

Energía obtenida a partir de biomasa*

Emilio Cerdá
Universidad Complutense de Madrid

Resumen

En este artículo, para la biomasa sólida, el biogás y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se analizan las aplicaciones y tecnologías de conversión a energía. Se presentan datos sobre la evolución y situación de dichas fuentes de energía a nivel mundial y a nivel de países de la OCDE, sobre la disponibilidad de recurso energético tanto a nivel mundial como a nivel de Unión Europea y sobre diferentes aspectos relacionados con los costes. Finalmente se hacen consideraciones acerca de la sostenibilidad de la biomasa y de emisiones que se generan, tanto de gases de efecto invernadero como de contaminantes locales.

Palabras clave: biomasa, biogás, bioenergía, costes de biomasa, sostenibilidad.

Clasificación JEL: Q42, Q53, Q59.

Abstract

In this paper, applications and conversion technologies from solid biomass, biogas and biogenic fraction of waste to energy are analysed. Data about the evolution and situation of these renewable resources, in the world and also in the OCDE countries, are presented, as well as the resource potential at the world and UE levels. Different aspects related to costs are studied. Finally, sustainability and emissions (both GHG and local pollutants) are also considered.

Keywords: biomass, biogas, bioenergy, costs of biomass, sustainability.

JEL classification: Q42, Q53, Q59.

1. Introducción

La definición de biomasa que se utiliza en las directivas de la Unión Europea (UE) es la siguiente:

«Biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo substancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales».

Esta definición tiene un carácter muy amplio, ya que dentro de ella se engloba una diversidad de fuentes energéticas que comparten determinadas características, pero

* El autor agradece la financiación del proyecto del FEDER y Ministerio de Ciencia e Innovación ECO2009-14586-C2-01.

que difieren entre sí en cuanto a las tecnologías para su obtención y aplicación para la producción energética.

En Cerdá (2012) se presenta la situación y perspectivas de la biomasa sólida, como fuente para obtención de energía, en España en el marco de la Unión Europea. Se consideran aspectos generales, situación a nivel mundial, de UE y de España, se presentan las ventajas que presenta la biomasa sólida, se comentan las barreras más importantes que dificultan su desarrollo y se proponen algunas medidas que podrían ayudar a potenciarla.

Este artículo presenta una visión más general de la biomasa, incorporando también el biogás y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, desde una visión mundial, haciendo referencias a los países de la OCDE y la UE, pero sin particularizar para el caso de España.

Al comenzar el estudio resulta conveniente concretar qué tipos de biomasa existen (apartado 2) y cuáles son sus usos (apartado 3). El apartado 4 trata sobre la evolución y situación de cada uno de los recursos que constituyen la biomasa, a nivel mundial y a nivel de países de la OCDE, distinguiendo entre lo que es la biomasa tradicional y la biomasa moderna. El apartado 5 trata sobre el potencial existente en cuanto a recursos de biomasa, a nivel mundial y a nivel de UE. El apartado 6 aborda el importante problema de los costes, distinguiendo entre los costes de obtención de la materia prima, los correspondientes a las diversas fases de las diferentes cadenas de suministro y los de las distintas tecnologías de conversión a energía. También se presentan datos sobre el coste normalizado de electricidad y de calor, a partir de diferentes recursos de biomasa. El apartado 7 se ocupa de emisiones de gases de efecto invernadero, de emisiones de contaminantes locales y de aspectos relacionados con la sostenibilidad de la biomasa. El artículo termina con las conclusiones en el apartado 8.

2. Tipos de biomasa

El observatorio que realiza el mejor seguimiento de la situación de las energías renovables en la Unión Europea (*EurObserv'ER Barometer*) distingue dentro de la bioenergía, o biomasa en sentido amplio, cuatro fuentes energéticas diferentes: (1) biomasa sólida, (2) biogás, (3) fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), y (4) biocarburantes (también llamados biocombustibles líquidos).

De acuerdo con Cerdá, Caparrós y Ovando (2008), la definición exacta de cada una de estas cuatro fuentes energéticas que constituyen lo que conocemos como biomasa, en sentido amplio, aparece al principio del párrafo dedicado a continuación a cada una de ellas.

Biomasa sólida: aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal (excluyendo aquellos usos que se definen en las siguientes categorías). Dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales

y residuos utilizados, la biomasa sólida se divide en: i) 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 o la colza etíope, entre otras. Entre las especies forestales leñosas se pueden citar, entre otras, el chopo, el sauce, el eucalipto o la *paulownia*. ii) 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.) (IDAE, 2007A).

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 puede proceder de la metanización natural de los residuos sólidos urbanos depositados en los vertederos (desgasificación) o puede ser producido en digestores anaerobios (metanización voluntaria). La digestión anaerobia puede aplicarse a excedentes de cosechas, cultivos energéticos, residuos agrícolas, residuos ganaderos, lodos procedentes de 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 nivel de granja o grupo de granjas⁷.

En cuanto a sus usos, el biogás puede destinarse a la generación de calor y electricidad en una caldera, generación de electricidad en motores y turbinas, pilas de combustible previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas, introducción en una red de transporte de gas natural previa purificación y agregación de los aditivos necesarios (especialmente en Alemania, Suecia y Holanda), material de base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como el metanol o el gas natural licuado, e incluso como combustible de automoción (IDAE, 2007 B)⁸.

⁷ La composición del biogás, dependiendo del sustrato y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente: 50-70 por 100 de metano (CH₄), 30-40 por 100 de anhídrido carbónico (CO₂) y una cantidad inferior al 5 por 100 de hidrógeno (H₂), ácido sulfhídrico (H₂S) y otros gases

⁸ Según el CIEMAT, 1 m³ de biogás (70 por 100 de CH₄ + 30 por 100 de CO₂) tiene un poder calorífico aproximado de 6000 kcal. y tiene la siguiente equivalencia con otras fuentes de energía: 0,8 l de gasolina, 0,6 m³ 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.

El liderazgo mundial en la producción de biogás lo ejerce la UE (10,9 Mtep⁹ en 2010, un 31,3 por 100 más que en 2009) y dentro de ella Alemania y Reino Unido, con el 61,2 por 100 y el 16,2 por 100, respectivamente de la producción en la UE en 2010, seguidas de Italia, Francia, Holanda y España. Los tres canales principales de producción de biogás en la UE son los siguientes: desgasificación de vertederos (26,8 por 100 de producción en 2010), plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes industriales (9,8 por 100) y otras plantas¹⁰ diseñadas expresamente para conversión energética a través de metanización (63,4 por 100). Mientras Alemania ha optado por promover el desarrollo de plantas que traten residuos agroindustriales y cultivos energéticos, Reino Unido se ha centrado en la producción de biogás a partir de la desgasificación de vertederos.

Países como China, India y Bangladesh han optado también por el uso del biogás como instrumento de desarrollo rural que permite el acceso de energía a zonas desfavorecidas.

Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU). La Directiva de la Unión Europea 2008/98/CE incluye como bio-residuos los residuos orgánicos procedentes de jardines y parques, los residuos procedentes de las cocinas y de los alimentos de los hogares, bares, restaurantes, proveedores y redes de distribución de alimentos y residuos procedentes de las plantas de tratamiento de los alimentos. Su transformación en energía se realiza por incineración.

La Directiva de la Unión Europea 2006/12/EC sobre residuos define una jerarquía en la gestión de residuos sólidos urbanos en el siguiente orden de prioridad: 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; 4) vertido de residuos.

La valorización energética de los residuos sólidos urbanos reduce las emisiones de gases de efecto invernadero por dos vías: mediante la generación de energía térmica y eléctrica en sustitución de combustibles fósiles, y evitando emisiones de metano en vertederos.

Según AEBIOM (2011), la distribución según destino de los residuos sólidos urbanos en la UE en el año 2009 fue: 42 por 100 en reciclado y compostaje (39 por 100 en España), 38 por 100 vertederos (52 por 100 en España) y 20 por 100 incineración (9 por 100 en España). Estimaciones de la OCDE indican que en el año 2020, a nivel de OCDE, la media de envío a vertedero podría estar alrededor del 45 por 100, la de incineración en torno al 25 por 100 y la de reciclado y compostaje en el 30 por 100.

Hay que señalar que no todos los residuos que se incineran permiten la recuperación de energía. Aunque hoy día la mayor parte de las plantas de incineración de

⁹ Millones de toneladas equivalentes de petróleo.

¹⁰ Incluye unidades de metanización: a) en granjas, b) de residuos de industrias de procesado de alimentos, c) de residuos de hogares, d) de residuos vegetales, e) plantas de codigestión multiproducto.

residuos recuperan la energía procedente de la incineración, no todas lo hacen. De hecho, al referirse a los posibles destinos de los residuos sólidos urbanos, algunos trabajos distinguen entre incineración con recuperación de energía e incineración sin recuperación.

La confederación Europea de plantas de residuos-energía identificó 401 de tales plantas en la UE en 2009, procesando en torno a 64,9 millones de toneladas de residuos por año. Los países de la UE que obtienen mayor cantidad de energía procedente de esta fuente renovable son Alemania (28,5 por 100 del total de la UE en 2010) y Francia (15,2 por 100 del total de la UE en 2010), seguidos de Holanda, Suecia e Italia. Dinamarca, donde el 60 por 100 de los residuos municipales son renovables, con una producción energética (por esta vía) de 96,6 tep por cada 1000 habitantes es el país de la UE con ratio más alto. En Suecia (79,5 tep por 1.000 hab.) la electricidad producida de esta manera no tiene incentivos, por lo que es vendida a precio de mercado; aún así ocupó el quinto lugar de la UE en producción bruta de electricidad en 2010 a partir de FORSU (1.715,5 GWh).

Se estima que el número de incineradoras en los países de la OCDE asciende a 2.500 plantas, de las cuales aproximadamente 1.800 se encuentran en Japón. Otros países como China muestran un creciente interés por este tipo de instalaciones.

Biocarburantes. Se denominan 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.

El tema de los biocarburantes, o combustibles líquidos, se aborda en otro artículo de este número monográfico, por lo que en este trabajo nos centramos en la biomasa sólida, el biogás y la FORSU.

Al referirnos a recursos de biomasa o de bioenergía como fuentes de energía renovable hay que distinguir entre materias primas y combustibles. Por ejemplo, los excrementos de animales de granjas constituyen materia prima a partir de la cual se obtiene el combustible biogás, o ciertos residuos forestales constituyen la materia prima a partir de la cual se obtienen los combustibles llamados pellets. Las diferentes cadenas de suministro para producción de calor y electricidad a partir de biomasa están muy bien descritas y explicadas en Eurelectric (2011).

3. Usos de la biomasa

En cuanto a los usos de la energía producida con biomasa, éstos pueden ser para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente en el sector doméstico (viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, barrios o municipios enteros), calor para procesos industriales y generación de electricidad. En resumen, todo el conjunto de fuentes energéticas que comprende la biomasa puede tener tanto aplicaciones térmicas como eléctricas.

3.1. Aplicaciones térmicas

De acuerdo con IDAE (2007A), la producción térmica sigue una escala de usos que comenzaría con las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares. En un segundo escalón se sitúan las calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, equiparables en su funcionamiento a las calderas habituales de gasóleo C o gas natural, que proveen a las viviendas de calefacción y agua caliente. En un tercer escalón aparecen las redes de calefacción centralizada (*district heating*), muy extendidas en el norte y centro de Europa. La red de calor y agua caliente llega no sólo a viviendas y urbanizaciones sino también a edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales e incluso industrias. Estas centrales térmicas requieren instalaciones exclusivas, debido al mayor tamaño tanto de las calderas como de los silos de almacenamiento. Estas instalaciones también permiten la distribución de frío para la climatización de viviendas y otros edificios en verano.

Asimismo, en algunos casos también pueden cubrirse las necesidades térmicas de ciertas industrias con calderas de biomasa. Las industrias agroforestales normalmente aprovechan sus residuos para la producción de calor y, en ocasiones, se acompaña de producción eléctrica (cogeneración con biomasa).

Según los datos más recientes de biomasa sólida del *EurObserv'ER*, la producción de energía primaria a partir de biomasa sólida en el conjunto de la UE en el año 2010 fue de 80,1 Mtep (un 9,1 por 100 más que en 2009), de los cuales un 75 por 100, correspondieron a aplicaciones térmicas. Las redes de calefacción centralizada (*district heating*) consumieron en 2010 el 10,7 por 100 de la energía obtenida a partir de biomasa sólida dedicada a usos térmicos en la UE, estando muy desarrolladas en Suecia, Finlandia, Dinamarca, Austria, Alemania y Polonia. La producción de energía primaria a partir de biogás en la UE en el año 2010 fue de 10,9 Mtep (un 31,3 por 100 más que en 2009), de los cuales sólo un 13,8 por 100 fueron aplicaciones térmicas¹¹. La producción de energía primaria a partir de FORSU en la UE en el año 2010 fue de 8 Mtep (un 5,4 por 100 más que en 2009), de los cuales un 25 por 100 fueron aplicaciones térmicas y el resto aplicaciones eléctricas.

3.2. Aplicaciones eléctricas

La producción de electricidad a partir de biomasa sólida precisa de sistemas complejos, dado el bajo poder calórico de esta fuente energética, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido de volátiles. Para ello se necesitan centrales específicas con grandes calderas, con volúmenes de hogar mayores que si utilizaran combustibles convencionales, que conllevan inversiones elevadas y reducen su rendimiento. Todo ello, unido a la dificultad de aprovisionamiento de la biomasa, hace que tenga menor peso la biomasa eléctrica que la biomasa para usos térmicos en el cómputo global de esta energía.

¹¹ 165 ktep calor vendido y 1,5 Mtep autoconsumo.

No obstante, la aplicación eléctrica de la biomasa sólida contribuye a la estabilidad de la red de distribución, dada su capacidad para proporcionar al sistema eléctrico garantía de suministro a cualquier hora del día, independientemente de las diferentes condiciones meteorológicas (sol, viento o lluvia). Se trata, por tanto, de una energía renovable con un carácter gestionable lo que la distingue de otras fuentes renovables.

En general, para cualquier combustible, la generación de electricidad típicamente tiene una eficiencia de conversión directa del 35 por 100, lo cual significa que el 35 por 100 del contenido en energía primaria es convertido en electricidad (energía final). La producción de calor tiene una eficiencia de conversión directa del 85 por 100. Una planta de cogeneración genera a la vez calor y electricidad (por cada unidad de electricidad da dos unidades de calor). La cogeneración con biomasa permite acercar la generación eléctrica y térmica a los centros de producción, reduciendo pérdidas de transporte y evitando la construcción de nuevas plantas de energía convencional que suministren esa demanda eléctrica y térmica (APPA, 2010).

Según los datos más recientes de *Eurobserv'ER*, la producción bruta de electricidad a partir de biomasa sólida en la UE en el año 2010 fue de 69,9 Twh, de los cuales un 63,8 por 100 fueron producidos en centrales de cogeneración. En Suecia, Polonia y Dinamarca toda la energía eléctrica producida a partir de biomasa sólida procede de plantas de cogeneración. En Finlandia la cogeneración supone el 90 por 100 de la generación eléctrica por biomasa sólida. La producción bruta de electricidad a partir de biogás y FORSU en la UE en el año 2010 fue de 10,9 y 8 Twh, respectivamente de los cuales un 19,5 por 100 y un 46,2 por 100, respectivamente, fueron producidos en centrales de cogeneración.

3.3. *Tecnologías de conversión de biomasa en calor o electricidad*

Hay que distinguir entre procesos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación) y procesos bioquímicos (digestión anaerobia).

Combustión de biomasa. Se trata de un proceso en el que el carbono y el hidrógeno contenidos en el combustible reaccionan con el exceso de oxígeno para formar CO_2 y agua y liberar calor. Los procesos de combustión son bien conocidos y existe una amplia variedad de tecnologías comerciales adaptadas a las características de la biomasa y a la escala de sus aplicaciones. La cocombustión consiste en la combustión de biomasa junto con carbón en las plantas de generación de energía eléctrica de carbón.

Pirólisis. Se trata de un proceso de descomposición de biomasa a través de una oxidación incompleta en ausencia de oxígeno que genera compuestos sólidos (carbón vegetal), líquidos y gaseosos aptos como materiales para distintas industrias o como combustibles. Las cantidades relativas de los tres productos que se obtienen dependen de la temperatura a la que se opere y del tiempo de residencia utilizado en el proceso.

Gasificación de biomasa. Ocurre cuando se produce una oxidación parcial de biomasa a través del calor. Ello produce un combustible compuesto por una mezcla de gases, rico en CO y en hidrógeno que tiene un contenido energético del orden del 10 al 45 por 100 del valor calorífico del gas natural (dependiendo del tipo de biomasa y de si la gasificación tiene lugar con aire, oxígeno o calor indirecto). El gas obtenido puede ser enriquecido para obtener una mezcla de gases de mayor calidad llamada gas síntesis de biomasa o *syngas*. Según Kirkels y Verbong (2011), comparado con la combustión, la gasificación es más eficiente, proporcionando calor más controlado, mayores eficiencias en la producción de electricidad y la posibilidad de producir a la vez combustibles y productos químicos.

Digestión anaerobia. Es un proceso biológico en el que la materia orgánica (estiércol, purines, residuos agrícolas, lodos de aguas residuales, residuos urbanos sólidos o líquidos, residuos de la industria alimentaria etc.), mediante la acción de un consorcio de microorganismos específicos y en ausencia de oxígeno, se descompone en biogás (en el que entre el 50 y el 70 por 100 es metano) y en digestato, que es una mezcla de productos minerales y compuestos de difícil degradación.

En APPA (2011) se recoge un inventario de plantas de biomasa, biogás y pellets de los asociados de APPA¹² biomasa en funcionamiento (casi todas) o en proyecto (algunas) en España. Según dicho inventario habría en total 65 plantas, con una potencia instalada de 509,793 MW, repartidos de la siguiente forma: biomasa sólida combustión 22 plantas y 359,49 MW; biomasa sólida gasificación 4 plantas con 3,7 MW; biogás 30 plantas con 97,9MW y FORSU 4 plantas con 49,6 MW de potencia instalada. Además hay 5 plantas de producción de pellets.

4. Situación de la biomasa a nivel internacional

Según la Agencia Internacional de Energía, en el año 2009 la oferta total de energía primaria en el mundo fue de 12.169 Mtep, de los cuales 1.589 Mtep, es decir el 13,1 por 100 corresponde a energías renovables. El 75,9 por 100 de la oferta total procedente de fuentes renovables, es decir 1.206 Mtep, corresponde a bioenergía, de acuerdo a los siguientes porcentajes: biomasa sólida 92,5 por 100, biocarburantes 4,5 por 100, biogás 1,8 por 100 y residuos municipales renovables 1,2 por 100 (IEA, 2011).

La biomasa sólida es la mayor fuente de energía renovable en el mundo, con mucha diferencia, debido a la existencia de la biomasa tradicional en los países en vías de desarrollo. Supone el 9,2 por 100 de la oferta total de energía primaria en el mundo, el 70,2 por 100 de la oferta total de energía renovable. De hecho, el 86 por 100 de la biomasa sólida es producida y consumida en países que no pertenecen a la OCDE. La biomasa tradicional consiste en leña que se obtiene sin mediar tran-

¹² APPA: Asociación de Productores de Energías Renovables de España.

sacción comercial, se utiliza fundamentalmente para cocinar y proporcionar calor en los hogares, tiene unos niveles bajos de eficiencia y genera problemas de salud al emitir gases y partículas contaminantes a causa de la combustión incompleta de la biomasa. La biomasa moderna se caracteriza por las transacciones en el mercado, funciona con mejores niveles de eficiencia, no tiene por qué dar lugar a problemas de salud y es utilizada para generar energía eléctrica, para producir calor y refrigeración en los hogares y en la industria y para producir biocarburantes para el transporte. La biomasa moderna está claramente en expansión en el mundo. En los países de la OCDE cuando se habla de biomasa se considera que ya se está haciendo referencia a la biomasa moderna.

En el Cuadro 1 se presentan datos sobre la oferta de energía primaria, de energía renovable y de bioenergía en la OCDE en los años 1990 y 2010, así como la participación de cada una de las fuentes renovables que componen la bioenergía. A la vista de dicha información, son pertinentes las siguientes observaciones:

- Mientras que la oferta de energía primaria total ha crecido entre 1990 y 2010 un 19,7 por 100 en el conjunto de países que forman parte de la OCDE, la oferta de energía procedente de todas las fuentes renovables (en conjunto) ha crecido un 54 por 100, y la oferta de bioenergía ha crecido en un 80 por 100.
- Por regiones a nivel de OCDE, el mayor crecimiento de oferta de energía primaria total se ha producido en OCDE Asia-Oceanía (41 por 100) y el menor en OCDE Europa (12 por 100). Sin embargo, el mayor crecimiento tanto en oferta de energías renovables como en bioenergía se ha producido en OCDE Europa (102 por 100 y 116,3 por 100, respectivamente), y el menor en OCDE Asia-Oceanía (29 por 100 y 40,9 por 100, respectivamente). OCDE Américas se mantiene en una posición intermedia.
- La biomasa sólida ha pasado de representar el 95,4 por 100 de la oferta de bioenergía en la OCDE en 1990 a contribuir a la misma en un 69,4 por 100, lo cual se debe a la irrupción de los biocarburantes, a la mayor utilización de los residuos municipales renovables, al importante ascenso del biogás y a cierta transición de biomasa tradicional a biomasa moderna. De todas formas, la oferta de energía procedente de biomasa sólida ha crecido un 30 por 100 en la OCDE en el período que se está analizando.
- La oferta de energía procedente de biogás en la OCDE ha pasado de 1,45 Mtep en 1990 a 15,75 Mtep en 2010, lo cual supone un crecimiento del 986,2 por 100. De hecho el biogás, a nivel mundial, ha crecido entre 1990 y 2009, a una tasa media anual del 14,9 por 100, cantidad sólo superada por la solar fotovoltaica y por la eólica entre las energías renovables.
- La oferta de energía procedente de residuos municipales renovables en la OCDE ha pasado de 4,6 Mtep en 1990 a 13,63 Mtep en 2010, lo cual supone un crecimiento del 196,3 por 100, pasando de aportar el 3,5 por 100 en 1990 al 5,8 por 100 en 2010 a la oferta de bioenergía en la OCDE.

CUADRO 1
OFERTA DE ENERGÍA PRIMARIA TOTAL, DE ENERGÍA RENOVABLE Y
DE BIOENERGÍA EN LA OCDE, POR REGIONES Y TOTAL EN 1990 Y 2010

	OCDE Américas ⁷	OCDE Asia- Oceanía ⁸	OCDE Europa ⁹	OCDE total
1990				
O.E.P. (en Mtep.)...	2.260	643	1.620	4.523
de la cual renovable...	148,21 (6,6%)	25,85 (4,0%)	93,49 (5,8%)	267,56 (5,9%)
de la cual bioenergía	77,57 (52,3%)	9,74 (37,7%)	50,09 (53,6%)	131,41 (51,4%)
% biom. sól./bioen.	96,3%	96,8%	93,7%	95,4%
% biocarb./bioen.	–	–	–	–
% biogás/bioenergía	1%	1,1%	1,4%	1,1%
% re. mu. re. ¹⁰ /bioen.	2,8%	2,1%	4,9%	3,5%
2010 (estim.)				
O.E.P. (en Mtep.)...	2.691	907	1814	5.413
de la cual renovable...	191,66 (7,1%)	31,40 (3,52%)	188,88 (10,4%)	411,94 (7,6%)
de la cual bioenergía	109,31 (57,03%)	12,45 (39,7%)	113,36 (60,0%)	235,12 (57,1%)
% biom. sól./bioen.	66,5%	81,6%	70,8%	69,4%
% biocarb./bioen.	24,8%	4,6%	13,2%	18,1%
% biogás/bioen.	5,1%	4,8%	8,5%	6,7%
% re. mu. re./bioen.	3,7%	9%	7,5%	5,8%

FUENTE: Agencia Internacional de Energía (*Renewables Information*, 2011 with 2010 data).

5. Disposición de recurso

En este apartado se recogen algunos resultados relevantes de trabajos publicados, así como algunos datos recogidos, distinguiendo dos niveles: mundo y Unión Europea.

En el mundo

De acuerdo con el trabajo del IPCC (2011), el tamaño del potencial técnico futuro de la biomasa depende de diferentes factores que son inciertos por naturaleza, lo cual implica que sea imposible precisar cuál será dicho potencial en el futuro. Entre los factores más importantes hay que citar la población, el desarrollo económico y

⁷ OCDE Américas: Canadá, Chile, México y Estados Unidos.

⁸ OCDE Asia-Oceanía: Australia, Israel, Japón, Corea y Nueva Zelanda.

⁹ OCDE Europa: Austria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Italia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía y Reino Unido.

¹⁰ Residuos municipales renovables.

tecnológico, y cómo éstos influyen en la demanda de alimentos, piensos y fibras, así como el desarrollo de la agricultura y silvicultura. Otros factores importantes son: los impactos del cambio climático en el uso futuro de la tierra, incluyendo su capacidad de adaptación; el conjunto de consideraciones sobre exigencias en cuanto a biodiversidad y conservación de la naturaleza y las consecuencias de la degradación de la tierra y escasez de agua.

Diferentes estudios apuntan a flujos de residuos procedentes de la agricultura y la silvicultura y a tierras agrícolas no utilizadas como una base importante para la expansión de la producción de biomasa para energía, tanto en el corto como en el largo plazo. La consideración que se dé a la biodiversidad y la necesidad de asegurar el mantenimiento de ecosistemas sanos así como de evitar la degradación del suelo, ponen cotas a la extracción de residuos de las tierras agrícolas y forestales.

En el trabajo del IPCC (2011), y basándose en una revisión de la literatura especializada, se concluye que los niveles de despliegue de la biomasa para energía podrían alcanzar un rango de 100 a 300 EJ/año, frente a la cantidad actual de 50 EJ/año¹³.

En la Unión Europea

Tal como se indica en el trabajo de la European Climate Foundation (2010), en los escenarios publicados por la Comisión Europea referentes a cómo la Unión Europea podría alcanzar las metas fijadas para 2020 en cuanto al peso de las energías renovables, el consumo anual de biomasa¹⁴ para calor y electricidad pasaría de los 800 TWh en 2007 a 1650 TWh en 2020, lo cual supone un incremento de 850 TWh, el mismo incremento que la suma de todas las demás energías renovables (Capros *et al.*, 2008).

Entre los años 2000 y 2007 el consumo de energía por biomasa creció en la Unión Europea aproximadamente 25 TWh por año, por lo que si el crecimiento continuara al mismo ritmo se llegaría al año 2020 a un consumo de 1.125 TWh, es decir, 525 TWh por debajo del escenario que maneja la Comisión Europea.

Para alcanzar el escenario de la Comisión Europea de 1.650 TWh de consumo anual de energía final por biomasa, el suministro de energía primaria por biomasa tiene que estar entre 1.850 y 3.400 TWh, dependiendo de cómo la biomasa vaya a ser utilizada (para producir calor o electricidad). En el trabajo de la European Climate Foundation (2010) se lleva a cabo un estudio sobre la cantidad de biomasa que se podría obtener domésticamente en la UE en un escenario de movilización «dinámica» de biomasa, teniendo en cuenta la tierra disponible, los diferentes tipos de combustible a partir de biomasa, la sostenibilidad y el tiempo necesario para incrementar la oferta. Se llega a la conclusión de que se puede alcanzar una oferta

¹³ Entendemos que dichas cantidades se refieren al conjunto de la bioenergía.

¹⁴ Incluye la biomasa sólida, el biogás y la FORSU, no incluye los biocarburantes.

adicional de 1.000 TWh de energía renovable por biomasa doméstica. Dos tercios de tal incremento potencial procedería de cultivos energéticos y residuos agrícolas y el resto de incrementos en la extracción de residuos forestales y de mayor uso de residuos sólidos urbanos e industriales para propósitos de energía. Con ello se llegaría a una oferta aproximada de 2.000 TWh al año de biomasa producida en la UE. Para satisfacer una demanda de 2.300 TWh al año habrá que importar biomasa para cubrir unos 300 TWh al año.

¿Por qué no se alcanza actualmente todo el potencial? Se dan dos razones principales: 1) La cadena de valor entera para la biomasa no tiene suficiente atractivo como negocio en muchos países y aplicaciones. 2) Muchas empresas, propietarios forestales y labradores siguen sin estar convencidos sobre el papel que la biomasa como fuente de energía jugará en el futuro, por lo que son reticentes a realizar inversiones a largo plazo.

Un reciente estudio muy interesante sobre la madera en la UE es Mantau et al (2010). En dicho estudio, se parte de balances para 2005 y 2007 y se realizan proyecciones para 2010, 2020 y 2030. Las proyecciones comparan oferta con demanda, para diferentes escenarios. En el lado de la oferta se consideran escenarios de «baja», «media» y «alta» movilización sobre oferta potencial de madera procedente de bosques y de fuera de los bosques. Desde el lado de la demanda, se consideran los escenarios de crecimiento A1 y B2 del IPCC así como diferentes objetivos de la UE referentes al peso de las energías renovables. También se reparten los 27 países de la UE en cuatro bloques: norte, sur, este y oeste. Los resultados del análisis muestran que, bajo el escenario de movilización «media», la demanda esperada (para la industria y para usos energéticos) probablemente excederá el potencial antes de 2020. Bajo el escenario de movilización «alta» es difícil, pero no imposible, en 2020 suministrar suficiente madera para satisfacer las necesidades de la industria y a la vez alcanzar los objetivos de energía renovable de manera sostenible y no es posible en 2030.

6. Costes

Como ya ha quedado claro en los apartados anteriores, al hablar de biomasa para usos energéticos nos estamos refiriendo a diferentes materias primas, cadenas de suministro, combustibles y tecnologías de conversión a energía. Todo ello aparece reflejado en los costes, que variarán en función de los diferentes aspectos que se tomen en consideración y abarcarán un amplio rango de valores. Para analizar mejor este aspecto, a continuación se analizan los costes de las materias primas, de la logística y cadenas de suministro, de las plantas de transformación de biomasa a energía, llegando finalmente a los costes normalizados de energía.

Costes de las materias primas

Para cultivos energéticos, los costes de producción y recolección incluyen los correspondientes a provisión de semillas y plantones, establecimiento y labranza de la tierra, cosecha, irrigación, fertilizantes y pesticidas. Dichos costes varían ampliamente en función de los precios del trabajo, maquinaria, tierra y otros inputs.

En el Cuadro 2 se recogen rendimientos y costes de producción y recolección de diferentes materias primas, que han sido elaborados por el IPCC, a modo de síntesis de diferentes trabajos publicados. Como se puede observar en los datos que se presentan, tanto los rendimientos como los costes varían ampliamente según las diferentes partes del mundo y los diversos tipos de materia prima. Los rendimientos energéticos anuales varían entre 80 y 415 GJ/ha para cultivos energéticos y entre 2 y 155 GJ/ha para residuos agrícolas y forestales. Los costes (dólares por unidad de

CUADRO 2
RENDIMIENTOS Y COSTES DE PRODUCCIÓN Y RECOLECCIÓN DE
DIFERENTES MATERIAS PRIMAS DE BIOMASA EN EL MUNDO

Materia prima	Región	Rendimiento GJ/ha/año	Coste US\$₂₀₀₅/GJ
Cultivos energéticos			
<i>Miscanthus</i>	Europa	190-280	4,8-16
<i>Paricum virgatum</i> (Switchgrass)	Europa	120-225	2,4-3,2
<i>Paricum virgatum</i> (Switchgrass)	Norte de América	103-150	4,4
<i>Árboles rotación corta</i>	Sur de Europa	90-225	2,9-4
<i>Eucaliptus</i>	Sur de América	150-415	2,7
<i>Sauce (rotación corta)</i>	Europa	140	4,4
<i>Astillas madera</i>	Europa	110	3,4-13,6
<i>Astillas madera</i>	Centro de América	80-150	1,8-2
Residuos primarios			
<i>Paja de trigo</i>	Europa	60	1,9
<i>Paja de trigo</i>	USA	7-75	N.D.
<i>Paja de azúcar de caña</i>	Brasil	90-126	N.D.
<i>Cañote de maíz</i>	Norte de América	15-155	N.D.
<i>Cañote de maíz</i>	India	22-30	0,9
<i>Rastrojo de sorgo</i>	Mundo	85	N.D.
<i>Residuos forestales</i>	Europa	2-15	1-7,7

FUENTE: IPCC (2011).

energía que se obtiene) varían entre 1,8 y 16 US\$₂₀₀₅/GJ para cultivos energéticos y entre 0,9 y 7,7 US\$₂₀₀₅ para residuos.

Logística y cadenas de suministro

La biomasa normalmente está disponible en formas con densidad baja, por lo que se necesita para su almacenamiento, transporte y tratamiento más espacio que para los combustibles fósiles equivalentes, lo cual tiene implicaciones en los costes. La biomasa a menudo necesita ser procesada (pretratamiento) para mejorar su manejo. Para la mayor parte de los sistemas y cadenas de suministro de biomasa el tratamiento y transporte de la biomasa desde la localización de la materia prima hasta la planta de conversión a energía es un componente importante del coste total de producción de energía. La recogida, almacenamiento, transporte, pre-tratamiento y entrega de la biomasa puede suponer entre el 20 por 100 y el 50 por 100 de los costes totales de producción de energía (IPCC, 2011).

Tanto el informe del IPCC como el de la European Climate Foundation señalan que existe un potencial significativo en cuanto a reducción de costes en muchas de las fases clave de las diferentes cadenas de suministro de la biomasa, principalmente por efecto escala y por efecto aprendizaje.

En cuanto a los cultivos energéticos, hay margen de mejora en los equipos de plantación; margen para la reducción de los costes de corta; áreas mayores y más concentradas dedicadas a cultivos energéticos permitirán la utilización de equipos especializados y reducirán los costes de transporte; los costes de fertilización pueden disminuir (entre el 10 y el 15 por 100) utilizando propagación elevada; al utilizarse a mayor escala disminuirán los costes de la cosecha (20 por 100 del coste total) al usar cosechadoras especializadas más eficientes.

Los residuos forestales se vienen utilizando en Finlandia y Suecia desde hace muchos años. En dichos países, entre 1975 y 2003 los costes de recogida de residuos forestales disminuyeron un 15 por 100 cada vez que se doblaba la capacidad de producción acumulada. En 2003 los costes eran la tercera parte de dichos costes en 1975.

La mitad de los residuos agrícolas que se utilizan en la Unión Europea para producir energía se recogen en Dinamarca, donde se aprovecha para uso energético entre el 30 por 100 y el 50 por 100 de sus residuos agrícolas, lo cual supone para dicho país la total utilización pues el resto debe dejarse en los campos como nutriente o para ser utilizado por el ganado. Hay margen de reducción de costes en cada una de las fases de amontonamiento, transporte, carga y almacenamiento de los residuos. Los costes se pueden reducir un 20 por 100 haciendo balas más grandes y densas, utilizando equipos especializados que aumentan la densidad de las balas en un 30 por 100. Los costes de almacenaje pueden ser reducidos hasta un 90 por 100 si las balas son almacenadas al aire libre, adecuadamente protegidas (por túneles de plástico, por ejemplo).

Para los pellets importados por Europa desde el Sudeste de Estados Unidos, entre 2010 y 2020, los costes se pueden reducir un 20 por 100 a través de mejoras en las prácticas en la cosecha (consolidación de la mecanización), economías de escala, mejoras en cuanto a operación de las fábricas de pellets y optimización en el transporte (European Climate Foundation, 2010).

Análisis de cadenas de suministro de biomasa muestran que el transporte por carretera de biomasa abultada y sin tratar es no competitiva y energéticamente ineficiente para distancias superiores a 50 Km. Para mayores distancias se requiere pre-tratamiento y densificación en la cadena de suministro. Teniendo en cuenta el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, cadenas logísticas bien organizadas pueden requerir menos del 10 por 100 del contenido inicial de energía de la biomasa, pero ello requiere escala en el transporte, pre-tratamiento eficiente y minimización de transporte de la biomasa no tratada (IPCC, 2011).

Costes de las plantas de transformación a energía

En el Cuadro 3 se presentan los costes de inversión y de operación y mantenimiento (O&M) por kW, así como niveles de eficiencia, tamaño típico de planta y media de tiempo de vida para diferentes tipos de plantas de transformación que utilizan diferentes combustibles de biomasa. Los datos proceden de un estudio realizado a nivel de Unión Europea.

CUADRO 3
NIVELES DE EFICIENCIA Y COSTES DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA A ENERGÍA

Tipo de biomasa	Especificación de planta	Costes de inversión [€/kW _e]	Costes de O&M [€/kW _e /año]	Eficiencia (electricidad) [l]	Eficiencia (calor) [l]	Tiempo de vida (media) [años]	Tamaño típico planta [MW _e]
Biomasa sólida	Biomasa	2.225-2.995	84-146	0,26-0,3	-	30	1-25
	Co-combusti.	450-650	65-95	0,37	-	30	-
	Biom. Co-gen	2.600-4.375	86-176	0,22-0,27	0,63-0,66	30	1-25
	Co-com co-gen	450-650	85-125	0,2	0,6	30	-
Biogás	Agricultura	2.550-4.290	115-140	0,28-0,34	-	25	0,1-0,5
	Agric. Co-gen	2.765-4.525	120-145	0,27-0,33	0,55-0,59	25	0,1-0,5
	Vertedero	1.350-1.950	50-80	0,32-0,36	-	25	0,75-8
	Vert co-gen	1.500-2.100	55-85	0,31-0,35	0,5-0,54	25	0,75-8
	Agua resid.	2.300-3.400	115-165	0,28-0,32	-	25	0,1-0,6
	Ag res co-gen	2.400-3.550	125-175	0,26-0,3	0,54-0,58	25	0,1-0,6
Fracción orgánica de RSU	Incin. RSU	5.500-7.125	145-249	0,18-0,22	-	30	2-50
	In RSU co-gen	5.800-7.425	172-258	0,14-0,16	0,64-0,66	30	2-50

FUENTE: DE JAGER *et al.* (2011).

Como se puede observar en el Cuadro 3:

- Los costes más altos, tanto de inversión como de O&M corresponden a las plantas que permiten el aprovechamiento energético a partir de la incineración de RSU.
- Los costes más bajos de inversión se alcanzan para la cocombustión utilizando biomasa sólida, siendo también bajos los costes de O&M.
- En cuanto a las plantas que utilizan biogás, las que presentan menores costes, tanto de inversión como de O&M, son las que tienen su origen en vertederos, y las que presentan mayores costes son las que utilizan productos agrícolas.
- En general, la cogeneración implica un aumento en los costes de inversión y de O&M en torno al 5 por 100.

Coste normalizado de energía (LCOE¹⁵)

Determinar los costes de producción de energía a partir de biomasa es muy complejo debido a la variabilidad regional en los costes de producción y suministro de las materias primas y a la amplia variedad de tecnologías de conversión de biomasa a energía, así como de todas las combinaciones posibles. De todas formas, en la publicación del IPCC (2011) se presentan estimaciones de costes normalizados de electricidad y de calor para diferentes sistemas comerciales de biomasa, que aparecen en el Cuadro 4. La metodología utilizada, hipótesis de partida, valores de parámetros y resultados para diferentes fuentes de energía renovable (no sólo bioenergía) aparecen en los Anexos II y III del trabajo del IPCC.

Las principales conclusiones que se obtienen de dichas estimaciones son las siguientes:

- Algunos sistemas importantes de bioenergía ya son actualmente competitivos con los combustibles fósiles para algunas materias primas, propósitos y países (IPCC, 2011; Creutzig *et al.*, 2012).
- En Europa, algunas aplicaciones de biomasa en el sector residencial, sobre todo si son diseñadas como instalaciones para cogeneración, son competitivas en costes y están creciendo muy rápidamente (Creutzig *et al.*, 2012).
- Algunos sistemas importantes de biomasa han reducido sus costes y mejorado sus resultados ambientales a través del tiempo. Estos sistemas aún requieren subsidios gubernamentales para favorecer el desarrollo económico, la reducción de la pobreza, seguridad y diversificación de suministro energético y otras razones (IPCC, 2011).

¹⁵ Levelised cost of energy. Es el coste unitario de producción (unidades monetarias por unidad de energía producida).

- Existe evidencia de que mayores mejoras en tecnologías de generación eléctrica, sistemas de producción de cultivos energéticos y desarrollo de sistemas de suministro pueden hacer que disminuyan los costes de generación eléctrica y de producción de calor a unos niveles muy atractivos en muchas regiones (IPCC, 2011).

CUADRO 4
COSTE NORMALIZADO DE ENERGÍA (LCOE)

Tecnología	cUS\$₂₀₀₅/kWh
Electricidad (combustión directa, BFB), 25-100 MW	6,9-15
Electricidad (combustión directa, BFB ¹⁴), 25-100 MW	6,7-15
Electricidad. Cocombustión (coalimentación), 20-100 MW	2,2-6,2
Electricidad. Cocombustión (alimentación separada), 20-100 MW	2,6-6,7
Cogeneración calor y electricidad (Stoker), 25-100 MW	6,3-15
Cogeneración calor y electricidad (ORC ¹⁵), 0,65-1,6 MW	12-32
Cogeneración calor y electricidad (turbina de vapor), 2,5-10 MW	8,3-22
Cogeneración calor y electricidad (gasificación, motor de comb. int.), 2,2-13 MW	3-13
Calor. Calefacción doméstica por pellets, 5-100 kW	5,2-26,8
Cogeneración calor y electricidad (residuos sólidos urbanos), 1-10 MW	0,6-13,2
Cogeneración calor y electricidad (turbina de vapor), 12-14 MW	3,8-24,4
Cogeneración calor y electricidad (digestión anaerobia), 0,5-5 MW	3,5-10,5

FUENTE: IPCC (2011).

En el trabajo de la European Climate Foundation (2010), al potencial de reducción de costes del combustible en cada etapa de la cadena de suministro, ya comentado anteriormente, se le añade la evolución previsible del coste en la etapa de conversión de biomasa en calor o electricidad, llegándose a la conclusión de que el potencial en cuanto a reducción de costes de producción de calor y electricidad a partir de biomasa se estima que está entre el 15 por 100 y el 40 por 100 para el año 2020. Con estos valores, muchas plantas de generación de electricidad alimentadas por biomasa podrían competir con plantas alimentadas por combustibles fósiles si el precio de las emisiones de CO₂ se situara entre los 30 y los 50 euros por tonelada, cantidad que muchas instituciones especializadas consideran probable en el futuro. Asimismo, la biomasa sería similar, en cuanto a costes, a otras fuentes de energía renovable como la eólica interior e incluso tendría costes inferiores a otras como la eólica marina. De acuerdo con estas previsiones, varias de las más importantes aplicaciones energéticas de la biomasa podrían ser competitivas en costes sin incentivos específicos, en un horizonte temporal de 9 a 14 años, lo cual significa que los incentivos que se necesitan son transitorios y no permanentes.

¹⁴ Bubbling fluidized bed.

¹⁵ Organic Rankine cycle.

A la vista del importante potencial en cuanto a mejora en costes, cabe considerar a la biomasa como una fuente renovable de producción de energía, probada pero todavía con importante margen de mayor desarrollo, más que una tecnología madura (European Climate Foundation, 2010). Si se añade el supuesto de que en 2020 está introducido en la industria el proceso de torrefacción¹⁶, los costes aún se reducen un 12,5 por 100 más.

7. Emisiones y sostenibilidad

Tal como se ha visto en los apartados anteriores, la biomasa moderna está creciendo en muchos países de la OCDE y se trata de un conjunto de recursos energéticos en progresión, con muchas posibilidades de mejora en muchos aspectos. En esta sección se estudian algunos elementos que están presentes en la literatura internacional sobre la biomasa, y que conviene dejar claros.

7.1. Emisiones de gases de efecto invernadero

El análisis de ciclo de vida es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el medio ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de toda su existencia, mediante la cuantificación del uso de recursos y de emisiones ambientales asociados con el sistema que se está evaluando.

Sovacool (2008), presenta las siguientes estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de electricidad producida (en gCO₂e/kWh) para las diferentes tecnologías de generación eléctrica, utilizando un análisis de ciclo de vida: eólica marina 9, eólica interior 10, hidroeléctrica 10-13, biogás 11, solar térmica 13, biomasa 14-41, solar fotovoltaica 32, geotérmica 38, nuclear 66, gas natural 443, diesel 778, carbón 960-1050. En cuanto a biomasa, distingue 7 tipos, siendo las respectivas estimaciones de gCO₂e/kWh 14, 22, 23, 27, 31, 35 y 41.

En el documento European Commission (2010) se destacan los ahorros en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero que se obtienen al reemplazar combustibles fósiles por recursos de biomasa. El balance en cuanto a gases de efecto invernadero de los sistemas de biomasa, utilizando análisis de ciclo de vida, difiere dependiendo del tipo de materia prima, variaciones en el stock de carbono debidas al cambio de uso de la tierra, transporte, procesamiento de las materias primas y tecnologías de conversión para producir calor y electricidad. Utilizando la misma metodología que se utiliza en la Directiva de Energías Renovables para los biocombustibles, se estudia el balance de gases de efecto invernadero para el combustible

¹⁶ La torrefacción consiste en un proceso de pretratamiento de la biomasa, anterior a la combustión y a la «pelletización» que produce un biocombustible sólido con propiedades físicas parecidas a las del carbón.

biomasa utilizada en electricidad y en calefacción y refrigeración y se compara con la media, a nivel de Unión Europea, para combustibles fósiles utilizados en electricidad y en calefacción y refrigeración, incorporando pérdidas por conversión de energía, suponiendo 25 por 100 de eficiencia en conversión eléctrica y 85 por 100 de eficiencia en conversión térmica.

Según el citado documento, las aplicaciones energéticas de los tipos más comunes de biomasa reducen las emisiones de CO₂ entre un 55 y un 98 por 100, en comparación con los combustibles fósiles, aunque haya que transportar la materia prima a larga distancia, siempre que la producción de la biomasa no cause cambios en el uso de la tierra. Cuando se usan residuos forestales o agrícolas, los ahorros en gases de efecto invernadero están normalmente por encima del 80 por 100 en comparación con los combustibles fósiles. Mayores emisiones pueden producirse para cultivos energéticos agrícolas y en alguna medida para cultivos energéticos forestales de rotación corta debido al uso de fertilizantes.

La Agencia Ambiental del Reino Unido publicó un informe sobre biomasa en 2009 y llegó a conclusiones similares. En dicho informe se pone mucho énfasis en las grandes diferencias entre buenas y malas prácticas en la cadena de suministro de cada materia prima. Se dice que es crucial mejorar la eficiencia del carbono en cada etapa de la cadena de suministro.

7.2. Combustión de biomasa y contaminación local

Al igual que los sistemas de combustión convencionales, las calderas de combustión de biomasa pueden emitir ciertos contaminantes locales como óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas (PM) y dióxido de azufre (SO₂). La mezcla y cantidad de contaminantes producidos dependerá del tamaño y diseño de la caldera, la calidad y el tipo de combustible utilizado, de las condiciones del proceso y de los equipos de control de la contaminación instalados en la planta. El mantenimiento de la caldera y del equipo asociado también afectará a las emisiones contaminantes (a peor mantenimiento, mayores emisiones).

En el informe del IPCC (2011) se dice que «las emisiones de contaminantes, como SO₂ y NO_x, son generalmente más bajas para biomasa que para carbón y gasóleo». A nivel de España, en el programa Biomcasa (IDAE, 2010) se comparan emisiones procedentes de biomasa con emisiones procedentes de gasóleo y de gas natural, y se afirma lo siguiente: en cuanto a CO las emisiones procedentes de la biomasa son menores que las procedentes del gasóleo y del gas natural; en cuanto a SO₂ las emisiones procedentes de la biomasa son menores que las procedentes del gasóleo pero mayores que las procedentes del gas; en cuanto a partículas (PM), las emisiones procedentes de la biomasa son mayores que las procedentes del gasóleo y del gas natural.

Tal como se indica en Bain *et al.* (2003), las partículas PM constituyen la mayor preocupación en cuanto a contaminantes locales procedentes de la combustión de la

biomasa. Tales emisiones dependen principalmente de la composición del combustible utilizado y de los aparatos de control de partículas. También pueden ser emitidas cantidades significativas de óxidos de nitrógeno (NO_x) cuando se utilizan ciertos tipos de combustibles o cuando las condiciones de funcionamiento no son adecuadas. Algunos aparatos de control que se pueden utilizar para reducir las emisiones de partículas (PM) en calderas de biomasa son: colectores mecánicos (que pueden ser utilizados en series, de manera que el primer colector retire las partículas de mayor tamaño y los sucesivos las de tamaños más pequeños), depuradores húmedos (entre los que destaca el depurador venturi, para el que se han observado niveles de eficiencia superiores al 85 por 100), precipitados electrostáticos (para los que se han observado niveles de eficiencia del 90 al 99 por 100) o filtros de tela. Para reducir las emisiones de NO_x se ha utilizado con éxito la reducción no-catalítica selectiva, siendo también posible la reducción catalítica selectiva. Ambos sistemas consisten en la reducción de NO_x después de la combustión mediante la inyección de amoníaco (o urea) en el gas procedente de la combustión para descomponer el NO_x en nitrógeno y agua.

7.3. Sostenibilidad

La creciente producción y uso de la biomasa para energía ya está dando lugar a un aumento en el comercio internacional, y se espera que dicho mercado se expanda en el futuro. Para la biomasa producida en la Unión Europea, el actual marco legal, relacionado con la gestión de la agricultura y de los bosques, proporciona cierta seguridad en cuanto a criterios de sostenibilidad, al igual que ocurre con otros países. En cambio, en otros países que pueden exportar biomasa a países de la Unión Europea no hay garantías de que se sigan criterios de sostenibilidad. Hay que evitar la producción insostenible de la biomasa, para lo cual se deben establecer criterios que aseguren que la biomasa que se importe haya sido producida y gestionada de manera sostenible.

Los principales riesgos que deben ser considerados y gestionados son los siguientes:

- Cambio en el uso de la tierra. No debería considerarse un cambio directo de uso de la tierra de bosques viejos a bosques gestionados para cultivos energéticos, ya que en tal caso se establece una deuda de carbono y se incurre en pérdida de biodiversidad. En general, no debe haber un cambio de uso de tierra que cree una importante deuda de carbono. El uso a gran escala de la biomasa puede también producir un cambio indirecto de uso de la tierra, lo cual ocurre cuando la producción de biomasa desplaza ciertas actividades a otras zonas que a su vez causan cambios de uso (como por ejemplo deforestación).
- Ambientales: pérdida de biodiversidad, pérdida de calidad de la tierra (acidificación, erosión, deterioro por productos químicos o cambio en el balance de nutrientes), degradación de los hábitats de agua.

- Reducción del stock de carbono en las tierras agrícolas o forestales, si se deja en la tierra una cantidad insuficiente de residuos. Así, algunos países han establecido regulaciones estableciendo límites al porcentaje de residuos y tocones que pueden ser retirados de los bosques (por ejemplo, Suecia autoriza a que se puedan retirar hasta el 70 por 100 de los residuos en sus bosques, lo cual está en la mayor cota de permisividad en ese aspecto, a nivel de la Unión Europea).
- Aspectos sociales, tales como condiciones laborales, posible pérdida de aspectos recreativos tradicionales en los bosques o posibles aumentos en las diferencias de renta en comunidades locales.

Para gestionar y mitigar estos posibles riesgos algunas partes interesadas (empresas, ONG, académicos, políticos) están de acuerdo en que son necesarios criterios de sostenibilidad cuidadosamente estudiados, los cuales deberían ser aplicados a través de una combinación de regulaciones legalmente vinculantes y de esquemas de certificación y estándares similares a los que ya existen para ciertos productos procedentes de los bosques (como el papel) (European Climate Foundation, 2010).

En Eurelectric (2011) se propone que se establezcan criterios armonizados para todos los países de la UE sobre sostenibilidad en relación a la biomasa, para proporcionar al público en general evidencia creíble de que la biomasa es un combustible sostenible, especialmente para las importaciones.

8. Conclusiones

Según la Agencia Internacional de Energía, en el año 2009, el 10,2 por 100 de la estructura de energía primaria en el mundo se obtiene a partir de los recursos que denomina «biomasa y residuos». La biomasa sólida constituyó en dicho año el 70,2 por 100 de la oferta total de energía primaria renovable en el mundo, el biogás el 1,4 por 100 y la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos el 0,9 por 100. El biogás ha crecido en el mundo entre 1990 y 2009 a una tasa media anual del 14,9 por 100, sólo superada en dicho ratio por la solar fotovoltaica y la eólica terrestre.

Según Eurobserv'ER, en el año 2010, la bioenergía contribuyó en un 68,2 por 100 al consumo de energía primaria renovable en la UE, de la siguiente forma: biomasa sólida 48,4 por 100, biocarburantes 8,4 por 100, biogás 6,6 por 100 y FORSU 4,8 por 100. De esta forma, la biomasa sólida ocupa el primer lugar, los biocarburantes el tercero, el biogás el quinto y el FORSU el sexto¹⁷, en este apartado. El 75 por 100 de la producción de biomasa sólida en la UE en 2010 se dedicó a aplicaciones térmicas, mientras que dicho porcentaje fue del 13,8 por 100 para el biogás y del 25 por 100 para la FORSU, dedicándose el resto fundamentalmente a la generación de electricidad.

¹⁷ Biomasa sólida 48,4 por 100, hidráulica 18 por 100, biocarburantes 8,4 por 100, eólica 7,4 por 100, biogás 6,6 por 100, FORSU 4,8 por 100, geotérmica 4,4 por 100, solar 2 por 100, energías marinas 0,03 por 100.

Según el IPCC (2011), y basándose en una revisión de la literatura especializada, los niveles de despliegue de la biomasa para energía (incluyendo biocarburantes) podrían alcanzar un rango de 100 a 300 EJ/año, frente a la cantidad actual de 50 EJ/año.

En los escenarios publicados por la Comisión Europea referentes a cómo la UE podría alcanzar las metas fijadas para 2020 en cuanto al peso de las energías renovables, el consumo anual de biomasa (sin incluir biocarburantes) para calor y electricidad pasaría de los 800 TWh en 2007 a 1.650 TWh en 2020, lo cual supone un incremento de 850 TWh, el mismo incremento que la suma de todas las demás energías renovables.

Algunos sistemas importantes de bioenergía ya son actualmente competitivos con los combustibles fósiles para algunas materias primas, propósitos y países. En Europa, aplicaciones de biomasa en el sector residencial, sobre todo si son diseñadas como instalaciones para cogeneración, son competitivas en costes y están creciendo muy rápidamente.

Existe evidencia de que mayores mejoras en tecnologías de generación eléctrica, sistemas de producción de cultivos energéticos y desarrollo de sistemas de suministro pueden hacer que disminuyan los costes de generación eléctrica y de producción de calor a unos niveles muy atractivos en muchas regiones.

A la vista del importante potencial en cuanto a mejora en costes, cabe considerar a la biomasa como una fuente renovable de producción de energía, probada pero todavía con importante margen de mayor desarrollo, más que una tecnología madura (European Climate Foundation, 2010).

Las aplicaciones energéticas de los tipos más comunes de biomasa reducen las emisiones de CO₂ entre un 55 y un 98 por 100, en comparación con los combustibles fósiles, aunque haya que transportar la materia prima a larga distancia, siempre que la producción de la biomasa no cause cambios en el uso de la tierra. Cuando se usan residuos forestales o agrícolas, los ahorros en gases de efecto invernadero están normalmente por encima del 80 por 100 en comparación con los combustibles fósiles.

Referencias bibliográficas

- [1] AEBIOM (2011): *Annual Statistical Report on the contribution of Biomass to the Energy System in the EU 27*. AEBIOM- European Biomass Association. Brussels, June 2011.
- [2] APPA (2010): *Análisis Sectorial. Área de la Biomasa*. Madrid.
- [3] APPA (2011): *Inventario de plantas de biomasa, biogás y Pellets de APPA 2011*. Madrid.
- [4] BAIN, R. L.; AMOS, W. A.; DOWNING, M. y PERLACK, R. L. (2003): *Biopower Technical Assessment: State of the Industry and Technology*. National Renewable Energy Laboratory. Colorado, USA.
- [5] CERDÁ, E. (2012): *La biomasa en España: Una fuente de energía renovable con gran futuro*. Documento de Trabajo 01/2012. Fundación Ideas. Madrid.
- [6] CERDÁ, E.; CAPARRÓS, A. y OVANDO, P. (2008): «Bioenergía en la Unión Europea». *Ekonomiaz*, 67, 1.º cuatrimestre, pp. 156-181.

- [7] CAPROS, P.; MANTZOS, L.; PAPANDREOU, V. y TASIOS, N. (2008): *Model-based Analysis of the 2008 EU Policy Package on Climate Change and Renewables*. Report to DG ENV.
- [8] CREUTZIG, F.; VON STECHOW, C.; KLEIN, D.; HUNSBERGER, C.; BAUER, N.; POPP, A. y EDENHOFER, O. (2012): «Can Bioenergy Assessments Deliver?», *Economics of Energy & Environmental Policy*, vol. 1, issue 2, pp. 65-82.
- [9] DE JAGER *et al.* (2011): *Financing Renewable Energy in the European Energy Market*. Informe final. Ecofys. Utrecht.
- [10] EURELECTRIC (2011): *Biomass 2020: Opportunities, challenges and solutions*. Bruselas.
- [11] EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION (2010): *Biomass for heat and power. Opportunity and economics*.
- [12] EUROPEAN COMMISSION (2010): *On sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling*. Report from the Commission to the Council and the European Parliament.
- [13] IDAE (2007 A): *Energía de la biomasa*. Madrid.
- [14] IDAE (2007 B): *Biomasa. Digestores anaerobios*. Madrid.
- [14] IDAE (2010): *Programa Biomcasa*. Madrid.
- [15] IEA (International Energy Agency) (2011): *Renewables Information 2011 with 2010 data, OECD/IEA*, París.
- [16] IPCC (2011): *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Chapter 2, «Bioenergy».
- [17] KIRKELS, A. F. y VERBONG, G. P. J. (2011): «Biomass gasification: Still promising? A 30-year global overview», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 471-481.
- [18] MANTAU, U. *et al.* (2010): *UEwoob. Real potential for changes in growth and use of EU forests*. Informe final. Hamburgo/Alemania, junio 2010, p. 160.
- [19] NUSSBAUMER, T.; CZASCH, C.; KLIPPEL, N.; JOHANSSON, L. y TELLING, C. (2008): *Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA Countries. Survey on Measurements and Emission Factors*. IEA. Bioenergy Task 32. Zúrich.
- [20] SOVACOOOL, B. K. (2008): «Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey», *Energy Policy*, 36, pp. 2940-2953.