precio de los combustibles. Por ello, una vía directa de aumentar la competitividad del sector consiste en recortar, de manera total o parcial, la presión fiscal que recae sobre el mismo.

A lo largo del tiempo, parece que la legislación fiscal europea (y la española, en aras de la armonización fiscal) va instrumentando un número cada vez mayor de medidas que van en esta dirección. Por ello, resulta de particular interés realizar un análisis cronológico de estas disposiciones. Aunque debe realizarse una lectura entre líneas, pues a veces la efectividad de las medidas diseñadas resulta cuestionable.

El análisis cronológico acerca de la fiscalidad de los biocarburantes ilustra, de un lado, la voluntad de fomento de los combustibles alternativos por parte de los poderes públicos, y, de otro, la dificultad que supone alcanzar un consenso en aspectos en los que se entrecruzan intereses económicos y políticos de toda índole. (Piénsese en la confrontación directa que supone la necesidad del uso de combustibles alternativos desde el punto de vista de la protección medioambiental con las pérdidas de recaudación (y, por tanto, claramente tangibles en los presupuestos generales del Estado) que supone el establecimiento del tipo cero para los biocombustibles).

**Tabla 2.** Resumen marco fiscal y de medidas de fomento al bioetanol

ÁMBITO	NORMA	CONTENIDO
UE	Directiva 30/2003 CE sobre fomento de uso de biocarburante en el transporte	<ul style="list-style-type: none"><li>– Establece unos mínimos de producción de biocombustibles (2% en 2005)</li><li>– Expresa la necesidad de dotar a los Estados de herramientas fiscales de fomento de su utilización.</li></ul>
	Directiva 96/2003 CE sobre fiscalidad energética	<ul style="list-style-type: none"><li>– Establece expresamente los beneficios fiscales a los biocombustibles.</li><li>– Limita los beneficios fiscales a la evolución de los precios de las materias primas</li></ul>

**Tabla 2.** Resumen marco fiscal y de medidas de fomento al bioetanol (cont.)

ÁMBITO	NORMA	CONTENIDO
UE	Reglamento CE 1782/2003 de ayuda directa en el marco de la PAC.	Establece un régimen específico de ayuda (45€/ha) a los cultivos energéticos
	Reglamento CE 2237/2003 sobre normas detalladas de aplicación de las ayudas propuestas en el Reglamento CE 1782/2003	Detalla el procedimiento de percepción de las ayudas a los cultivos energéticos para el año 2004. Dada la complejidad del proceso establece la necesidad de su revisión una vez finalizado este tiempo
ESPAÑA	Ley de impuestos especiales (reformada por Ley 53/2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Art. 50.bis. Establece el tipo especial cero para los biocarburantes hasta el año 2012. Al igual que la directiva, supedita el beneficio fiscal a la evolución de los precios de las materias primas</li> <li>- Art. 51.3 Exención para proyectos piloto</li> </ul>
	Reglamento de impuestos especiales (reformado por RD 1739/2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El tipo especial cero únicamente se aplicará a la proporción de bioetanol (puro o formando parte del ETBE) que exista en el combustible</li> <li>- La exención para proyectos piloto únicamente será aplicable, en el caso de combustibles mezclados, a la proporción correspondiente de bioetanol.</li> </ul>
	Ley del impuesto sobre beneficios (reformada por Ley 36/2003 de medidas de reforma económica)	<p>Deducciones a la cuota íntegra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Por actividades de investigación científica (30%) e innovación tecnológica (10-15%)</li> <li>- Por inversiones destinadas a la protección del medio ambiente realizadas en ciertas instalaciones (10%).</li> <li>- Por inversiones realizadas en activos materiales nuevos destinadas al aprovechamiento de energías renovables (10%),</li> </ul>
	Subvenciones oficiales para el fomento de proyectos de desarrollo de energías renovables (en el marco del Plan de fomento de las energías renovables)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ICO</li> <li>- IDAE</li> <li>- CIEMAT</li> </ul>



