El bioetanol obtenido de sorgo dulce y de pataca, como ejemplo de sostenibilidad

La biomasa como fuente de energía para la producción de bioetanol sostenible

En la actualidad, los órganos de gobierno fomentan el desarrollo y consumo de los biocombustibles, dentro de los cuales se incluyen los biocarburantes, con dos objetivos principales. Por una parte, se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y por otra parte, existe la necesidad de encontrar fuentes de energía alternativas al petróleo que aumenten la seguridad del abastecimiento[1]. Un tercer objetivo en el caso de la UE es la reducción de la elevada dependencia energética exterior, que es especialmente acusada en el caso de España.

Javier Matías, Juan Cabanillas, Jerónimo González y Luis Royano.

Centro de Investigación Agraria Finca La Orden-Valdesequera. Gobierno de Extremadura.

El consumo de combustibles para transporte supone algo más del 30% del consumo global de energía en la UE y su uso genera gran parte de las emisiones de CO_2[2,3]. El aprovechamiento energético de la biomasa además de reducir la dependencia de los combustibles no renovables es una medida efectiva para frenar el

aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera[4].

Para abordar estas cuestiones, la UE ha tomado medidas para fomentar la producción y el uso de biocombustibles sostenibles. Así, en el año 2009 se aprobó la Directiva comunitaria 2009/28/CE (DER) para el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. En ella se fija, entre otros objetivos, que para el año 2020 el 10% de los combustibles para el transporte procedan de fuentes renovables, entre las que se encuentran los biocarburantes. Por otra parte, incorpora una serie de criterios de sostenibilidad que deben cumplir los biocarburantes al amparo de esta normativa.

En la actualidad, en torno al 5% del consumo final de energía de la UE proviene ya de la bioenergía. Las proyecciones hechas por la Comisión Europea indican que la biomasa contribuirá aproximadamente en la mitad del esfuerzo en renovables necesario para lograr el objetivo del 20% propuesto para 2020. Además, la Agencia Europea del Medio Ambiente mantiene que la mayor parte de este potencial puede realizarse a través del uso sostenible de la biomasa local[5].

Es por ello que el uso de la biomasa como fuente de energía representa una gran oportunidad para el sector agroindustrial en el siglo XXI, si bien, esta alternativa requiere un planteamiento sostenible basado en la selección de cultivos y procesos adecuados con un enfoque distinto a los agroalimentarios tradicionales, concepto definido como Agroenergética[6]. Y es que, la sociedad está prestando cada vez mayor atención a su condición de renovables y a la sostenibilidad de los sistemas agroenergéticos. Sin pretender ser la solución exclusiva, la biomasa puede desempeñar un rol destacado en el futuro energético.

La biomasa, a diferencia de otras energías renovables, posibilita el almacenamiento de energía en moléculas hidrocarbonadas disponibles para aprovisionar a los medios de transporte autónomos. Está compuesta esencialmente por polímeros complejos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, de azufre en baja proporción y de elementos inorgánicos[7].

Las materias primas empleadas para su producción en Europa y España son principalmente cultivos tradicionales como el maíz y el trigo, que presentan numerosas dudas con respecto a su sostenibilidad. Es por ello que resulta necesario el estudio de nuevas materias primas. Entre estas posibles nuevas materias primas se encuentran el sorgo dulce y la pataca

En la actualidad el bioetanol es el biocarburante con mayor producción a nivel mundial, la cual ha experimentado además un fuerte incremento en los últimos años. En la **figura 1** se aprecia que su producción mundial se concentra principalmente en EE.UU. y en Brasil, que acaparan más del 80%.

El bioetanol consumido en el año 2010 a nivel nacional se fabricó principalmente en España (48,79%). Las importaciones realizadas en este año procedieron principalmente de Brasil (63,5%) y de EE.UU. (24,56%). En cuanto a las materias primas empleadas en España para la fabricación de bioetanol destacan el maíz y el trigo (36,16%) como se puede observar en la **figura 2**. El 48,42% de estas materias primas se produjeron en nuestro país[8]. Según el Plan Nacional de Energías Renovables 2011-2020, se prevé un importante crecimiento del consumo nacional de bioetanol en la presente década[9].

FIGURA 1

Producción mundial de bioetanol (2010).

