

CICLO ENERGÍAS RENOVABLES

JORNADAS DE BIOMASA

GENERALIDADES.

Fernando Sebastián Nogués - Javier Royo Herrer
Fundación CIRCE
Abril de 2002

LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE

1.	La biomasa.....	2
1.1.	La biomasa en el contexto de la Unión Europea.....	3
2.	Tipos de biomasa.....	5
3.	Características energéticas de la biomasa.....	6
4.	¿En qué instalaciones es posible utilizarla?.....	7
5.	¿Qué aplicaciones energéticas tiene?.....	8
6.	¿Qué ventajas presenta su uso?.....	9
6.1.	Ventajas ambientales del uso energético de la biomasa.....	10
6.2.	Ventajas socioeconómicas del uso energético de la biomasa.....	10
7.	¿Qué problemas puede presentar su uso?.....	10
8.	Sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa.....	11
8.1.	Sistemas basados en la combustión del recurso.....	11
8.2.	Sistemas basados en la gasificación del recurso.....	12
8.3.	Digestión anaerobia.....	13
8.4.	Producción de biocarburantes.....	14
9.	Ejemplo práctico.....	15

1. La biomasa.

La biomasa, sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, era la fuente energética más importante para la humanidad y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la revolución industrial. Con el uso masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo un reparto muy desigual como fuente de energía primaria. Mientras que en los países desarrollados, es la energía renovable más extendida y que más se está potenciando, en multitud de países en vías de desarrollo es la principal fuente de energía primaria lo que provoca, en muchos casos, problemas medioambientales como la deforestación, desertización, reducción de la biodiversidad, etc.

No obstante, en los últimos años el panorama energético mundial ha variado notablemente. El elevado coste de los combustibles fósiles y los avances técnicos que han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa cada vez más eficientes, fiables y limpios, han causado que esta fuente de energía renovable se empiece a considerar por las industrias como una alternativa, total o parcial, a los combustibles fósiles.

La energía de la biomasa proviene en última instancia del sol. Mediante la fotosíntesis el reino vegetal absorbe y almacena una parte de la energía solar que llega a la tierra; las células vegetales utilizan la radiación solar para formar sustancias orgánicas a partir de sustancias simples y del CO₂ presente en el aire. El reino animal incorpora, transforma y modifica dicha energía. En este proceso de transformación de la materia orgánica se generan subproductos que no tienen valor para la cadena nutritiva o no sirven para la fabricación de productos de mercado, pero que pueden utilizarse como combustible en diferentes aprovechamientos energéticos.

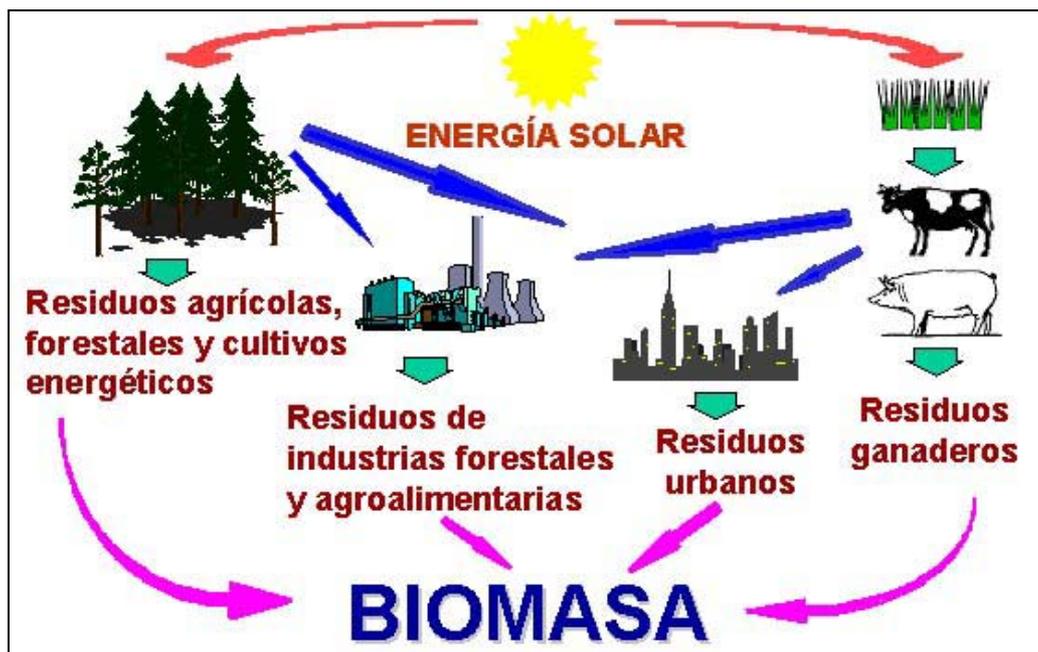


Fig. 1. Definición de biomasa

1.1. *La biomasa en el contexto de la Unión Europea*

De todas las fuentes de energía renovables, la biomasa es la más importante en el conjunto de la Unión Europea. Si se tiene en cuenta la producción energética con renovables en el año 1995 (72.876 ktep), la energía de la biomasa representó aproximadamente un 55% (40.081 ktep) frente a las demás fuentes de este tipo. Le siguen en orden de importancia la energía hidráulica (24.950 ktep) y la geotérmica (2.518 ktep). En la figura siguiente se puede observar el reparto de la producción energética con energías renovables en la Unión Europea en el año 1995. Respecto al aprovisionamiento energético total del conjunto de la Unión Europea, la biomasa contribuye con más del 3%.

Es en el sector doméstico donde más se utiliza la biomasa, principalmente en hogares y pequeñas calderas. Las aplicaciones industriales por lo general contribuyen en menor medida a este consumo de combustibles biomásicos.

Si se tienen en cuenta las cantidades de biomasa consumidas por los países de la Unión Europea, Francia es el país que registra el mayor consumo, superior a 9 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep). El segundo puesto lo ocupa Suecia (6,5 millones de tep) y le sigue Finlandia con 5 Mtep. En estos dos países el consumo de biomasa está más extendido a escala industrial dado el gran número de empresas de transformación de la madera y de fabricación de papel que allí existen.

