

Bioenergía en la Unión Europea

Se destacan los aspectos fundamentales de los principales instrumentos en la política energética europea que afectan a la bioenergía, en el marco de las energías renovables. Se presenta la situación actual en la Unión Europea (UE) de cada una de las cuatro fuentes energéticas diferentes correspondientes a la bioenergía: biomasa sólida, residuos sólidos urbanos, biogás y biocarburantes, señalando en cada caso los países más importantes así como las correspondientes medidas que tienen instauradas para su promoción. Por otra parte, se examina la contribución potencial de la expansión de cultivos bioenergéticos al cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de promoción de las energías renovables y de fomento del uso de biocarburantes en la UE, teniendo en cuenta sólo lo que puede producirse en el territorio de la UE.

Europaren politika energetikoaren barruan, bioenergiarekin zerikusia duten tresna nagusien ezaugarri aipagarrienak nabarmentzen dira, betiere energia berriztagarrien barruan. Bioenergiaren barruan dauden lau energia-iturriek gaur egun Europan zein egoera duten azaltzen da; biomasa solidoa, hiri-hondakin solidoak, biogasa eta bioerregaia dira iturri horiek, eta mota bakoitzari dagokionez, herrialde garrantzitsuena zein den eta dena delako energia-mota sustatzeko zer nolako neurriak hartu dituzten zehazten da. Bestalde, uzta bioenergetikoak hedatzeak ondorengoetan zenbateraino lagundu duen aztertu da: Europar Batasunean negutegi efektua sortzen duten gasak murrizten, energia berriztagarriak sustatzen, edo bioerregaia erabiltzen. Dena den, Europar Batasunaren lurraldean ekotzi daitekeen produkzioa baino ez da kontuan hartu.

It highlights the fundamental aspects of the main instruments in the European energy policy that affects the bioenergy, in the frame of the renewable energies. This paper reflects the current situation of the EU in each of the four energy sources related to bioenergy: solid biomass, urban solid waste, biogas and biofuel, pointing out in each case the most important countries together with the corresponding measures they have established for such purpose. On the other hand, the paper analyses the potential contribution of the spread of bioenergy growing to the fulfilment of goals like the reduction in Greenhouse gasses emissions, the foster of renewable energy and the use of biofuel in the EU, bearing in mind just what can be produced in the EU territory.

Emilio Cerdá Tena

Instituto Complutense de Estudios Internacionales (ICEI) y FEDEA.

Alejandro Caparrós Gass

Paola Ovando Pol*

Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Políticas y Bienes Públicos

ÍNDICE

1. Introducción
 2. La bioenergía en la política energética europea
 3. Situación actual de la bioenergía en la Unión Europea
 4. Contribución potencial de los cultivos bioenergéticos a la política climática de la Unión Europea
 5. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Palabras clave: bioenergía, energía renovable, cultivos bioenergéticos, reducción de emisiones GEI.

Key words: bioenergy, renewable energy, energy crops, reduction in greenhouse gasses emissions.

N.º de clasificación JEL: Q24, Q42, Q54.

1. INTRODUCCIÓN

En la Resolución del Parlamento Europeo sobre cambio climático del 14 de febrero de 2007 se afirma que la política energética es un elemento crucial en la estrategia global de la Unión Europea (UE) sobre cambio climático, en la cual las fuentes de energía renovable y las tecnologías que mejoran la eficiencia energética desempeñan un papel importante. En el Consejo Europeo de marzo de 2007 se alcanzó el compromiso llamado «20/20/20» que consiste en alcanzar en 2020 una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del 20% respecto a las del año

1990 (porcentaje que podría incluso llegar al 30% si se alcanza un acuerdo internacional que comprometa a otros países en desarrollo y desarrollados a reducir sus emisiones GEI), una mejora en eficiencia energética del 20% y un aumento de la aportación de las fuentes renovables hasta que sea el 20% del consumo final de energía. Además, al menos el 10% de los carburantes que se oferten en el mercado para automoción tienen que ser biocarburantes, teniendo éstos que ser introducidos de manera eficiente en costes y estando sujetos a ciertas condiciones¹.

* Se agradece la financiación recibida por parte del Ministerio de Educación de España en el marco del proyecto SEJ2005-05085/ECON.

¹ La UE restringe el uso de los biocarburantes al cumplimiento de una serie de criterios de sostenibilidad, y a que los biocarburantes de segunda generación estén disponibles a escala comercial (EC, 2008b:13).

Desde 1990 la Unión Europea está inmersa en un plan de promoción de las energías renovables para ocupar el puesto de líder mundial y que de momento ha llevado a los niveles de exigencia y compromiso expresados en el párrafo anterior. Las fuentes energéticas renovables relevantes en la Unión Europea son las siguientes: hidráulica, eólica, solar, geotérmica, biomasa sólida, parte orgánica de los residuos sólidos urbanos (R.S.U), biogás y biocarburantes. La energía producida por las cuatro últimas de las fuentes se llama bioenergía. Por tanto, la bioenergía es energía de fuente renovable producida a partir de materia orgánica, la cual puede ser utilizada directamente como combustible, procesada previamente en forma líquida o gaseosa o ser un residuo de procesamiento o conversión².

Según Eurostat (véase la publicación de European Communities, 2007), el consumo de energía primaria de los países de la UE-27 correspondiente a las energías renovables (en millones de toneladas equivalentes de petróleo, Mtep) fue de 87,0 en el año 2000, 93,8 en 2003, 99,4 en 2004 y 104,2 en 2005. Tal cantidad en el año 2005 supone un 8,5% del consumo total de energía primaria. La contribución de cada una de las fuentes a la parte de energías renovables en 2005 para los países de la UE-27 fue la siguiente: bioenergía: 67,8%, hidráulica: 22,0%, eólica: 5,1%, geotérmica: 4,5% y solar: 0,7%. El 67,8% correspondiente a bioenergía se desglosa en biomasa sólida: 52,2%, R.S.U.: 8,2%, biocarburantes: 3,8% y biogás: 3,6%.

Las energías renovables tienen tres aplicaciones posibles: generación de electricidad,

uso térmico y combustible para el transporte. La bioenergía es la única de las energías renovables apta para utilizarse en las tres aplicaciones. En cuanto a producción de electricidad, los datos facilitados por *EurObserv'ER*³ *Barometers* indican que para el año 2005, el 13,97% corresponde a energías renovables en UE-25, con el siguiente reparto: hidráulica: 66,4%, eólica: 16,3%, bioenergía: 15,8%, geotérmica: 1,2% y solar: 0,3%. Si pasamos al sector de uso térmico, la bioenergía supone aproximadamente el 98% de la contribución de las energías renovables. Por último, en su informe correspondiente al año 2007, *EurObserv'ER* estima que los biocarburantes representan el 2,6% del contenido energético de los combustibles utilizados en transporte por carretera en la UE-27.

Los ecosistemas terrestres pueden contribuir directa o indirectamente a las políticas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) a través de la forestación de tierras desarboladas, la conservación y el incremento del reservorio de carbono en la biomasa y suelos forestales y agrícolas, la producción de biomasa para sustituir el uso de combustibles fósiles y la modificación de los patrones de consumo de combustibles fósiles en los sistemas de producción agraria (Watson *et al.*, 2000; Richards *et al.*, 2006).

Tradicionalmente las políticas de cambio climático de la UE, al menos a nivel internacional, nunca han favorecido el uso extensivo de las alternativas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ligadas a los cambios de uso de la tierra y silvicultura (LULUCF)⁴ (Caparrós y

² También puede entenderse por bioenergía, la energía almacenada, procedente del sol, contenida en materiales tales como plantas o residuos de animales.

³ http://ec.europa.eu/energy/res/publications/barometers_en.htm

⁴ LULUCF viene de *Land Use, Land Use Change and Forestry*. El uso de la tierra, el cambio de uso de

Jacquemont, 2003), aunque esto ha cambiado en los últimos años y, hoy en día, las alternativas forestales y los cultivos bioenergéticos se consideran como parte de las opciones disponibles para alcanzar los objetivos (comparativamente ambiciosos) de reducción de GEI en la UE. Entre las alternativas ligadas al sector forestal, la única que puede generar reducciones de GEI significativas es la expansión de la superficie forestada, aunque claramente una expansión a gran escala de los bosques competiría con la producción de biocarburantes, pudiendo además originar efectos significativos sobre la biodiversidad y los valores paisajísticos.

El propósito de este artículo es doble: por una parte ubicar la bioenergía en el marco de la política energética de la Unión Europea así como presentar su situación actual y por otra, examinar la contribución potencial de la expansión de cultivos bioenergéticos al cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones GEI, de promoción de las energías renovables y de fomento del uso de biocarburantes en la UE. Aunque es cierto que estos objetivos no deben basarse necesariamente en la producción doméstica, sí es muy relevante conocer qué parte de éstos puede lograrse dentro de la UE, ya que la importación de biocarburantes o materias primas poco añade en términos de seguridad energética y puede, además, tener consecuencias ambientales y sociales negativas en los países en desarrollo de los que procederían estas mercancías.

la tierra y la silvicultura producen impactos en el ciclo global del carbono, y tales actividades pueden añadir o quitar dióxido de carbono (o más generalmente carbono) de la atmósfera, contribuyendo al cambio climático. LULUCF ha sido objeto de dos informes importantes por parte del IPCC. Además, el uso de la tierra es de suma importancia para la biodiversidad.

Tras esta introducción, en el segundo apartado se detallan cuáles han sido los instrumentos más importantes en la política energética europea que afectan a la bioenergía, en el marco de las energías renovables. En el tercer apartado se da una visión de conjunto a la situación actual de cada una de las cuatro fuentes de las que se obtiene bioenergía, en la UE. El cuarto apartado se refiere a la contribución potencial de los cultivos bioenergéticos a la política climática de la UE. Por último, el apartado quinto recoge las conclusiones del trabajo.

2. LA BIOENERGÍA EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA EUROPEA

Como señala Avedillo (2007), hasta el año 2005 la UE no se había planteado una política energética que integrara todas las vertientes del sector y adoptara una estrategia común para todos los países, pasando de simples recomendaciones como hasta entonces a compromisos firmes en materia de energía limpia y eficiencia energética. Las razones de este cambio tienen que estar relacionadas con la enorme subida de los precios energéticos y el temor sobre la seguridad de suministro que se tenía en Europa ante su creciente dependencia energética, así como con el mayor conocimiento sobre el problema del cambio climático y la necesidad de erigirse en líder en la lucha frente a este fenómeno de alcance global.