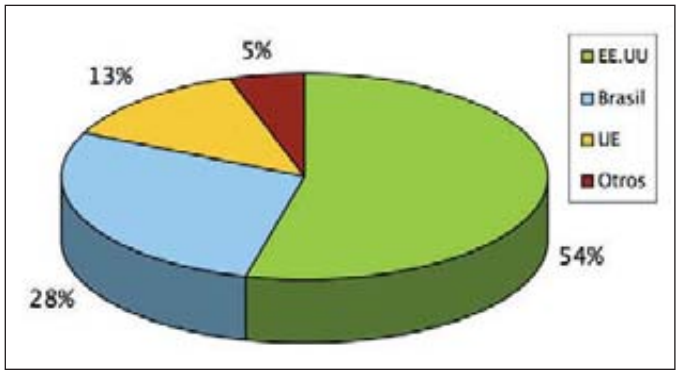
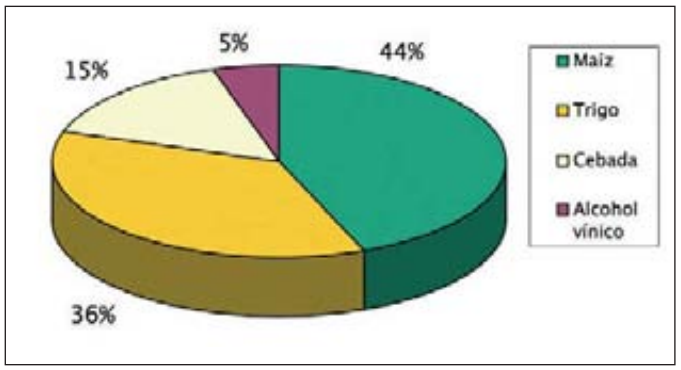


FIGURA 2

Materias primas empleadas en España en el año 2010 para la fabricación de bioetanol.



La fotosíntesis de energía solar a energía química

La fotosíntesis es un proceso seleccionado por la naturaleza para aprovechar la energía solar, a través de los seres autótrofos, entre los que destacan los vegetales. Realizada gracias a la presencia de la clorofila en sus células, transforman la energía radiante en energía química, que queda acumulada en los enlaces de las moléculas orgánicas que forman la biomasa. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos por combustión, dando como productos finales anhídrido carbónico y agua. La materia orgánica puede proporcionar energía por combustión directa o a través de compuestos derivados, tales como alcoho-

les, aceites o hidrocarburos que también devuelven la energía mediante la oxidación, ya sea en motores térmicos o en quemadores diseñados al efecto[6].

Este proceso puede esquematizarse mediante la **ecuación 1**[10].

Ecuación 1

$$nCO_2 + nH_2O + \text{energía luminosa} \rightarrow (CH_2O)n + nO_2 \qquad \Delta H^o = 470 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Esta ecuación muestra el balance energético del proceso fotosintético, según el cual por cada mol de CO_2 atmosférico fijado por las plantas, 470 kJ de energía solar contenida en las radiaciones fotosintéticas activas se transforman en energía de enlace químico y por cada kilogramo de glucosa sintetizado se fijan 1,4 kg de dióxido de carbono.

Antecedentes de los biocarburantes líquidos

La utilización de los biocarburantes líquidos es tan antigua como la de los mismos combustibles de origen fósil y los motores de combustión. Rudolf Diesel diseñó el prototipo del motor diésel para que funcionara con aceites vegetales. También, cuando en 1860 Nikolaus Otto inventó el motor de combustión interna empleó etanol como combustible. Igualmente, cuando en 1908 Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil Model T esperaba que funcionara con etanol, ya que en Estados Unidos era popular su uso en estos años. Los bajos precios del petróleo condujeron finalmente al abandono generalizado del uso del etanol como combustible. En la década de los 70 se retomó el interés por el etanol debido a la fuerte subida del petróleo impuesta por la OPEP. En la época reciente, fue en Brasil en el año 1975, a raíz de la aprobación del Programa Nacional del Alcohol, donde se implantó del uso del bioetanol como combustible a gran escala[11].

El bioetanol obtenido a partir del sorgo dulce, para el caso concreto de Andalucía en regadío, permitiría reducir las emisiones de GEI en más de un 60% (79%), con lo que cumpliría con la normativa europea DER

La biomasa, fuente de bioetanol

El etanol procedente de biomasa es también conocido como bioetanol. La producción de bioetanol a partir de la biomasa se realiza generalmente por vía biológica, mediante la fermentación alcohólica de los hidratos de carbono presentes en un amplio abanico de materias primas y su posterior destilación y deshidratación. Los hidratos de carbono presentes en los vegetales pueden encontrarse en forma de sacarosa (caña de azúcar, remolacha, sorgo dulce) o de polisacáridos que requieren hidrolizarse previamente, tales como el almidón (trigo, cebada, maíz, patata), la inulina (pataca) o la celulosa y hemicelulosa (biomasa lignocelulósica). Para hidrolizar el material lignocelulósico se requieren, en la actualidad, tratamientos de hidrólisis en los que se combinan temperaturas y presiones elevadas.