España ocupa el cuarto lugar por orden de importancia cuantitativa con 3,6 millones de tep. Nuestro país sigue la tendencia general de los países europeos, es decir, mayor consumo de biomasa en el ámbito doméstico que en el sector industrial.

Existen una serie de factores que condicionan el consumo de biomasa en los países europeos y que hacen que éste varíe de unos a otros, tanto cuantitativamente como en el aprovechamiento de la energía final. Estos factores se pueden dividir en tres grupos:

- Factores geográficos: Inciden directamente sobre las características climáticas del país condicionando, por tanto, las necesidades térmicas que se pueden cubrir con combustibles biomásicos.
- Factores energéticos: Dependiendo de los precios y características del mercado de la energía en cada momento, se ha de decidir si es o no rentable el aprovechamiento de la biomasa como alternativa energética en sus diversas aplicaciones.
- Disponibilidad del recurso: Hace referencia a la posibilidad de acceso al recurso y la garantía de su existencia. Estos factores son los más importantes ya que inciden directamente tanto en el consumo energético de biomasa como en sus otras posibles aplicaciones.

Como ya se ha mencionado, las aplicaciones a las que va destinado el consumo de biomasa varían mucho de unos países a otros. Se muestra en el gráfico siguiente cómo distribuyen los países su consumo de biomasa entre el sector industrial y el sector doméstico y servicios.

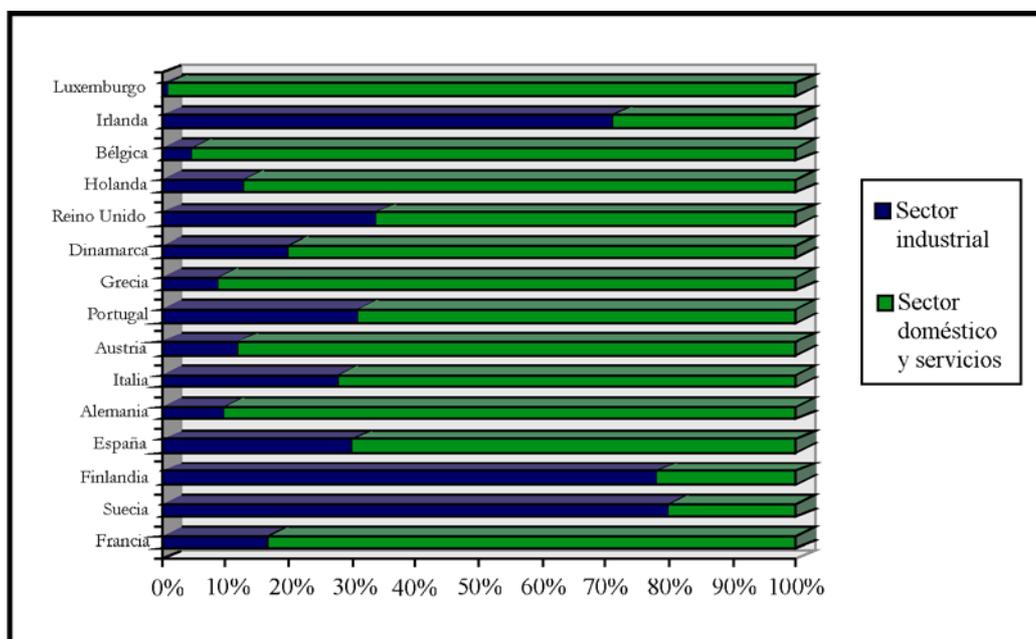


Fig. 2. Distribución del consumo de biomasa en los países de la UE.

En cuanto a las perspectivas del uso de los combustibles biomásicos en Europa hay que destacar que además de las ventajas energéticas que supone, el desarrollo de sector puede tener unas repercusiones muy favorables en otros campos. El aspecto medioambiental es uno de los más importantes. La reducción de emisiones contaminantes (CO_2 , NO_x , SO_2) a la atmósfera es uno de los objetivos primordiales de la Unión Europea. Por otra parte, el aprovechamiento energético de los residuos forestales puede contribuir a reducir los costes de la limpieza de los bosques.

La utilización de los cultivos energéticos también cuenta con un gran potencial de desarrollo en determinadas regiones de Europa al igual que el aprovechamiento energético del biogás generado en la digestión anaerobia de los residuos ganaderos y los lodos de depuración de aguas urbanas.

La elaboración de biocarburantes a partir de productos agrícolas es también una alternativa a tener en cuenta no sólo por la reducción de la contaminación atmosférica ocasionada por los vehículos a motor sino también por contribuir a la diversificación de las actividades en el mundo rural. Según las previsiones de la Comisión Europea, se estima que en el año 2010 los biocarburantes podrían conseguir una participación del 3% en el consumo de energía del sector del transporte europeo.

2. Tipos de biomasa.

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una instalación, una de las clasificaciones más generalmente aceptada es la siguiente:

- **Biomasa natural:** es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa. La utilización de estos recursos requiere de la gestión de su adquisición y transporte hasta la empresa lo que puede provocar que su uso sea inviable económicamente.
- **Biomasa residual seca:** se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el serrín, etc.
- **Biomasa residual húmeda:** son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).
- **Cultivos energéticos:** son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo (*cynara cardunculus*), el girasol cuando se destina a la producción de biocarburantes, el miscanto, etc.
- **Biocarburantes:** aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites) como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o en los cultivos energéticos (colza, girasol, patata, etc.), por sus especiales características y usos finales este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores.