A continuación se describen cuáles han sido los instrumentos más importantes en la política energética europea que afectan a la bioenergía, en el marco de las energías renovables.

En primer lugar, el Libro Blanco sobre fuentes renovables de energía (Comisión

Europea, noviembre de 1997). Fija como objetivo indicativo una aportación del 12% de las energías renovables en el consumo de energía primaria en el año 2010 frente al 6% que había en ese momento. En el Anexo 2 del Libro Blanco se especifican las contribuciones estimadas (indicativas) para cada una de las fuentes de energía renovable: la principal contribución al crecimiento de las energías renovables se estima que tiene que venir de la bioenergía: se fija como objetivo indicativo pasar de 45 Mtep en 1997 a 135 Mtep en 2010 (exactamente el triple). En el Anexo 1 del Libro Blanco se proponen las medidas concretas para poner en marcha la estrategia a seguir.

En noviembre de 2000 la Comisión Europea adoptó un Libro Verde sobre seguridad en el suministro. En el mismo se parte de que en ese momento se importaba el 50% de las necesidades de energía, con estimación de crecimiento hasta el 70% en 2030 caso de continuar la tendencia. También se constataba que la demanda de energía en la UE estaba creciendo a un ritmo anual del 1-2%. El Libro Verde plantea 13 preguntas que servirían de marco a un debate general. La conclusión unánime fue que el consumo de energía debe ser orientado y guiado. Las conclusiones del Consejo Europeo de Barcelona en marzo de 2002 plantean la necesidad de mejorar la eficiencia energética con vistas al año 2010 y la adopción rápida de propuestas sobre impuestos a la energía. El Libro Verde propone una estrategia de diversificación de las importaciones de energía, reducir el consumo de energía mediante mejoras en la eficiencia energética e incrementar el uso de las energías renovables.

En 2001 se adoptó la Directiva 2001/77/EC del Parlamento Europeo y del Consejo sobre promoción de electricidad producida por fuentes de energía renovable en el mer-

cado interno de electricidad. La directiva establece como objetivo incrementar la participación de las energías renovables en la generación de electricidad, de manera que supongan el 22% del consumo eléctrico bruto en 2010 (partiendo de una participación del 14%). El objetivo del 22% para UE-15 pasó a ser del 21% para UE-25. Se establece que los Estados miembros tienen que fijar sus propios objetivos para un horizonte temporal de 10 años, teniendo en cuenta el objetivo europeo y los compromisos nacionales adquiridos con el Protocolo de Kyoto.

La Directiva sobre comercio de emisiones en la UE fue adoptada en 2003 con el fin de instaurar el mercado interno (en la UE) de permisos de emisiones de gases de efecto invernadero. En Fagernäs *et al.* (2006) se concluye que el comercio de emisiones incrementará el precio de la electricidad, y con ello los costes de la energía en cada uno de los sectores de actividad, y mejorará la competitividad de las energías renovables en todos los países de la UE. Este comercio de emisiones en un principio aumentará la incertidumbre de los inversores, por lo que sin incentivos nacionales las inversiones podrían retrasarse. A largo plazo se prevé que el comercio de emisiones reemplace a la mayor parte de incentivos nacionales para la promoción de las energías renovables.

La Directiva 2003/30/EC del Parlamento Europeo y del Consejo sobre promoción del uso de biocarburantes y otros carburantes renovables para el transporte en sustitución de gasolina y diesel, pretende contribuir a los objetivos de cumplimiento de los compromisos en materia de cambio climático, seguridad en el suministro con respeto al medio ambiente y promoción de las energías renovables. En esta directiva, se establece

un objetivo europeo indicativo del 5,75% de sustitución de carburantes convencionales para el transporte por biocarburantes en diciembre de 2010, con un objetivo del 2% para diciembre de 2005. Para que se puedan alcanzar todos estos objetivos la Directiva anterior, junto con la Directiva 2003/96/EC que reestructura el marco comunitario para la imposición de energía y electricidad, establece un marco para medidas fiscales y otras medidas nacionales para la promoción de los biocarburantes.

En el año 2003 se concluye una reforma importante de la Política Agrícola Común de la UE, dando lugar al Reglamento N.º 1782/2003 del Consejo. Los pagos a los agricultores ya no estarán vinculados a los niveles de producción. Todo agricultor que reciba pagos directos deberá observar ciertos requisitos legales de gestión y las buenas condiciones agrarias y medioambientales que se especifican en el Reglamento. Antes de esta reforma, el apoyo a los cultivos energéticos, que son los que se utilizan en la producción de los biocarburantes, así como en la producción de energía térmica y eléctrica a partir de biomasa, se concretaba en la posibilidad de dedicar a cultivos energéticos las tierras retiradas de la producción, los cuales representan la mayor proporción de producción no alimentaria en tierras retiradas. El Reglamento establece ayudas para cultivos energéticos de 45 euros por hectárea y por año. Además los Estados miembros están autorizados a abonar una ayuda nacional por un importe máximo del 50% de los costes derivados de la implantación de cultivos permanentes en las superficies que hayan sido objeto de una solicitud de ayuda a los cultivos energéticos (modificación de 2006).

La Directiva 2004/8/EC del Parlamento Europeo y del Consejo trata la promoción

de la cogeneración, por la que se genera electricidad y se aprovecha también el calor que se origina como producto secundario. Las ventajas de la cogeneración son el ahorro de energía, la mejora en la seguridad en el suministro y la eficiencia en costes. A corto plazo la intención de la Directiva es apoyar las instalaciones existentes de cogeneración y crear las condiciones en las que se tiene que desarrollar el mercado. A medio y largo plazo la intención de la Directiva es promocionar nuevas centrales de cogeneración de alta eficiencia.

El Plan de Acción de la Biomasa⁵ (Comisión Europea, diciembre de 2005), presenta medidas para el desarrollo de energía procedente de madera, cultivos agrícolas y residuos, creando incentivos para su uso y eliminando barreras para el desarrollo del mercado. De esta forma, se dice en el Plan, Europa puede disminuir su dependencia de combustibles fósiles así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y estimular la actividad económica en zonas rurales. En la introducción se cita una resolución del Parlamento Europeo de septiembre de 2005: «La biomasa tiene muchas ventajas sobre otras fuentes de energía convencionales, así como sobre otras energías renovables, en particular, costes relativamente bajos, menor dependencia de cambios meteorológicos a corto plazo, promoción de estructuras económicas regionales y provisión de fuentes alternativas de ingresos para los agricultores». En el Anexo 1 de este plan se presenta una lista con las 31 medidas diseñadas. En su Anexo 3 se

⁵ La definición de biomasa que se utiliza en las directivas de la UE es la siguiente: «Biomasa es la fracción biodegradable de productos, deshechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales».

presenta un escenario sobre producción de bioenergía en la UE para 2010, compatible con los objetivos del 12% de energías renovables, el 21% de la generación de electricidad mediante fuentes renovables y el 5,75% en la participación de los biocarburantes en el consumo energético del transporte. Se propone para 2010 una producción de bioenergía de 149 Mtep (55 para generación eléctrica, 75 para usos térmicos y 19 como biocarburantes para el transporte), aunque se afirma que la UE tiene para 2010 un potencial (medido de manera muy conservadora) de 185 Mtep. Se estima que tal escenario permitiría una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de 209 millones de toneladas equivalentes de CO₂. Se señala que los biocarburantes para el transporte tienen la mayor intensidad para el empleo y la más alta seguridad de suministro que la biomasa para generación de electricidad da el mayor beneficio en reducción de gases de efecto invernadero y que la energía para usos térmicos producida a partir de biomasa es la más barata.

En cuanto a los residuos sólidos urbanos (R.S.U.), que como hemos comentado anteriormente también juegan un papel en la producción de bioenergía, hay varias Directivas importantes. La Directiva 75/442/EEC del Consejo, enmendada por la Directiva 91/156/EEC, pretende armonizar las prácticas sobre gestión de residuos a lo largo de la UE. Otorga prioridad a la reducción de residuos, a la recuperación y a la utilización de tecnologías limpias. Anima a los Estados miembros a utilizar los residuos como una fuente de energía. La Directiva 1999/31/EC del Consejo sobre vertederos establece que la parte biodegradable sin tratamiento de residuos que se arroja a los vertederos tiene que ser reducida y está prohibida en

algunos países desde 2005. La Directiva establece objetivos sucesivos para reducir la cantidad de residuos sólidos urbanos biodegradables que se arrojan a los vertederos: los residuos sólidos urbanos biodegradables deben ser reducidos en 2006 al 75% de la cantidad arrojada a vertederos en 1995, al 50% en 2009 y al 35% en 2016. La Directiva 2000/76/EC sobre incineración de residuos define un marco legal para este proceso. Pretende evitar o reducir la contaminación causada por emisiones a la atmósfera, al suelo, a las aguas superficiales y a las aguas subterráneas debidas a la incineración o coincineración de residuos. Introduce mayor severidad en cuanto a condiciones operativas y requerimientos técnicos y exige a los operadores la instalación de equipos de monitorización más sofisticados. La Directiva 2006/12/EC sobre residuos revoca la anterior 75/442/EC. En ella fueron revisados tres elementos principales: a) mejor definición de términos, b) introducción de objetivos medioambientales: reducción del impacto medioambiental desde su generación hasta su gestión, teniendo en cuenta su ciclo de vida, c) simplificación en general del marco vigente. Define una jerarquía en la gestión de residuos sólidos urbanos en el siguiente orden: 1) Prevención o reducción de producción de residuos. 2) Recuperación de residuos por medio del reciclaje, la reutilización y la recolección o cualquier otro proceso que permita extraer materias primas secundarias. 3) Uso de residuos como fuente de energía.

El Libro Verde sobre estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura, de marzo de 2006, recoge la nueva realidad con la que se encuentra Europa en cuanto a la energía; plantea cuestiones para el debate y presenta sugerencias así como

opciones que podrían sentar la base de una nueva política energética europea de carácter general. La cuestión fundamental es determinar si existe un acuerdo en la necesidad de desarrollar una estrategia energética común europea, y si la sostenibilidad, la competitividad y la seguridad de abastecimiento deben ser los principios que la sustenten. Tal como se recoge en el Libro Verde, el mercado de energía renovable de la UE tiene un volumen de negocio anual de 15.000 millones de euros (la mitad del mercado mundial), emplea a unas 300.000 personas y es un exportador de primer orden. El Libro Verde formula varias propuestas concretas para alcanzar los tres objetivos. Se anuncia que la Comisión presentará una guía sobre la energía renovable, que contenga medidas específicas, metas y objetivos, nueva directiva comunitaria sobre calefacción y refrigeración, plan detallado para estabilizar y reducir gradualmente la dependencia comunitaria del petróleo importado, así como iniciativas de investigación, demostración y aplicación comercial para acercar a los mercados las fuentes de energía limpia y renovable.

La Comisión Europea ha presentado el 23 de enero de 2008 una propuesta para una directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la promoción del uso de energía de fuentes renovables, en la que quiere establecer un marco común. Para cada uno de los 27 países de la Unión se establece un objetivo vinculante sobre qué porcentaje mínimo del consumo final de energía debe proceder de fuentes renovables en el año 2020. Tal porcentaje varía de unos países a otros, en un rango que va desde el 10% hasta el 49% (10% para Malta, 11% para Luxemburgo, 13% para Bélgica, República Checa, Chipre y Hungría, países con menor porcentaje. Finlandia con

el 38%, Letonia 42% y Suecia 49% son los países con mayor porcentaje). A España le corresponde el 20%, que coincide con el nivel global que se debe alcanzar en el conjunto de la UE. Asimismo se establece para cada Estado miembro como objetivo mínimo vinculante que el 10% del consumo final de energía en transporte en 2020 debe proceder de fuentes renovables (fundamentalmente biocarburantes). Para conseguir estos objetivos, cada país debe adoptar un plan de acción nacional que tiene que comunicarse a la Comisión antes del 31 de marzo de 2010. En la propuesta se establecen reglas referentes a garantías de origen, procedimientos administrativos y conexiones a la red eléctrica en relación a las fuentes renovables de energía, así como criterios de sostenibilidad ambiental para los biocarburantes y otros biolíquidos (combustibles líquidos producidos a partir de biomasa para usos energéticos): el ahorro en emisiones de gases de efecto invernadero debe ser al menos del 35%, no pueden ser cultivados en tierras con alto valor en biodiversidad, ni tampoco en tierras con un alto stock de carbono en el suelo (como humedales o zonas arboladas).

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA BIOENERGÍA EN LA UNIÓN EUROPEA

Como es habitual en los informes del *EurObserv'ER Barometer* (que constituyen la fuente de la que se han obtenido los datos numéricos que aparecen en este apartado, mientras no se cite otra fuente), y tal como se ha hecho en la Introducción, vamos a distinguir cuatro fuentes energéticas diferentes, al referirnos a la bioenergía: biomasa sólida, residuos sólidos urbanos, biogás y biocarburantes.

3.1. Biomasa sólida

De acuerdo con la terminología que utiliza el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), el aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal, excluyendo los biocarburantes, el biogás y los residuos sólidos urbanos, constituye la energía de la biomasa sólida. Dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales y residuos utilizados, la biomasa se divide en primaria y residual:

Primaria: formada por cultivos energéticos, que son cultivos de especies vegetales destinados específicamente a la producción de biomasa para uso energético. Entre las especies agrícolas para producción de biomasa lignocelulósica podemos citar el cardo, el sorgo, la *brassica carinata* o la colza etíope, entre otras. Entre las especies forestales leñosas se pueden citar, entre otras, el chopo, el sauce, el eucalipto. Y finalmente, el *miscanthus* entre las especies de pastos.

Residual o secundaria: residuos forestales (como los generados en operaciones de limpieza o poda), residuos agrícolas leñosos (como podas de olivos, viñedos y frutales), residuos agrícolas herbáceos (como la paja de cereales de invierno o el cañote del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, serrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz, etc.).

La producción de energía primaria procedente de biomasa sólida en los 25 países de la Unión Europea en 2006 fue de 62,4 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 59,3 en 2005, de 55,6 en 2004 y 52,5 en 2003. Por tanto, el incremento anual de la pro-

ducción fue del 5,9% en el año 2004, 6,7% en 2005 y 5,3% en 2006.

Los principales países de la Unión Europea productores de energía primaria procedente de biomasa sólida son (en Mtep): Francia (9,6), Suecia (8,9), Alemania (8,8), Finlandia (7,4), lo cual supone que entre los cuatro producen el 55,8% del total de la Unión Europea. A continuación están España (4,32), Polonia (4,29), Austria (3,35) y Portugal (2,73). Si se considera el indicador de producción per cápita, el *ranking* es (en tep/habitante): Finlandia (1,41), Suecia (0,98), Letonia (0,86), Estonia (0,52), Austria (0,40), Portugal (0,25) etc. Francia (0,15) ocupa el puesto número 11, Polonia (0,11) el 12, Alemania (0,10) el 13 y España (0,09) el 15.

Un estudio realizado por EurObserv'ER con una muestra de países que supone el 69,5% de la producción en la UE concluye que la aportación a la producción de energía primaria procedente de biomasa sólida responde a la siguiente distribución: el 42,3% procede de biomasa primaria, el 29,2% de residuos forestales o de industrias forestales, el 20,5% de licor negro (residuo de la industria de producción de papel) y el 8% de otros residuos de origen agrícola, ganadero o industrial.

Según el IDAE (2007a), cerca del 83% de esta energía se dedica a usos térmicos y el 17% a la producción de electricidad en la Unión Europea. Por tanto, las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro de este sector de la biomasa sólida. La producción térmica sigue una escala de usos que comienza en las estufas o calderas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares. Sigue en las calderas diseñadas para un edificio de viviendas que proporcionan agua caliente y calefacción a las casas. Continúa con las instala-

ciones llamadas *district heating* (muy extendidas en el Norte y Centro de Europa), cada una de las cuales es una red centralizada que proporciona calor y agua caliente a urbanizaciones, edificios públicos, centros deportivos o complejos comerciales. Por último, los consumos térmicos de determinadas industrias también son abastecidos por calderas de biomasa, aprovechando residuos de las industrias agroforestales para producción de calor que, en algunos casos, es acompañado de producción eléctrica (cogeneración).

La producción de electricidad procedente de biomasa sólida en los 25 países de la Unión Europea en 2006 fue de 45,85 TWh⁶. La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 41,64 en 2005, 38,0 en 2004 y 28,37 en 2003. Por tanto, el incremento anual de la producción fue del 33,9% en el año 2004, 9,5% en 2005 y 10,1% en 2006. La producción de electricidad en la UE a partir de biomasa sólida tiene lugar en grandes plantas de generación que utilizan sólo biomasa o bien en plantas que utilizan una mezcla de biomasa y carbón (cocombustión). Por otra parte, algunas plantas sólo producen electricidad mientras que en otras se aprovecha la electricidad pero también el calor que se genera como producto secundario (cogeneración). En el año 2006 el 71,2% de la electricidad producida en la UE a partir de biomasa sólida tenía lugar en centrales de cogeneración.

Finlandia es el país del mundo que más se nutre de energía procedente de biomasa sólida, la cual supone el 30% de su consumo total de energía primaria y aproximadamente el 20% de su producción de electri-

cidad. En Finlandia se favorece la producción de calor y electricidad procedente de la biomasa con la exención total del impuesto sobre la energía pagado por los consumidores finales. Además hay subvenciones, que pueden llegar hasta el 30%, a las inversiones en plantas de generación eléctrica con biomasa. Para financiar la producción de electricidad procedente de fuentes renovables se utiliza la recaudación que se obtiene con un impuesto sobre el CO₂ aplicable a combustibles fósiles.

3.2. Residuos sólidos urbanos renovables (transformados en energía por incineración)

Según los últimos datos disponibles facilitados por Eurostat⁷, la cantidad de residuos sólidos urbanos (R.S.U.) generados en UE-25 en el año 2006 fue de 243.207 miles de toneladas, lo cual supone una media de 525 Kg por persona y año. Los países que generaron mayor cantidad de R.S.U. fueron Alemania (46.653 miles de ton.), Reino Unido (35.528), Francia (34.843), Italia (32.200) y España (25.532). Los que generaron mayor cantidad media por habitante fueron Irlanda (804 Kg), Chipre (745), Dinamarca (737), Malta (652) y Holanda (625).

De esos residuos generados en el año 2006, la cantidad depositada en vertederos en los países de UE-25 fue de 95.341 miles de toneladas, lo cual supone un 39,2% de los residuos producidos y una cantidad media de 206 Kg. por persona y año. Los países que depositaron mayor cantidad de

⁶ TWh: 1 terawatio hora = mil millones de kilowatios hora.

⁷ Véase *Environmental Data Centre on Waste*, dentro de *Environment and Energy* en la página web de Eurostat. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=3155,70491033,3155_70521316&dad=portal&schema=PORTAL

residuos en vertederos en 2006 fueron Reino Unido (21.335 miles de toneladas), Italia (16.700), España (12.645), Francia (12.098) y Polonia (8.987). En términos per capita: Chipre (652 Kg.), Malta (562), Holanda (562), Grecia (386) y Hungría (376).

Análogamente, 48.402 miles de toneladas de residuos fueron incinerados en UE-25 en 2006, lo cual supone un 19,9% de los residuos generados y una cantidad media de 104 Kg. por persona y año. Los países que incineraron mayor cantidad de R.S.U. fueron Alemania (14.783 miles de toneladas), Francia (11.515), Italia (3.800), Reino Unido (3.302) y Dinamarca (2.200). En cuanto a cantidad media por persona y año, los países con valores mayores fueron Dinamarca (405), Luxemburgo (266), Suecia (233), Holanda (213) y Francia (183). Hay bastantes países cuya cantidad de residuos incinerados fue nula en el año 2006: Irlanda, Grecia, Chipre, Lituania, Malta y Rumanía.

Por tanto, según los datos de Eurostat, el destino de los R.S.U. generados en los 25 países que componían la Unión Europea en el año 2006 fue: reciclaje y compostaje, 40,9%, vertido el 39,2% e incineración el 19,9%.

En este apartado se estudia la energía recuperada por incineración de los R.S.U. No todos los residuos que se incineran permiten la recuperación de energía. Por ejemplo, Francia, país líder en la recuperación de energía a partir de los R.S.U., dispone de 130 plantas de incineración de residuos, 18 de las cuales no recuperan la energía producida en la incineración. De hecho, al referirse a los posibles destinos de los R.S.U. algunos trabajos distinguen entre incineración con recuperación de energía e incineración sin recuperación. En las estadísticas de Eurostat no aparece tal distinción.

La producción de energía primaria procedente de incineración de R.S.U. en los 25 países de la UE-25 en el año 2007 fue de 6,14 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 5,78 en 2006, 5,14 en 2005 y 5,14 en 2004. Por tanto, el incremento anual de la producción fue del 0% en el año 2005, 12,45% en 2006 y 6,2% en 2007.

Los principales países de la Unión Europea productores de energía primaria recuperada de incineración de R.S.U. son (datos de 2007 de *EurObserv'ER*): Francia (1,142 Mtep), Alemania (1,069), Italia (0,886), Dinamarca (0,740), Holanda (0,650), Reino Unido (0,404) y España (0,325). Si se considera el indicador de producción per capita, el *ranking* es: Dinamarca (135,9 tep / 1000 habitantes), Holanda (39,7), Suecia (33,6), Luxemburgo (30,0), Francia (18,0) y Bélgica (17,5), ocupando Italia (15,0) el puesto número 8, Alemania (13,0) el 10 y España (7,3) el 12.

La producción de electricidad procedente de incineración de R.S.U. en los 25 países de la UE-25 en 2007 fue de 13,96 TWh. La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 12,92 en 2006, 11,71 en 2005 y 9,99 en 2004. Por tanto, el incremento anual de la producción fue del 17,22% en el año 2005, 10,33% en 2006 y 8,05% en 2007. La producción de electricidad en la UE a partir de esta fuente se realiza en plantas, algunas de las cuales sólo producen electricidad mientras que en otras se aprovecha la electricidad pero también el calor que se genera como producto secundario (cogeneración). En el año 2007 el 66,72% de la electricidad producida en la UE-25 procedente de incineración de R.S.U. tenía lugar en centrales de cogeneración. Algunos países del norte de Europa, como

Suecia, Noruega y Dinamarca, recuperan energía a partir de la incineración de residuos en forma de calor vía cogeneración, a lo cual ayuda el hecho de que en esos países existen numerosas redes centralizadas de calefacción urbana (*district heating*).

Dinamarca es el país de la UE con mayor implicación en la valorización energética de sus desechos. Cuenta con unas treinta plantas incineradoras. La cogeneración está muy desarrollada y también hay mucha presencia de sistemas de *district heating* en el país. Las plantas de cogeneración conectadas a la red eléctrica con anterioridad al 12 de abril de 2004 tienen un subsidio a su producción eléctrica, en una cantidad que varía entre 0,9 y 1,3 céntimos por kWh que se añade a los precios de mercado. La política sobre incineración de residuos en Dinamarca tiene una tradición de más de 100 años. En Dinamarca está prohibido el vertido de R.S.U. susceptibles de incineración. Por otra parte, todas las actividades de gestión y procesado de R.S.U. están sujetas al principio de no tener fines lucrativos.

Francia es el país que más energía primaria produce en términos absolutos en este apartado aunque ocupa el quinto lugar en producción per capita. Alemania es el segundo país productor de energía a partir de R.S.U., siendo el primero (por delante de Francia) en la cantidad de R.S.U. incinerados. Francia es el país que cuenta con mayor número de plantas incineradoras (130). En Francia, la electricidad producida a partir de residuos se beneficia de un precio de compra entre 4,5 y 5 céntimos por kWh más un bonus por eficiencia energética que varía entre 0 y 0,3 céntimos por kWh. El sector de incineración de residuos ha crecido mucho en Alemania en los últimos años, siendo muy grande su capaci-

dad de tratamiento, bastante mayor que la cantidad de residuos que genera. Este exceso de capacidad puede llevar al cierre de algunas plantas o a la importación de residuos, como ya ha ocurrido con la importación procedente de Italia.

3.3. Biogás

Se denomina metanización al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos. Dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno. Durante el proceso de transformación de la materia orgánica, llamado digestión, dichas bacterias producen un gas denominado por su origen biogás.

El biogás se obtiene a partir de distintos tipos de depósitos. Puede proceder de la metanización natural de los residuos sólidos urbanos depositados en los vertederos (desgasificación de vertederos) o puede ser producida en digestores anaeróbicos (metanización voluntaria). La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a excedentes de cosechas, cultivos energéticos, residuos agrícolas, residuos ganaderos (como purines o estiércol), lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales o efluentes industriales. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o conjunta (codigestión). El biogás resultante de aguas residuales urbanas y efluentes industriales generalmente es producido en las mismas plantas depuradoras. Los residuos agrícolas y ganaderos pueden ser tratados en pequeñas plantas de biogás a escala de granja o grupo de granjas.

La composición del biogás, dependiendo del sustrato y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente: 50-70% de me-

tano (CH_4), 30-40% de anhídrido carbónico (CO_2) y una cantidad inferior al 5% de hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y otros gases. El biogás puede tener diferentes usos: generación de calor y electricidad en una caldera, generación de electricidad en motores y turbinas, pilas de combustible previa realización de una limpieza de H_2S y otros contaminantes de las membranas, introducción en una red de transporte de gas natural previa purificación y agregación de los aditivos necesarios, material de base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como el metanol o el gas natural licuado y como combustible de automoción (IDAE, 2007d).

Según el CIEMAT, 1 m^3 de biogás (70% de CH_4 + 30% de CO_2) tiene un poder calorífico aproximado de 6.000 kcal y tiene la siguiente equivalencia con otras fuentes de energía: 0,8 l de gasolina, 0,6 m^3 de gas natural, 6,9 kWh de electricidad, 1,5 kg de madera, 0,71 l de fuel-oil, 0,3 kg de carbón, 1,2 l de alcohol combustible.

La producción de biogás en los países de la UE-25 en el año 2007 fue de 5,90 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 4,90 en 2006, 4,70 en 2005, 4,28 en 2004 y 3,91 en 2003. Por tanto, el incremento anual de la producción fue del 9,46% en el año 2004, 9,81% en 2005, 4,26% en 2006 y 20,41% en 2007.

La principal fuente de obtención de biogás en la UE-25 la constituyen los vertederos (49,2%), el 15,0% del biogás producido en 2007 procede de plantas de depuradoras de aguas residuales y el 35,7% de «otras fuentes», que son principalmente plantas de producción de biogás en unidades agrícolas y forestales (que son

las que más están creciendo en la UE en los últimos años).

Los principales países de la Unión Europea productores de biogás son (datos de 2007 de *EurObserv'ER*, en Mtep): Alemania (2,38), Reino Unido (1,62), Italia (0,41), España (0,33), Francia (0,31) y Holanda (0,17). Si se considera el indicador de producción per cápita (tep/1.000 hab.), el *ranking* es: Alemania (29,0), Reino Unido (26,7), Luxemburgo (21,0), Dinamarca (18,0), Austria (16,8), Holanda (10,6), ocupando España (7,4) el puesto número 10, Italia (6,9) el 12 y Francia (4,9) el 14.

La producción de electricidad procedente de biogás en los países de la UE-25 en 2007 fue de 19,94 TWh. La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 16,97 en 2006, 13,40 en 2005 y 12,80 en 2004. Por tanto, el incremento anual de la producción fue del 4,69% en el año 2005, 26,64% en 2006 y 17,50% en 2007. El 58,4% de la electricidad producida en la UE-25 procedente de biogás tenía lugar en centrales de cogeneración.

Alemania es el mayor productor de biogás en la UE, tanto en términos absolutos como en producción por habitante. En el año 2007, prácticamente se ha duplicado la cantidad que producía en 2003. El 71,2% de su producción procede de pequeñas unidades de metanización ubicadas en granjas (3.750 a finales del año 2007), que se han beneficiado de distintos sistemas de incentivos, como la posibilidad de recibir una subvención de 15.000 euros por instalación de unidades de metanización con capacidades menores de 70 kW_e y la posibilidad de suscribir préstamos con tipos de interés bajos. En 2009 la prima por electricidad producida desde el biogás de origen agrícola subirá de 6 a 7 c/kWh, a

lo que debe añadirse otra prima para unidades de producción que utilicen más del 30% de estiércol u otra prima si el residuo principal procede de la limpieza de espacios naturales verdes y otra prima por co-generación. Alemania se fija como objetivo reemplazar el 10% de gas natural por biogás en el año 2030.

En el Reino Unido, en el año 2007, el 88,2% del biogás procede de vertederos. En el Reino Unido funciona desde el año 2002 el sistema de certificados verdes para promocionar las energías renovables. Este sistema exige a las compañías eléctricas incrementar cada año el porcentaje de electricidad procedente de fuentes renovables (desde el 3% en 2002-2003, 7,9% en 2006-2007, 10,4% en 2010, hasta el 15,4% en 2015). Durante el período 2006/2007 el biogás procedente de vertederos fue la principal fuente de energía renovable que se benefició del sistema, con el 28% del total de certificados verdes presentados, algo más que la energía eólica.

3.4. Biocarburantes

Llamamos biocarburantes a los combustibles líquidos de origen biológico que por sus características físico-químicas resultan adecuados para sustituir a la gasolina o al gasóleo, bien sea de manera total, en mezcla con estos últimos o como aditivo (IDAE, 2006).

Los biocarburantes más utilizados en la actualidad son el bioetanol, que sustituye a la gasolina, y el biodiésel, que sustituye al gasóleo. El bioetanol se obtiene mediante la fermentación de los azúcares presentes en plantas como la caña de azúcar o la remolacha, o mediante la hidrólisis y la fermentación del almidón obtenido del maíz y

otros cereales. El biodiésel se obtiene tras someter a los aceites vegetales (soja, palma, girasol o colza, principalmente) a un proceso industrial de transesterificación. La mayor parte del biodiésel y cerca de un 80% del bioetanol producidos en el mundo se utilizan como combustibles para transporte. El resto sirve como insumo en la fabricación de bebidas alcohólicas y en otras industrias como la farmacéutica (Alonso, 2008).

En realidad, la práctica reserva los términos de bioetanol y biodiésel para las aplicaciones energéticas. Cuando tales productos se emplean en otros sectores se habla normalmente de etanol y ésteres metílicos, respectivamente.