### 3.2. Conclusiones

A partir del análisis realizado, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- La importancia de los biocombustibles como fuente de energía alternativa se ha puesto de manifiesto en el ámbito de las declaraciones programáticas tanto desde las instancias europeas (Libro blanco sobre energías renovables, Libro blanco sobre la política europea de transportes, Libro verde sobre seguridad en el suministro) como en el entorno español, a través del Plan de fomento de las energías renovables.
- Las líneas maestras definidas en estos documentos han tomado forma física en las sucesivas normas legales de la UE que proponen diferentes medidas de fomento del uso de biocombustibles. Tales medidas de fomento han desembocado en tres ámbitos: la fijación de porcentajes y plazos comunes, la reforma de la PAC y las medidas fiscales.
- En cuanto al establecimiento de objetivos comunes de utilización y plazos de implantación, tras largos años de deliberaciones, se ha establecido recientemente (Directiva CE 30/2003) el 2% para 2005, y el 5,75% para 2010, de utilización de biocarburantes sobre el total. No obstante, la Directiva permite un gran margen de maniobra a los Estados miembros, con lo que el cumplimiento de la misma corre el riesgo de verse difuminado.
- Con respecto a la PAC, la reforma de la misma acometida en el año 2003 (Directiva CE 1782/2003) establece una política expresa de subvenciones a los cultivos energéticos siempre que se garantice que el cultivo de los mismos se va a destinar a la producción de combustible alternativo.
- Las medidas fiscales de han dibujado, al menos en apariencia, con la Directiva 96/2003 de imposición de los productos energéticos, que contempla el tratamiento fiscal favorable para el bioetanol. Aunque esta Directiva expresamente vincula el beneficio fiscal a los precios de las materias primas, *para que dichas reducciones no conduzcan a una sobrecompensación de los costes adicionales derivados de la producción* de biocombustibles. Este hecho mitiga el posible impacto del beneficio fiscal en la competitividad del biocarburante pues, para realizar un mismo trayecto, el volumen de biocombustible que se consume es superior al de combustible de origen fósil. Lo cual implica que, al mismo precio, resulta más caro utilizar el combustible alternativo.
- En España, la situación es similar:
- Las pautas propuestas por el Libro Blanco se plasman en el Plan de fomento de las energías renovables (1999-2010).
- El impacto de la reforma de la PAC se ha dejado sentir en las asociaciones de agricultores y en las agencias agricultura de las Comunidades Autónomas, que ven el destino de las tierras al cultivo de cereales energéticos como una vía de mantenimiento y regeneración del sector agrícola. La compra de la cosecha está, además, asegurada por una empresa del grupo Abengoa, único productor de bioetanol actualmente en España.
- La Ley de impuestos especiales contempla la exención de la fabricación de biocarburantes en el marco de los proyectos piloto y la aplicación de un tipo especial cero para los biocarburantes, en general, hasta el año 2012. Sin embargo, la aplicación de este beneficio fiscal se vincula expresamente a los costes de las materias primas, lo cual posee las mismas consecuencias que se han explicado en el punto anterior. Por otra parte, el minucioso proceso descrito en el RD 1739/2003, de reforma del reglamento de impuestos especiales, va encaminado a controlar la obtención y comercialización de los biocarburantes; la cuestión subyacente parece ser el evitar, en la medida de lo posible, las fugas innecesarias en el impuesto sobre hidrocarburos.
- Con todo, la producción de biocombustibles está aumentando de manera exponencial en España y cuenta con numerosas subvenciones por parte de los poderes públicos (IDAE,

ICO). Una lectura detallada de las medidas fiscales de fomento a los biocarburantes nos ha permitido pensar acerca de la insuficiencia que las mismas pudieran tener. En este sentido, consideramos que el tipo fiscal cero debería aplicarse sin restricciones, y ello, por dos motivos:

- El bioetanol se configura como una vía complementaria de energía que nunca podrá sustituir a los carburantes fósiles, dadas las limitaciones físicas que se dan para su producción.
- La exención fiscal total puede ser recuperada por el fisco prácticamente en su totalidad: la apertura de plantas de producción de bioetanol supone la creación de nuevos puestos de trabajo, tanto en el sector agrícola como en el sector industrial; este hecho implica vías de recaudación fiscal adicionales como pueden ser el IRPF y las cotizaciones sociales de agricultores y trabajadores,

## Referencias

Commission, E., The Clean Air For Europe (CAFE) Programme : Towards a Thematic Strategy for Air Quality. 2001, European Commission: Bruselas. p. 15.

Commission, E., ExternE Externalities of Energy Vol 7 Methodology. 1998, European Commission: Luxembourg. p. 518.

Dirección General de Política Energética y Minas. Ministerio de Economía.(2001). Utilización de biocombustibles.

Ortiz, S., Fernández, M., Montes Ponce de León, J., Ruiz Castelló, P.: (2003) Buscando combustibles alternativos: el bioetanol. *Anales de Mecánica y Electricidad* .Volumen: LXXX Programme., W.G.-A.O. and P. Stamp, The Auto Oil II Programme : Air Quality Report. 2000, European Commission. p. 264.

Wang, M., C. Saricks, and M. Wu, Fuel-Cycle Fossil Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Fuel Ethanol Produced from U.S. Midwest Corn. 1997, Argonne National Laboratory. p. 53.

Winebrake, J., D. He, and M. Wang, Fuel-Cycle Emissions for Conventional and Alternative Europeas, C.d.I.C., COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN .Examen del Programa Auto-Oil II. 2000, Comisión Europea: Bruselas. p. 27.