

Módulo: Biomasa

INTRODUCCIÓN A LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO

AUTOR: JUAN E. CARRASCO

Índice

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. INTRODUCCIÓN | ; | ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 2. TIPOS Y RECURSOS DE BIOMASA | ; | ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 3. PROCESOS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA; | ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. | |
| 4. UTILIZACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE LA BIOMASA. BARRERAS Y ACCIONES PARA SU DESARROLLO | ; | ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 4.1 La biomasa en el sector térmico..... | | 15 |
| 4.2 La biomasa para generación eléctrica..... | | 19 |
| 4.3 La biomasa en el sector transporte..... | | 23 |
| 5. CONCLUSIONES | 31; | ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 6. BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA | ; | ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |

INTRODUCCIÓN A LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO

Juan E. Carrasco

Coordinador del Proyecto Singular Estratégico sobre cultivos energéticos en España (On Cultivos)

CIEMAT

División de Energías Renovables.

1. Introducción

Según la definición contenida en la norma CEN TS 14774-3 [1] se denomina “biomasa” a todo material biológico, excluido aquel que se localiza dentro de formaciones geológicas, halla sufrido o no un proceso de mineralización. Obviamente esta definición hace referencia al hecho de que potencialmente todo material biológico puede ser apto para la producción de energía, si bien, en sentido estricto, sólo se consideran “biomasa”, entendida como recurso energético, aquellos que están en un momento dado disponibles para su uso energético.

De acuerdo a dicha definición, todos los productos que componen la biomasa provienen de la energía solar que, mediante el proceso de fotosíntesis llevado a cabo por las plantas verdes, se ha captado y transformado en energía del enlace químico de las moléculas que componen los materiales biológicos. Esta energía solar transformada se libera en forma de calor en los procesos de oxidación asociados a la conversión energética de la biomasa. Por otra parte, al estar integrada por materiales biológicos de origen próximo, es decir, que se han formado en la atmósfera actual, la biomasa es un recurso renovable ya que, a diferencia de los combustibles fósiles, los elementos que entran a formar parte de su composición provienen del ciclo actual de dichos elementos.

En el proceso fotosintético y asociada a la transformación de la energía solar está la producción del material biológico que se realiza a partir del CO₂ de la atmósfera y del agua

*y sales minerales del suelo que absorben las raíces. En este sentido, la biomasa es el único combustible cuya producción está asociada a un sumidero de emisiones de efecto invernadero y su utilización energética por combustión directa es fundamentalmente neutra respecto a esta emisión porque en dicho proceso se devuelve a la atmósfera la misma cantidad de CO₂ que previamente la planta utilizó para producir la biomasa utilizada. Obviamente el proceso no resulta absolutamente neutro debido a que en las etapas de producción, recolección, transporte y utilización de la biomasa se utilizan productos fósiles **que desprenden** emisiones netas de CO₂.*

La biomasa en forma de lo que se conoce con los términos "leña" y "madera" ha sido el primer y único recurso energético utilizado por el hombre hasta el advenimiento del carbón y después fue la principal energía hasta principios de la era industrial, a comienzos del siglo XIX. Aún en nuestros días la biomasa sigue constituyendo una de las principales fuentes energéticas de la humanidad y en los últimos sesenta años a su uso tradicional para producción de calor se han unido aplicaciones eléctricas y de combustibles de transporte.

Se denominan "biocombustibles" a los productos intermedios en las cadenas energéticas de la biomasa que se obtienen de las materias primas que componen este recurso mediante su tratamiento por procesos físicos, químicos o biológicos.

Dependiendo de su naturaleza cabe distinguir entre biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos. En la actualidad, los biocombustibles sólidos y gaseosos se emplean, por lo general, para la producción de calor y electricidad, mientras que los de naturaleza líquida (biodiesel y bioetanol) encuentran su principal aplicación en el sector transporte y se refieren con el nombre de "biocarburantes".

2. Tipos y Recursos de biomasa

Atendiendo a su composición, los materiales que componen la Biomasa pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- **Biomosas azucaradas.** *Entran dentro de este grupo aquellas biomosas con un alto contenido en azúcares solubles, generalmente sacarosa. La caña de azúcar y la remolacha, cuando se utilizan con fines energéticos, son dos ejemplos importantes dentro de este grupo. Este tipo de biomosas se emplean para la producción de bioetanol.*
- **Biomosas amiláceas.** *Las biomosas amiláceas poseen en su composición cantidades importantes de almidón (poliglucosa) o inulina (polímero de fructosa y glucosa). Dentro de este grupo se sitúan los granos de cereales (contienen almidón) y los tubérculos de la patata (inulina). Como las anteriores, las biomosas amiláceas se utilizan como materias primas para la producción del bioetanol.*
- **Biomosas oleaginosas.** *Contienen aceites vegetales en sus semillas o frutos, que se utilizan para la producción de biodiesel. Son ejemplos el girasol, la colza, la soja y la palma.*
- **Biomosas lignocelulósicas.** *Los componentes principales de este tipo de biomasa son la celulosa, hemicelulosa y lignina. Estas biomosas, que son las de mayor abundancia, se emplean como combustible en procesos de producción térmica y eléctrica y pueden ser de tipo herbáceo o leñoso. La paja de cereal y la madera son, respectivamente, ejemplos de los dos grupos citados.*

Cabe mencionar que una determinada especie vegetal puede pertenecer a la vez a distintas categorías entre las mencionadas. Así, por ejemplo, de la caña de azúcar se utiliza el jugo azucarado para la producción vegetal, y el residuo resultante, denominado bagazo, es de naturaleza lignocelulósica, Análogamente ocurre con los cereales cuando se consideran las fracciones de grano (parte amilácea) y paja (parte lignocelulósica).

Esta clasificación excluye a determinados residuos de origen animal a los que es difícil adscribir a ninguno de los grupos citados.

Las biomosas se pueden clasificar también atendiendo a su origen. A continuación se

indican los tipos de biomasa atendiendo a este criterio junto con algunos ejemplos representativos de cada grupo.

Tipos de biomasa por su origen y ejemplos representativos:

- ✓ **Biomasa natural.** Se produce en ecosistemas naturales
- ✓ **Biomasa antropogénica.** Se produce por acción humana. Comprende:
 - **Residuos forestales:** residuos de podas, claras, clareos, cortas.
 - **Residuos de industrias forestales:** serrines, cortezas, virutas, costeros.
 - **Residuos agrícolas:**
 - **Herbáceos:** paja de cereales, cañote y mazorca de maíz.
 - **Leñosos:** sarmientos, residuos poda del olivar, residuos de poda de árboles frutales.
 - **Residuos agroindustriales:** bagazo de caña, cáscara de almendra, purines.
 - **Residuos urbanos:** fracción orgánica de los RSU, aguas residuales urbanas.
 - **Cultivos energéticos:**
 - **Herbáceos:**
 - anuales: *B. carinata*, caña de azúcar, sorgo.
 - perennes: *Miscanthus sp.*, *Cynara cardunculus*
 - **Leñosos:** sauce, chopo, eucalipto.

La biomasa natural es la más abundante a nivel mundial y sigue constituyendo la fuente de energía más importante para muchos países en vías de desarrollo. En África, más de un 50% de la energía consumida proviene de la biomasa.

Por otra parte está la biomasa antropogénica integrada por los residuos de naturaleza orgánica ya mencionados y por los cultivos energéticos, que constituyen el último concepto desarrollado en lo que a recursos de biomasa se refiere.

Los cultivos energéticos están integrados por una serie de especies vegetales cuya cosecha (la biomasa), a diferencia de los cultivos agrícolas tradicionales, se dedica a la producción de energía. Como en el caso de los cultivos agrícolas, los energéticos pueden ser de



tipo herbáceo o leñoso. Los cultivos energéticos poseen la característica frente a la biomasa residual de ser los únicos recursos de biomasa cuya producción puede optimizarse y planificarse específicamente para la producción de energía.

Los cultivos energéticos, cuya investigación comienza a raíz de la primera crisis del petróleo, constituyen actualmente una parte fundamental dentro de las políticas de desarrollo de las energías renovables en la Unión Europea (UE) y en España. En ambos casos, suponen cifras de casi el 40% del incremento de producción energética con fuentes renovables que se prevé para 2010 en el Plan de Acción para la Biomasa 2004-2010 [2] de la Comisión Europea y en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 [3] de España. Estas expectativas vienen avaladas por los resultados de estudios como el realizado recientemente por la Agencia Europea del Medioambiente [4] en el que se estima el potencial sostenible de superficie agrícola en Europa para la producción de energía en 12,9 millones de hectáreas en 2010 y hasta 19,2 millones de hectáreas en 2030. En nuestro país este potencial es de 2,7 y 2,5 millones de hectáreas, respectivamente, en 2010 y 2030, siendo, detrás de Alemania, el país con mayor superficie potencial de los de la UE-22 para la implantación de cultivos energéticos. A pesar de estas previsiones, la utilización comercial actual de los cultivos energéticos en la UE es muy pequeña y tan sólo afecta al empleo de materias primas agrícolas para la producción de biocarburantes. No obstante, la práctica totalidad de los países de la UE han desarrollado o están desarrollando algún programa de demostración para conocer el potencial que a nivel nacional puedan tener este tipo de cultivos. En Suecia, desde hace ya casi treinta años tienen un programa de demostración financiado con fondos públicos en torno al sauce para producción de energía que involucra en estos momentos el cultivo de unas 15.000 ha anuales de esta especie. Posteriormente, la biomasa es utilizada energéticamente en aplicaciones térmicas y eléctricas. En España se está desarrollando en estos momentos el denominado Proyecto Singular y Estratégico sobre cultivos energéticos "On Cultivos" [5] que, como en el caso de Suecia, comprende aspectos de desarrollo de los cultivos y de utilización energética de su biomasa.

Los cultivos energéticos se caracterizan por su alta eficiencia en la utilización del agua y los nutrientes y por su rusticidad, es decir, por su alta resistencia al frío y la sequía y

ser poco sensibles a plagas. Por ello pueden constituir una alternativa viable para el agricultor y sostenible para el medioambiente en aquellas zonas que por su baja productividad o la escasez de recursos de agua vayan haciéndose marginales para la agricultura tradicional. De esta forma pueden ser en muchos países y entre ellos España, una posibilidad viable de diversificación de la producción agrícola y fuente adicional de ingresos en el mundo rural a la vez que una manera de disminuir el impacto ambiental de la agricultura actual producido por el uso insostenible de agua y fertilizantes químicos.

Los cultivos energéticos de tipo lignocelulósico presentan, en general, producciones anuales de biomasa superiores a las 10 t (biomasa seca)/ha y valores de rendimientos energéticos (energía producida frente a energía consumida) de 10 hasta 40. En la tabla 1 se muestran algunos de los cultivos energéticos que se han estudiado con mayor profusión hasta el momento en la Unión Europea (UE) y las producciones medias obtenidas en parcelas de demostración.

Tabla 1. Cultivos energéticos en la UE: zonas preferenciales de cultivo e intervalos de rendimientos medios de biomasa en parcelas de demostración o comerciales.

| Especie | Zona preferente de cultivo en la UE | Producción de biomasa t m.s./ha |
|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Sauce (<i>Salix spp</i>) | NORTE | 8-15 |
| Chopo (<i>Populus spp</i>) | CENTRO-SUR | 12-30 |
| Eucalipto (<i>Eucalyptus spp</i>) | SUR | 8-15 |
| Sorgo dulce (<i>Sorghum bicolor L</i>) | SUR- CENTRO | 15-40 (35-45% azúcares peso fresco) |
| Sorgo forrajero (<i>Sorghum bicolor L</i>) | SUR-CENTRO | 15-35 |
| Cardo (<i>Cynara cardunculus L</i>) | Sur | 12-18 |
| PHALARIS ARUNDINACEA | Norte-Centro | 7-13 |
| MISCANTHUS SPP | Centro-Sur | 15-30 |
| PANICUM VIRGATUM | Norte-Centro-Sur | 8-20 |

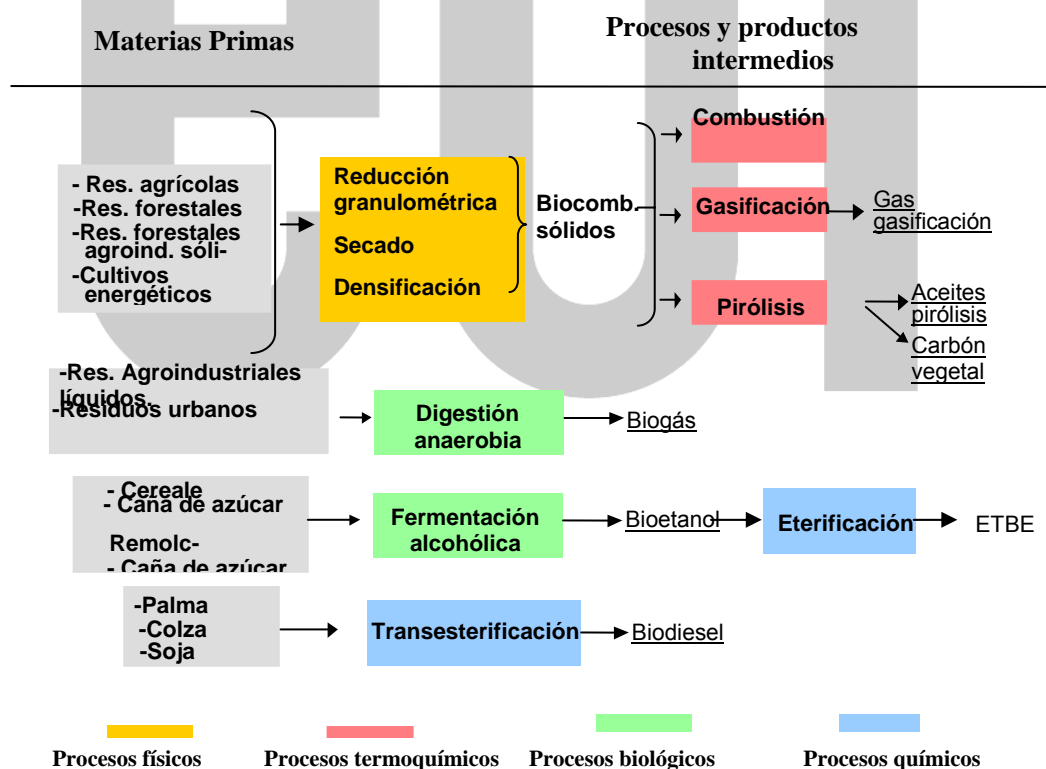
Es de reseñar que en la actualidad, como se ha mencionado, se están empleando para la producción de biocarburantes (bioetanol, biodiesel) una serie de materias primas agrícolas, como los cereales, la remolacha, el girasol o la colza, cuyas características básicas no coinciden con las mínimamente exigibles a un cultivo energético, lo que, entre otros aspectos desfavorables, se traduce en unos balances energéticos y medioambientales poco

favorables globalmente para estos cultivos. Además, está el inconveniente de la competencia directa con las materias primas alimentarias. Por todo ello sería deseable la sustitución en el campo energético de los cultivos mencionados por otros más sostenibles.

3. Procesos de conversión energética de la biomasa.

En el esquema de la figura 1 se muestran los procesos más relevantes para la transformación energética de la biomasa y las materias primas más importantes utilizadas o utilizables en cada proceso. Como puede observarse en dicha figura, existen cuatro procesos básicos mediante los que la biomasa puede transformarse en calor y electricidad: combustión, gasificación, pirólisis y digestión anaerobia.

Figura 1. Procesos de transformación energética de la biomasa. Materias primas y combustibles intermedios





Los tres primeros, denominados genéricamente procesos termoquímicos, implican una descomposición térmica de los componentes biomasa, con oxidación de los mismos y liberación asociada de energía en forma de calor, en el caso de la combustión; y la obtención de combustibles intermedios, como ocurre en la gasificación y en la pirólisis.

La combustión es una reacción de oxidación de los componentes de la biomasa a alta temperatura y en presencia de una cantidad de oxígeno suficiente para producir la oxidación total de los componentes de la biomasa, de la que se obtiene energía en forma de calor y dióxido de carbono, agua y cenizas como productos de la reacción. La gasificación se lleva a cabo, como la combustión, a altas temperaturas, en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno, generalmente utilizando aire como agente de gasificación y el producto principal es el gas de gasificación que está compuesto fundamentalmente por CO e hidrógeno. Por su parte, la pirólisis se realiza en ausencia de oxígeno y, dependiendo de la temperatura y tiempo de proceso, rinde como productos principales carbón vegetal (procesos lentos y a 350º-550ºC) o líquidos (aceites) de pirólisis en los procesos rápidos (típicamente reacción en segundos y a unas temperaturas de 650º-850ºC).

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que se desarrolla en ausencia de oxígeno y que está fundamentalmente ligado al tratamiento de los residuos biodegradables. El producto final es el denominado biogás, compuesto, principalmente, por metano y CO₂ y que puede utilizarse para la producción de calor y/o electricidad. El biogás se obtiene en las instalaciones depuradoras de residuos agroindustriales y de aguas residuales urbanas, así como en los vertederos controlados de residuos sólidos urbanos y puede utilizarse como combustible para fines térmicos, o bien en motores y turbinas, para la generación eléctrica.

La producción de biocombustibles líquidos para el transporte (biocarburantes) está asociada actualmente a procesos biológicos (fermentación alcohólica) y químicos (transes-

terificación), utilizándose comercialmente materias primas agrícolas de tipo azucarado (caña de azúcar, remolacha) o amiláceo (cereales) en el caso del bioetanol, y oleaginoso (soja, colza y palma principalmente), para la producción de biodiesel. Además, la gasificación de la biomasa, a través de la producción de hidrógeno y metanol, ofrece alternativas, aunque a largo plazo, dentro de esta aplicación. Asimismo, la biomasa lignocelulósica puede transformarse en bioetanol mediante hidrólisis ácida o enzimática de sus componentes celulosa y hemicelulosa y posterior fermentación de los azúcares resultantes.

Todas las tecnologías mencionadas para la conversión energética de la biomasa están siendo utilizadas a escala comercial, excepto la gasificación, la pirólisis rápida, para obtención de aceites de pirólisis y la transformación a etanol de los materiales lignocelulósicos, si bien es la combustión y sus diferentes aplicaciones térmicas y eléctricas el proceso más difundido.

4. Utilización actual y potencial de la biomasa. Barreras y acciones para su desarrollo.

En la actualidad puede afirmarse que el uso energético de la biomasa, en sus distintas aplicaciones, ha alcanzado un nivel tecnológico de madurez, si bien su desarrollo está afectado por una serie de barreras que precisan de medidas de apoyo e importantes avances tecnológicos para lograr la plena competitividad de este recurso.

La utilización energética de la biomasa puede estimarse, a partir de datos de diferentes estudios, en 60-65 EJ/año, lo que supone el 11-13% de la energía primaria mundial. Esto sitúa a la biomasa como la cuarta energía en importancia, tras el petróleo, el carbón y el gas natural. En los últimos años el uso de la biomasa está creciendo a una tasa próxima al 4% anual (casi un 5% en los países industrializados) y son cada vez un mayor número de países que están implementando programas para su desarrollo, incluidas China e India. En este sentido, se estima que a mediados de la próxima década la tasa de crecimiento mun-



dial de la biomasa se pueda elevar hasta el entorno del 5% anual, casi el doble del crecimiento de la demanda energética prevista en ese periodo. A nivel mundial, la biomasa, como energía primaria, aporta algo más de un 60% de la energía obtenida a partir de fuentes renovables, incluida la gran hidráulica.

Tal y como se puede observar en la figura 2, la principal utilización energética de la biomasa es, con diferencia, como combustible sólido, en aplicaciones térmicas domésticas e industriales. En 2005, estas aplicaciones, con 59,3 EJ, representaron el 94,6 % del total de la energía primaria producida de la biomasa.

La generación eléctrica con biomasa fue, asimismo, principalmente realizada en dicho año con biocombustibles sólidos que aportaron 2,06 EJ, el 87% de la producción total. El biogás aportó alrededor del 13% de la producción eléctrica con biomasa en instalaciones situadas en la UE (0,2 EJ de energía primaria) y en Estados Unidos y Canadá (0,1EJ). Por su parte, los biocombustibles líquidos aportaron al transporte 0,84 EJ y una muy pequeña cantidad (0,01 EJ) al sector eléctrico, mediante su utilización en motores diesel en sustitución del gasóleo para producción eléctrica en áreas remotas en Asia y Sudamérica.

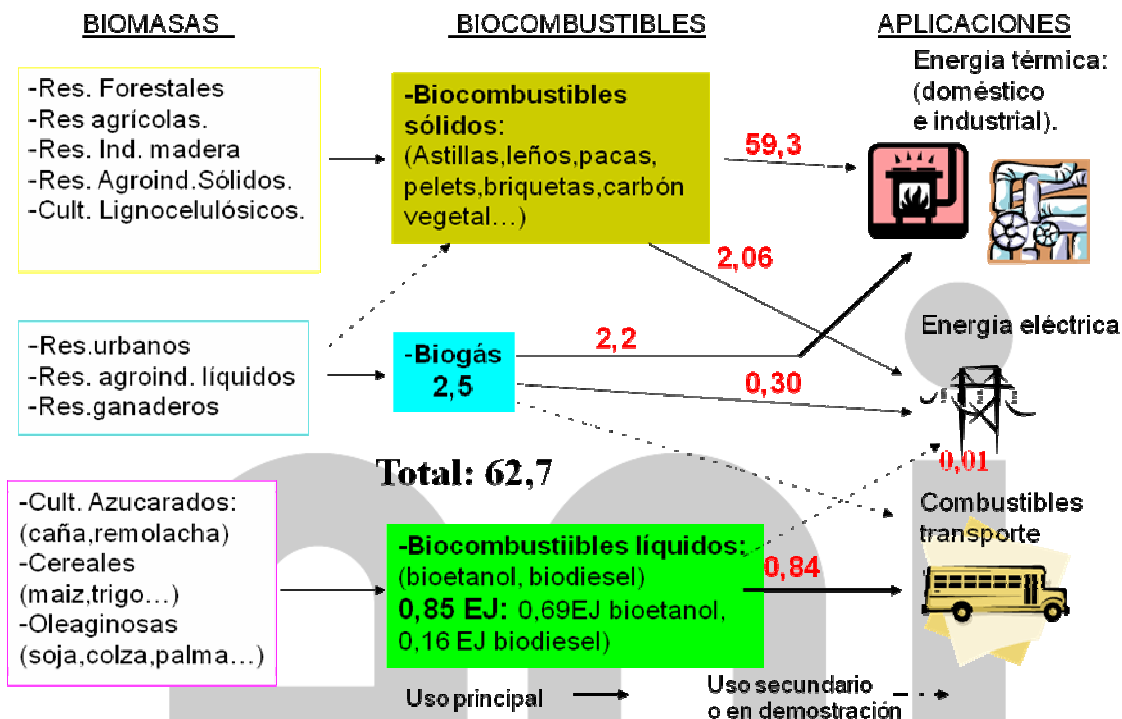


Figura 2. Utilización energética de la biomasa en 2005 por sectores (en EJ)

Un estudio de la Comisión Europea (1999) situó la aportación en 1998 de la biomasa en el conjunto de los países no industrializados en torno al 35% de su energía primaria. Este porcentaje llega a cifras muy superiores en diferentes regiones. Así, en los países africanos del Sahel (Senegal, Mali, Burkina Fasso, Gambia, Níger) la biomasa constituye más de un 80% de su energía primaria.

En los países industrializados la energía obtenida de la biomasa representa en la actualidad globalmente alrededor de un 4,5% de la energía primaria, si bien esta cantidad se sitúa en valores superiores al 20% en algunos países como Suecia y Finlandia en los que la utilización de la biomasa se considera como un instrumento de gran importancia para el aseguramiento de su demanda energética con recursos propios y como una alternativa viable para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones de gases invernadero contraídos en el Tratado de Kyoto.

En términos relativos, alrededor de los dos tercios de la energía de la biomasa se produce y consume en los países en vías de desarrollo y un tercio en los países desarrollados, del entorno de la OCDE.

Es importante, asimismo, tener en cuenta la diferente manera de cómo se está utilizando la biomasa en los países industrializados en relación a los que se encuentran más atrasados. En los primeros, la biomasa se produce de forma renovable y, por tanto, básicamente sostenible para el medioambiente y se utiliza con tecnologías modernas de alta eficiencia energética y bajos niveles de emisión. En cambio, en los segundos, principalmente en los países africanos, la biomasa se emplea fundamentalmente en forma de leña en pequeños equipos de combustión para la cocina doméstica que presentan una eficiencia energética muy baja (15-20%), lo que lleva aparejados unos niveles muy altos de emisiones que son perjudiciales para la salud humana, sobre todo de las mujeres y los niños que permanecen más tiempo en las viviendas. Por otra parte, la escasez de otro tipo de combustible determina que en muchos países subdesarrollados la utilización energética de la madera se esté asociando a procesos de deforestación.

Puede, por tanto, concluirse que la utilización energética de la biomasa en países industrializados se está llevando a cabo de una forma básicamente sostenible y renovable, mientras que en los países en vías de desarrollo esta utilización se realiza por lo general mediante procedimientos poco sostenibles bajo un punto de vista energético y medioambiental y, en tanto en cuanto se asocia a procesos de deforestación, no puede considerarse como energía totalmente renovable.

A pesar de su importante contribución energética actual, el potencial que ofrece la biomasa como recurso energético, representado por la cantidad de biomasa fotosintetizada anualmente, es mucho mayor, habiéndose estimado en unos 2900 EJ/año (alrededor de 68000 Mtep/año). Hall y Rosillo-Calle [6] estiman que de este potencial algo menos de un 10%, en torno a los 270 EJ/año, es utilizable de forma sostenible para el medio ambiente y viable económicamente con las tecnologías actuales. Esta cifra es, no obstante, como ya se ha mencionado, más de cuatro veces superior la cantidad de energía primaria obtenida de

la biomasa, por lo que puede concluirse que existe aún un amplio potencial del recurso para utilizar en un futuro, que puede verse además incrementado con el desarrollo de alternativas que determinen un aumento de la biomasa utilizable en la biosfera, como puede ocurrir en el caso de una reforestación o de la implantación masiva de cultivos energéticos.

Como se observa en la tabla 2 el potencial sostenible estimado para la biomasa es varias veces superior al nivel de consumo actual y, además y gracias fundamentalmente a los cultivos energéticos, es creciente en el periodo 2010-2030. Estos datos soportan los objetivos de desarrollo actualmente en curso o previstos para las próximas décadas.

Tabla 2. Consumo y potencial sostenible de la biomasa en la UE

| Mtep | Consumo 2003 | Potencial 2010 | Potencial 2020 | Potencial 2030 |
|--|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Biomasa forestal | 67 ¹³ | 43 | 39-45 | 39-72 |
| Residuos orgánicos, leñas, residuos de industrias de la madera y agroindustrias, residuos agrícolas y forestales | | 160 | 100 | 102 |
| Cultivos energéticos | 2 | 43-46 | 76-94 | 102-142 |
| TOTAL | 69 | 186-189 | 215-239 | 243-316 |

Fuente: EUROSTAT (proyecciones 2010, 2020) y Agencia Europea del Medioambiente (proyecciones 2030)

El desarrollo de la utilización energética de la biomasa está condicionado por una serie de barreras de las cuales la mas general y probablemente la más importante se refiere al aseguramiento del suministro de biomasa.

La razón para ello hay que encontrarla en dos hechos que afectan muy significativamente a la viabilidad del uso de la biomasa como combustible:

- 1. La producción y disponibilidad anual de biomasa para usos energéticos viene afectada por multitud de factores, generalmente de carácter local y de difícil predicción y control. Tal es el caso de la climatología a largo plazo, los incendios forestales y la evolución de los mercados alternativos existentes para biomásas importantes como la paja de cereal y la biomasa forestal y de industrias derivadas, que pueden ofertar precios superiores a los del mercado energético por la materia prima.*
- 2. La biomasa es un combustible que se produce de forma muy dispersa y presenta baja densidad energética (producto de la densidad por el poder calorífico), alrededor de diez y seis veces inferior a la del carbón de buena calidad para biomásas importantes como la paja y las astillas forestales, respectivamente. Esto se traduce en unos costos de transporte muy altos que limitan el área de acopio de la biomasa en torno a los puntos de utilización, lo cual, unido a la producción dispersa ya mencionada, determina dificultades para el abastecimiento, sobre todo en los casos que se requieran grandes cantidades de material.*

Unidos los dos factores descritos hacen que, en general, la cantidad de biomasa utilizable en un determinado punto esté reducida a un área de acopio próxima, en la que, además, por lo mencionado en el punto 1, sólo sea aconsejable utilizar energéticamente una parte de la biomasa disponible en prevención de eventualidades que limiten aún más su disponibilidad.

Frente a la barrera descrita, son acciones relevantes para disponer en el mercado de una mayor cantidad de biomasa y más diversificada el desarrollo de los cultivos energéticos, el desarrollo de la mecanización de los residuos agrícolas y forestales, así como la producción de combustibles densificados, tales como pelets y briquetas, que, por su mayor densidad (en torno a 0,7 kg/m³), reducen los costos de transporte y almacenaje. Asimismo y, aunque pueda parecer paradójico, es importante considerar las posibilidades que ofrece el mercado global de la biomasa, ya que es viable, en determinados casos, compensar los costos de transporte de los biocombustibles que pudiéramos denominar de “alta densidad” energética con los inferiores precios de producción de las materias primas en zonas lejanas.

Este es el caso ya de los biocarburantes producidos en Sudamérica o en Asia e importados por mar a Europa o Estados Unidos e, incluso, el de los pelets de biomasa producidos en países diferentes a los de utilización y que incluso están empezando ya a ser importados también en barco desde zonas lejanas (Ej. de Canadá a la UE).

A continuación se pasa a describir la situación actual y las barreras y actuaciones de corrección específicas para cada sector de aplicación de la biomasa.

4.1. La biomasa en el sector térmico

En aplicaciones térmicas la biomasa se utiliza tanto en el sector térmico como en el industrial. Como puede calcularse por los datos aportados en la figura 2, esta aplicación, con 59,3 EJ, aporta más de un 95% de la energía primaria producida con biomasa a nivel mundial. En 2005, en la Unión Europea y en España se utilizaron 2,3 EJ y 144,0 PJ de biomasa, respectivamente, en estas aplicaciones.

Las tecnologías de combustión directa de la biomasa existentes son maduras y competitivas bajo los puntos de vista de eficiencia y emisiones, si bien presentan menor fiabilidad y mayores costos de inversión y mantenimiento que las convencionales. En la UE el mercado del sector crece en los últimos 10 años a una tasa anual media del 3,5%, muy por encima de la de demanda de energía térmica. Este crecimiento se está viendo incrementado considerablemente en los dos últimos años, debido al gran encarecimiento del petróleo, lo que en España ha supuesto que, tras un largo periodo de práctico estancamiento, el uso térmico de la biomasa haya pasado de los ya mencionados 144 PJ en 2005 hasta los 184PJ en 2006, superando las previsiones del vigente PER para 2010.

La utilización de la biomasa en aplicaciones térmicas y en equipos eficientes es la alternativa con este recurso que produce un mayor ahorro de emisiones de CO₂, con cifras superiores al 90% para todos los combustibles fósiles que se utilizan actualmente en estas aplicaciones.

La biomasa en el sector doméstico

La biomasa se utiliza en el sector doméstico para calefacción y producción de ACS. Para ello existen desde estufas, chimeneas, cocinas, calderas individuales y colectivas hasta

instalaciones de calefacción de distrito en las que en una caldera centralizada alimentada con biomasa se produce agua caliente que circula en circuito cerrado hasta los sitios de consumo, generalmente un conjunto de viviendas y/o otras infraestructuras urbanas. Estas centrales suelen tener un tamaño entre 1-10 MWth y suelen abastecer también de ACS. La elección de uno u otro sistema térmico depende de los costos de inversión, del tamaño de cada aplicación y de la demanda energética anual en calefacción determinada por el clima. En este sentido, las instalaciones de calefacción de distrito tienen su mayor rentabilidad en zonas frías y con abundancia de biomasa, como los países del norte de Europa.

Como biomásas más importantes utilizadas en el sector doméstico en España pueden citarse algunos residuos agroindustriales (cáscara de almendra, hueso de aceituna, orujillo), así como la biomasa forestal (madera y leña, en general y residuos de industrias de la madera) para la que existe un mercado en las zonas urbanas y que en las zonas rurales es gran parte de autoconsumo. En la UE las biomásas más utilizadas son la biomasa forestal (residuos forestales y de industrias de la madera y leña) y, en menor medida, la paja de cereales.

La utilización energética de la biomasa en el sector doméstico constituye en la actualidad una alternativa viable técnica y económicamente. Bajo el punto de vista de rentabilidad económica, ello es debido principalmente a la competitividad que presentan los biocombustibles sólidos frente a la electricidad y los combustibles fósiles domésticos. En la tabla 3 puede observarse como incluso los biocombustibles de mayor calidad y precio (pellets) tienen unos precios de venta al pequeño consumidor muy inferiores a los de las fuentes energéticas tradicionales en el sector.

Tabla 3. Precios indicativos de combustibles del sector térmico doméstico en España (estimando e incluyendo, en su caso, el término fijo)
Datos en 2006 (en €/GJ)

| | |
|--|------------------------------|
| Gasóleo | 22-24 |
| Gas natural (1) | 18 |
| Electricidad (2) | 20-22 |
| Biomasa: - Leña - Pellets | 11-15 11-13 |

- (1) Para pequeñas comunidades de vecinos
(2) Con acumuladores y tarifa nocturna

Por otra parte, el gran progreso logrado en los últimos treinta años en cuanto a mejora de eficiencia y emisiones ha permitido que incluso en los pequeños equipos individuales de combustión de biomasa, como las chimeneas modernas o las calderas individuales de potencias inferiores a 15kW, se logren eficiencias superiores al 80% (en torno al 90% en muchos de los casos) y muy reducidos niveles de emisiones, por debajo, en cuanto a CO y partículas, de los de las calderas de gasóleo.

La biomasa en aplicaciones térmicas del sector industrial

En el sector industrial los biocombustibles sólidos no son competitivos con los fósiles en la mayoría de los países de la UE, por lo que su utilización queda casi exclusivamente reducida al autoconsumo de residuos, principalmente por las agroindustrias y las de la transformación de la madera. El gran aumento de precio experimentado por los derivados del petróleo en los últimos dos años, parece, no obstante, que está empezando a incrementar la utilización de la biomasa en el sector industrial.

Barreras y acciones correctivas

Como principales barreras para el desarrollo de la biomasa térmica, tanto en España como en otros países de la UE, pueden citarse las siguientes:

- *El desconocimiento sobre las posibilidades que ofrece el recurso de la biomasa en este sector, tanto entre empresas, como entre los consumidores.*
- *Los escasos recursos técnicos y económicos de las empresas que están promocionando la biomasa térmica lo que afecta muy negativamente a su competitividad frente a las grandes empresas energéticas que operan en el sector.*
- *En el sector doméstico, falta de estándares de calidad para los biocombustibles, así como de utilización de biomasa distintas a las tradicionales (residuos de industrias de la madera) cuya disponibilidad para usos energéticos empieza a ser escasa.*
- *La falta de demanda y oferta, situación que se retroalimenta y que, agravada en su solución por lo mencionado en los puntos anteriores, dificulta grandemente el despegue de esta aplicación.*

- *La falta de ayudas adecuadas para el despegue del sector. En la actualidad, en nuestro país, la utilización térmica de la biomasa tan sólo percibe ayudas públicas discretas a la inversión en calderas en el sector doméstico, en cantidades variables, dependiendo de cada Comunidad Autónoma. Esta iniciativa, que viene a paliar uno de los inconvenientes más importantes de la aplicación considerada, no está siendo, sin embargo, eficaz, frente a otras barreras existentes, como son los altos costes de transporte de la biomasa agravados por la gran dispersión geográfica actual y relativamente bajo consumo de las calderas, lo que en muchos casos hace inviable el suministro para las escasas que ya están trabajando en este campo.*

En las circunstancias descritas podrían señalarse como acciones eficaces para lograr incrementar el uso de biomasa térmica en el sector doméstico las siguientes:

1. *Campañas informativas masivas sobre las ventajas y posibilidades de la producción de calor y electricidad en el sector doméstico.*
2. *Medidas de apoyo, incluidas ayudas económicas, para la implantación inicial del mercado y, en particular, el fomento y soporte de proyectos con un tamaño suficiente y viabilidad adecuadas para crear situaciones de oferta y demanda sostenibles en el tiempo.*
3. *Soporte económico-financiero y formación técnica a las empresas que operen en este sector de la biomasa.*
4. *Desarrollo e introducción en el mercado de nuevos biocombustibles, como los derivados de cultivos energéticos y residuos herbáceos y equipos de conversión estandarizados.*

4.2. La biomasa para generación eléctrica (bioelectricidad).

Con unos 35.000 MW instalados, la biomasa aportó en 2005 a nivel mundial (figura 2) 2,4EJ de energía primaria en el sector eléctrico, de los cuales, 0,69EJ y 30,6PJ correspondieron a la generación en la UE (8.000 MW instalados) y en España (344 MW instalados en 2004), respectivamente. En los últimos años la tasa media de crecimiento de generación

eléctrica con biomasa en el mundo se sitúa en torno al 5% anual, ligeramente superior al incremento de la demanda. La biomasa para electricidad (incluyendo la biomasa sólida, el biogás y la fracción biodegradable de los RSU) constituye actualmente el 2% del consumo eléctrico de la UE [6]. En los últimos años se ha venido incrementando su producción de forma continuada: 18% en 2002, 13% en 2003, 19% en 2004 y 23% en 2005. Si la tendencia actual continúa, en 2010 se podría llegar a alcanzar la generación de 167 TWh (unos 55 Mtep de energía primaria), correspondiente a, aproximadamente, al 8% de la energía eléctrica que se estima consumir en dicho año. Estos objetivos son los previstos en el Plan de Acción para la Biomasa, así como en el comunicado de la Comisión COM (2004) 366 final sobre objetivos de generación eléctrica con fuentes renovables. Se considera que la consecución última de los objetivos en esta área deberá de estar apoyada en una implantación comercial de los cultivos energéticos de origen agrícola y forestal.

La producción de bioelectricidad se realiza principalmente a partir de la biomasa sólida que se utiliza como combustible en centrales de ciclo rankine de vapor, a veces con aplicaciones de cogeneración, tanto en el sector doméstico (calefacción de distrito) como en el industrial. En este segundo caso un buen ejemplo lo constituyen las industrias papeleras que utilizan las leñas negras, las cortezas y otros restos de madera en instalaciones de cogeneración en las que producen gran parte del vapor de proceso. El ahorro de emisiones de CO₂ de esta aplicación es superior al 90% con respecto a la generación convencional con carbón y en torno al 50% con respecto a los ciclos combinados con gas natural. Secundariamente, la producción de electricidad con biomasa se lleva a cabo utilizando el biogás en los vertederos controlados de RSU y en las plantas de depuración de residuos como combustible de motores de generación eléctrica y de turbinas de gas.

Barreras y acciones correctivas

A pesar de que la producción de electricidad con biomasa en centrales de ciclo rankine de vapor puede considerarse una tecnología madura, presenta el inconveniente de las dificultades de abastecimiento de biomasa a las plantas de gran tamaño, en las que se alcanza la economía de escala para esta tecnología. Según diferentes estudios realizados, en las condiciones europeas, tan sólo en plantas de capacidad superior a los 20 MW los

costos de inversión y de producción eléctrica se empiezan a hacer independientes del tamaño de la planta, lo cual supone una necesidad de suministro de biomasa por planta superior a las 120.000 t (base seca) /año. Por el contrario, para plantas inferiores a 3 MW, las necesidades de biomasa son inferiores a las 30.000 t (base seca)/año, pero los costos de inversión crecen exponencialmente en relación inversa al tamaño de la planta, llegando a situarse en alrededor de 3.000-3.500€/kW instalado para plantas de 1-2 MW frente a los alrededor de 1500€/kW instalado para una planta de alrededor de 20 MW. Asimismo, la eficiencia de generación disminuye y los costes de mantenimiento y operación aumentan, respectivamente, con la disminución del tamaño de las plantas. En la actualidad, los costes de producción de electricidad con biomasa se sitúan, dependiendo del tamaño de la planta y del coste de la biomasa, en el intervalo de 6-12€/MWh, aproximadamente el doble que el coste de producción con combustibles tradicionales por lo que, a nivel mundial, la producción eléctrica con biomasa se está llevando a cabo de soporte financiero que en el caso de España se substancian en el R.D. 661/2007 que establece las tarifas especiales para la producción eléctrica con fuentes renovables.

La inadecuación entre las posibilidades de suministro del combustible y la economía de escala de la tecnología existente más importante supone limitaciones importantes para la producción eléctrica con biomasa, particularmente cuando no se aprovecha el calor en aplicaciones de cogeneración que mejoran la viabilidad de esta alternativa.

Para tratar de evitar la barrera tecnológica descrita se están desarrollando diferentes aplicaciones del recurso, tanto en sistemas centralizados como en pequeñas plantas. En todos los casos un objetivo principal es el aumento de la eficiencia y la reducción del suministro necesario de biomasa a las centrales.

Nuevas alternativas para producción eléctrica en grandes plantas

- ✓ **Ciclos BIGCC.** La gasificación aporta la posibilidad de producir electricidad a partir de biomasa en ciclos combinados (BIGCC) de más alta eficiencia que las plantas de ciclo de vapor existentes. Hasta el momento han existido diferentes proyectos importantes, tanto en Estados Unidos, como en Canadá y la propia Unión Europea (Proyecto ARBRE, proyecto Värnamö), para demostrar estos ciclos sin que se haya alcanzado el éxito. Un problema fundamental estriba en lograr la limpieza adecuada del gas de gasificación de

alquitranes y partículas para alcanzar los estándares requeridos por las turbinas de gas. Por otra parte, no está bien establecido el tamaño al que estos ciclos pueden alcanzar la economía de escala, por lo que podrían presentar los mismos o incluso superiores problemas de abastecimiento de biomasa que las plantas convencionales actuales, a pesar de su menor requerimiento de biomasa por unidad energética producida.

- ✓ **Co-utilización de la biomasa con carbón.** *En los últimos años, en distintos países de la UE como Dinamarca, Suecia y Finlandia, se ha empezado a utilizar biomasa en instalaciones térmicas de carbón. La utilización de la biomasa se lleva a cabo quemándola en la misma caldera que el carbón (co-combustión) o bien mediante gasificación previa de la biomasa y utilización del gas en la central térmica (co-gasificación), por lo general para “reburning” de los gases de combustión.*

Esta alternativa presenta el atractivo de los relativamente bajos costes de inversión necesarios para adaptar la central térmica a la utilización de la biomasa (indicativamente unos 3M€ para una central de 350MW en aplicación de co-combustión utilizando un 10% de la energía del combustible como biomasa) y la alta eficiencia de conversión que se consigue en comparación con las centrales de biomasa. Como inconveniente la limitación en la utilización de la biomasa a la existente en un radio mas o menos próximo a las centrales.

Nuevas alternativas para la producción eléctrica en pequeñas plantas.

Entre las alternativas que se están desarrollando en este campo figuran las siguientes:

- ✓ **Ciclos rankine (de vapor y orgánicos) en plantas CHP.** *Una utilización importante del calor producido en pequeñas plantas convencionales de biomasa puede llegar a rentabilizar estas instalaciones, aumentando su efi-*

ciencia global y haciéndolas sostenibles tanto económica (con las medidas de soporte actuales) como medioambientalmente.

En la actualidad se están empezando a comercializar en pequeñas plantas de generación eléctrica con biomasa por algunas empresas, como la italiana Turboden, los denominados ciclos ranking orgánicos (ORC). Estos ciclos utilizan calderas de aceite térmico, el cual transfiere el calor por medio de un intercambiador a un fluido orgánico, cuya expansión al calentarse, mueve equipos de generación de combustión externa, tales como motores stirling o microturbinas de gas. En su conjunto, le eficiencia de este ciclo es semejante a la del ciclo de vapor, pero los costos de inversión y de mantenimiento se reducen considerablemente. No obstante, como en el caso anterior, la viabilidad de esta tecnología en pequeñas plantas depende de una utilización intensiva del calor producido en el ciclo.

- ✓ **Gasificación.** *En este caso se emplean pequeños gasificadores, generalmente de lecho móvil en corrientes paralelas, utilizándose el gas en motogeneradores acoplados. La limpieza del gas se suele efectuar mediante ciclones y scrubber húmedos. Esta tecnología permite disponer de plantas de muy pequeño tamaño, de tan solo algunos kilovatios, con una eficiencia aceptable. Puede considerarse en estado precomercial, si bien el precio de las plantas que pueden adquirirse es todavía muy alto, en torno a 2.500€/kW instalado para plantas de menos de 500kWth.*
- ✓ **Motores Stirling.** *Este tipo de motores de combustión interna ha sido recientemente desarrollado para biomasa . El motor se mueve con aire o helio que se calientan con un quemador que utiliza el gas de gasificación de la biomasa. Recientemente varias empresas europeas han comercializado esta tecnología para biomasa. Los precios, para los equipos más eficientes, se sitúan en torno a los 3.000€/kW instalado, excluida la unidad térmica y la instalación.*
- ✓ *Fomento y soporte de proyectos con un tamaño suficiente y viabilidad adecuadas para crear situaciones de oferta y demanda sostenibles en el tiempo.*

Además de las barreras descritas, el desconocimiento de esta aplicación entre el público en general ha llevado en ocasiones a posiciones sociales contrarias a la instalación de las plantas de generación que han dado al traste con los proyectos. En estos casos una buena y transparente información a nivel local es fundamental para tratar de evitar el problema.

4.3 La biomasa en el sector transporte

Como ya se ha mencionado en la introducción, se denominan biocarburantes aquellos biocombustibles derivados de la biomasa que se utilizan en como combustible de vehículos. En la actualidad esta aplicación está representada, fundamentalmente, por dos biocombustibles líquidos denominados bioetanol y biodiesel. El primero se utiliza como sustituto de la gasolina y el segundo del gasóleo.

Bioetanol

Como se indica en la tabla 1, el bioetanol se produce de materias primas azucaradas, principalmente la caña de azúcar (en Brasil) y en menor medida la remolacha (en la UE), y de cereales, principalmente el maíz (en Estados Unidos) y el trigo y cebada (en la UE).

En la tabla 4 se muestra el rendimiento de bioetanol a partir de distintas materias primas

Tabla 4. Rendimientos de bioetanol de diferentes materias primas. Los cereales expresados en base a grano.

| Producto | Rendimiento l/t mat.prima (base seca) |
|---------------------|---|
| Maiz | 320-350 |
| Sorgo | 300-360 |
| Trigo | 320-350 |
| Centeno | 300-340 |
| Avena | 240-260 |
| Cebada | 290-320 |
| Remolacha azucarera | 83-95 |
| Caña de azúcar | 57-65 |

El bioetanol se está utilizando en los vehículos de las siguientes formas:

- ✓ E5 (mezcla del 95% en volumen de gasolina con etanol) e inferiores. Son mezclas autorizadas por Directiva en la Unión Europea (UE). También se emplean mezclas con hasta un 2% de bioetanol en algunos Estados de los Estados Unidos.
- ✓ E10 (90% gasolina, 10% bioetanol). Es la mezcla mas difundida en Estados Unidos donde se denomina gasohol.
- ✓ E20. Es la mezcla mas utilizada en Brasil, aunque actualmente hay una tendencia a reducir la proporción de etanol.
- ✓ E85 (15% de gasolina, 85% de bioetanol). Se utiliza en algunos países de la UE, principalmente Suecia, Brasil y en Estados Unidos, en vehículos "flexi fuel". Estos vehículos disponen de un sistema de reconocimiento de la mezcla en el depósito con el que pueden regular la carburación de forma automática. De esta manera pueden utilizar cualquier mezcla de bioetanol con gasolina hasta la proporción máxima de bioetanol indicada, siendo necesario un 15% de gasolina, al menos, para favorecer el

arranque del vehículo. Esta opción constituye la de mayor desarrollo en estos momentos.

- ✓ *E100 (100% bioetanol). El bioetanol como único combustible se está utilizando en Brasil, en vehículos cuyo motor está especialmente diseñado para el biocombustible. En la actualidad, en este país, hay una tendencia a disminuir el consumo de bioetanol puro a favor del E20 y E85.*
- ✓ *ETBE (etilercbutileter). Es la forma más común en estos momentos de utilización en la UE. El ETBE se produce por la industria petroquímica mediante la reacción del bioetanol con el isobutileno, que es un subproducto del refino del petróleo. El ETBE presenta una mejor miscibilidad con la gasolina y una menor volatilidad que el bioetanol.*
- ✓ *e-diesel. Consiste en utilizar bioetanol en mezcla con biodiesel, hasta 15% en volumen de bioetanol. Dada la baja miscibilidad de ambos productos, es preciso el empleo de una molécula emulsionante. Se trata de una aplicación en desarrollo que ya se está experimentando en proyectos de demostración.*

La adición del bioetanol o de ETBE a la gasolina sirve para aumentar el índice de octano de ésta.

Biodiesel

El biodiesel constituye un derivado de aceites vegetales obtenidos de diversas materias primas agrícolas como la colza (en la UE), soja (en Estados Unidos) y la palma (Indonesia, Malasia). También se pueden emplear en algunos procesos grasas animales.

El biodiesel se obtiene mediante una reacción denominada de transesterificación, entre la grasa y un alcohol, metanol en los procesos industriales actuales, para dar lugar a un metileter (biodiesel) y glicerina como subproducto principal, que proviene de la sustitución de los grupos alquílicos de la grasa por grupos metilo. En este proceso de cada tonelada de grasa se obtienen una cantidad aproximadamente igual de biodiesel y unos 90kg de

glicerina como subproducto.

Los metilesteres derivados o biodiesel, por su parte, son solubles en el gasóleo en cualquier proporción y constituyen, puros o en cualquier mezcla con gasóleo, un combustible excelente para los motores diesel convencionales. En proporciones inferiores a un 10% en volumen del biocarburante, su adición al gasóleo no precisa de modificación alguna en los vehículos diesel convencionales, si bien para cantidades superiores se hace necesaria la sustitución de los conductos de goma del combustible por otros de un material resistente a la acción del biodiesel, como el vitón. A diferencia de lo que ocurre con el etanol y el ETBE, la adición de derivados de aceites vegetales al gasóleo no sirve para incrementar sensiblemente el índice de cetano de éste,

Las formas de utilización comercial del biodiesel son las siguientes:

- ✓ *B5 (5% en volumen de biodiesel en mezcla con gasóleo). Es la forma utilizada en diferentes países como Francia y España.*
- ✓ *B30 (30% en volumen de biodiesel) o similares. Se utilizan en Alemania, Austria y otros países de la UE.*
- ✓ *B100 (biodiesel puro). Se utiliza principalmente en flotas cautivas de vehículos pesados como autobuses y maquinaria agrícola.*

La producción anual mundial de biocarburantes se sitúa en torno a los 35.000-40.000 MI, de los que 30.000-35.000 corresponden al bioetanol producido (tabla 5) principalmente en Brasil y Estados Unidos, y unos 4.000 MI de biodiesel, producidos en dos terceras partes en la UE.

Tabla 5 Producción mundial de biocarburantes en 2005 (en MI)

| Biocarburante | Estados Unidos | Brasil | EU | Mundo |
|---------------|----------------|--------|-------|--------|
| Bioetanol | 14.700 | 14.900 | 912 | 33.000 |
| Biodiesel | 300 | n.a. | 2.800 | 3.900 |

El sector de los biocarburantes ha sido en los últimos años el más dinámico de todos los de la biomasa, con una tasa de crecimiento anual de la producción a nivel mundial del 14% en el periodo 2000-2005 y que ha llegado a ser superior al 60% en la UE en 2005. Esta situación ha sido posible gracias a una legislación muy favorable que establece tanto objetivos como ayudas para conseguirlos. Así, en la UE, la Directiva 2003/30/EC establece un objetivo de utilización para los biocarburantes en 2010 equivalente al 5,75% del consumo de combustibles de transporte en dicho año.

Sin embargo, en 2007, el notable incremento experimentado por el precio de los cereales ha determinado tensiones importantes de este sector con el alimentario que han ocasionado conflictos en algunos países y ha quebrado la tendencia alcista existente en la producción de biocarburantes, principalmente en la UE.

La producción y utilización de los biocarburantes actuales no ofrece problemas técnicos significativos y estos productos, como únicos combustibles o en mezclas con los combustibles fósiles, determinan reducciones importantes de las principales emisiones contaminantes de los vehículos, así como de las de CO₂, aunque en este caso en proporciones mucho más moderadas que las aplicaciones térmicas y eléctricas de la biomasa, sobre todo si se emplean materias primas europeas o de Estados Unidos. Así, en condiciones medias, la utilización del bioetanol producido de cereales en la UE y en Estados Unidos se estima que puede determinar unos ahorros entre el 15-50% de las emisiones de CO₂ de los vehículos y 25-75% en el caso del biodiesel producido de la colza o del girasol, dependiendo del rendimiento de la cosecha, de la utilización de subproductos y de la forma de uso del biocarburante. Esta situación es mucho más favorable cuando se utilizan cultivos tropicales como la

caña de azúcar o la soja como materias primas, llegándose en el primer caso a unos ahorros en torno al 90% de las emisiones de CO₂, cuando se emplea energéticamente el bagazo, para la producción de vapor y electricidad.

Barreras y medidas correctoras

Frente a las referidas ventajas, los biocarburantes poseen importantes barreras e incógnitas en lo referente a su sostenibilidad:

- 1. Los costes de producción de biocarburantes con materias primas europeas y de Estados Unidos (tabla 6) son muy altos en comparación con los de la gasolina y el gasóleo, incluso en la situación actual de precios de los productos petrolíferos (tabla 6). Ello hace que su producción para lograr los objetivos propuestos en la UE y en Estados Unidos deba ser subsidiada, lo que, en el caso de los países de la UE se hace a través de una detaxación del impuesto especial de hidrocarburos. En España existe por la Ley 38 /1992 una detaxación del 100% de este impuesto a los biocarburantes. En Estados Unidos existe una aportación pública de 0,54\$/galón de bioetanol.*

Como puede observarse, además, en la tabla 6, análogamente a lo que ya se ha comentado con el ahorro de emisiones de CO₂, los costes de producción de biocarburantes son inferiores cuando se emplean materias primas tropicales como la soja y la caña de azúcar, lo cual es debido a la mayor productividad y rusticidad de estas especies, que precisan menos recursos por unidad de energía producida.

Tabla 6. Costos indicativos de la producción de biodiesel de soja en Estados Unidos y colza en la UE y del bioetanol de maíz en Estados Unidos, trigo en la UE y de caña de azúcar en Brasil, en grandes plantas. Datos en €/l (€/l gasolina o gasóleo equivalente) y en 2005)

| Biomasa | Biocarburante | Materias primas | Transformación | Valoración subproductos | TOTAL | |
|----------------|---------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------------------|--------|
| Soja | Biodiesel | 0,18-0,35 | 0,05 | -0,12- (-0,17) | 0,23-0,38 | (0,25- |
| Colza | Biodiesel | 0,30-0,60 | 0,05 | -0,12- (-0,17) | 0,41) | |
| Maíz | Bioetanol | 0,24 | 0,16 | -0,11 | 0,35-0,65(| 0,38- |
| Trigo | Bioetanol | 0,22-0,34 | 0,28-0,38 | -0,11- (-0,15) | 0,70) | |
| Caña de azúcar | Bioetanol | 0,13 | 0,10 | No disponible | 0,29 (0,43) | |
| | | | | | 0,35-0,62 (0,53-0,93) | |
| | | | | | 0,23 (0,34) | |

2. Como ya se ha comentado, el rendimiento energético y balance de emisiones de CO₂ cuando se parte de materias primas de la UE o de Estados Unidos ofrece unos resultados no muy satisfactorios e, incluso, en determinadas circunstancias, como pueden ser la utilización de materias primas obtenidas en zonas de baja productividad, pueden darse casos de rendimientos energéticos negativos y mayores niveles de emisiones de efecto invernadero que en los ciclos de la gasolina y el gasóleo.

3. Como consecuencia de la baja eficiencia de producción energética en Europa y en Estados Unidos, la superficie agrícola necesaria en estas zonas para producir una unidad energética de biocarburante es relativamente muy elevada, por lo que las posibilidades de producción de biocarburantes son pequeñas y no parece que puedan contribuir a un autoabastecimiento energético significativo. Así, por ejemplo, con las producciones agrícolas medias de la UE y teniendo en cuenta la energía neta producida, se precisarían 7 y 2,6 ha, respectivamente de superficie agrícola para producir 1 tep de bioetanol y biodiesel, mientras que la producción de 1tep de energía eléctrica requeriría tan solo de unas 0,8 ha. En este sentido hay que considerar que incluso el objetivo del 5,75 % de biocarburantes para 2010 en la UE deberá cubrirse en gran parte con materias primas o biocarburantes de importación.

Para mejorar la sostenibilidad de los biocarburantes actuales se está llevando a

cabo un desarrollo tecnológico en torno a dos alternativas principalmente:

1. Desarrollo de los denominados biocarburantes de segunda generación. Se trata de productos utilizables en el sector transporte y que no provienen de materias primas agrícolas convencionales. En esta línea la actividad más importante se centra en la conversión de materiales lignocelulósicos en biocarburantes, a través de dos procesos fundamentalmente:

✓ *Gasificación de la biomasa, normalmente en gasificadores a presión, seguida de un reformado y limpieza del gas, para dar lugar al gas de síntesis (syngas), con alto contenido en hidrógeno y monóxido de carbono. A partir del syngas y mediante procesos catalíticos, por lo general, se pueden obtener una serie de compuestos orgánicos, incluidos hidrocarburos, que pueden sustituir en aplicaciones de transporte a la gasolina y gasóleo. Entre los procesos que se están siguiendo partiendo del syngas pueden citarse:*

- *Síntesis de Fischer-trops. De acuerdo a los catalizadores utilizados y la temperatura de proceso puede dar lugar a productos compuestos por hidrocarburos con un perfil de gasolina o gasóleo. La ventaja de estos hidrocarburos es que son siempre de cadena lineal, evitando la existencia de aromáticos que producen detonación cuando se quema la gasolina en los cilindros. Existen en la actualidad varios procesos para realizar esta síntesis con biomasa y existen empresas como la petrolera SHELL que están tratando de desarrollarlos en plantas piloto.*
- *Síntesis de dimetil eter (DME). La producción de DME a nivel de planta de demostración ha sido realizada en Alemania. El DME es un producto de características físicas y fisico-químicas parecidas al gasóleo.*
- *Síntesis de metanol. El biometanol posee aplicaciones en el sector transporte parecidas a las del bioetanol. Su producción a partir de biomasa ha sido demostrada en plantas de gran capacidad si bien los resultados económicos no han sido muy satisfactorios debido al gran tamaño de planta necesario.*

- *Producción de hidrógeno. A partir del syngas se puede producir un enriquecimiento en hidrógeno mediante reacciones de “water gas shift” o bien mediante filtración con membranas selectivas. Este proceso está en fase de desarrollo y con el producto final podría ser hidrógeno utilizable en pilas de combustible de los vehículos o incluso en hidrogeneras. Este proceso está en fase de investigación.*

- ✓ *Hidrólisis de la biomasa lignocelulósica seguida de fermentación a etanol. En este caso se obtiene un producto idéntico al etanol obtenido de materias primas agrícolas, pero que se considera de segunda generación al no estar producido con aquellas. Este proceso se está investigando actualmente y comprende una etapa previa de prehidrólisis de la biomasa, para incrementar la posterior acción enzimática sobre la celulosa, que se transforma, así, en glucosa fermentable, a partir de la cual las levaduras fermentadoras producen el bioetanol final.*

La lógica de la producción de los biocarburantes de segunda generación está basada en el rendimiento energético de producción de la biomasa lignocelulósica, mucho mayor que en el caso de las materias primas agrícolas, así como en su inferior coste. Asimismo, se esperan ahorros de CO₂ muy superiores a los conseguidos con las materias primas tradicionales en la UE y en Estados Unidos [9] y, por tanto, una mayor sostenibilidad de los biocarburantes producidos con materias primas autóctonas.

El desarrollo y aplicabilidad final de estos procesos cuenta, no obstante, con importantes obstáculos e indefiniciones, tanto de índole tecnológica (desarrollo de enzimas y catalizadores competitivos, desarrollo de las tecnologías de gasificación y de fermentación etc), como de balances energético y de emisiones, debido a los altos requerimientos energéticos, aún no bien establecidos, de los procesos de conversión, y principalmente de las tecnologías de gasificación. Por otra parte, se estiman unos costos de inversión muy altos, que podrían estar en torno a los 250-300 M€ para plantas de 100.000 t/año de biocarburante de segunda generación y unas eco-

nomías de escala en grandes plantas, lo que, como en el caso de los ciclos BIGCC haría dificultoso el suministro sostenible de biomasa y podría limitar grandemente la aplicabilidad de la tecnología.

2. *La segunda opción que se está tratando de impulsar de forma importante en estos momentos para hacer mas viable la producción de biocarburantes, es el concepto de biorrefinería. La biorrefinería se entiende como una instalación en la que se realiza la integración de diferentes procesos al objeto de optimizar bajo un punto de vista económico, de rendimiento energético y medioambiental, la utilización de una determinada biomasa. En este sentido, la biorrefinería puede cubrir opciones de utilización no energética junto con las energéticas, así como alternativas para optimizar energéticamente los procesos (e.j utilización de los residuos de proceso en instalaciones de cogeneración anejas a las propias plantas de biocarburantes).*

Aparte de la complejidad que puede entrañar el desarrollo de esta alternativa, una incertidumbre respecto a las posibilidades de aplicación radica en el distinto tamaño del mercado de los productos energéticos frente al de los no energéticos y de estos entre sí, así como del impacto que la nueva industria pudiera producir sobre las ya establecidas en relación con los productos no energéticos.

4. Conclusiones

La biomasa constituye una de las fuentes energéticas más importantes y se perfila como una de las alternativas más viables para formar la cesta energética sostenible de este siglo. No obstante, el recurso es complejo tanto tecnológicamente, como bajo los puntos de vista económico, medioambiental y social y tanto en su etapa de producción de combustible como de utilización energética posterior, por lo que, para obtener las mayores ventajas del mismo será preciso identificar e implementar aquellas opciones tecnológicas y alternativas de implementación que, teniendo en cuenta las circunstancias que rodeen a su aplicación real, sean las más favorables bajo el punto de vista de su sostenibilidad. Esto implica la realización de análisis de producción y utilización del recurso a nivel local y también, en deter-

minados casos, a nivel de mercado global.

5. Bibliografía citada

- [1] CEN/ TS 14588: 2003 E. *Solid biofuels- terminology, definitions and descriptions.*
- [2] *Plan de Acción sobre la Biomasa. Sec (2005) 1573. Ed. Comisión Europea. COM(2005) 628 final. 07/12/2005.*
- [3] *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. IDAE- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Agosto de 2005. www.idae.es*
- [4] *Environment Energy Agency (2006). How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? (2007). EEA Report 2006 N° 67. ISBN 92-9167-849-X*
- [5] www.oncultivos.es
- [6] HALL, D.O. Y ROSILLO-CALLE, F. (1998). *THE ROLE OF BIOENERGY IN DEVELOPING COUNTRIES. PROC. 10TH EUROPEAN CONFERENCE ON BIOMASS FOR ENERGY AND INDUSTRY. PUB. C.A.R.M.E.N. GERMANY. PG. 52-55.*
- [7] Yolanda Lechón et al. (2005). *Análisis del Ciclo de Vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase I. Análisis del ciclo de vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina. Ministerio de Medioambiente. ISBN 84-8320-312-X*
- [8]] Yolanda Lechón et al. (2005). *Análisis del Ciclo de Vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase II. Análisis del ciclo de vida comparativo del biodiesel y del diesel. Ministerio de Medioambiente. ISBN 84-8320-376-6*
- [9] Jank M.S., Kutas G., Do Amaral L.F., Nassar A.M.(2007), *EU and US policies on biofuels: potential impacts on developing countries, German Marshall Fund of the United States GMF 2007, Washington*