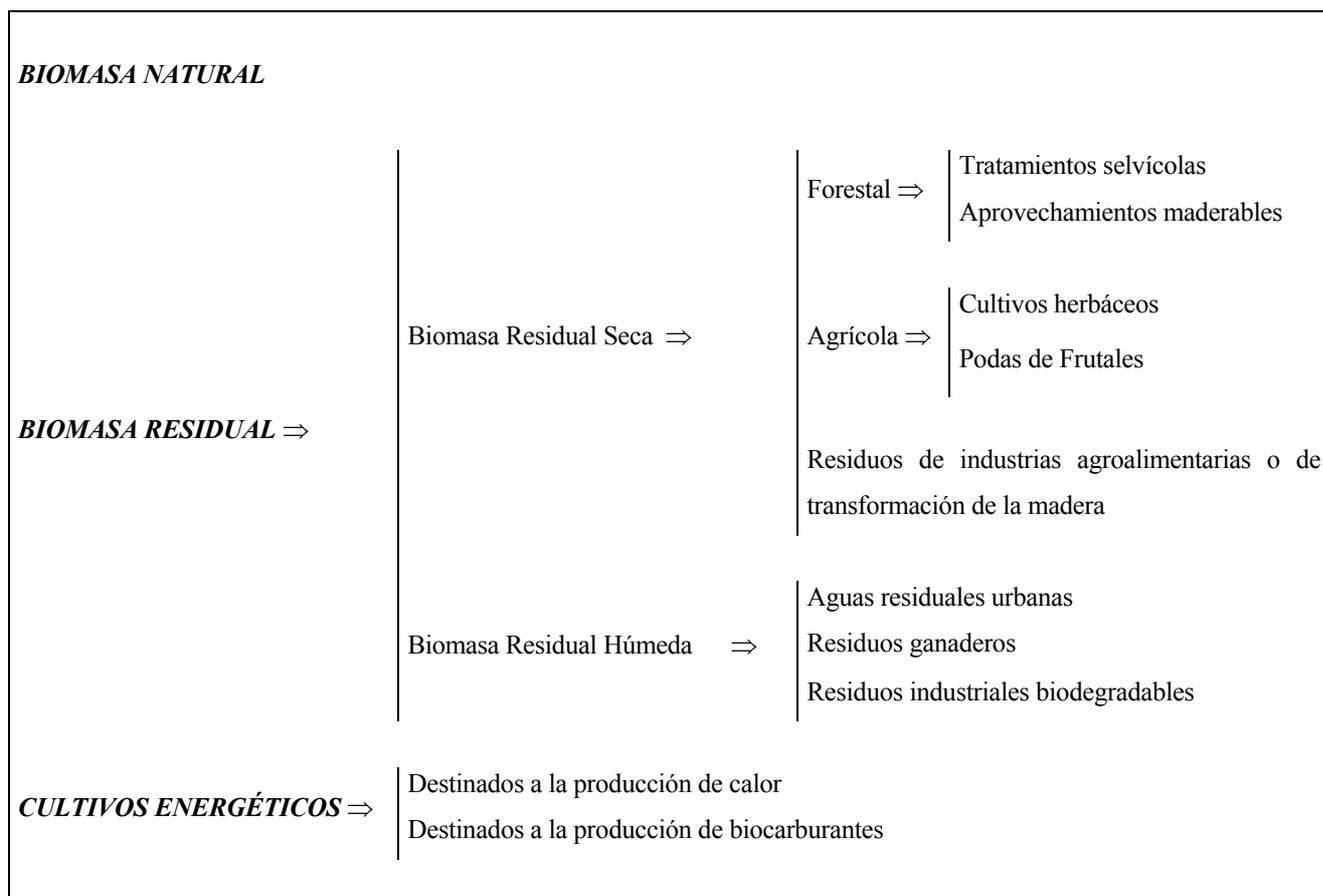


Fig. 3. Tipos de biomasa

3. Características energéticas de la biomasa.

En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce o porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.000 kcal, por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento. La tabla 1 recoge el poder calorífico superior y el poder calorífico inferior a distintos contenidos de humedad de algunos de los recursos de biomasa más habituales.

PRODUCTO	P.C.I. a humedad x (kJ/kg)					
	x	P.C.I.	x	P.C.I.	x	P.C.I.
Leñas y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659
Serrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746
Cáscara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424
Cortezas						
Coníferas	0	19.437	20	15.257	40	11.077
Fronosas	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209
	30	11.286	-	-	-	-
Vid						
Sarmientos	0	17.765	20	13.710	40	9.656
Ramilla de uva	0	17.263	25	12.331	50	7.399
Orujo de uva	0	18.894	25	13.543	50	8.193

Tabla 1. Contenido energético de algunos recursos englobados bajo el término biomasa residual seca.

Por otra parte, como no se puede llevar a cabo la combustión directa de la biomasa residual húmeda, su contenido energético puede determinarse en función del que posee el biogás obtenido de su digestión anaerobia. La cantidad de biogás generado y su contenido energético dependen de las características del sustrato tratado y de la tecnología empleada, en la tabla 2 se muestra el potencial energético medio de algunos recursos.

Sustrato	Cantidad de gas a 30 °C en l/kg de residuo seco	Contenido en metano (%)	P.C.I. (kcal/m ³ N de biogás)
Estiércol con paja	286	75	6.100
Excrementos de vaca	237	80	6.500
Excrementos de cerdo	257	81	6.600
Agua residual urbana	100 (por m ³ de agua tratado)	65	5.300

Tabla 2. Contenido energético de algunos recursos englobados bajo el término biomasa residual húmeda.

Por último, en el caso de los biocarburantes, éstos presentan un P.C.I. ligeramente inferior al de los combustibles fósiles tradicionales, aproximadamente el 10%.

4. ¿En qué instalaciones es posible utilizarla?

Como se ha visto hasta ahora, multitud de recursos quedan agrupados bajo el término genérico “biomasa”. Esta enorme variedad unida a la capacidad de adaptación de las tecnologías de aprovechamiento energético a los diferentes recursos existentes, causan que, en la actualidad, muchas de las actividades industriales podrían satisfacer toda o parte de su demanda energética con biomasa.

No obstante, para poder utilizar esta energía renovable es necesario cumplir dos condiciones:

1.- Disponer de una fuente de biomasa cercana a precios razonables.