Las materias primas utilizadas para la producción de bioetanol son diferentes según la zona de mundo. Destacan el maíz en Estados Unidos y la caña de azúcar en Brasil y algunos países tropicales. En la actualidad, la producción de bioetanol a nivel mundial se realiza principalmente a partir de materiales amiláceos como el maíz grano, con el que se fabrica más del 50% de la producción mundial, el trigo y otros cereales grano[12].

Dependiendo del grado de presencia de agua, el etanol puede ser clasificado en anhidro e hidratado. El etanol anhidro está prácticamente exento de agua. Se trata de un biocarburante líquido que puede ser empleado en mezclas de hasta un 10% con la gasolina en los vehículos con motor de ciclo Otto tradicionales sin necesitarse modificaciones. En los vehículos denominados FFV (vehículos de combustible flexible) se pueden emplear mezclas de hasta un 85% de etanol y sólo un 15% de gasolina. En la actualidad, las especificaciones técnicas que debe cumplir el bioetanol están reguladas en Europa por la norma EN 15376.

Sostenibilidad de biocarburantes y biolíquidos

La Unión Europea, en la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, incorpora una serie de criterios de sostenibilidad para los biocarburantes y biolíquidos que se muestran en el **cuadro I**.

Por otra parte, para comprobar la eficiencia de un biocarburante es preciso determinar su balance energético, que es la relación entre la energía producida y la energía directa e indirecta necesaria para la obtención del biocombustibles.

Bioetanol sostenible a partir de la biomasa

Las materias primas empleadas para su producción en Europa y España son principalmente cultivos tradicionales como el maíz y el trigo, que presentan numerosas dudas con respecto a su sostenibilidad ya que, en nuestras condiciones, resultaría complicado alcanzar los requisitos en cuestión de reducción de emisio-

CUADRO I.

Requisitos de sostenibilidad para los biocarburantes y biolíquidos establecidos en la Directiva 2009/28/CE.

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivada del uso de biocarburantes será como mínimo del: • 35% en un inicio. • 50% a partir del 1 de enero de 2017. • 60% a partir del 1 de enero de 2018 para biocarburantes producidos en instalaciones cuya producción haya comenzado a partir del 1 de enero de 2017. Los biocarburantes no se producirán a partir de materias primas procedentes de tierras de elevado valor en cuanto a biodiversidad o de tierras con elevadas reservas de carbono.
Los biocarburantes no provendrán de materias primas extraídas de tierras que, a enero de 2008, fueran turberas, salvo excepción.
Las materias primas agrícolas cultivadas en la Comunidad se obtendrán de conformidad con los requisitos mínimos de las buenas condiciones agrarias y medioambientales y los requisitos legales de gestión en el ámbito del medio ambiente, sanidad pública, zoosanidad y fitosanidad recogidos en el Reglamento (CE) nº73/2009.

nes de GEI establecidos por la normativa europea a partir del año 2018, tal y como se deduce de los resultados que se incluyen en el anexo V, apartado D, de la normativa europea (Directiva DER) y en un reciente estudio realizado a nivel nacional[13]. Además, se trata de materias primas que interfieren con la cadena alimentaria, con el consiguiente riesgo de tensiones en los mercados de estos productos. Es por ello que resulta necesario el estudio de nuevas materias primas. Entre estas posibles nuevas materias primas se encuentran el sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y la pataca (*Helianthus tuberosus* L.).

Foto 1. **Cultivo de sorgo dulce en el Centro de Investigación Agraria Finca La Orden.**

En el reciente estudio realizado a nivel nacional mencionado anteriormente se señala que el bioetanol obtenido a partir del sorgo dulce **(foto 1)**, para el caso concreto de Andalucía en regadío, permitiría reducir las emisiones de GEI en más de un 60% (79%), con lo que cumpliría con la normativa europea DER.

Otra de las posibles materias primas anteriomente mencionada es la pataca, que se muestra en la **foto 2**. Se trata de una especie herbácea de la familia de las compuestas que posee una gran eficacia para formar azúcares a través del proceso fotosintético, los cuales se traslocan finalmente a la parte subterránea y se almacenan en tubérculos **(foto 3)**. Dispone de un período de crecimiento largo, ya que posee una moderada resistencia a las heladas de primavera y otoño, lo que favorece su elevada productividad, tanto de tubérculos y azúcares como de biomasa aérea. Su cultivo hoy en día está prácticamente relegado a fincas experimentales **(foto 4)**.

