

**Características físicas, químicas y energéticas de los diferentes tipos de biomasa sólida**

# Características, barreras y retos para la implantación comercial de la biomasa sólida como combustible

La biomasa posee la ventaja, frente a otros combustibles de origen fósil, de ser un combustible básicamente neutro en emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la palabra biomasa es un término muy amplio, que incluye muchos productos y residuos con un mayor o menor atractivo para su explotación comercial como combustible, lo cual dependerá de sus propiedades físicas y químicas.

**Miguel J. Fernández Llorente.**  
 Doctor en Ingeniería Química.  
 CEDER-CIEMAT (Soria), Unidad de Biomasa

Una de las definiciones de biomasa dicta que la biomasa es el material de origen biológico excluyendo el material embebido en formaciones geológicas y/o transformado a fósil. De

acuerdo con esa definición y basándose en las posibilidades de un tratamiento homogéneo de la biomasa y/o por poseer unas características físicas y químicas semejantes, ésta se puede agrupar en:

- 1) Residuos forestales y residuos de sus industrias derivadas.
- 2) Residuos agrícolas de tipo leñoso.
- 3) Residuos agrícolas de tipo herbáceo.

- 4) Residuos agroindustriales.
- 5) Residuos de origen animal y humano.

La caracterización de la biomasa con fines de generación de calor y electricidad se puede dividir en procedimientos relacionados con características energéticas, físicas y químicas. En el **cuadro I** se pueden ver los procedimientos más utilizados en función de su relación con las características físicas, energéticas y químicas. Valores o resultados de estas características se pueden encontrar para muchos tipos de biocombustibles, en diferentes bases de datos, como por ejemplo en la denominada Phyllis<sup>[1]</sup>, dependiente de un organismo de investigación en energía de Holanda (ECN).

Las barreras y retos para la implantación comercial de la biomasa sólida como combustible van a depender de los valores de sus características físicas y químicas. Algunas de esas barreras han sido o están siendo reducidas como consecuencia del avance tecnológico. Sin embargo, en otras propiedades de la biomasa es necesario recurrir a otras estrategias o, incluso, esperar a un nuevo avance científico y técnico.

## Características físicas de la biomasa

Algunos tipos de biomasa, en origen, tienen el inconveniente de poseer una densidad a granel baja y una variada distribución de tamaño de partícula. La densidad de pila o granel suele estar en el orden de 200-300 kg/m<sup>3</sup> para serrines y astillas y es inferior a 100 kg/m<sup>3</sup> para la paja de cereal suelta sin empacar. Esto es un inconveniente muy importante a la hora de comercializar estos productos, por lo que suele recurrir a la densificación. Los productos densificados, tales como pelets y briquetas superan, generalmente,



**CUADRO I.**

Ensayos físicos y químicos más utilizados para la caracterización energética de la biomasa sólida.

Procedimientos relacionados con características físicas	
▶ Densidad a granel.	
▶ Distribución de tamaño de partícula.	
▶ Durabilidad mecánica.	
▶ Densidad de partícula.	
▶ Finos.	
Procedimientos relacionados con características energéticas	
▶ Humedad.	
▶ Ceniza.	
▶ Materia volátil.	
▶ Poder calorífico.	
Procedimientos relacionados con características químicas	
▶ Análisis elemental orgánico (C, H, N).	
▶ Cloro y azufre.	
▶ Elementos minoritarios de la biomasa.	
▶ Elementos trazas de la biomasa.	
▶ Fusibilidad.	



Módulo de análisis elemental (C, H, N) del Laboratorio de Caracterización de Biomasa del CEDER-CIEMAT.

los 500 kg/m<sup>3</sup>. No obstante, ciertos residuos biomásicos de origen agroindustrial se encuentran alrededor o superan los 400 kg/m<sup>3</sup>, tales como las cáscaras de frutos, por lo que este problema no es tan acuciante. Asimismo, la distribución del tamaño de las partículas de las cáscaras de almendra, piñón, huesos de aceituna, entre otros, es bastante uniforme y pueden introducirse directamente, o con una preparación simple, a las calderas sin problemas de atascos en sus sistemas de alimentación.

Para los materiales densificados, en especial para pelets y briquetas, existen otros

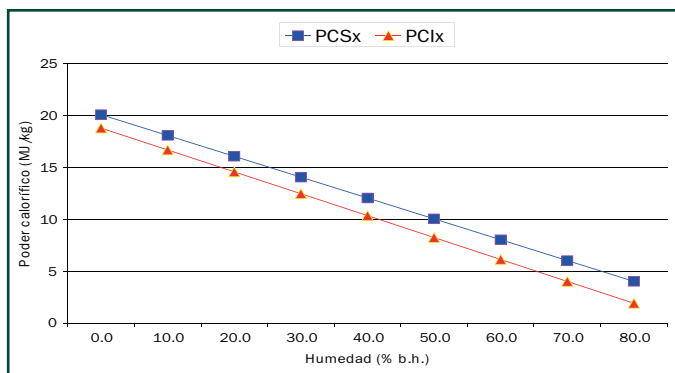
ensayos adicionales tales como la durabilidad mecánica y la densidad de partícula, que sirven para intentar cuantificar la calidad de las biomásas densificadas. La durabilidad mide la resistencia del densificado ante el transporte y la manipulación. Para el caso de los pelets se puede establecer que valores superiores al 95% indican una buena calidad, o muy buena calidad si la durabilidad mecánica es superior al 97,5%. Otra medida que indica la calidad de los pelets, es por ejemplo, la cantidad de finos. Generalmente, al aumentar la durabilidad mecánica, disminuye la proporción de finos.

**Características energéticas de la biomasa**

La variable principal que fija el precio de la biomasa con fines de producción de calor o electricidad es el poder calorífico. Por unidad de masa, los biocombustibles sólidos poseen menos poder calorífico que los combustibles minerales sólidos, los combustibles derivados del petróleo o el propio gas natural. Esto se debe a la composición química de la biomasa que posee menos carbono (entre el 40% y 50%) e hidrógeno (alrededor del 6%) que los otros ti-

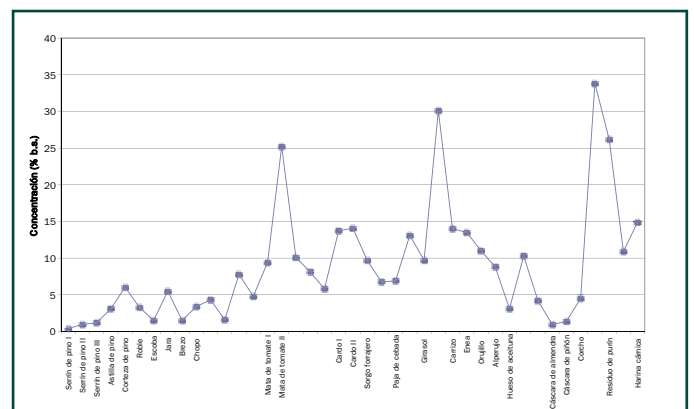
**FIGURA 1**

Variación en función de la humedad del poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) para una muestra de astilla de pino.



**FIGURA 2**

Contenido en ceniza en función de diferentes biomásas.



pos de combustibles mencionados. Consecuentemente, el poder calorífico en la biomasa es casi la mitad (en torno a 18 MJ/kg en base seca) que el poder calorífico de un carbón de alta calidad, por ejemplo, antracita, la cual tiene alrededor de 33 MJ/kg de poder calorífico en base seca.

La biomasa de tipo leñoso posee un poder calorífico inferior (PCI) de unos 19 MJ/kg en base seca. La biomasa herbácea posee un PCI más bajo que la leñosa (generalmente entre 15 y 17,5 MJ/kg), la cual suele tener más ceniza, nitrógeno, azufre y cloro que la leñosa. Los valores resultantes de la caracterización de los residuos agroindustriales dependerán del tipo o parte de la planta utilizada y del proceso en sí mismo seguido para generar este residuo. Del mismo modo ocurre con los residuos de origen animal y humano. En estos dos últimos grupos el PCI suele oscilar entre 14 y 22 MJ/kg.

La humedad hace que el poder calorífico de la biomasa se reduzca considerablemente en función del aumento de ésta. Es decir, muchas biomásas dependiendo de su periodo de recolección pueden contener una humedad muy alta. Éste es un problema económico que debiera ser resuelto en origen, o debiera diseñarse el tipo de secado antes de proceder a su recolección. En la **figura 1** se expone un ejemplo de la variación del poder calorífico en función de la humedad para una muestra de astilla de pino, con un poder calorífico superior (PCS) en seco de 20 MJ/kg. Se puede observar que a la humedad del 50%, el PCS se reduce a la mitad. Determinadas biomásas con un alto contenido en humedad, como los lodos de depuradora, estiércoles, gallinazas, etc., hacen que su utilización como biocombustible sea poco atractiva por su necesidad de secado.

El contenido en ceniza depende del propio origen de la biomasa, del grado de fertilización, de la parte de la planta de donde se obtenga el biocombustible, del proceso seguido para su obtención, etcétera. Por tanto, su variabilidad es enorme. El contenido en ceniza puede oscilar desde un 0,3%, que poseen, por ejemplo, algunos serrines de madera, hasta superar el 30% si la biomasa ha sido muy fertilizada o es de origen animal o humano, como ocurre con los lodos de depuradora. Por lo general la biomasa de origen



Módulo de análisis químico del Laboratorio de Caracterización de Biomasa del CEDER-CIEMAT.

**La biomasa presenta, en especial la de origen leñoso y algunas de origen agroindustrial** tales como cáscaras de frutos, unas buenas características en cuanto a la emisión de compuestos de S y Cl generadores de lluvia ácida

leñoso contiene menos ceniza que la biomasa tipo herbáceo (**figura 2**).

El incremento en ceniza es muy perjudicial en procesos de combustión o en cualquier otro proceso termoquímico, pues se tiende a incrementar la formación de escorias y depósitos dentro de las calderas, se emiten más partículas y compuestos nocivos por la chimenea y se generan más inertes con el consiguiente gasto en su transporte. Además, si las cenizas contienen elementos traza perjudiciales para la salud, éstos pueden ser emitidos al medio ambiente, por lo que hay que controlar no sólo el contenido de la ceniza sino también su composición química.

Es importante destacar que el contenido en ceniza suele ser un factor limitante a la hora de comercializar dichos productos en el sector doméstico y con difícil solución técnica y económica para calderas de pe-

queña potencia. Un reto, previo a la instalación de calderas en barrios de ciudades que usen biomásas con alto contenido en ceniza, es el estudio y el avance tecnológico en sistemas de limpieza de partículas en calderas de pequeña potencia térmica. Actualmente, se están probando diferentes tipos de filtros, incluso unidades de precipitadores electrostáticos, que ayuden a minimizar la emisión de partículas por chimenea y así poder, en un futuro, comercializar dichas biomásas con alto contenido en ceniza en el sector doméstico. Mientras esto no suceda lo que se hace es limitar el contenido de ceniza de biocombustibles que van a ser comercializados en dicho sector. Por ejemplo, según la nueva normativa, recientemente desarrollada para los biocombustibles sólidos (Norma EN 14961: Especificaciones y Clases) no es posible conseguir la máxima calidad (sello EN plus, tipo A1) si su conte-

nido en ceniza no es inferior al 0,7% para el caso de pelets y briquetas o inferior al 1% para el caso de astillas<sup>[2]</sup>. Para estos tres productos comerciales (pelets, briquetas y astillas) el contenido en ceniza debe ser inferior al 3% si estos productos quieren ser comercializados bajo un sello de calidad europea, tipo B.

El contenido en volátiles representa la cantidad de materia que se volatiliza cuando se calienta la biomasa en ausencia de oxígeno. Sus valores son más altos en la biomasa (en torno al 70%) que en el carbón, por lo que las calderas de parrillas son más esbeltas en el caso de la biomasa que en el carbón para poder recuperar el calor intrínseco de esta proporción de materia volatilizable a alta temperatura. El contenido en volátiles sigue una tendencia opuesta al contenido en ceniza, es decir, cuando sube el contenido en ceniza, desciende el contenido en volátiles.

## Características químicas de la biomasa

Aunque la biomasa es una fuente de energía renovable, no está exenta de elementos nocivos al medio ambiente. Las determinaciones de N, S y Cl son muy útiles para predecir la cantidad de compuestos contaminantes que pueden emitirse por la chimenea y que, posteriormente, generarán la tan conocida lluvia ácida. Es digno de mencionar que la cantidad emitida no suele ser proporcional a su contenido en la biomasa. Así, una proporción importante de los óxidos de nitrógeno emitidos, provienen del nitrógeno atmosférico que se introduce en el aire de combustión. Con el objeto de conocer los niveles exactos emitidos de NOx de cualquier biocombustible se deben realizar ensayos de combustión, previa selección de la tecnología de combustión y de las condiciones de operación.

También es digno de mencionar que el contenido de azufre suele ser inferior al del gasóleo utilizado en calefacción en buena parte de las biomásas de origen leñoso. Si fuera superior, como ocurre en bastantes biomásas de origen herbáceo, entonces, la emisión de dióxido de azufre, probablemente no superará los niveles de SO<sub>2</sub> obtenidos al quemar gasóleo de calefacción,



Escorias adheridas a sobrecalentadores horizontales (central térmica de Sangüesa).

pues el azufre contenido en la biomasa es principalmente de origen inorgánico y permanecerá en buena proporción en la ceniza. Algo similar le ocurre al cloro. En resumen, la biomasa presenta, en especial la de origen leñoso y algunas de origen agroindustrial tales como cáscaras de frutos, unas buenas características en cuanto a la emisión de compuestos de S y Cl generadores de lluvia ácida.

Sin embargo, el cloro y el azufre están envueltos en reacciones de corrosión que hacen que sus contenidos elevados sean problemáticos. El estudio y efectos de la corrosión de la biomasa es un tema pendiente de realización en muchos centros de investigación y con pocos resultados publicados a largas horas de operación de las calderas. Cabe mencionar que no existen índices fiables que indiquen o estimen el grado de corrosión en la biomasa, los cuales han sido establecidos en el carbón decenas de años atrás.

Los elementos minoritarios (Ca, K, Na, Mg, Si, Al, Fe y P) en la biomasa son elementos mayoritarios en la ceniza de la biomasa como consecuencia del incremento de estos elementos cuando se elimina la materia orgánica de la biomasa por calcinación. Estos elementos se cuantifican, entre otras razones, porque intervienen en la

formación de escorias y en la corrosión o porque algunos de estos elementos tienen un valor añadido como el potasio. Potasio, calcio y silicio son los elementos mayoritarios en la ceniza de la biomasa, generalmente con valores superiores al 10%.

Como se ha mencionado anteriormente, la cuantificación de elementos traza, tales como Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Zn, etc., se debe a que son elementos nocivos para el medio ambiente, por ejemplo, cuando éstos se emiten por la chimenea en un determinado proceso termoquímico o se lixivian por el agua de lluvia cuando la ceniza se almacena en un vertedero. Sus concentraciones suelen ser tan bajas que no son preocupantes en la biomasa lignocelulósica, excepto cuando la biomasa lignocelulósica se mezcla con otro tipo de residuos o contaminantes, como sucede con la madera de demolición.

Un importante factor a tener en cuenta en los procesos termoquímicos es la problemática de la sinterización y escorificación de las cenizas de las biomásas, principalmente aquellas que tienen un alto contenido relativo de compuestos alcalinos, como por ejemplo, la biomasa herbácea. La sinterización de las cenizas produce la reducción del rendimiento energético en las plantas térmicas, obstrucciones en el paso de hu-

mos entre los intercambiadores de calor y en otros sistemas de las calderas o plantas térmicas, lo que termina ocasionando paradas no programadas de las calderas y/o plantas para realizar la limpieza de las cenizas adheridas. En combustores de lecho fluido se produce la aglomeración del lecho con la consiguiente parada<sup>[3]</sup>. Éste y otros fenómenos asociados determinan un incremento notable de los costes de inversión y mantenimiento de las calderas que utilizan dichas biomasa, bastante superior a los costes de otros combustibles, como por ejemplo el carbón. Basta con citar que existen biomasa que empiezan a fundir sus cenizas a temperaturas tan bajas como 600 °C<sup>[4]</sup>.

Por ello, la predicción del grado de avance de estos fenómenos de formación de sinterizados y escorias, y sobre todo su reducción continúa considerándose como un reto. Aunque existen diversas soluciones que reducen la formación de sinterizados y/o escorias, estas soluciones dependerán, lógicamente, de la economía del proceso o tratamiento seguido, por lo que es imprescindible considerar este problema y realizar un estudio técnico y económico conjunto antes de la construcción de una central térmica a base de biomasa.

### Otras barreras y retos para su implantación comercial

Existen otros problemas asociados con el uso de la biomasa que exigen el desarrollo de normativa. En este sentido y dentro del macro proyecto europeo de normalización de los biocombustibles sólidos (BIONORM II) y bajo el amparo del Comité de Normalización Europeo (CEN) se han realizado nuevos métodos, que se esperan sean normativos en un futuro cercano. Entre esos métodos se encuentran: la determinación de impurezas y la determinación de las propiedades bloqueo de la biomasa almacenada en tolvas o silos. También, se están desarrollando métodos rápidos de determinación del contenido de elementos y métodos rápidos para la determinación del comportamiento a la fusión de la ceniza. Por último, otros métodos normativos relativos a la aplicación de temas de seguridad en almacenamiento y transporte de biomasa u otros

**Para incrementar el comercio de los biocombustibles sólidos es esencial una estable y definida calidad de producto en toda la cadena de abastecimiento, desde el productor de la biomasa hasta el usuario final. Esto se está consiguiendo con la creación y el desarrollo de normativa estrictamente aplicada a los biocombustibles**

temas asociados es posible que también se desarrollen en los próximos años, en cuanto el sector adquiera un volumen mayor de negocio y los agentes involucrados en la producción y uso de la biomasa requieran de más normativa aplicada.

Para incrementar el comercio de los biocombustibles sólidos es esencial una estable y definida calidad de producto en toda la cadena de abastecimiento, desde el productor de la biomasa hasta el usuario final. Esto se está consiguiendo con la creación y el desarrollo de normativa estrictamente aplicada a los biocombustibles, en especial, la norma EN 15234 relativa al aseguramiento de la calidad del biocombustible sólido<sup>[2]</sup> y con la norma EN 14961 sobre especificaciones y clases del biocombustible sólido. Sin embargo, en estas normas no se dice nada de las emisiones por chimenea, es decir, de la cantidad máxima permitida de partículas que se pueden emitir, del SO<sub>2</sub> máximo permitido o de los NO<sub>x</sub>, HCl y de elementos traza permitidos. Estos límites de emisión se esperan, a juicio del autor de este artículo, que sean legislados para la biomasa sólida en los próximos años, de igual forma a las leyes que existen para otros combustibles o para la incineración de residuos. Esta legislación, inicialmente en forma de Directiva europea, ofrecería un marco legal y común en Europa para el uso de la biomasa con el fin de generar calor y electricidad.

### Conclusiones

La biomasa tipo leñoso posee un poder calorífico inferior (PCI) de 19 MJ/kg en base seca. La biomasa herbácea posee un PCI más bajo que la leñosa (entre 15 y 17,5 MJ/kg), la cual suele tener más ceniza, nitró-

geno, azufre y cloro que la leñosa. El poder calorífico es casi la mitad que el poder calorífico de un carbón de alta calidad, por ejemplo, antracita (alrededor de 33 MJ/kg en base seca).

Desde el punto de vista medioambiental y, en general, los problemas medioambientales derivados del contenido de nitrógeno, azufre y cloro en la biomasa puede que no sean significativos si lo comparamos con otros combustibles y residuos. Incluso a concentraciones altas, por ejemplo de azufre en la biomasa, las emisiones de óxidos de azufre serán, en general, inferiores a las del carbón, e incluso inferiores a la emisión de SO<sub>2</sub> del gasóleo de calefacción, por lo que el conocido efecto de lluvia ácida se verá reducido para buena parte de los biocombustibles sólidos.

El elevado contenido, en especial de cloro y potasio de las biomasa, principalmente para las herbáceas, favorecerá la corrosión y la formación de sinterizados y escorias. La reducción de estos problemas así como la creación de nueva normativa junto con la redacción de una Directiva que regule las emisiones, favorecerá la implantación comercial de la biomasa con fines de generar calor y electricidad. ●

### Bibliografía ▼

[1] <http://www.ecn.nl/phyllis/>.

[2] [www.aenor.es](http://www.aenor.es). Comité Técnico Nacional 164 "Biocombustibles Sólidos".

[3] Fernández Llorente MJ, Escalada Cuadrado R, Murillo Laplaza JM, Carrasco García JE. Combustion in bubbling fluidised bed with bed material of limestone to reduce the biomass ash agglomeration and sintering. Fuel 85:2081-2092, 2006.

[4] Fernández Llorente MJ, Carrasco García JE. Comparing methods for predicting the sintering of biomass ash in combustion. Fuel 84:1983-1990, 2005.