Las empresas que disponen en sus propias instalaciones de biomasa residual son las que, con mayor facilidad, pueden plantearse la posibilidad de un aprovechamiento

energético puesto que se suele tratar de unos recursos con valor de mercado muy bajo, pudiendo suponer incluso un coste el deshacerse de ellos.

Las empresas que no disponen de biomasa residual propia pueden adquirir ésta en el mercado. Aunque todavía no del todo desarrolladas, ya existen cadenas de distribución de estos recursos que permiten adquirirlos a un coste enormemente competitivo frente a los tradicionales.

2.- Tener unos consumos energéticos suficientes para que la instalación sea rentable.

Mientras que para el aprovechamiento de algunos tipos de biomasa en la generación de energía térmica cualquier tamaño de instalación suele ser rentable, en el caso de producción de energía eléctrica o mecánica son necesarios unos consumos mucho más elevados.

5. ¿Qué aplicaciones energéticas tiene?

Con biomasa se puede generar energía térmica (agua o aire caliente, vapor, etc.), energía eléctrica e incluso mecánica mediante el uso de biocarburantes en motores de combustión interna:

- **Generación de energía térmica:** El sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido. Todos los procesos de aprovechamiento de la biomasa mencionados en este punto y en el siguiente se describen en el apartado 8.
- **Generación de energía eléctrica:** En función del tipo y cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin:
 - Ciclo de vapor:** está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.
 - Turbina de gas:** utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un “ciclo combinado”.
 - Motor alternativo:** utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.

TECNOLOGÍA	BIOMASA	TAMAÑO	COMENTARIOS
Ciclo de vapor	Sólida	> 4 MWeléctricos	
Turbina de gas	Gas de síntesis	> 1 MWeléctricos	Sobre todo para cogeneración
Ciclo combinado	Gas de síntesis	> 10 MWeléctricos	
Motor alternativo	Gas de síntesis o biogás	> 50 kWeléctricos	Sobre todo para cogeneración

Tabla 3. Sistemas de generación de energía eléctrica con biomasa. Generalidades.

- **Cogeneración:** Cuando una entidad presenta consumos térmicos y eléctricos importantes se puede plantear la instalación de un sistema de cogeneración, consistente en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Esta tecnología

presenta como gran ventaja la consecución de rendimientos superiores a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado.

El principio de funcionamiento de la cogeneración se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad comentados en el epígrafe anterior.

Aunque cada caso debe ser estudiado en detalle, en general la cogeneración es adecuada para empresas con consumos de energía eléctrica importantes, con un factor de utilización elevado (más de 5.000 h/año) y donde sea posible aprovechar energía térmica a temperatura media (alrededor de 400-500° C).

Un sistema de cogeneración basado en la utilización de biomasa permite disminuir el coste de la factura, tanto la eléctrica (existiendo la posibilidad añadida de venta del excedente de electricidad) como la de combustibles fósiles.

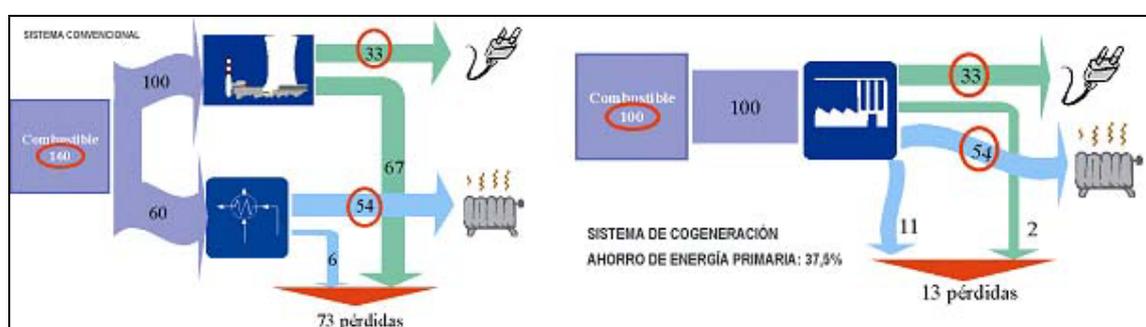


Fig. 4. Ahorro energético generado mediante el uso de un sistema de cogeneración.

Tanto los sistemas de generación de energía eléctrica como los de cogeneración requieren inversiones importantes, por lo que es preciso realizar un estudio muy cuidadoso y detallado antes decidir implantarlos.

- **Generación de energía mecánica:** Los biocarburantes pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles. La utilización de biocarburantes es especialmente interesante en industrias agrarias que dispongan de una adecuada materia prima para su producción (aceites reciclados, colza, girasol, maíz, trigo, pataca, etc.) y que puedan autoconsumirlos (por ejemplo en tractores), llegando a suponer importantes ahorros en la factura de los combustibles.

6. ¿Qué ventajas presenta su uso?

El empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas, no sólo para el propietario de la instalación de aprovechamiento, también para el conjunto de la sociedad.

En el primero de los casos, las ventajas mencionadas son fundamentalmente económicas ya que se disminuye la factura energética al reducir la cantidad de combustibles que se debe adquirir del exterior.

En el segundo de los casos, el uso de la biomasa presenta, al igual que ocurre con otras energías renovables, numerosas ventajas medioambientales y socioeconómicas.

6.1. *Ventajas ambientales del uso energético de la biomasa*

- Se considera que todo el CO₂ emitido en la utilización energética de la biomasa había sido previamente fijado en el crecimiento de la materia vegetal que la había generado, por lo que no contribuye al incremento de su proporción en la atmósfera y, por tanto, no es responsable del aumento del efecto invernadero.
- La biomasa tiene contenidos en azufre prácticamente nulos, generalmente inferiores al 0,1%. Por este motivo, las emisiones de dióxido de azufre, que junto con las de óxidos de nitrógeno son las causantes de la lluvia ácida, son mínimas.
- Por otra parte, el uso de biocarburantes en motores de combustión interna supone una reducción de las emisiones generadas (hidrocarburos volátiles, partículas, SO₂ y CO).
- Por último, el empleo de la tecnología de digestión anaerobia para tratar la biomasa residual húmeda además de anular su carga contaminante, reduce fuentes de olores molestos y elimina, casi en su totalidad, los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido. Los fangos resultantes del proceso de digestión anaerobia pueden ser utilizados como fertilizantes en la agricultura.

6.2. *Ventajas socioeconómicas del uso energético de la biomasa*

- El aprovechamiento energético de la biomasa contribuye a la diversificación energética, uno de los objetivos marcados por los planes energéticos, tanto a escala nacional como europea.
- La implantación de cultivos energéticos en tierras abandonadas evita la erosión y degradación del suelo. La Política Agraria Comunitaria (PAC) permite la utilización de tierras en retirada para la producción de cultivos no alimentarios, como son los cultivos energéticos.
- El aprovechamiento de algunos tipos de biomasa (principalmente la forestal y los cultivos energéticos) contribuyen a la creación de puestos de trabajo en el medio rural.

7. ¿Qué problemas puede presentar su uso?

La utilización energética de la biomasa presenta, debido a sus características, pequeños inconvenientes con relación a los combustibles fósiles:

- Los rendimientos de las calderas de biomasa son algo inferiores a los de las que usan un combustible fósil líquido o gaseoso.
- La biomasa posee menor densidad energética, o lo que es lo mismo, para conseguir la misma cantidad de energía es necesario utilizar más cantidad de recurso. Esto hace que los sistemas de almacenamiento sean, en general, mayores.
- Los sistemas de alimentación de combustible y eliminación de cenizas son más complejos y requieren unos mayores costes de operación y mantenimiento (respecto a las que usan un combustible fósil líquido o gaseoso). No obstante, cada vez existen en el mercado sistemas más automatizados que van minimizando este inconveniente.
- Los canales de distribución de la biomasa no está tan desarrollados como los de los combustibles fósiles (sólo aplicable en el caso de que los recursos no sean propios).
- Muchos de estos recursos tienen elevados contenidos de humedad, lo que hace que en determinadas aplicaciones puede ser necesario un proceso previo de secado.

8. Sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa

Cuando se desea generar energía con biomasa se puede optar por diferentes sistemas tecnológicos. La elección entre uno y otro depende de las características de los recursos, de la cuantía disponible y del tipo de demanda energética requerida. En general, los sistemas comerciales existentes en el mercado para utilizar la biomasa residual seca se pueden clasificar en función de que estén basados en la combustión del recurso o en su gasificación; los que aprovechan el contenido energético de la biomasa residual húmeda están basados en su digestión anaerobia y, por último, para ambos tipos de recursos, existen tecnologías que posibilitan la obtención de biocarburantes.

<i>TIPO DE RECURSO</i>	<i>SISTEMA DE APROVECHAMIENTO</i>	<i>PRODUCTO OBTENIDO</i>
<i>Biomasa residual seca</i>	Basado en la combustión del recurso	⇒ Vapor Aceite térmico Agua caliente Aire caliente
	Basado en la gasificación del recurso	⇒ Gas combustible ⁽¹⁾ Gas de síntesis ⁽¹⁾
	Producción de biocarburantes	⇒ Aceite vegetal ⁽²⁾ Biodiesel ⁽²⁾ Etanol ⁽²⁾ ETBE ⁽²⁾
<i>Biomasa residual húmeda</i>	Compostaje	⇒ Compost
	Digestión anaerobia	⇒ Biogás ⁽¹⁾
	Basado en la combustión del recurso	
<i>Cultivos energéticos</i>	Basado en la gasificación del recurso	
	Producción de biocarburantes	⇒ Aceite vegetal ⁽²⁾ Biodiesel ⁽²⁾ Etanol ⁽²⁾ ETBE ⁽²⁾

⁽¹⁾ Estos productos se pueden emplear para producir energía térmica o mecánica en un eje
⁽²⁾ Estos productos se pueden emplear para generar energía mecánica en un eje (motor de combustión interna)

Fig. 5. Sistemas de aprovechamiento energético en función del tipo de recurso disponible.

8.1. Sistemas basados en la combustión del recurso

Con los equipos que en la actualidad existen en el mercado se pueden conseguir rendimientos de combustión muy elevados, que pueden alcanzar hasta el 95% si se acoplan equipos de recuperación de calor. Los avances tecnológicos conseguidos, tanto en los sistemas de alimentación de la biomasa como en los equipos de combustión, hacen que, en estos momentos, si se dispone de biomasa y es necesario cubrir una demanda térmica en la empresa, los equipos de combustión de biomasa sean tan eficientes, cómodos y competitivos como los basados en combustibles fósiles.

En general, una planta de combustión de biomasa consta de los siguientes sistemas:

- Almacenamiento de combustible
- Transporte y dosificación del combustible al equipo de combustión
- Equipos y cámara de combustión
- Caldera (vapor, agua caliente, aceite térmico)
- Recuperadores auxiliares de calor
- Depuración de gases
- Extracción de cenizas

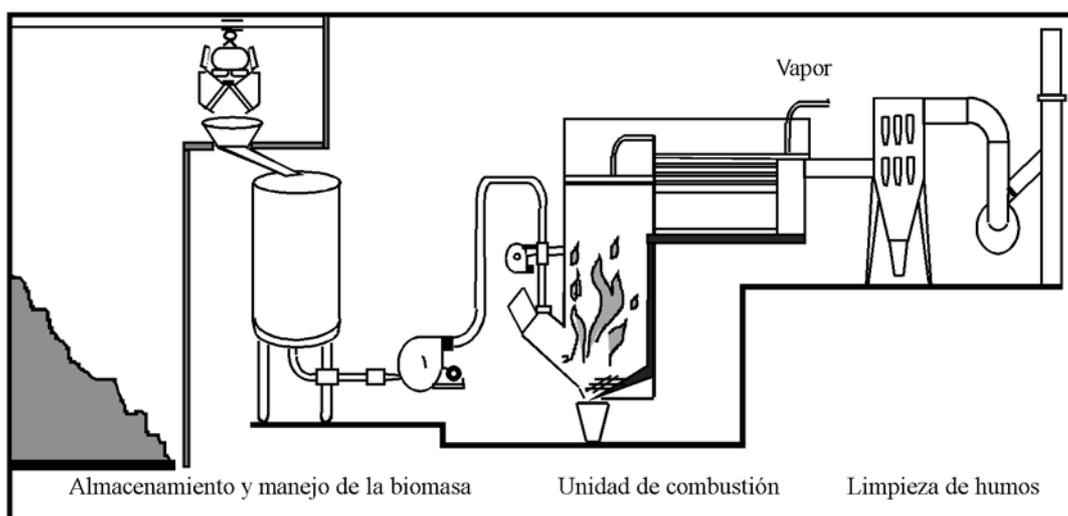


Fig. 6. Esquema de una instalación para combustión de biomasa.

Existen diferentes tecnologías para llevar a cabo la combustión de la biomasa: caldera de parrilla, cámara torsional, combustor en lecho fluido, etc. En función de las características del recurso y de la demanda (energía a baja o a alta temperatura y cantidad de la misma a suministrar) es más idóneo uno que otros pero en todos los casos, los avances tecnológicos antes mencionados, proporcionan tanta seguridad y confort como los sistemas basados en combustibles fósiles.

8.2. *Sistemas basados en la gasificación del recurso*

Cuando se desea generar energía térmica y/o eléctrica con biomasa, ésta se puede introducir en equipos en los que por la acción del calor y la carencia de oxígeno producen, al descomponer térmicamente el recurso, un gas combustible que puede emplearse de forma similar a como se utilizan el gas natural u otros combustibles gaseosos tradicionales. Estos equipos presentan la ventaja de que poseen, cuando se trabaja con potencias reducidas o con potencias muy elevadas, mayor rendimiento que los sistemas de combustión, por lo que en esos casos pueden ser mucho más adecuados.

Aproximadamente, una planta de gasificación consta de los mismos sistemas que una planta de combustión salvo que la caldera se sustituye por el gasificador y el sistema de limpieza del gas.

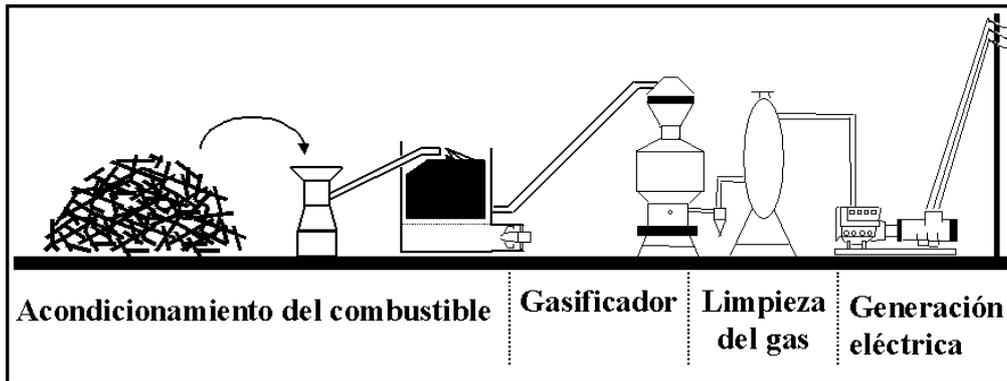


Fig. 7. Esquema de una instalación para combustión de biomasa.

Como ocurre con la combustión, existen diferentes tecnologías de gasificación de un recurso, gasificador de corrientes paralelas, gasificador en contracorriente, gasificador de lecho fluido, etc. En función de las características del combustible y del destino del gas generado es más conveniente un tipo de aplicación u otro.

8.3. Digestión anaerobia.

La biomasa residual húmeda, o lo que es lo mismo, las aguas residuales de origen orgánico, es aquella que aparece como resultado de la actividad humana en instalaciones agropecuarias, urbanas e industriales y que, por su contenido en agua y materia orgánica, puede ser tratada mediante un proceso biológico.

Estos procesos biológicos permiten el aprovechamiento del potencial energético de este tipo de biomasa, disminuyen su carga contaminante y generan subproductos estabilizados con valor fertilizante. De todos los procesos, el compostaje y la digestión anaerobia son los más empleados y ya se encuentran a escala comercial.

En este proceso la materia orgánica del residuo, en ausencia de oxígeno, se degrada o descompone por la actividad de unos microorganismos específicos transformándose en un gas de alto contenido energético o “biogás” y en otros productos que contienen la mayor parte de los componentes minerales y compuestos de difícil degradación que en ocasiones se denominan “fangos”.

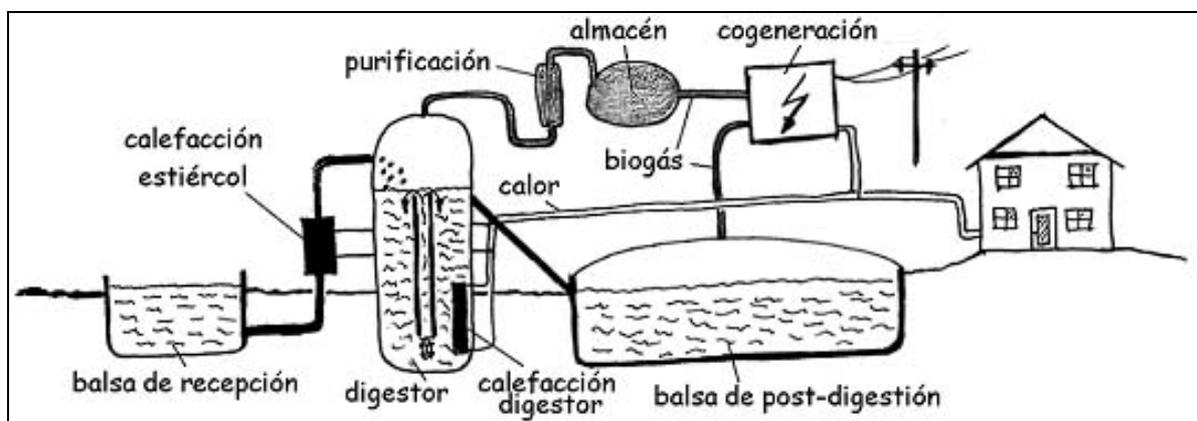


Fig. 8. Esquema de una planta de digestión anaerobia.

El biogás, cuyos componentes principales son el metano y el anhídrido carbónico, puede emplearse para producir energía térmica, eléctrica o en sistemas de cogeneración. El metano

es el componente que confiere el valor energético a este gas, 1 m³ de biogás con un 60 % de metano tiene un poder calorífico próximo a las 5.500 kcal.

Para que el proceso tenga lugar con la máxima eficiencia se deben controlar una serie de factores como el pH, la alcalinidad, la acidez volátil, la temperatura, los nutrientes, los inhibidores y los tiempos de residencia.

Existen en la actualidad diferentes sistemas para llevar a cabo este proceso. Estas tecnologías se clasifican en función el sistema de carga utilizado y el estado de la biomasa bacteriana existente dentro del digestor. La implantación de una tecnología u otra depende principalmente de las características del vertido a tratar.

COMPOSICIÓN MEDIA DEL BIOGÁS Y PODER CALORÍFICO INFERIOR DE SUS COMPONENTES (15,55 °C y 1 atm):		
CH ₄	60-80 %	8.145 kcal/m ³
CO ₂	20-40 %	-
H ₂	1-3 %	2.441 kcal/m ³
O ₂	0,1-1 %	-
CO	0-0,1 %	2.868 kcal/m ³
N ₂	0,5-3 %	-
SH ₂ , NH ₃	0,5-1 %	5.552 kcal/m ³ (SH ₂)
H ₂ O	Variable	-

Tabla 4. Composición del biogás

8.4. Producción de biocarburantes

Se puede distinguir entre la producción de biocarburantes destinados a su utilización en vehículos con motor diesel y los destinados a su empleo en vehículos con motor de encendido provocado. Los primeros se obtienen de cultivos o especies vegetales oleaginosas (girasol, colza, cacahuete, etc.) y sustituyen al diesel tradicional y los segundos de cultivos o especies vegetales ricas en azúcares (remolacha, patata, caña de azúcar, maíz, trigo, etc.) y sustituyen a las gasolinas o a los aditivos de las gasolinas sin plomo.

Los aceites obtenidos de las especies oleaginosas se pueden emplear como aditivo en un motor diesel convencional o se pueden utilizar como único combustible en motores especiales, aunque debido a los inconvenientes técnicos que estas opciones plantean habitualmente se transforman químicamente mediante una reacción de esterificación del aceite con un alcohol (generalmente metanol) en un éster metílico que se denomina **biodiesel**. Este biodiesel se puede emplear directamente o como aditivo en los motores convencionales.

Por otra parte, los alcoholes obtenidos de la fermentación de especies ricas en azúcares se pueden utilizar como aditivo en un motor de gasolina convencional o se pueden emplear como único combustible en motores especiales, pero como en el caso de biodiesel, lo más usual es que se usen una vez transformados químicamente mediante su combinación con un reactivo orgánico (isobuteno) en lo que se denomina habitualmente como ETBE (etil-ter-butyl éter). Este compuesto se puede utilizar como aditivo de las gasolinas sin plomo sustituyendo al MTBE (metil-ter-butyl éter) que normalmente se obtiene de un combustible fósil.

Desde el punto de vista industrial los procesos de obtención de biocarburantes se hallan suficientemente desarrollados no existiendo a nivel técnico ningún tipo de barrera para su

producción de biocarburantes. La principal limitación existente para su elaboración es de origen económico ya que presentan un coste de obtención superior al de los derivados del petróleo. No obstante, la producción de biocarburantes puede ser competitiva frente a la de los combustibles fósiles a los que sustituyen con el mantenimiento de exenciones fiscales especiales o en el caso de su fabricación para autoconsumo en empresas o cooperativas agrarias con elevadas cantidades de maquinaria agrícola o en empresas o instituciones con flotas de transporte cautivas (transportes urbanos, recogida de basuras, taxis, etc.).

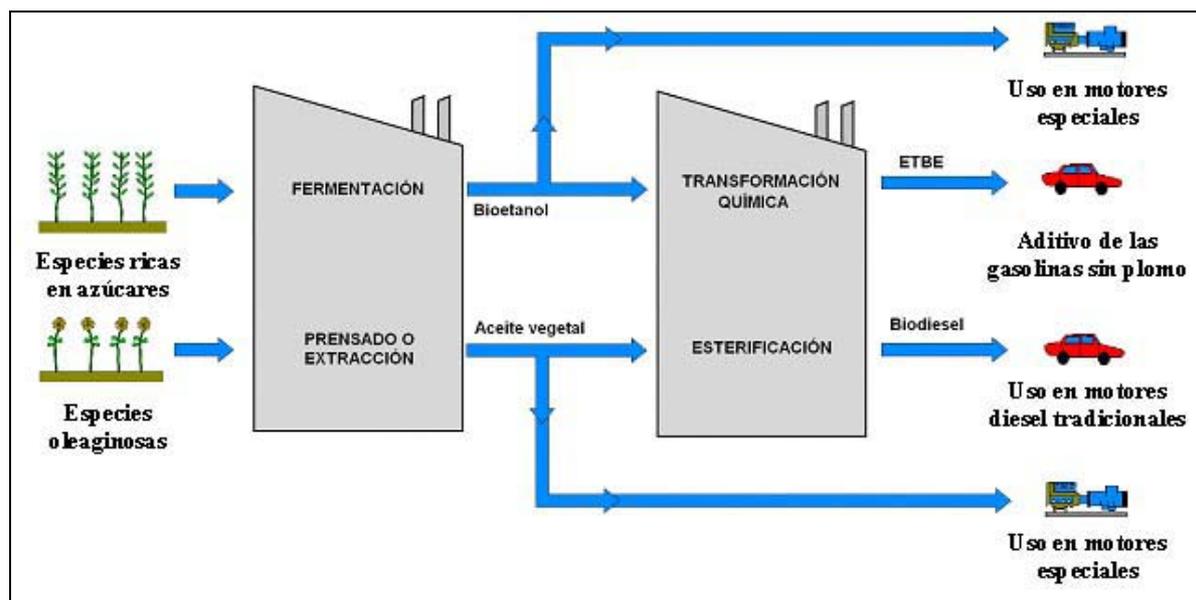


Fig. 9. Esquema de la producción de biocarburantes.

9. Ejemplo práctico.

Sin duda alguna, el sistema de mayor utilización en la actualidad a escala industrial es el basado en la combustión del recurso, por lo que este es el ejemplo que se va a desarrollar. No obstante, como ya se ha comentado anteriormente, existen otras posibilidades de aprovechamiento de la biomasa como la gasificación, la digestión anaerobia o la producción de biocarburantes.

Datos de partida

El primer paso que toda industria debe dar para valorar la posibilidad del aprovechamiento energético de la biomasa, es evaluar la cantidad y calidad de los recursos de biomasa propios o los de los productores cercanos. Para ello, es necesario rellenar cuidadosamente la siguiente tabla.

	A	B	C = A x B	D	E	F	G = A x D x F x 10 ⁻⁶
Tipo de biomasa	Cantidad disponible anual	Coste unitario (1)	Coste total anual	PCI a humedad cero (ver tabla apartado 3)	Humedad	Factor corrector por humedad (ver Fig. 10)	Energía anual disponible
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
	kg	€/kg	€	kJ/kg	%		GJ
TOTAL	kg		€				GJ

(1) Precio de compra si se trata de un recurso externo a la industria o de venta si se trata de uno propio

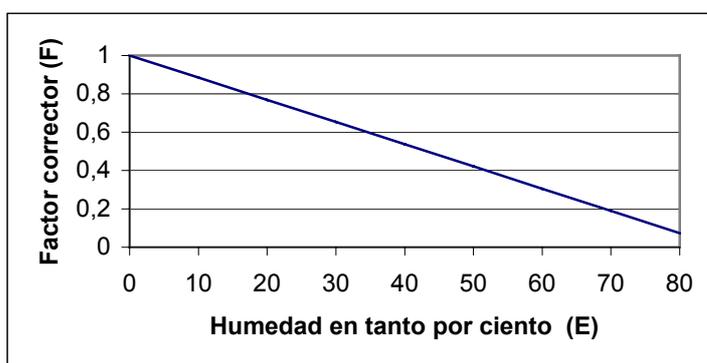


Fig. 10. Factor corrector (columna F) en función de la humedad (columna E)

Producción de calor:

La producción de calor en una caldera (ya sea para el calentamiento de agua o aceite térmico así como para la producción de vapor de agua) o en un aerotermo (calentamiento de aire), sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles actualmente utilizados por la industria, es la más sencilla de las posibilidades de aprovechamiento energético de los residuos de biomasa. Para estudiar esta posibilidad es necesario conocer el consumo anual de dichos combustibles fósiles.

	H	I	J	K = H x J	L = H x I
Combustible	Cantidad anual	Precio de compra	PCI	Energía térmica consumida anualmente	Coste anual total
Gas Natural	m ³ N o termias	€/m ³ N o €/termia	0,038 ó 0,0038	GJ	€
Propano	m ³ N	€/m ³ N	0,096	GJ	€
Gasoil	kg	€/kg	0,042	GJ	€
Fuel-oil	kg	€/kg	0,040	GJ	€
Otros				GJ	€
TOTAL				GJ	€

En el caso de que la energía total disponible (total columna G) sea mayor que la energía térmica total consumida (total columna K) es necesario eliminar de la tabla de recursos aquellos que sean más caros o más problemáticos (fuerte estacionalidad, problemas de almacenamiento, etc.).

Hay que tener en cuenta que si la producción de biomasa es fuertemente estacional, sería conveniente rellenar las tablas anteriores con datos mensuales en vez de anuales. Además, es

posible que la disponibilidad de biomasa no coincida con los períodos de mayor demanda térmica, lo que obligaría a estudiar las posibilidades de almacenamiento.

Teniendo en cuenta que el rendimiento de una caldera de tamaño pequeño o mediano de combustible fósil puede rondar el 90% y el de una caldera de biomasa el 85% (aunque depende mucho del tipo de residuo y de su humedad), se puede estimar que el ahorro económico de la industria es:

$$\text{Ahorro economico(€/año)} = \left(\frac{\text{Energía total biomasa (total G)} \cdot 0,85}{0,9} \right) \cdot \left(\frac{\text{Coste total combustible (total L)}}{\text{Energía total consumida (total K)}} - \frac{\text{Coste total biomasa (total C)}}{\text{Energía total biomasa (total G)}} \right)$$

Por supuesto, es necesario evaluar la inversión necesaria para conseguir este ahorro (cambio de caldera). No obstante, si las actuales calderas de combustible fósil necesitan una reparación o se está pensando en renovarlas, puede ser un buen momento para estudiar la posibilidad de instalar nuevas calderas de biomasa.

Producción de electricidad

Si la cantidad de biomasa disponible anualmente (total columna G) es superior a unos 300.000 GJ puede plantearse la posibilidad de instalar una planta de producción de energía eléctrica con biomasa.

Hay que tener en cuenta que por cada GJ de biomasa, se puede producir aproximadamente 60 kWh de electricidad (para la mayoría de los residuos biomásicos puede realizarse una estimación de 1 kWh generado por cada kg de residuo). Esta electricidad se dejaría de comprar a la compañía eléctrica e incluso puede darse el caso de vender a dicha compañía los excedentes. Si además la industria tiene un elevado consumo de energía térmica (total columna K superior a 150.000 GJ) puede plantearse la instalación de un sistema de cogeneración con biomasa.

Dado lo elevado de las inversiones necesarias para la instalación de una planta de producción de energía eléctrica o de cogeneración, así como las particularidades de cada industria y tipo de biomasa disponible, es necesario realizar en cada caso un estudio detallado que permita conocer la viabilidad real de estas opciones.