Foto 2. **Cultivo de pataca en el Centro de Investigación Agraria Finca La Orden.**

Foto 3. **La pataca es un cultivo que consigue una gran eficacia en formar azúcares, los cuales se traslocan a la parte subterránea y se almacenan en tubérculos.**

Foto 4. **El cultivo de la pataca en España está todavía relegado a fincas experimentales.**

Los resultados obtenidos en un estudio[14] de cuatro años de duración sobre el cultivo de la pataca y su conversión en bioetanol con criterios de sostenibilidad realizado en el Centro de Investigación Agraria Finca La Orden, ubicado en las Vegas Bajas del Guadiana, muestran que el bioetanol obtenido a partir de los tubérculos de pataca permitiría cumplir con los requisitos de sostenibilidad establecidos en la normativa europea (DER) relativos a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, para conseguir la reducción mínima del 60% de emisiones de GEI establecida a partir del año 2018 se requiere un aprovechamiento energético total del cultivo, que en el caso de la biomasa aérea se realizaría mediante su combustión en caldera y uso de la energía liberada en el proceso de transformación de los azúcares en bioetanol. En estos casos la reducción de emisiones de GEI oscila entre el 72,3 y el 81,7% según el sistema de riego empleado.

El bioetanol obtenido con ambos cultivos tiene garantizado su carácter renovable en las condiciones estudiadas, ya que el balance energético es superior a la unidad en ambos casos, según se señala en ambos estudios[13,14].

Conclusiones

Las materias primas tradicionales empleadas en España para la producción de bioetanol tienen complicado poder cumplir con los requisitos establecidos por la normativa europea relativos a la reducción mínima de emisiones de GEI a partir del año 2018. Además, se trata de cultivos que interfieren con la cadena alimentaria, lo que puede ocasionar tensiones en los mercados de estas materias. Por ello es necesario el estudio de nuevas materias primas. En dos estudios realizados recientemente sobre el cultivo del sorgo dulce y sobre la pataca se demuestra que, en las condiciones estudiadas (Andalucía y Extremadura, respectivamente) el bioetanol obtenido a partir de estas materias primas cumpliría con los requisitos de sostenibilidad establecidos en la normativa europea DER.

Bibliografía

[1] Matías, J, González, J., Royano, L., Barrena, R.A. y Cabanillas, J. Obtención sostenible de bioetanol a partir de pataca. Vida Rural 2010; 314:60-65.

[2] Fernández, J. Presente y futuro de los biocarburantes en la UE. Vida Rural, 2007;250:25-29.

[3] Coppola, F., Bastianoni, S. y Østergård, H. Sustainability of bioethanol production from wheat with recycled residues as evaluated by Emergy assessment. Biomass and Bioenergy, 2009;33:1626-1642.

[4] Ballesteros, M. La biomasa como fuente de energía: biocombustibles. Energía y Medio Ambiente. IX Jornadas Ambientales. Ed. Universidad de Salamanca. Salamanca. 2004. 293-303.

[5] Martín, M. La Unión Europea y el papel de la Bioenergía. Bioenergy Internacional Español, 2012;9:5.

[6] Fernández, J. Biomasa, la energía renovable de mayor contribución al balance energético nacional. Vida Rural, 2006;229:18-21.

[7] Damien, A. La Biomasa. Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones. AMV Ediciones y Mundi-Prensa. Madrid. 2010.

[8] CNE. Informe anual sobre el uso de biocarburantes correspondiente al ejercicio 2010. Comisión Nacional de la Energía (CNE), 2012. http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/PA012_10.pdf.

[9] PLAN NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES DE ESPAÑA 2011-2020. http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversion_final.pdf.

[10] Jørgensen, S.E. y Svirezhev, Y.M. Towards a thermodynamic theory for ecological systems. Elsevier. Amsterdam. 2004.

[11] Schlosser, J.F. Alcohol combustible: La experiencia de Brasil. IV Premio Eladio Aranda. Ed. Agrícola Española. Madrid. 1995.

[12] REN21. Renewables 2010 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). 2010. http://www.ren21.net/ Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf

[13] IDAE-CIEMAT. Evaluación del balance de gases de efecto invernadero en la producción de biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020. IDAE. Madrid. 2011. http://www.idae.es/ index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11227_e7_GEI_biocarburantes_f41fa7c7.pdf

[14] Matías, J. Estudio del cultivo de la pataca (Helianthus tuberosus L.) y de su conversión en bioetanol para la obtención de un biocarburante con criterios de sostenibilidad. Tesis Doctoral. UEX. Badajoz 2012.