



**INTI**



Instituto  
Nacional  
de Tecnología  
Industrial



Unión Europea

Proyecto Mejora de la Eficiencia y de la Competitividad de la Economía Argentina

# LA GESTIÓN Y EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 2  
**MADERAS**

Autor  
DR. GREGORIO ANTOLÍN

Diciembre de 2006

INTI  Madera y Muebles



Instituto  
Nacional  
de Tecnología  
Industrial

INTI

50  
ANIVERSARIO  
1957-2007



Unión Europea

Proyecto Mejora de la Eficiencia y de la Competitividad de la Economía Argentina



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina  
Ayacucho 1537  
Ciudad de Buenos Aires  
Teléfono (54-11) 4805-3759  
Fax (54-11) 4801-1594



INTI

50  
ANIVERSARIO  
1957-2007

Instituto  
Nacional  
de Tecnología  
Industrial

INTI Madera y Muebles  
Juana M. Gorriti 3520  
B1686IVD Hurlingham, Buenos Aires, Argentina  
Teléfono (54-11) 4452-7230 / 7240 4662-8251  
maderas@inti.gov.ar

[www.ue-inti.gov.ar](http://www.ue-inti.gov.ar)

#### CONTACTO

**INTI-MADERA Y MUEBLES**

[www.inti.gov.ar/maderas](http://www.inti.gov.ar/maderas)

**INFORMACIÓN Y VISIBILIDAD: GUILLERMINA ROBLES**

[grobles@inti.gov.ar](mailto:grobles@inti.gov.ar)

## LA GESTIÓN Y EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA

DR. GREGORIO ANTOLÍN

## INDICE

<b>1. ÍNDICE DE TABLAS Y ANEXOS</b>	<b>4</b>
<b>2. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS UTILIZADOS</b>	<b>6</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>4. LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1. La biomasa como fuente de energía</b>	<b>9</b>
Introducción	9
Potencial energético de biomasa	12
Caracterización de la biomasa	15
Uso de la biomasa	16
Marco Legislativo y el Protocolo de Kioto	19
<b>CAPÍTULO 2. Los pelets de biomasa como combustible</b>	<b>25</b>
Introducción	25
Tecnología de peletizado de biomasa	28
Tecnología de aprovechamiento del pélet	37
<b>CAPÍTULO 3. El mercado de pelets de biomasa</b>	<b>39</b>
Mercado de pelets en Norteamérica	39
Mercado de pelets en Europa	40
Situación del mercado de pelets en España	41
<b>CAPÍTULO 4. Tecnologías de aprovechamiento de la biomasa</b>	<b>43</b>
Introducción	43
Tecnología de combustión de biomasa	51
Tipos de calderas	54
<b>5. LA GESTIÓN Y EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA</b>	<b>61</b>
<b>CAPÍTULO 5. Aprovechamiento de los residuos de la industria de la madera</b>	<b>61</b>
<b>CAPÍTULO 6. Impacto medioambiental del sector de la madera</b>	<b>64</b>
Introducción	64
Consumo de materias primas	64
Consumo energético	65
Consumo de agua	66
Emisiones a la atmósfera	67
Contaminación acústica	68
Generación de aguas residuales	68
Generación de residuos	69
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>71</b>

## 1. ÍNDICE DE TABLAS Y ANEXOS

### TABLAS

- TABLA I: Poder calorífico de tipos de biomasa en función de su humedad.  
TABLA II: Tecnologías aplicables a la biomasa para su aprovechamiento energético y el producto final obtenido.

### IMÁGENES

- Figura I: Esquema organizativo de la OAMDL.  
Figura II: pelets de residuos de madera y briquetas de residuo de papel.  
Figura III: Planta piloto de peletizado de la Fundación CARTIF.  
Figura IV: Equipo de peletizado de matriz plana.  
Figura V: Detalle de matriz plana. -  
Figura VI: Equipo de peletizado de matriz anular.  
Figura VII: Detalle de una matriz anular.  
Figura VIII: Esquema del funcionamiento de la nueva tecnología de peletizado.  
Figura IX: Máquina peletizadora.  
Figura X: Esquema de una planta integral de peletizado.  
Figura XI: Esquema de caldera de biomasa (1).  
Figura XII: Esquema de caldera de biomasa (2).  
Figura XIII: Estufa de pelets de biomasa.  
Figura XIV: Central Térmica de Avedore (Dinamarca).  
Figura XV: Plantas de pelets de madera en EEUU y Canadá.  
Figura XVI: Ubicación de las plantas de pelets en Europa.  
Figura XVII: Evolución de los mercados de pelets más maduros.  
Figura XVIII: Experiencias realizadas en co-combustión en el mundo.  
Figura XIX: Equipos fundamentales de una planta de combustión de biomasa.  
Figura XX: Quemador de tornillo sinfin o crisol.  
Figura XXI: Quemador de pelets.  
Figura XXII: Quemador de parrilla fija.  
Figura XXIII: Quemador de parrilla móvil horizontal.  
Figura XXIV: Quemador de parrilla móvil inclinada.  
Figura XXV: Quemador ciclónico. Esquema de funcionamiento.  
Figura XXVI: Quemador de lecho fluidizado.  
Figura XXVII: Quemador de doble cuerpo.  
Figura XXVIII: Esquema de trabajo en los aprovechamientos de la biomasa forestal.

### ANEXOS

- Presentaciones del Seminario de Capacitación. Se incluyen en documentos independientes, debido a su elevada ocupación.

## 2. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS UTILIZADOS

AC	Aplicación Conjunta
ACS	Agua Caliente Sanitaria
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
BRIC	Países en fase de gran desarrollo (Brasil, India y China)
C.E.I	Comercio de Emisiones Internacionales.
EE.RR	Energías Renovables
EPI	Equipo de Protección Individual
ETB	Etil Terbutil Eter
I+D	Investigación y Desarrollo
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
MD	Mecanismos de Desarrollo Limpio
OAMD L	Oficina Acreditada de Mecanismo de Desarrollo Limpio
PER	Plan de Energías Renovables
UE	Unión Europea

**El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva del autor y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión de la Unión Europea.**

### 3. INTRODUCCIÓN

Este Cuaderno Tecnológico trata de recopilar toda la información presentada durante la misión en Argentina del experto europeo, el Dr. Gregorio Antolín Giraldo, dentro del Proyecto "Mejora de la eficiencia y de la competitividad de la economía argentina", como complemento al Informe Final realizado donde se recoge toda la información recabada durante dicha misión.

El Dr. Antolín Giraldo está especializado en proyectos de desarrollo sostenible. Es profesor titular de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Valladolid, España. También tiene a su cargo el Área de Biocombustibles del Centro Tecnológico CARTIF, del parque tecnológico de la citada ciudad.

Hasta hace poco más de un año fue presidente del Consejo de Cultura Ecológica de la región de Castilla-León, un organismo encargado de velar por el cumplimiento de todo el sistema de producción, proceso y comercialización de los productos ecológicos, biológicos y orgánicos de esa región.

El Cuaderno Tecnológico se estructura en dos bloques principales, que a su vez se subdividen en diferentes capítulos, con el fin de definir toda la información recopilada de forma similar a la documentación aportada por el experto europeo durante la misión. El bloque I, que corresponde con el apartado 4 del Cuaderno Tecnológico, reúne toda la información relativa a la biomasa como fuente energética, incidiendo en sus diferentes tecnologías de aprovechamiento. El bloque II (apartado 5 del Cuaderno Tecnológico) se centra en los residuos biomásicos procedentes del sector de la madera y el impacto que produce su generación sobre el Medio Ambiente.

A continuación se describen los contenidos de cada uno de los bloques indicados.

#### BLOQUE I. LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO

##### CAPÍTULO 1. La biomasa como fuente de energía.

Generalidades de la biomasa, Caracterización del recurso biomásico para fines energéticos, Legislación al respecto y Protocolo de Kioto.

##### CAPÍTULO 2. El mercado de la biomasa.

Análisis del mercado de la biomasa (particularmente de los pelets) en Europa, con gran nivel de madurez, y del mercado español, todavía en una etapa de desarrollo inicial.

##### CAPÍTULO 3. Los pelets de biomasa como combustible.

Definición del pélet como producto energético. Tecnologías de peletizado de biomasa.

##### CAPÍTULO 4. Tecnologías de aprovechamiento de la biomasa.

Se indican todas las posibilidades de utilización de la biomasa como fuente de energía, describiendo cada una de las etapas necesarias en su proceso de revalorización, así como las diferentes alternativas en su uso.

#### BLOQUE II. LA GESTIÓN Y EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA

##### CAPÍTULO 5. Aprovechamiento de los residuos de la industria de la madera.

##### CAPÍTULO 6. Impacto medioambiental del sector de la madera.

## 4. LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO

### CAPÍTULO 1. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA

#### INTRODUCCION

El consumo mundial de energía se encuentra en un continuo aumento desde 1970, estimándose un crecimiento medio anual del 2,6% hasta el 2020, aunque en países como España, el consumo energético aumenta más del 5% desde el año 2000, debido al rápido crecimiento industrial que está experimentando el país.

La gran mayoría de la energía que se consume en el mundo procede de fuentes no renovables, principalmente de combustibles fósiles como petróleo y carbón, que constituyen casi el 60% de la energía producida (International Energy Agency). En la UE, gran dependiente de estos combustibles fósiles, el 80% de la energía consumida procede de éstos, y una proporción significativa y creciente de los mismos procede del exterior (~50%). En este sentido se estima que en el 2020 el 70% de las necesidades energéticas primarias de la UE, incluyendo el 90% de sus necesidades de petróleo, se cubran mediante importaciones, provocando una enorme vulnerabilidad en la zona ante posibles cortes de abastecimiento o ante el encarecimiento de estos combustibles.

Por otra parte, en el mundo se consume más petróleo del que se produce, estimándose que las reservas mundiales lleguen a agotarse en 40 años, lo que ha provocado una creciente preocupación acerca del abastecimiento energético futuro.

En el caso de España, esta dependencia de combustibles fósiles se hace más preocupante, ya que, según la Agencia Internacional de Energía ([www.iaea.org](http://www.iaea.org)), durante los últimos 10 años, el consumo de petróleo ha crecido un 2,5% de media al año, frente al 1,8% de crecimiento mundial global. El consumo de gas natural también ha crecido enormemente y, junto con el petróleo, representan el 70% de la mezcla de energía primaria consumida, frente al 64% del promedio europeo actual.

Este crecimiento en el consumo de energía, la dependencia económica en el mercado exterior y en las posibles crisis del mismo, y el agotamiento de los combustibles fósiles, provocan la necesidad de buscar fuentes de energía alternativas. Por ello, se debe cambiar la política energética, diversificando las fuentes de energía, reduciendo la demanda e intensidad en el uso del petróleo, aumentando la eficiencia energética y potenciando el uso de las EE.RR.

En Argentina, la disponibilidad de los recursos renovables es muy importante. Las grandes cosechas de productos agrícolas y la creciente actividad foresto-industrial son un claro indicador de las abundantes reservas energéticas a partir de la biomasa. Su uso podría satisfacer una parte significativa de las necesidades energéticas del país.

Esta política energética debe ir encaminada a potenciar el uso de EE.RR. y la búsqueda de nuevas fuentes de energía alternativas que garanticen un desarrollo sostenible y un mayor respeto por el Medio Ambiente, ya que los combustibles fósiles en su combustión producen emisiones causantes del efecto invernadero, origen del calentamiento global del planeta y de la alteración climática, con consecuencias medioambientales y econó-

micas devastadoras en el futuro. Según las estimaciones realizadas, harían falta 2.000 años para que se pudiese recuperar nuevamente la situación actual.

La consecución de todos los objetivos propuestos y de la reducción de la dependencia energética en las fuentes tradicionales, pasa por potenciar la generación de energía procedente de la biomasa, cuyo uso energético ha de convertirse en una alternativa a los combustibles fósiles tradicionales por ser la energía renovable más estable y tradicionalmente más usada y de mayor potencial. En las previsiones realizadas se da un peso del 60% a la biomasa sobre el total de las EE.RR.

Con el uso de la biomasa, además de disminuir la dependencia energética del exterior, destacan sus ventajas medioambientales, ya que su combustión presenta bajos contenidos en nitrógeno y azufre, además de emitir casi la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que la fijada por las plantas al crecer. Además, en muchos países, existen grandes excedentes de biomasa residual y su uso energético servirá para dar valor añadido a unos residuos cuya acumulación en vertederos o en el monte constituye un serio problema, por tratarse de una fuente potencial de aparición de plagas y riesgo de incendios.

La revalorización económica de los residuos de madera convertirían a estos en subproductos, harían a los procesos sostenibles y mejorarían la competitividad de las empresas.

A pesar de estas ventajas y de que en los mercados energéticos de países como los del norte de Europa el consumo de biocombustibles sólidos es ya una realidad, en otros el uso energético de la biomasa se encuentra muy por debajo de las previsiones establecidas. Esta falta de producción viene ocasionada principalmente por razones económicas, debidas al mayor coste de inversión y mantenimiento de las instalaciones energéticas de biomasa respecto a las de los combustibles fósiles, y al bajo beneficio de las mismas, así como por el gran desconocimiento actual en cuanto al aprovechamiento de estas fuentes de energía renovables.

La biomasa se caracteriza por su baja densidad, dispersión espacial y carácter estacional, provocando la incertidumbre de su abastecimiento y, además, ocasionando muchas veces costes de recogida, transporte, almacenamiento y manipulación demasiado altos. Es por esto, que uno de los principales problemas de este producto es el de garantizar el suministro de la materia prima, tanto en cantidad como en calidad y precio adecuados. Estas características de la biomasa se modifican en el caso de los residuos de madera industriales al estar concentrados en un lugar y conocer su cantidad, calidad y variedad.

Estas razones expuestas, entre otras, hacen de la biomasa un producto infrautilizado en todo el mundo, ya que se estima que únicamente se utilizan dos quintas partes del potencial energético de la biomasa disponible a nivel mundial. Por tanto, aumentando el empleo de la biomasa residual mediante un aprovechamiento sostenible, se podría cubrir la demanda de EE.RR. utilizando, por ejemplo, los residuos forestales del monte

o de la industria maderera para la producción de biocombustibles densificados. El empleo de esta biomasa densificada como fuente de energía sería muy beneficiosa para la industria argentina y europea, así como contribuiría al cumplimiento del Protocolo de Kioto.

Biomasa es toda aquella materia orgánica que ha formado parte de la vida en algún momento y que proviene de la síntesis del carbono y otros compuestos por la intervención de la luz solar. La biomasa es, además, una fuente de energía más limpia que los combustibles fósiles, ya que mientras estos últimos inciden negativamente en el efecto invernadero, el uso de biomasa produce emisiones contaminantes menores y cierra el ciclo del carbono, lo cual resulta una ventaja para alcanzar los requisitos del Protocolo de Kioto.

El uso de biomasa como fuente de energía también supone, además de una reducción en la dependencia energética, que los países suministradores propicien el desarrollo rural, potenciando el consumo de los productos locales y generando un número de puestos de trabajo por unidad energética mayor que las fuentes de energía tradicionales (4,6 veces más que las fósiles).

Existen diversos residuos que se engloban dentro de la biomasa y que son susceptibles de su aprovechamiento energético, en cualquiera de sus formas. Esta biomasa residual puede estar constituida por:

- Residuos agrícolas, procedentes de las labores del campo o industrias agrícolas.
- Residuos forestales, como leñas, cortezas, hojas, ramas y restos de tratamientos selvícolas que en muchas ocasiones se abandonan en los montes, pudiendo llegar a constituir una fuente potencial de aparición de plagas o propagación de incendios.
- Residuos de la industria maderera, como aserrín, astillas, costeros, cortezas, etc., cuya eliminación para la industria puede llegar a ser costosa e incluso problemática. En muchos casos llega a producir un alto impacto medioambiental.
- Residuos ganaderos que, por su contenido en nitrógeno, suelen ser contaminantes y cuya incidencia en el ambiente es muy negativa.

Estos recursos biomásicos pueden presentarse en diferentes estados físicos, lo que determinará la capacidad de realización técnica y económica de los procesos de conversión energética o densificación que posteriormente pudieran aplicarse a cada uno. De entre ellos, el más empleado para la producción de energía en el mundo es la biomasa de origen leñoso, por ser el más abundante.

También actualmente se está promocionando en Europa a los cultivos energéticos, cuya finalidad es la producción de biomasa transformable en biocombustible, que constituye una alternativa al abandono de tierras agrícolas y al desempleo y falta de oportunidades en el medio rural.

La calidad de los distintos tipos de biomasa como combustibles depende, fundamentalmente, del grado de humedad que presenten los mismos, hasta el punto que frente a la humedad de los residuos biomásicos, la composición química de los mismos llega a ser despreciable en cuanto a su capacidad de producción de energía.

Para la mayoría de los procesos de conversión, se requiere que la biomasa presente un contenido en humedad inferior al 30%. En la tabla I se muestran los poderes caloríficos,

a distintos contenidos de humedad, que presentan algunos de los tipos de biomasa utilizados como biocombustibles sólidos.

TIPO DE BIOMASA	PCI (kcal/kg)			PCS (kcal/kg)
<b>RESTOS DE BIOMASA HERBÁCEA</b>				
<b>Contenido en humedad (% masa)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>0</b>
Paja de cereales	4.060	3.630	3.300	4.420
Tallos de girasol	3.700	3.310	3.090	4.060
<b>RESTOS DE BIOMASA LEÑOSA</b>				
<b>Contenido en humedad (% masa)</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>0</b>
Sarmientos de vid	4.200	3.280	2.310	4.560
Ramas de poda del olivo	4.240	3.190	2.135	4.600
<b>RESTOS DE AGROINDUSTRIAS</b>				
<b>Contenido en humedad (% masa)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>0</b>
Cáscara de almendra	4.400	3.940	3.690	4.760
Cáscara de avellana	4.140	3.710	3.470	4.500
Cáscara de piñón	4.570	4.090	3.830	4.930
Cáscara de cacahuete	3.890	3.480	3.260	4.250
Cascarilla de arroz	3.770	3.370	3.150	4.130
Aserrín y virutas	4.280	3.800	3.550	4.600

TABLA I

Por regla general, el contenido energético de los restos agrícolas ronda los 3,5-5,5 kWh/kg, mientras que para la madera el contenido energético alcanza los 4-6 kWh/kg. Debido a este potencial energético de la biomasa y a la necesidad de reducir tanto las emisiones contaminantes para poder cumplir el Protocolo de Kioto, se hace necesario un mayor empleo de esta fuente renovable de energía en la UE.

En la actualidad, la UE produce 58,7 Mtep de energía primaria a partir de los biocombustibles sólidos (2005), lo que supone un crecimiento del 5,6% con respecto al año anterior, pero únicamente suponen el 3,5% de sus necesidades energéticas con biomasa. A este respecto, un reciente estudio de la Agencia Europea de Medio Ambiente (2006) analiza el potencial de uso energético de la biomasa existente en los distintos países de Europa hasta el año 2030, observándose que este potencial es suficiente para alcanzar en el 2010 los niveles requeridos por el Plan de Acción de la Biomasa.

#### CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

Para hacer un uso energético responsable y sostenible de la biomasa residual, es preciso conocer sus propiedades, analizando las más importantes y sus contenidos energéticos, que determinarán su consideración como combustible.

Una caracterización completa de la biomasa puede comprender los siguientes análisis:

- **ANÁLISIS INMEDIATO:** Cuantifica los contenidos básicos de sus componentes, como la humedad, compuestos volátiles, carbono fijo y cenizas.
- **ANÁLISIS ELEMENTAL:** Determina sus contenidos en elementos químicos, como el C, H, N, S, O y Cl.
- **Propiedades físicas:** granulometría y densidad de la biomasa (parámetros determinantes para la elección del sistema de pretratamiento más adecuado).
- **CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA:** poderes calorífico superior e inferior (en base seca y húmeda) y temperatura de llama.
- **COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS:** que incluye la composición inorgánica de las cenizas de combustión (compuestos de Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Mn, Ti, S y P).
- **TEMPERATURA DE FUSIÓN DE LAS CENIZAS:** Temperaturas a las cuales funden las cenizas, con el fin de prever posibles comportamientos de las cenizas que reduzcan el rendimiento de los equipos por su adherencia a los intercambiadores de calor, dificulten la automatización de su extracción al cenicero por formar escorias o exijan mayor mantenimiento de los equipos por su adherencia en las paredes y sistemas o por su escorificación.

#### USO DE LA BIOMASA

A pesar de todas las ventajas descritas de la biomasa, y de que en los mercados energéticos del norte de Europa el consumo de biocombustibles sólidos es una realidad tangible, en algunos países europeos el uso energético de la biomasa se encuentra muy por debajo de las previsiones establecidas, incumpléndose hasta la fecha todos los objetivos. Esta falta de producción viene ocasionada por la falta de tecnología necesaria, por el

mayor coste de inversión y mantenimiento de las instalaciones energéticas de biomasa respecto a las de los combustibles fósiles, y por el desconocimiento en cuanto al aprovechamiento de estas fuentes de energía renovables.

En algunos casos también ocurre que la red de suministro y/o distribución no está desarrollada y hace retraerse a los posibles consumidores, siendo esta la causa del reducido consumo por no tener garantizada su calidad, cantidad y precio adecuado.

Como ya se ha indicado en un epígrafe anterior, el principal problema que se detecta es el de garantizar el suministro de la materia prima, tanto en cantidad como en calidad y precio adecuados.

Los elevados costes ocasionados por la baja densidad de la biomasa pueden paliarse con su densificado, una de cuyas mejores alternativas es el peletizado, cuyo fundamento técnico consiste en hacer pasar la biomasa a través de una matriz con orificios mediante el empuje de unos rodillos (extrusión). Se obtiene así el pélet, cuyas dimensiones varían entre 6-12 mm de diámetro y 20-60 mm de longitud según la materia prima, y cuya densidad aparente es del orden de 600 kg/m<sup>3</sup>, mucho mayor que la de la biomasa inicial (la madera astillada tiene densidades de unos 200 kg/m<sup>3</sup>), lo que abarata sus costes de manejo y transporte pudiéndose, además, automatizar la manipulación de los mismos.

El desconocimiento tecnológico y la limitada experiencia existente en algunos casos respecto al aprovechamiento energético de la biomasa y a la producción de pelets, precisa de nuevos estudios y proyectos de I+D+i que determinen la viabilidad de desarrollar tecnologías de peletizado y tratamiento energético de biomasa, y que analicen y optimicen todas las etapas, como son la logística de su abastecimiento, su potencial energético, la selección de las tecnologías más adecuadas, etc.

Por tanto, para potenciar el uso de la biomasa residual como fuente de energía renovable, es necesario determinar las posibilidades que presentan este uso en una determinada zona, lo que podrá realizarse analizando los tipos de biomasa existentes, estableciéndose una metodología para determinar sus principales localizaciones, disponibilidad y modo de obtención, así como sus características y posibilidades de uso energético. No debe olvidarse que la logística de suministro de biomasa puede hacer inviable económicamente cualquier proyecto destinado a su aprovechamiento energético.

En general, para el estudio de potencial de biomasa se debe tener en cuenta no sólo la cantidad de biomasa sino también su disponibilidad; ya que la dificultad en su recolección y los posibles usos que se hace en un momento dado puede reducir la cantidad disponible. También es muy importante, garantizar un suministro continuo de biomasa en el tiempo antes de ubicar la planta de biomasa y se debe fijar su precio. En este sentido, se debe considerar que el hecho de disponer de biomasa forestal y aserrín para su aprovechamiento energético, en el caso del sector de la madera, asegurará el abastecimiento de la planta, siempre y cuando se hayan optimizado los recursos y necesidades de dicha planta.

Para estimar la disponibilidad de la biomasa forestal, la metodología a seguir será distinta, según se consideren los restos de las industrias forestales o bien las existencias maderables en pie de una determinada zona. En el primer caso se analizarán las indus-

trias madereras y las características y cantidades de sus residuos producidos. Para estimar el potencial de una masa forestal concreta, se establecerá una metodología para conocer las cantidades de biomasa y sus métodos de extracción. Así, según la especie considerada, su edad y la densidad de la masa forestal, se establecerá el aprovechamiento a realizar y las cantidades de biomasa a extraer, según se realicen claras, clareos, podas, entresacas, cortas a hecho, cortas de regeneración, etc.

En función de la pendiente de la zona el aprovechamiento de la biomasa forestal podrá o no mecanizarse, por lo que se establecerán los condicionantes que marcan uno u otro tipo, ya que esto repercutirá posteriormente en su precio de obtención y en su rentabilidad como fuente de energía.

Para la biomasa agrícola, se analizará el potencial de residuos agrícolas de una zona, estableciéndose el tipo y la superficie ocupada por cada cultivo. Se podrán aprovechar excedentes de cosechas o residuos agrícolas, cuyo aprovechamiento puede también evitar incendios provocados por la quema de rastrojos. Además, la recogida, transporte, almacenaje y posterior proceso de conversión del residuo agrícola (por ejemplo para la obtención de pelets), creará trabajo en las zonas rurales e independencia energética, evitando el uso de otros combustibles derivados del petróleo o gas natural.

Debido a la estacionalidad de los residuos biomásicos de origen agrícola, que ocasiona cierta incertidumbre en su abastecimiento, se analizará el uso de distintos cultivos energéticos realizados con la finalidad de producir biomasa transformable en combustible o carburante, tanto a nivel agrícola (agroenergía), como a nivel selvícola, donde actualmente se están desarrollando cultivos leñosos de sauces y chopos, en turnos de 3 a 6 años, en algunos países del centro y norte de Europa.

#### MARCO LEGISLATIVO Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

La necesidad de promocionar las EE.RR. y de conseguir una sostenibilidad medioambiental, precisa de un fuerte apoyo político y de un marco legal que asegure la consecución de los objetivos planteados. De ahí la necesidad de un cambio en la actual política energética para asegurar la reducción de las emisiones causantes del efecto invernadero y cumplir así con los objetivos del Protocolo de Kioto.

En la actualidad existe un consenso científico generalizado en torno a la idea de que el modo de producción y consumo de la sociedad industrializada está generando una alteración climática, un calentamiento global que, si no se toman medidas de inmediato, provocará serios impactos medioambientales y socioeconómicos. El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido al desarrollo industrial, es considerado como uno de los principales causantes de este cambio climático.

Ante la gravedad del problema, en 1988 se creó la Comisión Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, cuya función era comprender y evaluar el riesgo de este cambio climático. En su último informe concluyó que debido a la actividad humana en el siglo XX la temperatura global media del planeta ha aumentado 0,6 °C, ha ascendido el nivel del mar entre 0,1-0,2 m y la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se ha incrementado en un 31%.

La Cumbre de Kioto (diciembre de 1997), enmarcada dentro del Convenio Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, concluyó con la adopción del Protocolo de Kioto, que consiste en una serie de medidas encaminadas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por los países industrializados, incluidos los de la antigua URSS. El compromiso obliga a limitar las emisiones conjuntas de seis gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC, HFC y SF<sub>6</sub>) durante el periodo 2008-2012, tomando como año de referencia 1990 para los tres primeros gases y 1995 para los restantes.

La reducción global acordada es del 5,2% para los países industrializados, desglosándose en las siguientes proporciones para cada país: un 8% para el conjunto de la UE, un 7% para los Estados Unidos, un 6% para Japón y Ucrania, así como el compromiso de mantener sus emisiones de la Federación Rusa y Nueva Zelanda.

En una fase inicial, el Protocolo no obliga a reducir emisiones a los países en vías de desarrollo por no ser los principales causantes de la contaminación atmosférica, ya que con el 80% de la población mundial suponen solamente el 40% de las emisiones totales, y para no dificultar su futuro desarrollo económico. China e India no están incluidos entre los países que deben limitar sus emisiones al considerarse que se encuentran todavía en vías de desarrollo, pese a lo cual, ya son los causantes del 14% y del 5% respectivamente de las emisiones totales.

El Protocolo de Kioto entró en vigor el 16 de febrero de 2005, una vez que fue ratificado por Rusia, el 5 de noviembre de 2004, se cumplieron los requisitos de que un mínimo de 55 países lo ratificasen, y que en conjunto, fuesen responsables del 55% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 1990. Actualmente, el número de países que lo han ratificado es de 141 y suman el 61,6% de las emisiones respecto al año base, por lo que se alcanza el mínimo requerido. Estados Unidos se niega a ratificar el Protocolo, a pesar de ser el mayor emisor de gases de efecto invernadero con el 36% de las emisiones en 1990. Argentina ratificó el Protocolo de Kioto el 13 de julio de 2001 a través de la Ley Nacional 25.438.

El compromiso de reducción es diferente en cada país, dependiendo de su situación tecnológica y del estado de crecimiento económico que presente, permitiéndose en algunos casos, superar en el periodo 2008-2012 las emisiones del año base. La Comisión Europea afirma que con las políticas y medidas actuales no se llegará a cumplir los objetivos de reducción, debido a que existen países que no van a poder cumplir con sus compromisos.

Existen diferentes mecanismos de ejecución para limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos mecanismos son los siguientes:

- **SUMIDEROS:** Permite a los países reducir sus emisiones "netas", es decir, restar de las emisiones industriales, los sumideros de carbono vinculados a actividades de forestación y tierras de cultivo. El porcentaje máximo de emisiones que se puede descontar por la implantación de sumideros respecto del año base es del 2%. Esta limitación se debe al riesgo de futuros incendios en las plantaciones que se realicen y a la liberación del CO<sub>2</sub> acumulado.
- **MECANISMOS DE FLEXIBILIDAD:** Desde el punto de vista del cambio climático es irrelevante dónde se reduzcan las emisiones, porque sus causas y efectos repercuten sobre el Medio Ambiente a escala global. Sin embargo, es menos rentable reducir emisiones en los países desarrollados que implantar tecnologías limpias en paí-

ses de baja eficiencia energética, como los países del Este de Europa y los que están en vías de desarrollo.

El Protocolo de Kioto establece tres mecanismos de flexibilidad que permiten a los países cumplir con las exigencias de reducción de emisiones fuera de sus territorios. Estas actividades deben desarrollarse adicionalmente a las realizadas por los países industrializados en su interior, como el fomento de las EERR, la implantación de tecnologías menos contaminantes y la mejora en el rendimiento de los sistemas de generación y consumo de energía.

Se ha adjudicado a los países firmantes "derechos de emisión", que les permiten emitir una tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> por cada derecho asignado durante un período determinado. Estos derechos pueden ser transferibles entre estos países y permiten crear un mercado de derechos de emisión donde se puedan comprar y vender en función de la oferta y de la demanda.

Los tres mecanismos de flexibilidad, permitidos por el Protocolo de Kioto son:

- **COMERCIO DE EMISIONES INTERNACIONALES (CEI):** Los países que emitan por debajo del límite impuesto en el Protocolo de Kioto pueden vender sus excedentes de derechos de emisión a aquellos países que lo excedan. Este mercado tiene su apertura oficial prevista para el 1 de enero de 2008, sin embargo, ya ha empezado a funcionar en la UE a partir del 2005. Anteriormente se habían dado los pasos necesarios para armonizar este mercado mediante la publicación de dos Directivas Comunitarias (96/61/CE y 2004/101/EC) que regulaban el mercado europeo de emisiones y lo armonizaban con los mecanismos del Protocolo de Kioto. En estas directivas se fijaban el reparto de emisiones entre los distintos sectores y países de la UE a través de la elaboración de Planes de Asignación de Emisiones nacionales.

El esquema de comercio de emisiones europeo ha establecido para cada industria unas cuotas de emisión a partir de 2005, estando excluidas las instalaciones de I+D y las que usen EERR., al tener asignadas un factor de emisión nulo. Si una instalación emite más de su cupo asignado ha de elegir entre implementar medidas reductoras de emisiones o adquirir derechos de emisiones a otras industrias. En el caso de no hacerse nada, la compañía será sancionada con 40 € de exceso durante el periodo 2005-2007 y con 100 € en el periodo 2008-2012. El precio estimado de compra de derechos en el mercado para el primer período se estima entre 10 y 20 €, subiendo a 25 € a partir de 2007.

- **APLICACIÓN CONJUNTA (AC):** Consiste en intercambiar derechos de emisión mediante la financiación de proyectos o industrias entre países desarrollados. La introducción de una mejora tecnológica en alguno de éstos países permite reducir las emisiones a un menor coste que en el resto. Este sistema puede ser muy apropiado para los países del Este de Europa.
- **MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL):** Siguen el mismo mecanismo que el sistema de implantación conjunta, salvo que se realiza entre un país desarrollado y un país en vías de desarrollo. La empresa debe de hacer constar la reducción de emisiones que se han conseguido gracias a este proyecto y recibir una validación

por parte de un auditor ambiental independiente. Además, es necesario que la Oficina del Cambio Climático de las Naciones Unidas lo califique como un proyecto de desarrollo limpio, indicando el número de unidades de emisión reducidas que pueden ser posteriormente intercambiadas por derechos de emisión en el mercado de emisiones.

AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), es una de las empresas que ha obtenido la acreditación para validar proyectos de MDL y, una vez realizados, verificar y certificar la reducción de emisiones.

A título informativo, en el caso de Argentina, sólo participa del Artículo 12 del Protocolo de Kioto, llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio. Para lo cual dispone de una oficina de MDL acreditada (OAMDL) creada por el Gobierno Nacional por el Decreto PEN N 822/98, cuyo esquema se presenta en la figura I.



Figura I

El Banco Mundial ha puesto en marcha y está gestionando varios Fondos, que se caracterizan por estar constituidos por Gobiernos y empresas privadas de los países desarrollados, cuyas inversiones contribuyen a la financiación de proyectos que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero o aumentan la absorción de dichos gases. Con estos Fondos, además de contribuir a catalizar flujos de capitales hacia países en vías de desarrollo o con economías en transición, se consigue poner a disposición de los países desarrollados un mecanismo eficiente en términos de coste con el que flexibilizar el cumplimiento de los compromisos establecidos por el Protocolo de Kioto.

El futuro del Protocolo de Kioto es relativamente incierto. La ratificación del Protocolo de Kioto y su puesta en marcha sólo suponen un pequeño paso en la reducción de las causas del cambio climático, pero a su vez, ha conseguido poner de acuerdo a gran

parte de los países del mundo en que el desarrollo económico actual, basado en la energía procedente de los combustibles fósiles, implica unas emisiones contaminantes que están produciendo alteraciones en el clima de la Tierra.

El Protocolo de Kioto cumplirá sus objetivos de reducción de emisiones solamente si se consigue su aceptación, aunque suponga algún tipo de cambio en la forma de llevarse a cabo, por parte de los Estados Unidos y de los países que se encuentran en una fase de gran desarrollo, como Brasil, India o China (BRIC). Esta adhesión no va a resultar fácil, ya que en la última cumbre del G-8, celebrada recientemente en Escocia, sólo se ha llegado a un acuerdo en la existencia de un problema medioambiental y en la necesidad de buscar soluciones, aunque sin referirse a la ratificación del Protocolo de Kioto.

En una fase posterior sería necesario adoptar unos compromisos de reducción más elevados y restrictivos por parte de los países firmantes y redistribuir la carga buscando que fuese lo más equitativa posible.

## CAPÍTULO 2. LOS PELETS DE BIOMASA COMO COMBUSTIBLE.

### INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de reducir el impacto medioambiental que produce el uso de los combustibles fósiles y sustituirlos por fuentes de energía de carácter renovable, cumpliendo así con los objetivos del Protocolo de Kioto, se han desarrollado distintas tecnologías de aprovechamiento energético basadas en la biomasa.

La biomasa constituye un recurso natural potencialmente aprovechable de muy diferentes formas y sobre dicho recurso recaen las esperanzas que actualmente existen para cumplir los objetivos marcados, tanto en el ámbito nacional como internacional. Por ello, en los últimos años se ha dado un gran salto en el desarrollo de tecnologías que aprovechen la biomasa como fuente de energía, sobre todo en los países del Norte de Europa. Estos países han sabido sacar partido a su alto potencial biomásico, puesto que una gran parte de su superficie es ocupada por amplios espacios forestales.

En los últimos años, aquellos países que gozan de un gran potencial de biomasa pero que carecen de la tecnología necesaria, intentan importarla de los países más avanzados o adaptarla a las características especiales de los recursos disponibles.

Como se ha comentado con anterioridad, existen numerosas razones para considerar la biomasa como fuente de energía, ya que contribuye a la conservación del medio ambiente al producir menos emisiones contaminantes que los combustibles fósiles por su bajo contenido en azufre y nitrógeno, además de no contribuir al efecto invernadero por la emisión de la misma cantidad de CO<sub>2</sub> en la combustión que la que fija la planta durante su crecimiento mediante la fotosíntesis.

Con el uso de este tipo de energía se disminuye la dependencia de fuentes de energía foráneas por la reducción del uso de combustibles fósiles, se fomenta el desarrollo local y rural por ser una fuente de energía descentralizada que genera más puestos de trabajo por unidad energética generada que las convencionales.

Debido a la enorme cantidad de residuos de biomasa que se producen, su valorización disminuye los problemas medioambientales y los costes de su tratamiento y gestión.

Sin embargo, y a pesar del apoyo institucional que están recibiendo las EE.RR. para su implantación, todas las previsiones de desarrollo de la biomasa están desafortunadamente incumpléndose, estando el consumo actual de biomasa claramente por debajo de las expectativas planteadas. La causa está en las enormes dificultades de desarrollo de los proyectos, debido a múltiples factores, principalmente de carácter económico (baja rentabilidad).

Para conseguir los objetivos establecidos, y en línea con los compromisos del Protocolo de Kioto, se hace necesario proporcionar soluciones a los problemas que están impidiendo la materialización de nuevas instalaciones, a pesar del interés de numerosos inversores.

Las dificultades de la implantación de la biomasa con fines energéticos se deben, entre otros aspectos, a los altos costes de inversión, operación y mantenimiento de las instalaciones y a los menores rendimientos de los motores y calderas respecto a los de los combustibles fósiles. Sin embargo, el punto crítico para el desarrollo del aprovechamiento energético de la biomasa reside en la dificultad de garantizar el combustible en cantidad suficiente, así como con calidad y precio adecuados, problema con el que actualmente se están encontrando muchas de las instalaciones de aprovechamiento de biomasa, además del problema logístico subyacente.

Algunos residuos de las actividades agrícolas y de las industrias agroalimentarias tienen un alto contenido energético, que los hace muy interesantes como fuente de energía, pero presentan una baja densidad, que hace que su transporte requiera un coste elevado. Lo mismo ocurre con los residuos de limpiezas forestales y de industrias de transformación de la madera, que forman un conjunto de materiales heterogéneos entre los que se encuentran las astillas, cortezas, serrín, recortes, cilindros, finos y otros.

Es necesario estudiar y mejorar los procesos industriales de secado, trituración, homogeneización granulométrica y densificación de estos materiales mediante equipos de astillado, trituración y densificación para disminuir los costes derivados de los tratamientos, con el fin de que el precio del combustible no supere los costes que permiten que las instalaciones de aprovechamiento sean económicamente viables.

Una de las mayores limitaciones que presenta el aprovechamiento energético de la biomasa residual es la baja densidad de los materiales, lo cual plantea importantes problemas en su almacenaje y transporte. En el caso de los subproductos generados en las industrias de transformación y elaboración secundaria de la madera, estos residuos pueden llegar a suponer volúmenes de hasta el 20-60% de la materia prima utilizada.

La biomasa de origen lignocelulósico puede emplearse como materia prima en diversos procesos de fabricación, comercializándose en mercado específicos o bien como sustitutivo energético en instalaciones donde se obtiene dicha biomasa.

En muchos casos, debido a la falta de un mercado que absorba estos subproductos o a la carencia de medios tecnológicos para rentabilizar su aprovechamiento, estos residuos plantean un serio problema de acumulación y eliminación, con el consiguiente coste adicional al proceso de fabricación propiamente dicho.

En el aprovechamiento energético de la biomasa, su baja densidad hace necesarios grandes volúmenes de ocupación, lo que encarece notablemente el transporte y su manipulación, por lo que para evitar este inconveniente se procede a compactarlos, obtenien-

do productos elaborados como briquetas y pelets que presentan ventajas adicionales (limpieza, homogeneidad y manejabilidad), a la vez que se reducen de forma considerable las pérdidas por degradación durante largos períodos de almacenamiento.

Por tanto, las tecnologías de densificación de biomasa tienen como objetivo principal reducir los costes de transporte y facilitar el aprovechamiento de la biomasa en un proceso real de generación energética, reduciendo sus costes.

La figura II muestra la imagen de pelets y briquetas de diferentes tipos de biomasa residual e industrias del sector de la madera y papel.



Figura II

La ventaja principal que aportan estas tecnologías es el aumento considerable de la densidad aparente del residuo, lo que abarata el coste de transporte y almacenamiento de dicho residuo para su aprovechamiento energético, generalmente en una caldera de combustión, aunque también el pélet, dependiendo de la materia prima empleada, puede tener otras aplicaciones.

Hay que tener en cuenta que el transporte de la materia prima es un concepto que encarece notablemente el coste de producción, por lo que un ahorro sensible en este aspecto repercute muy favorablemente en el proceso global de producción. Asimismo, la facilidad de manipulación de algunos productos densificados como el pélet hace que los procesos se puedan automatizar como con cualquier combustible petrolífero.

#### TECNOLOGÍA DE PELETIZADO DE BIOMASA

La tecnología de pelletizado se está planteando, en los últimos tiempos, como una de las mejores alternativas de compactación para el aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica, así como una forma de reducir el volumen de los residuos generados, ya que el astillado o trituración no es suficiente para que la recogida alcance costes aceptables.

Las ventajas que presenta el pelletizado se deben, fundamentalmente, a la disminución de los costes de transporte y a que posibilitan la automatización de los equipos de aprovechamiento.

La tecnología de pelletizado está extensamente desarrollada e implantada en varios países europeos, sobre todo del Norte de Europa.

Los pelets se pueden fabricar en matrices anulares o planas, a través de la cual se hace pasar el material, que adopta la configuración de los orificios. No es necesaria la adición de aglomerantes, ya que los propios componentes de la biomasa lignocelulósica actuarán como ligantes, aunque en ocasiones se pueden añadir agua o vapor para mejorar las condiciones del proceso.

El pelletizado se basa en la compactación de la biomasa, aumentando la densidad aparente hasta valores cercanos a los 600 kg/m<sup>3</sup> (la densidad real del pélet alcanza los 1.200 kg/m<sup>3</sup>). Para el caso de la madera, la densidad del residuo astillado es de unos 200 kg/m<sup>3</sup>, por lo que se puede observar la importancia que tiene el pelletizado y los ahorros energéticos y económicos que produce. Los pelets de biomasa presentan una fácil manejabilidad y una alta durabilidad, por lo que no se deterioran en su manejo.

Los pelets tienen un elevado poder calorífico, que depende de la materia con la que están hechos, pero que en la mayoría de los casos alcanza valores en torno a 14,5-19 MJ/kg, debido a su alto grado de compactación y a su bajo contenido en humedad, que puede ser del 6-10%.

Un punto clave de esta tecnología es que permite obtener pelets a partir de materiales muy diversos: madera, serrín, virutas, polvo, corteza, paja, papel y prácticamente cualquier tipo de biomasa agrícola, forestal, industrial o ganadera, lo que proporciona una elevada versatilidad.

Las etapas básicas y equipos que componen una planta de pelletizado estándar son:

- **TRITURADORA:** Es necesario triturar la biomasa antes de introducirla en la pelletizadora. Se deberá conseguir una granulometría adecuada para obtener un pélet con buenas características físicas.
- **SECADERO:** En las circunstancias en que la biomasa tenga una humedad elevada, precisará su secado hasta valores de humedad en torno a 10-15%.
- **MOLINO:** En busca de una granulometría pequeña y uniforme del residuo, se hace necesaria en ocasiones la etapa de molienda.
- **TOLVA DE ALIMENTACIÓN:** Para conseguir una continuidad en el proceso de producción y evitar posibles paradas.
- **ROSCA DE ALIMENTACIÓN:** Se alimentará la pelletizadora desde la tolva. Este conducto también cumple una función mezcladora, aumentando la homogeneidad del flujo de biomasa, obteniéndose un producto más homogéneo. La rosca puede basarse en un tornillo sinfin o en un eje con palas de orientación variable, con el objetivo de variar la velocidad de alimentación en función de las necesidades durante el proceso de operación.
- **PRENSA:** Es el elemento propio de densificación de la planta. Se hace pasar la biomasa a través de una matriz agujereada con la ayuda de unos rodillos giratorios que ejercen una presión constante sobre la matriz. La biomasa atraviesa la matriz, a la vez que se comprime, resultando a la salida un cilindro del diámetro característico de la matriz. A la salida de la matriz existe un dispositivo compuesto por unas cuchillas, que dependiendo de su posición y rapidez de giro, cortará el cilindro producido con la longitud deseada.
- **DISPOSITIVO DE DESCARGA DE PELETS:** El pélet se depositará de tal forma que se evite su fractura.

- **ENFRIADOR DE PELETS:** el producto sale a una temperatura alta (unos 80-90 °C), lo que hace conveniente un equipo enfriador rápido que reduzca su temperatura para almacenar el producto en buenas condiciones. Se basa en la aplicación de un flujo transversal de aire sobre la corriente de pelets. También con esta etapa se consigue aumentar la dureza y resistencia del pélet, evitando así su disgregación durante las etapas de manipulación posteriores.

Las características físicas del pélet pueden ser muy diferentes, en función de la materia prima y del equipo de peletizado empleados. Interesa que el pélet adquiera una resistencia, dureza y friabilidad aceptables, con el fin de evitar su disgregación en su posterior proceso de manipulación.

La figura III muestra la planta peletizadora, de 200 kg/h de capacidad de producción, en las dependencias de la Fundación CARTIF.



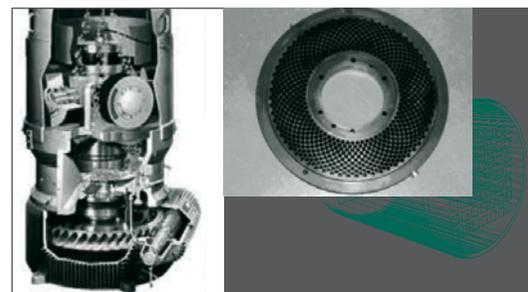
Figura III

Existen en el mercado dos tecnologías de peletizado probadas, en función del tipo de matriz empleada, y una tercera en fase inicial de expansión. Cada una confiere al proceso unas condiciones determinadas de operación, y su elección dependerá del resultado final deseado y de la materia prima utilizada.

La tecnología de matriz plana se basa en un disco metálico con orificios, según las características buscadas en el pélet. Su morfología le aporta unas ventajas importantes frente a la matriz anular.

- Para unas producciones similares, la velocidad lineal de los rodillos giratorios es menor, lo que implica unas vibraciones y ruidos de los elementos móviles reducidos.
- La matriz se apoya en la base fija de la planta a lo largo de toda la circunferencia de su perímetro, lo que aporta una mayor estabilidad y resistencia frente a la presión ejercida por los rodillos.

- Las perforaciones existentes en la matriz a lo largo de toda la superficie del disco tienen una parte cilíndrica recta y dos cónicas (en los extremos de la perforación). Si estas superficies cónicas son similares, es posible duplicar la vida útil de la matriz, manteniendo las características del producto, sin más que cambiar la superficie de ataque de la biomasa. Esta reversibilidad aumenta la durabilidad de la matriz, reduciendo ostensiblemente el coste de reposición de la matriz desgastada.
- Su especial morfología hace que puedan ejercerse mayores presiones sobre la matriz, obteniendo un producto con mejores características de dureza.
- La maniobrabilidad de una matriz plana será mayor, y la simplicidad en su montaje y manipulación facilitarán las labores de limpieza y mantenimiento de los equipos.



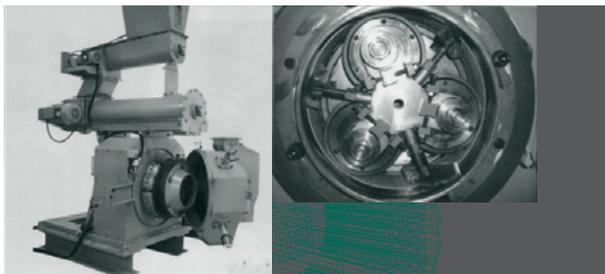
Figuras IV y V

Las figuras IV y V muestran un equipo de peletizado de matriz plana y un detalle de la matriz plana que emplea.

La tecnología de matriz anular aporta unas ventajas frente a la anterior que hacen que en determinadas circunstancias su elección pueda ser interesante.

- La capacidad de producción es mayor. Tomando un diámetro determinado, la superficie perforada en una matriz anular se extiende a lo largo de una superficie cilíndrica. La matriz plana tiene una superficie útil en forma de corona circular.
- Se consiguen perfiles de presiones homogéneas en toda la superficie circular, lo que aporta estabilidad a la prensa y genera un desgaste distribuido a lo largo de la banda de rodadura de la matriz.
- El coste del equipo completo es menor. La matriz plana como elemento independiente de la planta es más barata que la anular, pero en conjunto, una planta peletizadora de matriz anular resulta más económica que una de matriz plana, puesto que los elementos accesorios reducen el coste total del equipo.
- En el caso de biomasa agrícola (biomasa herbácea), se aconseja la peletización con matriz anular, puesto que requieren una fuerza de compresión menor. Para

la biomasa forestal es conveniente emplear la tecnología de peletizado de matriz plana, ya que requiere fuerzas de compresión mayores (al ser este residuo sensiblemente más duro) que se consiguen con las matrices planas, gracias al movimiento de cizalla producido entre los rodillos compresores y la matriz.



Figuras VI y VII

Las figuras VI y VII muestran un equipo de peletizado de matriz anular y un detalle de una matriz anular.

En Italia se ha desarrollado una nueva tecnología para fabricar pelets cuya patente ha sido comprada por una empresa eslovaca (AVS plus), que es la que ahora comercializa los equipos. La nueva tecnología de peletizado llamada EcoTreSystem, supone un cambio sustancial en la forma de producción de pelets permitiendo ahorrar en inversión de equipos, energía en el proceso y operar con un mayor rango de humedad de la materia prima a peletizar.

Actualmente se están realizando proyectos de demostración para mostrar las ventajas de este nuevo sistema que todavía no es muy conocido y se enfrenta a la desconfianza de los productores de pelets.

El funcionamiento consiste en introducir la biomasa entre dos cilindros huecos agujereados que giran uno contra el otro, actuando simultáneamente como sistema de presión (secado mecánico) y como matrices al obligar el paso de la biomasa, por extrusión, a través de sus agujeros para formar los pelets. Se asemejan a los sistemas tradicionales de peletizado de matriz anular, donde la biomasa se alimenta por el interior y los pelets son extruidos hacia el exterior de la matriz, mientras que con el nuevo sistema el material entra desde el exterior de la matriz y los pelets se producen hacia dentro. La figura VIII muestra un esquema de su funcionamiento.



Actualmente se están realizando proyectos de demostración para mostrar las ventajas de este nuevo sistema que todavía no es muy conocido y se enfrenta a la desconfianza de los productores de pelets.

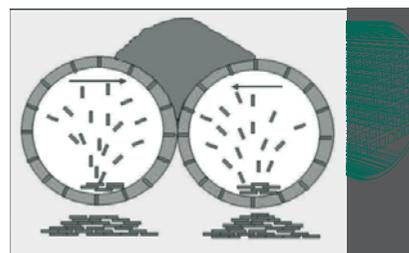


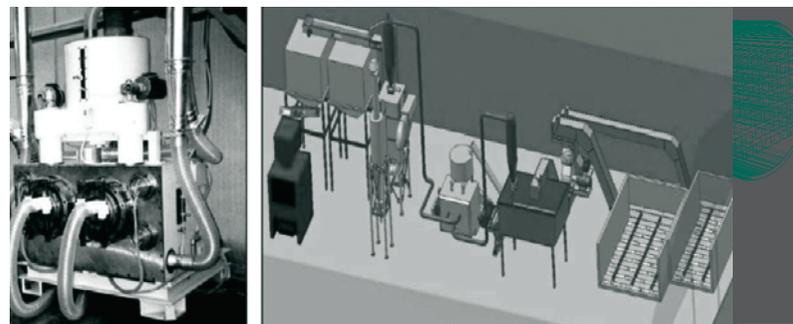
Figura VIII

La modificación en el método de producción de pelets tiene como resultado la eliminación de la fase de secado previo, ya que se puede introducir biomasa con más de un 35% de humedad, así como de la fase de enfriado de los pelets al no producirse un excesivo calentamiento durante el proceso. También se pueden enfriar al introducir aire por el interior de los cilindros de peletización, que actuaría, también, como refrigerante de la matriz.

Gracias a la inercia de los rodillos se realiza simultáneamente un secado y el compactado mecánico de la biomasa, lo que permite evitar el secado previo de la biomasa.

Solamente si la humedad de la biomasa es superior al 35% se necesitaría un presecado o se tendría que realizar el peletizado en dos etapas. Otra ventaja de este sistema es que la temperatura de los pelets aumenta sólo entre 10-15 °C debido a que la extrusión se produce de fuera a dentro, lo que hace innecesario el sistema de enfriamiento posterior de la tecnología tradicional.

Las figuras IX y X muestran un equipo que emplea esta nueva tecnología, y un esquema de la planta integral de peletizado.



Figuras IX y X

Las principales ventajas de este sistema son:

- Menor consumo de energía, al eliminar el proceso de secado de la biomasa y el de enfriado de los pelets.
- Contenidos en humedad inferiores al 35% no suponen ningún problema al proceso.
- Puede procesar biomasa con un tamaño no muy uniforme.
- El coste de producción es menor.
- Menor coste de inversión.

Las principales desventajas de este sistema son:

- Es una tecnología que no está muy probada.
- Puede tener problemas de compactación cuando se utiliza biomasa procedente de restos o cortas de madera (biomasa dura), aunque el fabricante considera que es apta para todo tipo de materiales.

En la actualidad, la opción de adaptar la tecnología de peletizado a un equipo móvil no parece una alternativa posible. Si bien, se podría pensar que acercando la peletizadora a la fuente de biomasa, en el mismo terreno de producción se reducirían de forma considerable los costes de transporte de la biomasa hasta la planta, se detectan ciertas desventajas que anulan esta posibilidad.

Una peletizadora móvil, conectada a la toma de fuerza de un tractor más triturador móvil produciría una reducción drástica en el coste asociado a la logística de la materia prima, pero el hecho de acercarse tanto al origen de la biomasa, provocaría ciertos problemas de estabilidad de la matriz y aparecerían vibraciones que perjudicarían el funcionamiento correcto de la planta. Además, la peletizadora necesita un consumo alto de energía eléctrica, en función de su capacidad y en algunos casos una toma de agua para añadir humedad a la materia prima.

La planta peletizadora fija aporta otras ventajas adicionales, ya que permite el funcionamiento de la planta durante los 12 meses del año, asegurando la producción sin depender de las épocas de recolección de la biomasa, si se realiza una logística de abastecimiento adecuada.

Teniendo en cuenta todos estos factores, se puede concluir que lo más razonable desde el punto de vista práctico es emplear las trituradoras y empacadoras móviles, para engancharlas a la cadena de recogida de la biomasa en el terreno, transportando ésta hasta la planta de peletización para allí ser compactada.

El radio de acción considerado para llevar a cabo la recolección de la biomasa para obtener rentabilidades aceptables puede extenderse hasta un entorno de 30-50 km, según experiencias realizadas. No obstante, la orografía del terreno es un factor determinante en la determinación de estas distancias máximas.

#### TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DEL PÉLET

El producto biomásico elaborado tiene principalmente su aprovechamiento en dos tipos de instalaciones, aportando unas ventajas características a cada aplicación:

- Calderas de uso doméstico:

- El uso del pélet como combustible en calderas domésticas favorece un alto nivel de automatización del equipo de combustión. Suele disponerse de un dispositivo de recogida de cenizas y alimentación automáticos que aportan una gran sencillez en el manejo. Estos equipos operan como una caldera de gas o de gasóleo.
- Su empleo favorece además las labores de limpieza del equipo y la comodidad para el usuario.
- Las figuras XI, XII y XIII muestran imágenes de dos calderas de biomasa y una estufa de pelets.

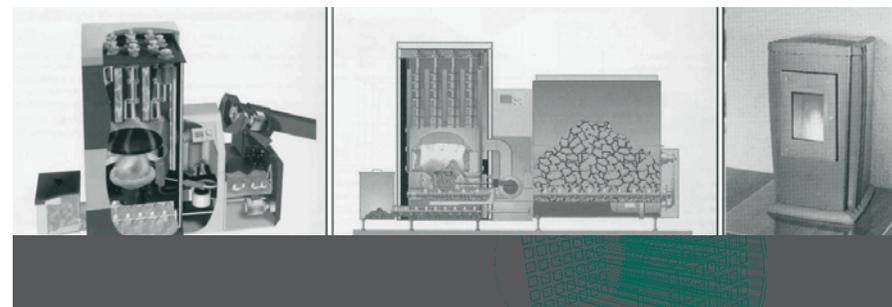


Figura XI, XII y XIII

- Utilización a gran escala:
    - En algunas centrales térmicas ya se han instalado los equipos necesarios para producir energía a gran escala a partir de biomasa. La central térmica de Avedore, en Copenhague (Dinamarca) es un buen ejemplo de ello.
- Esta planta (C.T. de Avedore, Dinamarca), mostrada en la figura XIV, produce hasta 300 MWe, empleando como combustible secundario hasta 300.000 t/año de pelets de madera mezclada con carbón, que se conoce como co-combustión.

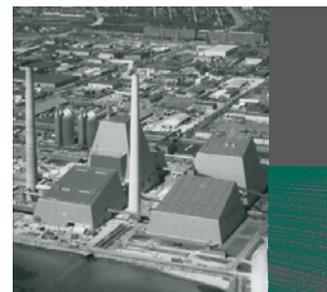


Figura XIV

Una tecnología de aprovechamiento de biomasa que favorece su consumo masivo a gran escala lo constituye la co-combustión. En particular, desde el Gobierno de España, dentro del Plan de EERR (2005-2010), se establece una línea de apoyo a la cocombustión de carbón con biomasa en las centrales térmicas, de forma similar a la aplicada en los países más punteros al respecto. Esta biomasa puede provenir en forma de pelets, siendo ésta una importante línea de negocio en el futuro para las plantas de pelets.

### CAPÍTULO 3. EL MERCADO DE PELETS DE BIOMASA

En este capítulo se describen los mercados de pelets de biomasa de Norteamérica y de Europa, por ser referentes en el mercado mundial en cuanto a volumen de producción. Se describirá igualmente el mercado español, con objeto de establecer una comparativa de los mercados maduros con aquellos que están aún incipientes y en clara fase de desarrollo y crecimiento.

#### MERCADO DE PÉLETS EN NORTEAMÉRICA

En EEUU y Canadá existen unas 60 plantas de producción de pelets de madera (ver figura XV). Las producciones que alcanzan son de 582.000 t/año y 956.000 t/año, respectivamente (datos de 2005).



Figura XV

La mayoría de las plantas se encuentran cerca de la costa, lo que favorece la logística de distribución y reduce los costes de transporte desde los puertos comerciales hasta las plantas, ya que gran parte de las materias primas de los pelets son importados o los mismos pelets se comercializan en otros países.

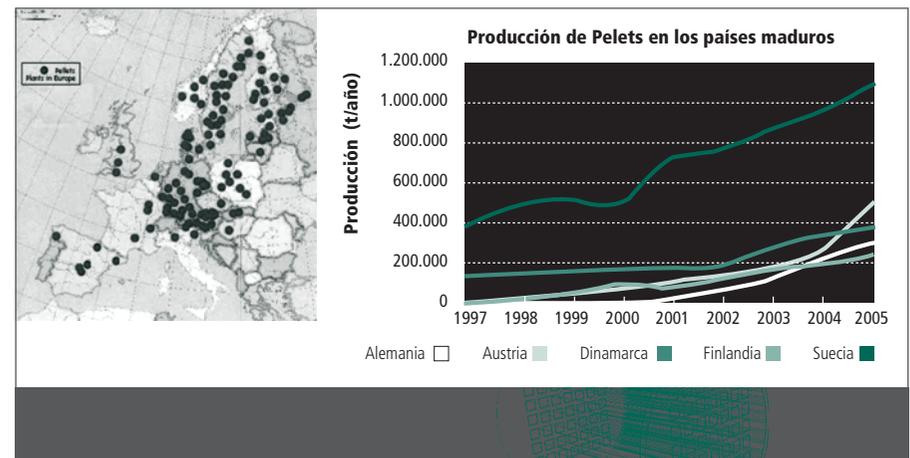
La mayor parte de estas producciones se destinan al abastecimiento de instalaciones de calefacción domésticas.

#### DEL MERCADO DE PÉLETS EN EUROPA

En la actualidad, el mercado de pelets a nivel internacional lo protagonizan principalmente Suecia, