



EL PAPEL DE LA BIOENERGÍA EN LA NUEVA BIOECONOMÍA

Mercedes Ballesteros Perdices
CIEMAT

Resumen

El cambio climático y el agotamiento de determinados recursos estratégicos han colocado a la bioeconomía en la agenda de las políticas públicas en muchos países desarrollados. La energía es un insumo fundamental del tejido productivo y la bioenergía está destinada a ser un elemento central en esta nueva bioeconomía. El paulatino remplazo de los combustibles fósiles por biocombustibles, se presenta como una respuesta a las actuales crisis sociales y ambientales derivadas del modelo energético actual y la bioenergía está llamada a satisfacer una proporción cada vez mayor de nuestras necesidades energéticas, tanto en la automoción como de demanda térmica y eléctrica. Al ser una importante fuente de creación de puestos de trabajo, especialmente en áreas rurales a nivel local y regional, la bioenergía puede contribuir a la cohesión social, realizando una valiosa aportación a la sociedad más allá de su genuina contribución energética.

En este capítulo, se describe la biomasa como recurso energético, analizando las materias primas y las tecnologías para su transformación en biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Asimismo, se describen las distintas aplicaciones a las que se destinan los biocombustibles (calor, electricidad y combustibles de transporte) y su grado de penetración en el mercado. Por último, se analizan los aspectos medioambientales, sociales y económicos de la producción y uso energético de la biomasa, con especial mención a las controversias generadas sobre la potencial competencia de la producción de biomasa a gran escala con el suministro de alimentos y el acceso al agua y la tierra.

Abstract

Climate change and depletion of certain strategic resources have placed the bioeconomy on the agenda of public policies in many developed countries. Energy is a fundamental component of the production network and bioenergy is destined to be a central element in this new bioeconomy. The gradual replacement of fossil fuels by biofuels is presented as a response to the current social and environmental crises deriving from the current energy model, and bioenergy is called upon to satisfy an ever-growing proportion of our energy needs, both in the automotive industry and for thermal and electrical demand. As a significant source of job creation, particularly in rural areas at a local and regional level, bioenergy could contribute to social cohesion, making a valuable contribution to society beyond its genuine energy contribution.

This chapter describes biomass as an energy source, analysing raw materials and technologies to transform it into solid, liquid, and gas biofuels. Likewise, we look at the various applications of biofuels (heat, electricity, and transport fuel), as well as its market penetration. Finally, we analyse the environmental, social, and economic issues relating to the production and use of energy from biomass, with special mention of the controversies surrounding the potential competition of large-scale biomass production with food supplies and access to water and soil.

1. Introducción

El ciclo actual de crecimiento económico está basado en la explotación de los recursos no renovables para la producción de energía, productos químicos y otros insumos industriales. Aunque dicho modelo ha proporcionado crecimiento, empleo y prosperidad en muchas zonas del planeta, cada vez es más evidente que este modelo no es sostenible en el futuro, tanto por

el agotamiento de los recursos no renovables, como por los efectos ambientales negativos que tiene su uso. Esta situación es especialmente preocupante en el sector energético. El suministro actual de energía mundial está basado en un 80 % en el uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) y la única solución frente al problema del cambio climático es la transformación del modelo energético actual en uno más sostenible y respetuoso con el medioambiente.

En este contexto, la Comisión Europea está decidida a desarrollar una economía baja en carbono para el año 2050¹. Para ello está trabajando en incorporar al marco legal el concepto de economía verde. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente², la economía verde se define como aquella economía «baja en carbono, eficiente en el uso de los recursos y socialmente inclusiva» cuyo objetivo es la mejora del bienestar humano y la equidad social, mientras que se reducen significativamente los riesgos medioambientales. Esta economía verde plantea, entre otras cosas, la necesidad de sustituir el uso de combustibles fósiles por energías renovables, lograr una vida urbana más sostenible y, sobre todo, ser eficientes en el uso de los recursos y la energía.

En el marco del amplio concepto de economía verde, la bioeconomía comprende aquella parte de la economía que utiliza recursos biológicos renovables de la tierra y el mar (cultivos, bosques, peces, animales y microorganismos) para producir alimentos, materiales y energía. Es preciso por tanto, crear los instrumentos necesarios para una transición desde una sociedad basada en la utilización de recursos fósiles a otra de tipo biológico, con la investigación y la innovación como motores, que concilie las demandas de gestión sostenible de la agricultura, la pesca, la seguridad alimentaria y la utilización sostenible de los recursos biológicos renovables, garantizando al mismo tiempo la biodiversidad y la protección del medioambiente.

La evolución hacia un mayor uso de recursos renovables tiene uno de sus mayores potenciales en el campo de la energía. En el contexto energético, la bioeconomía se presenta como una respuesta a las actuales crisis sociales y ambientales derivadas del modelo energético actual, con el objetivo de reemplazar los combustibles fósiles por biocombustibles renovables derivados de la biomasa. La bioenergía está llamada a satisfacer una proporción cada vez mayor de nuestras necesidades energéticas, tanto en la automoción como en la demanda térmica y eléctrica.

2. La biomasa como recurso energético

La energía que contiene la biomasa es energía solar almacenada a través de la fotosíntesis. Mediante este proceso algunos organismos vivos como las plantas superiores y las macro y microalgas, convierten la energía solar, los compuestos inorgánicos, el agua y el CO₂, en compuestos orgánicos.

¹ COMMUNICATION COM (2011).

² UNEP (2011).

Si consideramos el caso de la bioenergía, a las características comunes al resto de las energías renovables, como son su carácter autóctono, el respeto por el medioambiente y la creación de más empleo que las fuentes convencionales, se le unen otras ventajas. Por una parte, es una energía complementaria a otras necesidades medioambientales (limpieza de bosques, prevención de la erosión y fijación de la población rural). Por otra, permite un cierto grado de almacenamiento, lo que la convierte en una energía gestionable que puede adaptar su producción a los picos de demanda. Estas ventajas hacen de la biomasa un recurso energético atractivo, cuyo desarrollo puede constituir una fuente importante de empleo, convirtiéndose en un elemento de gran importancia para el equilibrio territorial, en especial en las zonas rurales. Otro aspecto interesante de la biomasa, es el hecho de ser la única fuente renovable capaz de proporcionar combustibles sólidos líquidos y gaseosos para ser utilizados en la producción de calor, electricidad y biocombustibles líquidos para el sector del transporte.

La biomasa en forma de leña fue la primera y única fuente energética utilizada por el hombre hasta la llegada del carbón y continuó siendo el principal recurso energético mundial hasta el siglo XIX. La producción primaria global de biomasa es equivalente a 4.500 EJ (10^{18} julios)³. En torno al 60 % de esta biomasa se genera en el medio terrestre, mientras que el 40 % restante se produce en las aguas continentales y marinas y es de más difícil utilización. Rosillo-Calle *et al.* (2006) estimaron que del potencial total de la biomasa, menos de un 10 % es utilizable de forma sostenible para el medioambiente y viable desde un punto de vista económico. No obstante, esta energía sería suficiente para satisfacer la demanda mundial de energía primaria. La Agencia Internacional de la Energía⁴ calcula que, actualmente, el 10 % de la energía primaria mundial procede de la biomasa. Es un porcentaje comparable al que se obtiene del gas natural (17 %) o de la energía nuclear (7 %). Gran parte de este porcentaje corresponde a los países pobres y en desarrollo. Según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)⁵: «Algunos países pobres obtienen el 90 % de su energía de la leña y otros biocombustibles». En África, Asia y Latinoamérica representa la tercera parte del consumo energético y para 2.000 millones de personas es la principal fuente de energía en el ámbito doméstico. En muchas ocasiones, esta utilización masiva no se realiza mediante el uso racional y sostenible de los recursos, sino como una búsqueda desesperada de energía que provoca la deforestación de grandes áreas. Por ello, el desarrollo de sistemas bioenergéticos que permitan revalorizar los recursos de la biomasa mediante tecnologías eficientes y respetuosas con el entorno puede suponer un avance significativo en el desarrollo de los países pobres, evitando que el aumento del consumo energético asociado a este desarrollo, ponga en peligro el medioambiente y la seguridad de su abastecimiento energético. La propia FAO⁶ reconoce que «la mejora del uso eficiente de los recursos de la energía de la biomasa, incluidos los residuos agrícolas y las plantaciones de cultivos energéticos, ofrece a los países en vías de desarrollo oportunidades de empleo, beneficios ambientales y la posibilidad de mejorar

³ SIMS (2004).

⁴ IEA BIOENERGY (2007).

⁵ FAO (2017).

⁶ FAO (2014).

sus infraestructuras rurales». En la Unión Europea, la bioenergía, según datos de AEBIOM⁷, representa en este momento alrededor del 60 % de toda la energía renovable consumida, lo que equivale al 10 % del consumo final bruto de energía en Europa.

Conviene aclarar que el término «biomasa» engloba un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes. Se considera biomasa energética los residuos de los aprovechamientos forestales y agrícolas, los residuos de las industrias agroforestales, los residuos de origen animal o humano y los cultivos con fines energéticos. A su vez, la biomasa puede transformarse en energía mediante un amplio espectro de procesos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación) o bioquímicos (digestión anaerobia, fermentación). El observatorio que realiza el seguimiento de la situación de las energías renovables en la Unión Europea⁸ distingue dentro de la biomasa cuatro fuentes energéticas diferentes: biomasa sólida, biogás, fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), y biocombustibles líquidos (también llamados biocarburantes).

Esta heterogeneidad, tanto de recursos como de aplicaciones, es la principal característica de la biomasa, lo que hace imposible abordar esta área desde una única perspectiva, pues existen tantas como combinaciones entre tipos de biomasa utilizables y tecnologías para su aprovechamiento energético. Esta heterogeneidad también se refleja en la falta de consenso en lo que debe considerarse biomasa con fines energéticos. La definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588⁹ considera biomasa «todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización». La Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables¹⁰ define la biomasa como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales.

Esta heterogeneidad genera una cierta confusión al utilizar los términos biomasa, biocombustibles y bioenergía que muchas veces se ve reflejada incluso en los informes técnicos y en la legislación. El término «biomasa», engloba un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes y hace referencia al recurso energético, es decir la materia orgánica que puede utilizarse como fuente de energía eficiente. Dentro de esta definición se encuentran los residuos de aprovechamientos forestales, agrícolas, de la industria agroalimentaria, los residuos de origen animal o humano y los cultivos con fines energéticos. Por biocombustible entendemos una serie de productos intermedios obtenidos a partir de la biomasa. Derivan de esta mediante su tratamiento por procesos físicos, químicos y/o biológicos. Dependiendo de su naturaleza, se pueden clasificar en biocombustibles líquidos, sólidos y

⁷ AEBIOM STATISTICAL REPORT (2017).

⁸ RES EUROBSERVER BAROMETER; en: <https://www.eurobserv-er.org/>.

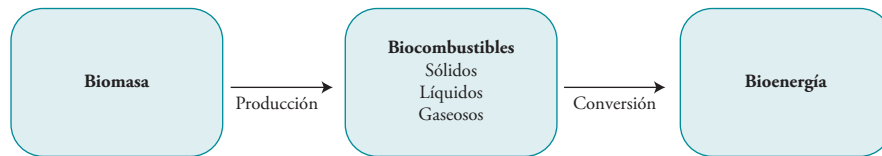
⁹ DD CEN/TS 14588-2004 solid biofuels. Terminology, definitions and descriptions. Standard Number: DD CEN/TS 14588-2004.

¹⁰ Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE; en: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:es:pdf>.

gaseosos. En el contexto energético, es frecuente la utilización restrictiva del término biomasa para referirse a la biomasa sólida utilizada como combustible, aunque para esta finalidad es más propia la utilización del término biocombustible sólido. Es interesante precisar también que, frecuentemente, se utiliza el término de biocombustible para referirse a los utilizados en el transporte (bioetanol, biodiésel), cuando sería más correcto utilizar la palabra biocarburantes. El término bioenergía hace referencia a la energía obtenida a partir de biocombustibles.

En la Figura 1 se muestra la relación entre los conceptos de biomasa, biocombustible y bioenergía.

Figura 1. Relación entre los conceptos básicos de la biomasa energética



3. Origen y tipos de biomasa

La biomasa, puede clasificarse atendiendo a su composición o su origen. Atendiendo a su composición podemos distinguir cuatro tipos de biomasa: (i) biomazas azucaradas que contienen sacarosa, como la caña de azúcar y la remolacha; (ii) biomazas amiláceas, como los cereales o los tubérculos de patata, que poseen importantes cantidades de almidón (polímero de glucosa) o inulina (polímero de fructosa y glucosa); (iii) biomazas oleaginosas, como el girasol, la colza, la palma y la soja, que en sus semillas contiene aceites vegetales y; (iv) biomazas lignocelulósicas como la madera y la paja cuyos componentes principales son la celulosa, hemicelulosa y lignina.

Atendiendo a su origen, los materiales biomásicos se pueden clasificar en dos grupos. Por un lado la biomasa natural, generada en los bosques y ecosistemas naturales. Aunque la explotación de este tipo de biomasa ha sido y sigue siendo, la principal fuente energética de pueblos y países subdesarrollados y en vías de desarrollo, su utilización a gran escala no es factible por razones de mantenimiento del equilibrio en el medioambiente natural. Por otro, la biomasa antropogénica, en cuya formación interviene el hombre. Se divide en biomasa residual (agrícola, forestal y de sus industrias derivadas, así como los residuos urbanos orgánicos) y cultivos energéticos específicamente dirigidos a la producción de energía.

En muchos casos, los cultivos energéticos son las mismas especies agrícolas o forestales que se cultivan con fines no energéticos, pero con condiciones de cultivo diferentes. Así ocurre por ejemplo, con el chopo, el sauce o el eucalipto que, cuando van a ser dedicadas a uso energético, se cultivan a turnos de corta menores y con mayores densidades de plantación que

cuando se destinan a la producción de madera o papel. Los cultivos energéticos deben cumplir como premisa principal ser capaces de rendir la máxima cantidad neta de energía posible, lo que significa que los balances económicos y energéticos (relación entre la energía contenida en el producto obtenido y la energía total invertida en su producción) deben ser positivos. Deben ser especies perennes y vivaces, con capacidad de rebrote y presentar una alta resistencia, minimizando la utilización de fertilizantes y pesticidas.

Es difícil predecir cuál será en el futuro el papel de la biomasa cultivada específicamente para fines energéticos. Si bien existe una amplia experiencia en las prácticas de gestión tradicionales de las plantaciones leñosas en la industria de la pulpa y el papel, todavía la información de plantaciones forestales a gran escala para energía es escasa. Los cultivos energéticos son en muchos aspectos un nuevo concepto para el agricultor y para su desarrollo es crucial la selección de las especies a cultivar, su localización y la realización de prácticas agrícolas respetuosas con el medioambiente que no desplacen otros usos del suelo de alto valor agrícola y ecológico.

4. Tipos y tecnologías de producción de biocombustibles

4.1. Biocombustibles sólidos

Se consideran biocombustibles sólidos aquellos combustibles obtenidos a partir de biomasa que se encuentran en estado sólido. Son generalmente de naturaleza lignocelulósica y se obtienen mediante procesos físicos. El origen de estos biocombustibles engloba distintos sectores productivos, desde los cultivos agrícolas o los aprovechamientos forestales, hasta los residuos producidos en industrias agroalimentarias o forestales. Las características de los biocombustibles sólidos varían según su composición y humedad y la energía que pueden generar por unidad de masa o de volumen depende de estos parámetros.

La forma más conocida y antigua de utilización de la biomasa sólida es la cocción de los alimentos o la calefacción. En la mayoría de estas aplicaciones, la biomasa se utiliza según se recoge, sin ninguna preparación previa, lo que conlleva dificultad en su manejo y baja eficiencia en los procesos de transformación. Para facilitar el manejo, transporte y alimentación de esta biomasa al sistema de conversión energética (caldera) es preciso realizar reducciones de tamaño y forma de estos residuos, obteniéndose un biocombustible sólido apto para el abastecimiento automatizado del combustible. Estas transformaciones previas pueden ir desde un simple astillado hasta procesos más complejos como la densificación. La densificación es un proceso que permite obtener biocombustibles sólidos con mayor calidad comercial. Consiste en la transformación físico-mecánica, con o sin aditivos, de los materiales lignocelulósicos de granulometría fina y baja densidad, para la obtención de sólidos de forma y tamaño regulares y elevada densidad. Se distinguen dos tipos de productos densificados: los pelets y las briquetas. Se denominan briquetas a los densificados cuya dimensión es mayor de 30 mm y pelets los que tienen menos de 30 mm. En general, las briquetas se emplean en calefacción doméstica

(chimeneas francesas y estufas de leña), mientras que los pellets no solo se utilizan en estufas y calderas de uso doméstico e industrial, sino también en el sector de la producción de energía.

En la actualidad, el 46 % de la energía renovable en la UE proviene de la biomasa sólida, casi exclusivamente madera. Según el Observatorio Europeo de Energías Renovables¹¹, en el año 2016 la biomasa sólida representó 68,8 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep, energía que rinde una tonelada de petróleo) del calor para usos domésticos, el 3 % (93,5 TWh) de la electricidad producida en la UE y el 15 % (10,3 Mtep) del calor producido en las unidades industriales. La Comisión Europea espera, basándose en las estimaciones nacionales, que el suministro de biomasa sólida continuarán aumentando (de 103,3 Mtep en el año 2012 a 132 Mtep en el 2020), cada año con una aportación mayor de la biomasa agrícola (principalmente residuos y subproductos agrícolas) También aumentarán las importaciones procedentes de terceros países, principalmente en forma de astillas y pellets de madera.

4.2. Biocombustibles gaseosos

Los biocombustibles gaseosos (biogás y gas de gasificación) son aquellos combustibles obtenidos a partir de biomasa que se encuentran en estado gaseoso en condiciones normales de presión y temperatura. Se destinan a la producción de calor y electricidad o como combustibles para el transporte.

El biogás (constituido por un 50-70 % de metano y dióxido de carbono, junto con pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno), es un gas combustible que se genera por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y mediante la acción de microorganismos específicos (bacterias anaerobias). Este proceso, denominado digestión anaerobia o biometanización, puede ocurrir de manera forzada en digestores anaerobios o de manera natural en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos (RSU).

La nomenclatura internacional utilizada por Eurostat¹² y la Agencia Internacional de la Energía divide el biogás procedente de la digestión anaeróbica en tres subsectores, segmentados por origen y tratamiento de residuos: (i) el biogás de lodos de depuradora, producidos por biometanización de los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales; (ii) el biogás de vertedero, producido de manera natural en las instalaciones de almacenamiento de residuos no peligrosos, y (iii) otro biogás, obtenido por digestión anaerobia de residuos ganaderos, de la industria alimentaria o por codigestión.

El biogás tiene un poder calorífico entre 3.500 y 4.600 kilocalorías/Nm³ (Normal metro cúbico). Este biogás se puede utilizar en hornos, estufas, secadores y calderas, o para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras de gas a gas.

¹¹ Solid Biomass Barometer. Solid Biomass Barometer-Eurobserv'er-December 2017; en: <https://www.eurobserv-er.org/category/all-solid-biomass-barometers>.

¹² Renewable energy sources statistics in the European Union, (2001). Data 1989-1998; en: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5627744/KS-37-01-647-EN.PDF/0996c8ec-3834-44e6-8b72-65f0a9af180e>.

La mayor parte de la producción actual de biogás en la Unión Europea proviene de plantas de digestión anaerobia (biometanización) de muy diversa tipología y capacidad, desde pequeñas plantas instaladas en granjas hasta grandes plantas en industrias de procesado de alimentos. Las materias primas también son muy variables: residuos ganaderos, residuos agrícolas, de la industria agroalimentaria, o residuos domésticos, entre otros. En algunos casos, estos residuos se suplementan con cultivos energéticos, por ejemplo maíz, en lo que se denomina codigestión para aumentar la producción de biogás.

Existe otro biocombustible gaseoso obtenido por gasificación de la biomasa sólida (madera, residuos forestales, residuos domésticos sólidos). El gas de gasificación se obtiene sometiendo a la biomasa a temperaturas muy altas (800-1.000 °C) en presencia de cantidades limitadas de oxígeno. Según se utilice aire u oxígeno puro como agente gasificante, se obtienen dos productos distintos. En el primer caso se obtiene gasógeno o gas pobre (mezcla de monóxido de carbono y nitrógeno) que puede utilizarse para obtener electricidad y vapor. En el segundo caso, se obtiene gas de síntesis (monóxido de carbono e hidrógeno) que puede utilizarse como combustible directo, como fuente de hidrógeno, o como materia prima química para preparar gasolinas o gasóleos mediante el proceso Fischer-Tropsch. Estos procesos no son tecnologías maduras aunque existen proyectos de demostración en marcha en Finlandia, Suecia y Holanda.

4.3. Biocombustibles líquidos

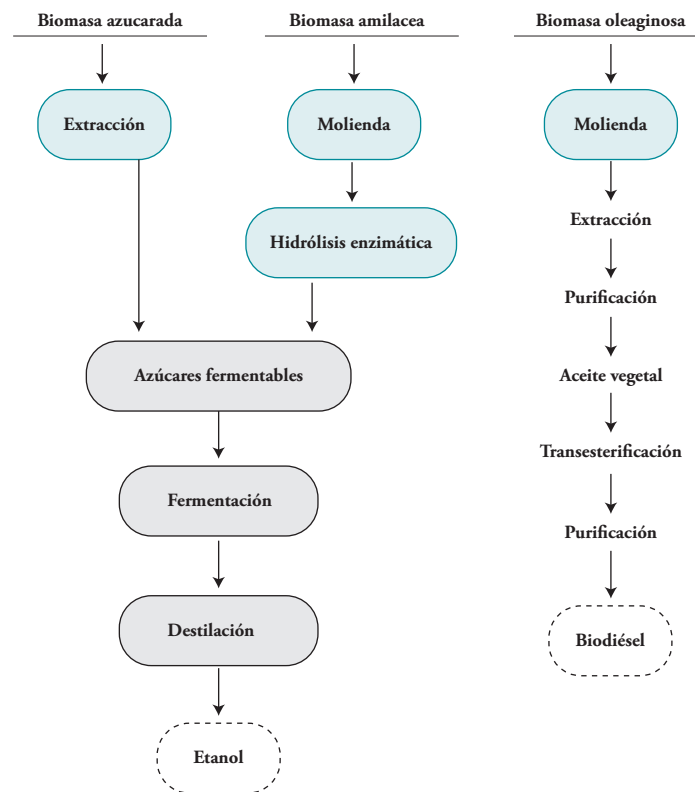
Se definen como biocombustibles líquidos aquellos combustibles obtenidos a partir de biomasa que se encuentran en estado líquido en condiciones normales de presión y temperatura. Se emplean en calderas para la producción de calor y electricidad o en motores de combustión interna que se denominan biocarburantes. Entre ellos se encuentran el biodiésel, el bioetanol y los aceites de pirólisis.

El término biocarburante líquido engloba a todos aquellos combustibles líquidos derivados de la biomasa que tienen características parecidas a gasolinas y gasóleos, lo que permite su utilización en motores sin tener que efectuar modificaciones importantes. En la fase inicial del desarrollo de los biocarburantes se clasificaron en base a sus propiedades como biodiésel (más recientemente aceites vegetales hidrogenados o HVO por sus siglas en inglés) para sustituir el diésel y bioetanol por sustituir a la gasolina. Sin embargo, las preocupaciones derivadas del impacto de los biocarburantes sobre la seguridad alimentaria, ha conducido a una nueva clasificación basada en categorías de generación, por lo que se habla de biocarburantes de primera, segunda y tercera generación. En términos generales, los de primera generación (1G) se producen a partir de materias primas que también pueden consumirse como alimentos humanos como son el azúcar, el almidón o el aceite vegetal. Dado que los biocarburantes 1G se extraen fácilmente utilizando tecnologías convencionales, también se conocen como «biocarburantes convencionales». Los biocarburantes de segunda generación (2G) se producen a partir de materias primas sostenibles, principalmente de tipo lignocelulósico, que no se utilizan

para el consumo humano. Como estas materias primas lignocelulósicas son más difíciles de transformar en biocarburantes y, por tanto, se necesitan tecnologías de conversión más complicadas, los biocombustibles 2G también se conocen como «biocombustibles avanzados». El término tercera generación (3G) es la última subdivisión de biocombustibles y se refiere a biocombustibles obtenidos desde algas.

Los biocombustibles líquidos de primera generación basados en cultivos alimentarios son producidos a escala comercial mediante tecnologías maduras. Incluyen el etanol obtenido de materias primas azucaradas o amiláceas y el biodiésel obtenido a partir de aceites vegetales. En la Figura 2 se muestran las diferentes rutas para la producción de biocombustibles 1G a partir de las diferentes materias primas.

Figura 2. Rutas de producción de biocarburantes de primera generación



El biocombustible más utilizado mundialmente es el bioetanol que se obtiene por fermentación de mostos azucarados que proceden de vegetales ricos en azúcar, o bien de la hidrólisis y fermentación del almidón que los vegetales almacenan como material de reserva. El bioetanol puede utilizarse en motores de encendido por chispa (motores Otto), mezclado con la gasolina en porcentajes del 10-15 % sin modificaciones de los motores, o en vehículos de combustible

flexible si se utiliza en mayor proporción o como combustible exclusivo. En otros casos, el etanol puede utilizarse en forma de su derivado, el etil-terbutil-éter (ETBE), como aditivo a la gasolina para mejorar el índice de octano.

Estados Unidos es el primer productor mundial de bioetanol y su producción está totalmente ligada al cultivo de maíz. El grano de maíz contiene almidón que, mediante hidrólisis, puede transformarse en etanol gracias a procesos en los que intervienen levaduras. Brasil es el segundo productor mundial de etanol que se produce a partir de la caña de azúcar. Esta materia prima contiene sacarosa que puede ser transformada directamente por las levaduras para generar etanol.

Las materias primas utilizadas actualmente en la producción de biodiésel son los aceites de las semillas de plantas oleaginosas como la palma, la soja, y la colza. La utilización de un aceite vegetal como carburante en un motor de encendido por compresión presenta dificultades que se derivan de las diferencias físico-químicas entre el estándar que define al aceite y al gasóleo (básicamente viscosidad, índice de cetano y punto de congelación). Por ello, se recurre a modificar las características de los aceites vegetales para hacerlos más parecidos al gasóleo mediante un proceso de transesterificación en el que los triglicéridos se transforman en ésteres. La Unión Europea es el mayor productor de biodiésel del mundo con cifras en el año 2016 superiores a los 11 millones de toneladas¹³.

Aunque las tecnologías asociadas a la producción de bioetanol y biodiésel están suficientemente desarrolladas y han alcanzado un alto nivel de madurez, debido a problemas de abastecimiento de las materias primas estos biocombustibles de primera generación no pueden responder a la demanda energética que implicaría la sustitución total de petróleo. Además, existe la polémica de la competencia por las materias primas alimentarias que son utilizadas para la producción de biocombustibles y el incremento de precios que puede derivarse de esta competencia. La solución que alejaría este tipo de conflictos pasaría por desarrollar nuevos cultivos más productivos, con bajos costes de producción y que no compitan con el sector alimentario. Algunas especies vegetales productoras de semillas oleaginosas (*Jatropha curcas*, *Brassica carinata*, *Camelina sativa* y *Cynara cardunculus*) o con alto contenido en carbohidratos (como *Helianthus tuberosus*), están bien adaptadas a condiciones de bajos requerimientos nutricionales e hídricos y podrían cultivarse específicamente para la producción de biomasa energética.

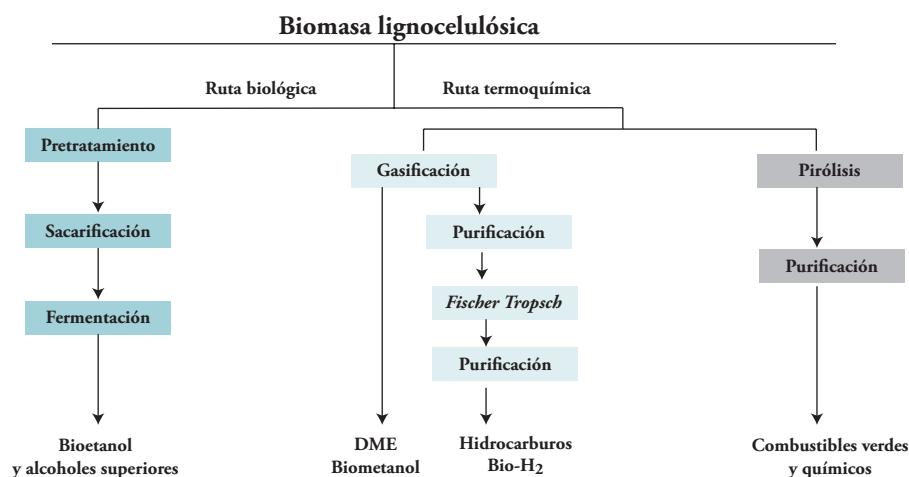
Pero el verdadero desarrollo futuro de este sector está en los biocarburantes avanzados o de segunda generación, es decir los derivados de plantas o de residuos vegetales que no entran en competencia con el sector alimentario. La utilización de materias primas lignocelulósicas ofrece un enorme potencial para la producción de biocarburantes, con la ventaja de utilizar materiales que proceden de los residuos de otros procesos productivos de los sectores forestal, agrícola, industrial o, incluso, doméstico.

Para obtener biocarburantes avanzados pueden elegirse distintas vías (Figura 3). La primera es biotecnológica, extrayendo los azúcares de la celulosa con intervención de enzimas muy

¹³ EUROPEAN BIODIESEL BOARD (2017).

activas. La segunda consiste en gasificar biomasa en una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono, que posteriormente, mediante una serie de etapas intermedias, es transformada en un carburante líquido. La tercera opción que consiste en la obtención de un combustible líquido mediante pirolisis.

Figura 3. Rutas de producción de biocarburantes 2G



Ya se contempla una «tercera generación» de biocombustibles procedentes de microorganismos fotosintéticos como las microalgas autótrofas. Estos microorganismos son cosmopolitas y utilizan la energía solar para crecer y multiplicarse. Una ventaja de las microalgas es su balance medioambiental, ya que consumen CO₂ durante su crecimiento y pueden cultivarse en aguas de baja calidad como las aguas residuales o el agua salada. Otra de las características interesante de las microalgas es su rápido crecimiento que hace que su eficiencia fotosintética sea muy superior a la que presentan las plantas superiores.

Según los datos recogidos en el documento *Building up the future* recientemente publicado por el *Sub Group on Advanced Biofuels* de la Comisión Europea¹⁴, los biocarburantes avanzados derivados de materiales lignocelulósicos y los obtenidos a partir de lípidos podrán abastecer entre el 6 y el 9 % de las necesidades energéticas del sector del transporte en el año 2030. Esto supondrá una demanda creciente de lípidos que la producción actual de aceites vegetales no podrá abastecer por limitaciones en su producción y precio. La producción de lípidos renovables obtenidos a partir de microorganismos puede tener un impacto muy significativo en la producción futura de biocombustibles y oleoquímicos. Los microorganismos oleaginosos, como las microalgas autótrofas o las levaduras heterótrofas, bajo ciertas condiciones pue-

¹⁴ MANIATIS, LANDÁLV, WALDHEIM, VAN DEN HEUVEL y KALLIGEROS (2017).

den producir copiosas cantidades de aceite y presentan mayor eficiencia fotosintética que las plantas superiores.

5. Aplicaciones energéticas de los biocombustibles

5.1. Aplicaciones térmicas

En la actualidad las aplicaciones domésticas de la biomasa más extendidas son las cocinas o chimeneas abiertas de muy bajo rendimiento energético. Sin embargo, existen posibilidades tecnológicamente más avanzadas para utilizaciones individuales con mejores rendimientos energéticos. De hecho, ya existen en el mercado calderas de biomasa con recuperador de calor. Una aplicación interesante para el sector doméstico y el de servicios son las redes de calefacción centralizada, que consisten en una planta térmica central con un sistema de distribución con conducciones que abastece a varios puntos de consumo.

Las aplicaciones térmicas industriales pueden utilizar biomasa en calderas, hornos cerámicos o en secaderos industriales o de productos agrícolas. Lo hacen con un rendimiento energético entre el 80-90 %, según el tipo de biomasa utilizado. Es una alternativa en la que los problemas técnicos están resueltos, y la principal limitación consiste en tener que establecer cauces comerciales para la el abastecimiento y distribución del biocombustible.

Los diferentes tipos de sistemas de combustión están comercialmente disponibles, aunque todavía es necesario desarrollar investigación a medio plazo en áreas como la flexibilidad del combustible o el control de emisiones. Sin embargo, la tecnología de combustión directa es una tecnología madura que no tiene un gran potencial de I+D para aumentar drásticamente la eficiencia de producción de energía.

5.2. Aplicaciones eléctricas

La generación de electricidad con biomasa se hace mayoritariamente con tecnología convencional. Son plantas térmicas (caldera+turbina+condensador) con sistemas de refrigeración y evacuación eléctrica en los que los equipos principales son bien conocidos y existe una amplia oferta en el mercado. Estas plantas alcanzan rendimientos en torno al 30 % de aprovechamiento del poder calorífico de la biomasa y pueden funcionar hasta 8.200 horas al año (cuatro veces más que otras renovables), lo que les confiere una alta calidad energética debida a su alta predictibilidad y baja variabilidad, ajustándose la producción de electricidad a la curva de la demanda. También puede generarse electricidad mediante turbinas de gas o motor alternativo que utilicen como combustible gas de síntesis procedente de la gasificación de biomasa o biogás procedente de una digestión anaerobia.

Una posibilidad para aumentar el rendimiento energético en el uso de la biomasa es la generación conjunta de calor y electricidad (cogeneración). La condensación del vapor supone una evacuación de calor cercano a la mitad de la energía contenida en la biomasa. La recuperación de parte de ese calor de condensación en forma de vapor de baja temperatura o agua caliente, para usos industriales o domésticos, supone un aumento significativo de la eficiencia energética. Para ello se puede disponer de una turbina de contrapresión o bien hacer una extracción de vapor con volumen significativo en la zona de baja presión de la turbina. De esta forma, mediante la instalación de intercambiadores de calor adecuados se pueden obtener rendimientos globales de entre un 40 % y un 60 %.

La producción de frío y calor, así como la hibridación de la biomasa con otras renovables, también abrirá las puertas a nuevos mercados para la conversión termoquímica de biomasa. El creciente mercado de la energía solar y eólica, entre otras, podrá suponer un respaldo para las tecnologías bioenergéticas que tienen una buena flexibilidad de almacenamiento de energía.

5.3. Aplicaciones en el sector del transporte

La utilización de biocarburantes es tan antigua como los motores de combustión. Cuando hace más de cien años Rudolf Diesel diseñó el prototipo del motor que lleva su nombre, lo hizo para utilizar aceites vegetales. De hecho, en la primera demostración de funcionamiento, en la Feria de París de 1898, funcionó con aceite de cacahuete. De la misma manera, cuando Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil Model T en 1908, esperaba utilizar el etanol como combustible. Sin embargo, la rápida irrupción de un combustible barato, razonablemente eficiente y fácilmente disponible como el petróleo hizo que el gasóleo y la gasolina se convirtieran rápidamente en los combustibles más utilizados en el sector de la automoción. No es hasta la crisis del petróleo, en la década de los setenta, que el biodiésel y el bioetanol vuelven a aparecer en escena como resultado de las políticas energéticas para la búsqueda de alternativas a la dependencia de los combustibles fósiles, especialmente en Estados Unidos y Brasil.

6. Aspectos medioambientales, sociales y económicos

La bioenergía realiza una valiosa aportación a la sociedad en diversos ámbitos más allá de su genuina contribución energética. Por un lado, desempeña un importante papel en la preservación del medioambiente, tanto por su contribución a la reducción de emisiones de CO₂ como por su impacto positivo en la gestión de los ecosistemas, ligados, por ejemplo, a la reducción de los incendios forestales que se deriva de una gestión sostenible de los montes. Por otro, su contribución resulta relevante en materia de política social permite el desarrollo de una nueva actividad en las áreas rurales sobre la base de un mercado con una demanda continua y sin fluctuaciones, generando puestos de trabajo estables y bien remunerados, frenando el

despoblamiento del medio rural y contribuyendo al tratamiento de los residuos. El aumento de ingresos de las industrias locales y la fijación de la población facilitan la aparición de nuevas infraestructuras y servicios en áreas rurales. Por otro lado, la aparición de una segunda fuente de ingresos en las industrias agrícolas y forestales, a través de la venta de sus residuos para la generación de energía, equilibra las fluctuaciones de los mercados de los productos principales de estas industrias, dando una mayor seguridad a empresarios y empleados. Desde el punto de vista de los agricultores, la posibilidad de dedicar parte de sus terrenos a prácticas distintas de las tradicionales (alimentación humana o animal, sector del papel, del mueble), supone una mejora de sus ingresos anuales a través de un mercado más amplio para sus productos. En definitiva, se incentiva el desarrollo rural al poner en valor tierras que han quedado fuera de producción por falta de rentabilidad o nuevas áreas agrícolas en las que se pueden implantar cultivos energéticos. A su vez, se le da un valor a los residuos para que sean aprovechados y reutilizados.

Estimulando la inversión económica y la innovación tecnológica es posible desarrollar un modelo de agricultura social y sostenible, que garantice la calidad de vida de los pequeños y medianos agricultores, basándose en métodos responsables de producción que promuevan la protección ambiental y fomenten la conservación de los recursos naturales. Administrar las tierras del mejor modo posible, seguirá siendo una tarea vital y difícil, y por ello es necesaria una cuidadosa regulación de su uso para asegurar que la biomasa se cultive de un modo sostenible y que no interfiera con la productividad de la agricultura alimentaria.

A pesar de estas ventajas, la utilización de biomasa como recurso energético a gran escala genera una cierta controversia. La enorme cantidad total de tierra necesaria para producir biomasa energética se vislumbra como fuente de conflictos por competencia con el suministro de alimentos y el acceso a la tierra. La deforestación de bosques primarios, la desecación de turberas, la erosión de suelos provocada por los monocultivos, el uso de grandes cantidades de fertilizantes y la competencia por el uso del agua son algunos de los grandes riesgos que se invocan cuando se considera la producción de biomasa en grandes extensiones.

También existe una cierta polémica y, en general mucha desinformación, sobre el comportamiento de la biomasa energética frente a las emisiones de dióxido de carbono. Existen dos opiniones comunes, mutuamente excluyentes y ambas erróneas. La primera es que los combustibles derivados de la biomasa, o biocombustibles, y los combustibles fósiles no son diferentes, ya que cuando se queman ambos emiten dióxido de carbono como producto final de la combustión. Esto es cierto si la tierra de la que se extrae la biomasa para su utilización energética no se replanta. Sin embargo, si la biomasa se produce de manera sostenible, la biomasa que crece absorbe el dióxido de carbono de la atmósfera durante la fotosíntesis y almacena el carbono en las estructuras de las plantas. Cuando se quema la biomasa, el carbono liberado a la atmósfera se recicla en la próxima generación de plantas en crecimiento. En este contexto, la productividad y la tasa de crecimiento de las especies vegetales que se cultivan con fines energéticos tiene una gran relevancia. Mientras que en las especies de crecimiento lento puede pasar mucho tiempo antes de que el carbono liberado se vuelva a fijar en la nueva generación, las especies de crecimiento rápido pueden reciclar carbono rápidamente en cada ciclo.

La segunda opinión, bastante generalizada, es que en los sistemas de producción de energía con biomasa, debido a que el carbono se recicla, no se producen emisiones netas de dióxido de carbono. Esto no es estrictamente cierto ya que se necesita energía (en la mayoría de los casos proporcionada por combustibles fósiles) para cultivar, cosechar, transportar y, a veces, transformar la biomasa en un biocombustible. Esto implica que en algunas etapas del ciclo de producción del biocombustible se produzcan emisiones netas de dióxido de carbono. Por ello, es necesario identificar y cuantificar con detalle las entradas y salidas de energía primaria de los diferentes procesos que componen el sistema, identificando los procesos que demandan un mayor consumo de energía primaria y analizando si el proceso en su conjunto es energética y medioambientalmente favorable.

Puesto que uno de los objetivos principales de la producción de energía derivada de la biomasa es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, es imprescindible tener en cuenta dónde, cómo se produce y cómo se extrae la biomasa. España dispone de abundantes recursos de biomasa que pueden ser utilizados con fines energéticos. Según la Plataforma Española de la Biomasa (Bioplat)¹⁵, cada año se acumulan 32 millones de metros cúbicos de madera (biomasa) en los montes españoles, de los cuales 18 millones podrían ser extraídos para uso energético. Este hecho, unido a que una gran extensión de tierras cultivadas están quedando fuera de producción por falta de rentabilidad, dan idea del gran potencial nacional de recursos biomásicos disponibles para bioenergía y otros usos. Además, España posee el 20 % de la cabaña porcina de la Unión Europea, con más de 25 millones de cabezas que generan más de 72 millones de toneladas anuales de residuos ganaderos.

Para hacer frente a los potenciales efectos adversos de una producción de bioenergía no sostenible a gran escala, la Unión Europea ha establecido criterios de sostenibilidad que, en un principio fueron aplicados a los biocarburantes¹⁶ y, más recientemente, a la biomasa sólida y gaseosa empleada en la calefacción y la electricidad¹⁷. La producción de bioenergía debe incentivar el aumento de la productividad vegetal, la producción integrada de biomasa energética y alimentos (en lugar de sustituirla), la reforestación con cultivos energéticos de tierras agrícolas o desforestadas y la disminución de la degradación y erosión del suelo.

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009¹⁷, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, define criterios de sostenibilidad para los biocarburantes y biolíquidos, relativos a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la protección de tierras de elevado valor en cuanto a biodiversidad y/o tierras con elevadas reservas de carbono. Dicha directiva reconoce que, si bien el fomento de los biocarburantes y biolíquidos contribuirá al crecimiento de la demanda de materias primas agrícolas, es necesario adoptar medidas de acompañamiento para el sector agrícola que fomenten una mayor tasa de productividad de tierras degradadas y garanticen un correcto uso del suelo.

¹⁵ AFI (2015).

¹⁶ Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009; en: <https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>.

¹⁷ Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (refundición). Bruselas, 23.2.2017, COM(2016) 767 final 2016/0382 (COD).

7. Reflexiones finales

El cambio climático y el agotamiento de determinados recursos estratégicos han colocado a la bioeconomía en la agenda de las políticas públicas de muchos países desarrollados. La energía es un insumo fundamental del tejido productivo y la bioenergía está destinada a ser un elemento central en esta nueva bioeconomía, al ser una importante fuente de creación de puestos de trabajo, especialmente en áreas rurales, a nivel local y regional. Asimismo, la bioenergía tiene un papel estratégico en la lucha contra el cambio climático y en la reducción de la dependencia de las importaciones de combustibles.

La vinculación de la biomasa al sector primario (actividades agrícolas, forestales y ganaderas), además de otras industrias asentadas en el medio rural (cooperativas agroalimentarias, industria papelera y maderera, entre otras) convierten al sector de la biomasa en un activo estratégico potencial para estos entornos rurales, generando nuevos puestos de trabajo que podrán contribuir a paliar el elevado desempleo que se concentra en el medio rural (muy vinculada al sector primario, donde además la creación de nuevas oportunidades es escasa).

En definitiva, la bioenergía es un sector clave para la transición del actual modelo económico basado en la utilización de los recursos fósiles hacia una nueva bioeconomía basada en los recursos orgánicos renovables. Si somos capaces de impulsar una producción de biomasa responsable en origen, que sea efectiva contra la pobreza y el cambio climático, estableciendo un sistema internacional de certificación que incluya la comprobación de las emisiones de gases de efecto invernadero que producen y la prosperidad y el nivel de bienestar social que generan en las comunidades rurales, el futuro de la biomasa energética se vislumbra esperanzador.

Con el desarrollo de la bioenergía en el marco de la nueva bioeconomía, España fortalecerá su liderazgo en sectores industriales estratégicos con alto valor añadido en el que interactúen diversos sectores del «área bio», lo que permitirá aumentar la eficiencia, competitividad y sostenibilidad del tejido productivo, así como generar y mantener empleo y riqueza.

Referencias bibliográficas

- AEBIOM STATISTICAL REPORT (2017): <http://www.aebiom.org/statistical-report-2017/statistical-report-2017-17-10-17/>.
- AFI (2015): *Sector de La Bioenergía en España*. En http://www.bioplat.org/setup/upload/modules_docs/content_cont_URI_3886.pdf.

- COM (2016): «Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (refundición)»; 23.2.2017, 767 final 2016/0382 (COD). Bruselas.
- COMMUNICATION COM (2011): 112 final from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050; en <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2011/EN/1-2011-112-EN-F2-1.Pdf>.
- DD CEN/TS 14588-2004: «Solid biofuels. terminology, definitions and descriptions»; Standard Number: DD CEN/TS 14588-2004.
- DIRECTIVA 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE; en <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:es:pdf>.
- DIRECTIVA 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009. En <https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>.
- EUROPEAN BIODIÉSEL BOARD (2017): <http://www.ebb-eu.org/stats.php>.
- FAO (2017): «Incentivizing sustainable wood energy in sub-Saharan Africa: A way forward for policy-makers»; en *Job Number* (I6815); pp. 12; en <http://www.fao.org/3/a-i6815e.pdf>.
- FAO (2014): *El estado de los bosques del mundo: Potenciar los beneficios socioeconómicos de los bosques*. E-ISBN 978-92-5-308270-4 (PDF).
- IEA BIOENERGY. IEA BIOENERGY: EXCO (2007:02): «Contribution of Bioenergy to the World's Future Energy Demand»; en <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Potential-Contribution-of-Bioenergy-to-the-Worlds-Future-Energy-Demand.pdf>.
- RENEWABLE ENERGY SOURCES STATISTICS IN THE EUROPEAN UNION (2001): *Data 1989-1998*. En <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5627744/KS-37-01-647-EN.PDF/0996c8ee-3834-44e6-8b72-65f0a9af180e>.
- RES EUROBSERV'ER BAROMETER: en <https://www.eurobserv-er.org/>.
- ROSILLO-CALLE, F.; DE GROOT, P.; HEMSTOCK, S. L.; WOODS J. *et al.* (2006): *Biomass Assessment Handbook: bioenergy for sustainable development*. Earthscan.
- SIMS, R. H. (2004): *Bioenergy Options for a Cleaner Environment: In Developed and Developing Countries*. Reino Unido, Oxford. Elsevier Ltd.; p. 184.
- SOLID BIOMASS BAROMETER (2017): «Solid Biomass Barometer–Eurobserv'er–December 2017»; en: <https://www.eurobserv-er.org/category/all-solid-biomass-barometers/>.

SUB GROUP ON ADVANCED BIOFUELS. SUSTAINABLE TRANSPORT FORUM (2017): «Building up the future: Use of the synthetic fuels and biofuels in marine and aviation sector»; en MANIATIS, K.; LANDÄLV, I.; WALDHEIM, L.; VAN DEN HEUVEL, E. y KALLIGEROS, S., eds.

UNEP (2011): Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers, www.unep.org/greeneconomy Potential.