El sector del transporte consume un 30% de toda la energía utilizada en el mundo. Esta cifra se eleva en la Unión Europea al 32% y en España al 39% (IDAE, 2006). Por otra parte, en el informe de la Comisión de la UE sobre la evolución de los biocarburantes, del 10 de enero de 2007, se destaca la simulación realizada a partir del modelo PRIMES, según la cual entre 2005 y 2020 en los países de la UE-25 el aumento medio anual de emisiones de CO₂ se estima en 126 Mt, de las que 77 (es decir, el 61,11%) proceden del transporte. En dicho informe se destaca cómo con la promoción de los biocarburantes en la UE se pretende mejorar la seguridad en el suministro energético y contribuir a la lucha contra el cambio climático.

Tal como señala Alonso (2008), un litro de bioetanol contiene dos tercios de la energía de un litro de gasolina, pero a cambio tiene un mayor octanaje y presenta propiedades oxigenantes (contribuyendo a mejorar la potencia y el proceso de combustión interna del motor), lo que permite reducir el

volumen de emisiones contaminantes. En climas fríos el bioetanol puede presentar problemas de mezcla con la gasolina y, debido a sus propiedades corrosivas, los motores convencionales deben ser modificados para funcionar adecuadamente con mezclas superiores al 10%. El biodiésel contiene un 90% de la energía de un litro de gasóleo convencional, contribuye a mejorar el rendimiento del motor y es sensible a bajas temperaturas.

El consumo de biocarburantes destinados al transporte en los países de la UE-25 en el año 2007 fue de 7,58 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 5,60 en 2006, 2,99 en 2005 y 1,93 en 2004. Por tanto, el incremento anual del consumo fue del 54,92% en el año 2005, 87,29% en 2006 y 35,36% en 2007. En el año 2007, el total del consumo de biocarburantes para el transporte en la UE-25 se repartió de siguiente modo (por su contenido energético): biodiésel 75,0%, bioetanol 15,2% y otros aceites vegetales 9,8%.

Los principales países de la Unión Europea consumidores de biocarburantes destinados al transporte son (datos de 2007 de *EurObserv'ER* en Mtep): Alemania (4,00), Francia (1,43), Austria (0,39), España (0,37), Reino Unido (0,35) y Suecia (0,28). Obsérvese que Alemania consumió en 2007 más del 50% del total en la UE-25.

Según la EBB (*European Biodiesel Board*), que agrupa a los mayores productores de biodiésel de la UE, la producción de biodiésel en la UE-25 fue de 5,67 Mtep en el año 2007, un 16,19% más que en 2006. Los países que están a la cabeza en este apartado son: Alemania (2,89), Francia (0,87), Italia (0,36), Austria (0,27), Portugal (0,18) y España (0,17). En cuanto a la pro-

ducción de bioetanol, cada una de las dos asociaciones representando a las empresas europeas del sector ha presentado su propia estimación de la producción. La UEPA (*European Union of Etanol Producers*) estima que la producción de bioetanol, como carburante, en la UE 25 fue en 2007 de 1.708 millones de litros (13,25% más que en 2006), siendo los principales países productores Francia (550 millones de litros), Alemania (399), España (383), Polonia (120) y Suecia (70). La EBIO (*European Bioethanol Fuel Association*) por su parte estima que tal producción en la UE-25 fue de 1.771 millones de litros (11,17% más que en 2006), siendo los principales países productores Francia (578 millones de litros), Alemania (394), España (348), Polonia (155) y Suecia (70)⁸.

Los dos países de la UE para los que la contribución de los biocarburantes sobre el total de carburantes utilizados en locomoción fue más importante en 2005 fueron Alemania (3,75%) y Suecia (2,23%). En ninguno de los demás países la contribución llegó al 1%, que fue la media en la UE. Ambos países promueven tanto los biocarburantes puros o con mezclas tanto altas como bajas compatibles con los actuales sistemas de distribución y con los motores usuales, y tienen también exenciones fiscales para biocarburantes, sin límites a la cantidad sujeta a las mismas. Ambos países han combinado la producción doméstica con las importaciones (desde Brasil en el caso de Suecia y desde otros Estados miembros en el caso de Alemania). Los dos países llevan a cabo importantes programas de investigación en biocarburantes y han tratado a los combustibles de primera

⁸ Todos los datos que aparecen en este párrafo se han obtenido del Biofuels Barometer de *EurObserv'ER* correspondiente a Junio de 2008.

generación como un puente hacia los de segunda generación. En los años 2005 y 2006 varios países han puesto en marcha obligaciones sobre biocarburantes, consistentes en instrumentos legales que exigen a los abastecedores de combustibles incluir determinado porcentaje de biocarburantes sobre el total de carburantes que ponen en el mercado. Algunos países están utilizando las obligaciones como un complemento a las exenciones fiscales, otros como una alternativa.

La política europea de fomento del uso de biocarburantes es posiblemente la que ha generado mayor polémica, tanto en los medios de comunicación como en la literatura científica (Eickout *et al.*, 2008), llegando incluso al propio Parlamento Europeo (AFP, 2008). Esta polémica tiene origen, especialmente, en el ya conocido debate «alimentos *versus* carburantes» (Ignaciuk *et al.*, 2006). Aunque también se destacan otras potenciales consecuencias de la producción masiva de biocarburantes: la deforestación (Righelato y Spacklen, 2007; Searchinger *et al.*, 2008), la reducción de la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos (Moriarty y Honnery, 2007), e incluso se cuestionan los beneficios de los biocarburantes en cuanto a la reducción de GEI (Edwards *et al.*, 2008; Searchinger *et al.*, 2008). No obstante, cabe destacar que la mayor parte de los inconvenientes asociados a los biocarburantes se refieren a los de primera generación (BPG), que se elaboran a partir de materias primas cultivadas en terrenos agrícolas. En cambio, las materias primas a partir de las que se obtendrían biocarburantes de segunda generación (BSG) pueden producirse en tierras agrícolas marginales e incluso en las tierras forestales, y en su elaboración se utilizan, principalmente, materias primas no alimentarias.

Merecen ser destacados los trabajos realizados por España por el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). En CIEMAT (2005) se realiza un análisis comparativo del etanol de cereales y de la gasolina. El objetivo del estudio es la evaluación y cuantificación de los impactos en el cambio climático y en el consumo de energía de los procesos de producción y uso de diferentes mezclas de bioetanol en comparación con la gasolina, analizando además las oportunidades para reducir dichos impactos ambientales a lo largo de la vida mediante el método ACV (Análisis de Ciclo de Vida). En CIEMAT (2006) se realiza un estudio similar, comparando el biodiésel y el diésel. Las principales conclusiones que obtienen son las siguientes: a) El balance energético de la producción de las mezclas estudiadas es tanto mejor cuanto mayor es el contenido de biocarburante en la mezcla. b) Las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero son tanto menores cuanto mayor es el contenido de biocarburante en la mezcla. c) Se identifican áreas de mejora como reducir el consumo de fertilizantes, reducir las labores culturales, optimizar el sistema de recogida de aceite para minimizar el número de viajes y maximizar la carga de los vehículos, etc. Otros documentos interesantes del CIEMAT son Varela y Sáez (2007) sobre estimación de costes de reducción del CO₂ por la utilización de biocarburantes, y Varela *et al.* (2006) sobre análisis económico y ambiental de ciclo de vida de biocarburantes en Europa.

En Julio de 2008 la *Renewable Fuels Agency* ha publicado el Informe Gallagher sobre los efectos indirectos de la producción de biocarburantes. En dicho informe, preparado para el gobierno del Reino Unido,

han participado gran cantidad de expertos y de instituciones y ha venido precedido de importantes debates y seminarios en diferentes lugares del mundo. La finalidad del Informe Gallagher ha sido examinar la escala de los efectos indirectos de la producción actual de biocarburantes, que se pueden producir por el cambio de uso de tierra agrícola y sus posibles efectos en el aumento de emisiones de los gases de efecto invernadero, y proponer soluciones. Se propone, entre otras cosas, que se debe evitar el cultivo de biocarburantes en tierras agrícolas que en otro caso serían dedicadas a la producción de alimentos. También se propone ralentizar la introducción de biocarburantes hasta que se hayan instaurado controles adecuados y se conozcan bien tales efectos indirectos. Asimismo, tal ralentización reduciría el impacto de los biocarburantes sobre los precios de los alimentos (sobre todo de semillas oleaginosas). El informe presenta algunos temas sobre los que existe un gran desconocimiento o incertidumbre y señala líneas interesantes de investigación para realizar en este campo.

Otros informes recientes de interés sobre el tema son los de Intermón-Oxfam (2008), OECD (2008), Rajagopal y Zilberman (Banco Mundial) (2007), Lee, Clark y Devereaux (2008), Edwards *et al.* (de la Comisión Europea) (2008) y Eickhout *et al.* (2008). Y en España, la publicación del IDAE (2006) y el artículo de Fernández (2008).

4. CONTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LOS CULTIVOS BIOENERGÉTICOS A LA POLÍTICA CLIMÁTICA DE LA UNIÓN EUROPEA

Tal como señala la Agencia Ambiental Europea (EEA), el aumento de la bioenergía

ofrece oportunidades significativas para Europa para reducir las emisiones de GEI y para mejorar la seguridad en el suministro de energía, aunque ello pudiera dar lugar a presiones ambientales significativas sobre las tierras de cultivo o sobre la biodiversidad biológica así como sobre el suelo y el agua. Por ello es importante preguntarse cuánta bioenergía puede producirse en Europa sin generar una presión excesiva sobre el medio ambiente y los recursos naturales y cómo puede contribuir la misma a la política climática europea.

El potencial técnico para producir cultivos bioenergéticos en Europa parece ser relevante, aunque hay que decir que las diferentes estimaciones de este potencial están fuertemente influenciadas por los supuestos que se hagan con respecto a la tierra disponible, los rendimientos de los cultivos y el grado de desarrollo tecnológico (Vries *et al.*, 2007). El cuadro n.º 1 muestra un resumen de las principales características y resultados de estudios recientes que analizan el potencial de los cultivos bioenergéticos (incluidos los destinados a la producción de biocarburantes) en Europa. Este cuadro muestra el periodo temporal cubierto por estos estudios, la demanda de tierra para la producción de cultivos bioenergéticos, el tipo de cultivos que se presume van a destinarse a la producción de biocarburantes u otros tipos de energía, los rendimientos energéticos medios y el potencial de ahorro de emisiones de carbono que se estima pueden generar estos cultivos. Debido a que la concepción geográfica de Europa difiere entre los estudios considerados, sus resultados en términos de demanda de tierra y producción de energía han sido recalculados considerando una base territorial común: la Europa de los 25 (UE-25).

Cuadro n.º 1

Estudios que analizan el potencial energético y de ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de los cultivos energéticos en la UE-25⁽¹⁾

| Referencia | Demanda de tierra (millones de ha) en la UE-25 | Características de los cultivos bioenergéticos | | Rendimientos energéticos t GJ ha ⁻¹ año ⁻¹ | Potencial estimado | | Horizonte temporal | Comentarios |
|------------------------------|---|---|--|---|----------------------|---|-----------------------|--|
| | | Combustibles líquidos o sólidos | Materia prima | | EJ año ⁻¹ | Mt CO ₂ año ⁻¹ (4) | | |
| EEA (2007) | 13,94 | Bioetanol | Trigo, maíz, triticale, etc. | 102-203 | 0,8 | ~19 | 2010 | Producción de cultivos bioenergéticos compatibles con la protección ambiental en la UE-25 |
| | 17,95 | Biodiesel | Colza, girasol, etc | 66,3 | 1,1 | ~57 | 2020 | |
| | 20,16 | Etanol lignocelulósico | <i>Miscanthus</i> , <i>switch grass</i> Fermentación paja y almidón | 162 171-266 | 0,8 | ~42 | 2030 | |
| Ericsson y Nilsson (2006) | 10,6 26,7 | Biogás SRC ⁽²⁾ | Especies herbáceas Chopo, sauce, etc. | ~114-129 ⁽³⁾ 137-177 | 1,1 2,9 5,1 | ~76 ~194 ~347 | 2010 2020 2030 | Producción potencial de biomasa en la UE-27 utilizando los escenarios de uso del suelo y rendimientos energético 1, 2a and 2.b |
| | | | Cultivos bioenergéticos sin especificar especies | 5,2-8,4 odt ha ⁻¹ año ⁻¹ (2) | 1,5 3,9-5,0 | ~101 ~272- 345 | 10-20 20-40 | |
| | | | Trigo, patata, remolacha, colza, girasol | 46-150,5 (EU-15) 25,3-48,3 (EU-15) | 0,25-0,76 | ~4,5-12 | 2005-2010 | |
| Kavalov (2004) | ~7-22 (5-27% de la tierra arable) | Bioetanol Biodiesel | Trigo, patata, remolacha, colza, girasol | 46-150,5 (EU-15) 25,3-48,3 (EU-15) | 0,25-0,76 | ~4,5-12 | 2005-2010 | Potencial técnico actual y potencial en la UE-25 |
| Smeets et al. (2007) | ~13,6 (excedente de tierra agrícola potencial) | Biomasa leñosa (para calefacción, electricidad y biocarburantes) | Chopo, sauce, eucalipto, <i>miscanthus</i> | 380-665 (20-35 odt ha ⁻¹ año ⁻¹ · 19 GJ t ⁻¹ odt) | ~6,8 | ~469 | 2050 | Sistemas de producción animal mixta (Sistema 1) en Europa occidental y del este |

.../...

Cuadro n.º 1 (continuación)

Estudios que analizan el potencial energético y de ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de los cultivos energéticos en la UE-25⁽¹⁾

| Referencia | Demanda de tierra (millones de ha) en la UE-25 | Características de los cultivos bioenergéticos | | Rendimientos energéticos t GJ ha ⁻¹ año ⁻¹ | Potencial estimado | | Horizonte temporal | Comentarios |
|-------------------------------|--|---|--|--|------------------------|---|-----------------------|---|
| | | Combustibles líquidos o sólidos | Materia prima | | EJ año ⁻¹ | Mt CO ₂ año ⁻¹ (4) | | |
| Sims <i>et al.</i> (2006) | ~6,6-18,3 | Generación de electricidad | Diferentes cultivos bioenergéticos | (4-12 odt ha ⁻¹ año ⁻¹ · 7,4 GJ t ⁻¹ odt o 12,95 GJ t ⁻¹ odt) | 0,20-1,63 0,34-2,84 | 12-94 (carbon equiv.) | 2025 | Escenarios del IPCC/SRES en Europa occidental y del este |
| Vries <i>et al.</i> (2007) | no disponible (para Europa) | Combustibles líquidos (etanol y Fisher-Tropsch diesel) | Biomasa leñosa (SRC), maíz y caña de azúcar | 150 (media) (10 ton ha ⁻¹ año ⁻¹ valor calorífico bajo (15 GJ t ⁻¹) | ~7,2-11,5 | ~363- 580 | 2050 | Escenarios del IPCC/SRES A1 y A2 en Europa Occidental y del Este. Potencial económico de los biocarburantes para: <\$15 GJ ⁻¹ |

⁽¹⁾ Las estimaciones de demanda de tierra y de los potenciales energético y de ahorro de emisiones GEI de aquellos estudios que consideran una extensión territorial de Europa mayor a la de la UE-25, han sido recalculados para la UE-25 (Ovando y Caparrós, 2008). ⁽²⁾ Abreviaturas: SRC se refiere a cultivos leñosos de manejo en monte bajo (por su siglas en inglés short rotation coppices); odt se refiere a toneladas de materia seca (por sus siglas en inglés *oven dry tonnes*). ⁽³⁾ La EEA (2007) asume un potencial para el biogás de 21,6 MJ/m³ y una densidad de 0,67 m³/kg (peso seco), los rendimientos energéticos por ha corresponden a estimaciones propias que consideran el potencial energético de los cultivos destinados a la producción de biogás referidos por la EEA (2007). ⁽⁴⁾ Estimaciones propias considerando el potencial de ahorro de emisiones de GEI de los diferentes tipos de biocarburantes (bioetanol, biodiesel, etanol de celulosa) (IEA, 2004; Edwards *et al.*, 2007) y las emisiones de CO₂ por MJ estimadas por Sims *et al.* (2006) para diferentes combustibles fósiles (gasolina, diesel, gas natural, etc.). Se asume que la biomasa de los SRC se utiliza para la calefacción en sustitución del gasóleo.

Fuente: Elaboración propia.

Las estimaciones de demanda de tierra y la cantidad de energía que puede obtenerse de los cultivos bioenergéticos presentan variaciones considerables entre los estudios presentados en el cuadro n.º 1. Considerando una serie de criterios ambientales⁹ en línea con los establecidos por la UE para la producción doméstica de biocarburantes, la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2007) estima que en 2020 una superficie cercana a las 13,4 Mha puede estar disponible para producir cultivos bioenergéticos en la UE-25. Este estudio estima que adicionalmente unas 4,5 Mha de pastizal y olivares podrían utilizarse para la producción de biomasa, si bien la conservación de estos terrenos en su uso actual puede ser también un objetivo político (EEA, 2007; Smeets *et al.*, 2007). Otros estudios consideran que superficies sustancialmente mayores (>30 Mha) podrían destinarse a la producción de cultivos bioenergéticos (Faaij, 2006; Smeets *et al.*, 2007¹⁰).

Actualmente no existe una respuesta clara sobre el grado de potencial de los biocarburantes para sustituir a los combustibles fósiles en el sector del transporte. La respuesta a si es posible o no cumplir con el objetivo del 10% de biocarburantes en el sector del transporte en 2020, haciendo uso exclusivo de materias primas producidas en la UE, depende en gran medida del

desarrollo a escala comercial de los biocarburantes de segunda generación (BSG). Los biocarburantes de primera generación (BPG), el bioetanol y el biodiesel, son combustibles que ya están disponibles en el mercado (Kavalov, 2004). No ocurre lo mismo con las tecnologías de BSG, como el procesamiento de etanol lignocelulósico o la conversión de biomasa a combustibles líquidos (Sims *et al.*, 2006). Otra diferencia importante entre los BPG y los BSG tiene que ver con el mayor inconveniente de los biocarburantes: la competencia con la producción de alimentos, que es aplicable al primer grupo, pero, como se ha mencionado antes, no necesariamente al segundo.

El gráfico n.º 1 puede darnos una idea de la potencial contribución de la producción doméstica de cultivos bioenergéticos al cumplimiento del objetivo del 20% de energías renovables y del 10% de biocarburantes de la UE en 2020. Atendiendo a los estudios del gráfico n.º 1, la producción de cultivos energéticos¹¹ podría aportar entre un 22% y un 42% del objetivo de energía procedente de fuentes renovables en la UE en 2020, aunque en este punto cabe recordar, que básicamente todos los estudios presentados en el gráfico n.º 1 asumen que en 2020 los BSG estarán disponibles a escala comercial. Si esto se cumple, el objetivo de biocarburantes de la UE puede lograrse dependiendo exclusivamente de la producción doméstica de materias primas, aunque habría que estimar si esta energía puede producirse con costes competitivos¹².

⁹ Destinar un 30% de la tierra arable a sistemas de producción agrícola compatibles con la protección ambiental, mantener las tierras agrícolas y pastizales que se encuentran en la actualidad en régimen de producción extensivo y los olivares y praderas, y retirar de la producción agrícola intensiva el 3% de las tierras con propósitos conservacionistas.

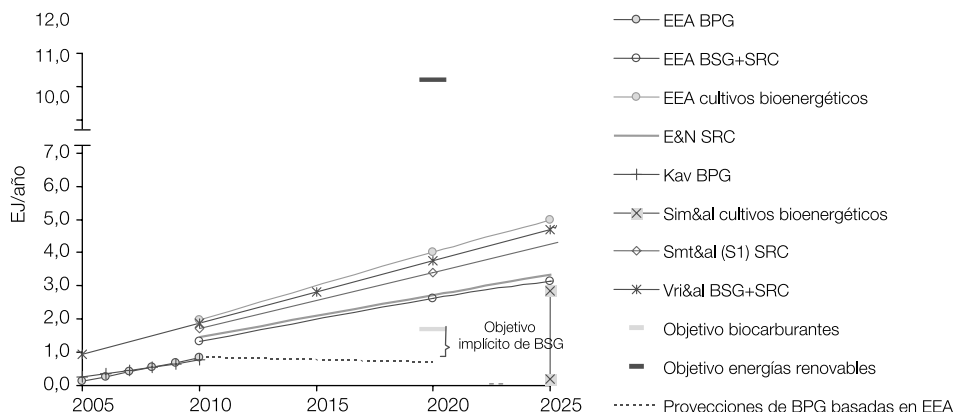
¹⁰ En el cuadro n.º 1 se presentan las estimaciones más conservadoras de Smeets *et al.* (2007). Estos autores analizan otros escenarios de producción de biocarburantes, asociados a sistemas de producción ganadera y agrícola más intensivos, que en principio supondrían que una mayor superficie de tierra esté disponible para la producción de energía.

¹¹ En este caso se consideran los cultivos bioenergéticos en general, los que pueden destinarse a la producción de biocarburantes o a otras formas de energía (Cuadro n.º 1).

¹² Aunque la producción doméstica sea factible, el mercado puede favorecer las importaciones de materias primas o directamente biocarburantes.

Gráfico n.º 1

Contribución potencial de los cultivos bioenergéticos a los objetivos de energías renovables y de biocarburantes de la UE-25 en 2020



Notas: La línea gruesa oscura indica el objetivo del 20% en energías renovables, en tanto que la línea gruesa clara el objetivo de biocarburantes del 10%, ambos para 2020 en la UE. Estas líneas se dibujan considerando las predicciones de consumo de energía final de Mantzos y Capros (2006) en la UE-25 en 2020. Esta figura muestra la contribución potencial, en términos energéticos (EJ año⁻¹), que diferentes estudios estiman procederá de cultivos bioenergéticos en Europa, así mismo el objetivo implícito para los biocarburantes de segunda generación estimado.

Abreviaturas: BPG: biocarburantes de primera generación; BSG: biocarburantes de segunda generación; EEA: *European Environmental Agency* (2007). E&N: Ericsson y Nilsson (2006); Kav: Kavalov (2004); Sim&al: Sims *et al.* (2006); Smt&al (S1): Smeets *et al.* (2007) (sistema de producción animal 1); SRC: *short rotation coppices*; Vr&al: Vris *et al.* (2007).

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, como muestra la línea discontinua del gráfico n.º 1 (basada en nuestras propias estimaciones a partir de datos de la EEA sobre la contribución potencial de los BPG¹³), en caso de que los BSG no se encuentren completamente operativos en 2020, el objetivo de biocarburantes no podrá ser al-

canzado dependiendo exclusivamente de la producción doméstica. De hecho, la demanda de tierras para lograr el objetivo de los biocarburantes con tecnologías BPG, prácticamente dobla la necesidad de tierras si este fuera a cumplirse con tecnologías BSG¹⁴.

¹³ Nuestras proyecciones de potencial contribución de los BPG al objetivo de biocarburantes de 2020 se basan en las estimaciones de la superficie de terreno y los rendimientos energéticos medios (GJ por ha) de la EEA (2007) para cultivos de los que puede obtenerse bioetanol y etanol lignocelulósico (ELC) en 2020. En este caso, se asume que la tecnología del ELC no está operativa en 2020, y que por tanto, la superficie que en principio sería destinada a los cultivos de ELC, se utiliza para la producción de bioetanol, cuyo rendimiento energético es inferior al del ELC.

¹⁴ Basados en las estimaciones de rendimientos de energías de los BPG de la EEA (2007), se estima que para producir la misma cantidad de energía los BPG requieren más del doble de tierra que los BSG. El objetivo implícito de los BSG se estima suponiendo que toda la tierra apta para la producción de cultivos bioenergéticos herbáceos (la superficie que la EEA (2007) supone se utilizará para producir bioetanol, biodiesel y bioetanol lignocelulósico) se destine a producir BPG, en cuyo caso sólo puede producirse una cantidad de energía equivalente al 40% del objetivo de biocarburantes fijado por la UE.

Asumiendo que el objetivo de biocarburantes debe alcanzarse básicamente con la producción doméstica, el 10% de biocarburantes en el sector transporte tendría un objetivo implícito de los BSG del 6% (la parte de ese 10% que no puede lograrse con los BPG). Dados los problemas asociados a los BPG y ante el riesgo de que la opinión pública interprete que estos problemas son comunes a todos los tipos de biocarburantes, sería conveniente definir un objetivo basado exclusivamente en los BSG (e.g. el actual objetivo implícito) y limitar o incluso eliminar la participación de los BPG en el objetivo de la UE.

En cuanto a la reducción de emisiones de GEI, cabe destacar que hoy en día, los únicos biocarburantes que parecen producir un ahorro de emisiones (considerando los efectos indirectos) son el bioetanol de caña de azúcar producido en Brasil, el biogás comprimido y los biocarburantes de segunda generación (IEA, 2004). Las emisiones indirectas totales (i.e. a través de cambios de uso del suelo) relacionados a los BPG producidos en la UE pueden potencialmente ser superiores a las emisiones mitigadas con la sustitución de combustibles fósiles por estas fuente energéticas (Edwards *et al.*, 2008). Por lo que el papel de la bioenergía en la reducción de GEI depende, nuevamente, de que los BSG estén disponibles en el mercado.

En el gráfico n.º 2 se muestra una estimación de la contribución potencial de los cultivos bioenergéticos a los objetivos de reducción de emisiones de la UE en 2020 (el 20% o 30%). Este potencial se estima considerando las estimaciones de ahorro de emisiones de GEI de Edwards *et al.* (2007)¹⁵ y las emisiones de CO₂ por MJ de

los combustibles fósiles que los biocarburantes sustituyen (Sims *et al.*, 2006). Esta figura presenta dos estimaciones del potencial de reducción de emisiones GEI: (a) la contribución media de los cultivos bioenergéticos al objetivo europeo de reducción de emisiones GEI en 2020, obtenida a partir de los datos aportados por Ovando y Caparrós (2008) sobre varios estudios recientes del tema; y (b) una estimación basada únicamente en los estudios que ofrecen estimaciones más conservadoras (aquellas incluidas en el gráfico n.º 1)¹⁶.

Dicho ésto, se estima que los cultivos bioenergéticos podrían ser responsables de al menos un 14% del objetivo de reducción de emisiones GEI en la UE, en caso de que esta región lleve a cabo un programa unilateral de reducción de emisiones (objetivo del 20%); y un 10% si los acuerdos internacionales sobre cambio climático prosperan (objetivo del 30%) Aunque hay que destacar que aún los estudios más conservadores asumen que las tecnologías BSG estarán disponible a escala comercial en 2020.

5. CONCLUSIONES

La política energética es un elemento crucial en la estrategia global de la UE sobre cambio climático. Según datos de Eurostat,

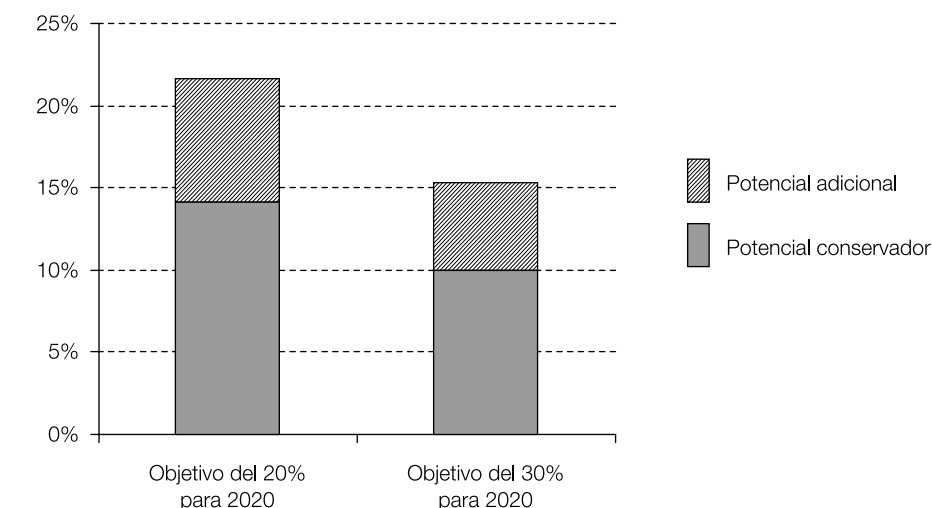
combustible: *wel-to-wheel analysis*) un ahorro de emisiones de CO₂ equivalente próximo al 30%, en tanto que, el biodiesel de colza genera un ahorro de emisiones que oscila entre el 40% y el 43% (Edwards *et al.*, 2007). Los biocarburantes de segunda generación, como el etanol producido a partir de celulosa, podría generar ahorros de emisiones entre 70% a 90%, e inclusive mayores al 100% si la absorción de CO₂ por el uso de estos biocarburantes (IEA, 2004; COM, 2007).

¹⁶ Para la construcción del gráfico n.º 1 se asume que la contribución energética de los cultivos bioenergéticos estimada por Vries *et al.* (2007) y por Smeets *et al.* (2007) para el periodo 2050 crece de forma lineal en el periodo 2000-2050.

¹⁵ El bioetanol convencional que se produce en Europa, implica (considerando el ciclo de vida de este

Gráfico n.º 2

Contribución potencial de la expansión de la superficie forestal y de los cultivos bioenergéticos al objetivo de reducción de las emisiones GEI en la UE para 2020



Fuente: Elaboración propia.

en el año 2005, el 8,5% del consumo total de energía primaria en los países de la UE-27, procedió de energías renovables, entre las cuales la que tiene mayor peso (el 67,8%) es la bioenergía (que comprende la biomasa sólida, la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos, biogás y los biocarburantes). La bioenergía, además, es la única de las energías renovables apta para utilizarse en las tres posibles aplicaciones: generación de electricidad, uso térmico y combustible para el transporte.

El Plan de Acción de la Biomasa (Comisión Europea, diciembre de 2005), presenta un escenario sobre producción de bioenergía en la UE para 2010 de 149 Mtep, compatible con los objetivos del 12% de ener-

gías renovables, el 21% de la generación de electricidad mediante fuentes renovables y el 5,75% en la participación de los biocarburantes en el consumo energético del transporte. *EurObserv'ER* sigue la evolución de la producción de cada una de las fuentes de energía renovable en la UE y, con los datos disponibles, realiza cada año una estimación de la producción de energía en la UE en 2010. Según su última estimación, y utilizando todos los datos disponibles hasta finales del 2006, se proyecta una producción (en Mtep) para 2010 de 74,5 en biomasa sólida, 6,6 en energía procedente de incineración de residuos sólidos urbanos, 8,1 de biogás y 16,1 de biocarburantes, lo que suma la cantidad de 105,3 Mtep, y por tanto no llega al objetivo de los 149 Mtep.

En su proyección sobre consumo de biocarburantes, utilizando datos hasta finales de 2007 estiman que para 2010 tal consumo supondrá el 5,8%, por encima del objetivo indicativo del 5,75% en la participación de los biocarburantes en el consumo energético del transporte.

A diferencia de los objetivos indicativos del libro Blanco o del Plan de Acción de la Biomasa, en la propuesta que ha presentado la Comisión Europea (en enero del 2008) para una directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la promoción del uso de energía de fuentes renovables, para cada uno de los 27 países de la Unión se establece un objetivo vinculante sobre qué porcentaje mínimo del consumo final de energía debe proceder de fuentes renovables en el año 2020. Tal porcentaje varía de unos países a otros, en un rango que va desde el 10% hasta el 49%, siendo el nivel global que se debe alcanzar en el conjunto de la UE del 20%. Asimismo se establece para cada Estado miembro como objetivo mínimo vinculante que el 10% del consumo final de energía en transporte en 2020 debe proceder de fuentes renovables (fundamentalmente biocarburantes).

En el artículo se presenta la situación actual de cada una de las fuentes de las que se obtiene bioenergía en la UE, señalando en cada caso cuáles son los países que están desempeñando un papel más importante. Hay que destacar el hecho de que en todos los casos, cuando un país es líder en alguna de estas fuentes de energía renovable, en dicho país existen medidas concretas de promoción de su producción y consumo, mediante incentivos adecuados.

La contribución potencial de los biocarburantes a los objetivos de reducción de emisiones GEI y la posibilidad de lograr el objetivo del 10% en la participación de los biocarburantes en el sector transporte, depende de manera significativa de que los biocarburantes de segunda generación se encuentren disponibles en 2020, a una escala que permita su comercialización masiva. De hecho, el cumplimiento del objetivo de biocarburantes en la UE (atendiendo exclusivamente a la producción doméstica) es solo factible si se cumple la condición anterior. No obstante, dado que la mayor parte de los inconvenientes asociados a los biocarburantes se refieren a los de primera generación, sería deseable y probablemente más adecuado que el objetivo de un porcentaje de participación de biocarburantes en el sector transporte sólo se aplicara a los biocarburantes de segunda generación.

Los cultivos bioenergéticos pueden contribuir significativamente al objetivo de reducción de emisiones GEI de la Unión Europea en 2020, aunque su implantación completa puede implicar cambios relevantes en los patrones de uso del suelo. En economías orientadas al mercado, este tipo de cambios de uso del suelo debe promoverse definiendo incentivos adecuados, de modo que se eviten efectos negativos sobre los valores paisajísticos y de conservación de la biodiversidad de un territorio. Así mismo, los incentivos deben promover aquellos cultivos que producen mayores beneficios en términos de ahorro de emisiones GEI, a la vez que deben evitar la generación de grandes distorsiones en los mercados de alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFP (STRASBOURG) (2008): «EU parliament calls for more research into impact of biofuels». Miércoles 21 de mayo.
- ALONSO, T. (2008): «Presente y futuro de los biocarburantes». *Claves de la economía mundial 08*. Instituto Complutense de Estudios Internacionales (ICEI) e Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX), 38-47.
- AVEDILLO, M. (2007). «Una política europea para el cambio climático». *Desarrollo sostenible y cambio climático: economía y sociedad*. Federación de Cajas de Ahorros Vasco-Navarras, 203-212.
- CAPARRÓS, A. Y JACQUEMONT, F. (2003): «Conflicts between biodiversity and carbon offset programs: economic and legal implications». *Ecological Economics*, 46: 143-157.
- CIEMAT (2005): «Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte.Fase I: Análisis de ciclo de vida comparativo del Etanol de cereales y de la Gasolina». *Energía y Cambio Climático*. CIEMAT, Madrid.
- 2006: «Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte. Fase II: Análisis de ciclo de vida comparativo del Biodiésel y del Diésel». *Energía y Cambio Climático*. CIEMAT, Madrid.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (COM) (2005): *Biomass action plan*. COM(2005) 628 final, Bruselas, 7.12.2005.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (COM) (2006): *Green Paper. A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy*. 105 final, Bruselas, 8.3.2006.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (COM) (2007): *Biofuels Progress Report. Report on the progress made in the use of biofuels and other renewable fuels in the Member States of the European Union*, 845 final, Bruselas, 10.1.2007.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (COM) (2008): *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources in the Member States of the European Union*. 19 final, Bruselas, 23.1.2008.
- EDWARDS, R.; LARIVE, J.F. ; MAHIEU, V. Y ROUVEIROLLES, P. (2007): *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power trains in the European context*. Versión 2c, March. WTW Report 010307.doc. Joint Research Centre, European Commission, Eucar and Concawe.
- EDWARDS, R.; SZEKERES, S.; NEUWAHL, F. Y MAHIERU, V. (2008): *Biofuels in the European Context. Facts and Uncertainties*. Joint Research Centre, European Commission.
- EICKHOUT, B.;VAN DEN BORN, G.J.; NOTENBOOM, J.; VAN OORSCHOT, M.; ROS, J.P.M.; VAN VUUREN, D.P. Y WESTHOEK, H.J. (2008): *Local and global consequences of the EU renewable directive for biofuels. Testing the sustainability criteria*. Agencia holandesa de valoración ambiental. MNP Report 500143001.
- ERICSSON, K. Y NILSSON, L.J. (2006): *Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach*. Biomass and Bioenergy 30, 1-15.
- EUROPEAN COMMUNITIES (2007): *Renewables make the difference*. Directorate General for Energy and Transport.
- EUROPEAN COUNCIL (Ec) (2008): *Plans for 2020 by 2020*. Europe's climate change opportunity. COM (2008) 3 final, Bruselas.
- 2008: *Impact Assessment. Document accompanying the Package of Implementation measure for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020*. SEC 85/3 final, Bruselas.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA) (2007): «Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture». EEA Technical Report No 12/2007.
- FAAIJ, P. C. A. (2006). *Bio-energy in Europe: changing technology choices*. Energy Policy 34: 322-342.
- FAGERNÄS, L.; JOHANSSON, A.; WILÉN, C.; SIPILÄ, K.; MÄKINEN, T.; HELYNEN, S.; DAUGHERTY, E.; UIL, H.; VEHLow, J.; KÄBERGER, T. Y ROGULSKA, M. (2006): *Bioenergy in Europe. Opportunities and Barriers*. VTT Research notes 2352.
- FERNÁNDEZ, C.A. (2008): «Biocarburantes en España: un momento complicado para una industria en expansión». *Documento del IDAE*.
- IDAE (2006): Biocarburantes para el transporte. *Madrid*.
- 2007a: *Energía de la Biomasa. Madrid*.
- 2007b: *Biomasa. Cultivos energéticos. Madrid*.
- 2007c: *Biomasa. Gasificación. Madrid*.
- 2007d: *Biomasa. Digestores anaerobios. Madrid*.

- INTERMÓN-OXFAM (2008): «Otra verdad incómoda. Cómo las políticas de biocombustibles agravan la pobreza y aceleran el cambio climático». *Informe 114 de Oxfam Internacional*.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2004): *Biofuels for Transport. An International Perspective*. IEA/OECD.
- IGNACIUK, A.; VÖHRINGER, F.; RUIJS, A. Y VAN IERLAND, E.C. (2006): *Competition between biomass and food production in the presence of energy policies: a partial equilibrium analysis*. Energy Policy 34, 1127–1138.
- KAVALOV, B. (2004): *Biofuels potential in the EU. Report for the Institute for Perspective Technological Studies*. European Commission Joint Research Centre. Report EUR 21012 EN.
- LEE, H.; CLARK, W.C. Y DEVEREAUX, C. (2008): *Biofuels and Sustainable Development: Report of An Executive Session on the Grand Challenges of a Sustainability Transition*. Sustainability Science Program, Center for International Development, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- MANTZOS, L. Y CAPROS, P. (2006): *European energy and transport – Trends to 2030 - Update 2005*. European Communities, Bruselas.
- MORIARTY, P. Y HONNERY, D. (2007): *Global bioenergy: problems and prospects*. International Journal of Global Energy Issues 27(2), 231–249.
- OECD (2008): *Economic Assessment of Biofuel Support Policies*. Directorate for Trade and Agriculture.
- OVANDO, P. Y CAPARRÓS, A. (2008): «Land use and carbon mitigation in Europe: A survey of the potentials of different alternatives». Aceptado en Energy Policy.
- RAJACOPAL, D. Y ZILBERMAN, D. (2007): *Review of Environmental, Economics and Policy Aspects of Biofuel*. The World Bank. Policy Research Working Paper 4341.
- RENEWABLE FUELS AGENCY (2008): *The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production*.
- RICHARDS, K.R.; SAMPSON, R.N. Y BROWN, S. (2006): *Agricultural and Forestlands: US Carbon Policy Strategies*. Pew Center on Global Climate Change.
- RIGUELATO, R. Y SPRACKLEN, D.V. (2007): *Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forest*. Science 317, 902.
- SEARCHINGER, TH.; HEIMLICH, R.; HOUGHTON, R.A.; DONG, F.; ELOBEID, A.; FABIOSA, J.; TOKGOZ, S.; HAYES, D. Y YU, T.-H. (2008): *Use of US Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land Use Change*. Science 319, 1238–1240.
- SIMS, R. E. H.; HASTINGS, A.; SCHLAMADINGER, B.; TAYLOR, G. Y SMITH, P. (2006): *Energy crops: current status and future prospects*. Global Change and Biology 12 (11), 2054–2076.
- SMEETS, E.M.W.; FAAIJ, A.P.C.; LEWANDOWSKI, I.M. Y TURKENBURG, W.C. (2007): *A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050*. Progress in Energy and Combustion Science 33, 56–106.
- VARELA, M.; LAGO, C. Y JUNGMEIER, G. (2006): *Life-cycle economic and environmental análisis of biofuels in Europe*. Colección Documentos Ciemat.
- VARELA, M. Y SÁEZ, R. (2007): *Estimación de costes de reducción del CO₂ por la utilización de biocarburantes*. Colección Documentos Ciemat.
- VRIES, B.J.M.; VAN VUUREN, D.P. Y HOOGWIJK, M.M. (2007): *Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: An integrated approach*. Energy Policy 35, 2590–2610.
- WATSON, R.T.; NOBLE, I.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J. Y DOKKEN, D.J. (eds.) (2000): *«Land use, land-use change and forestry. A special report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge.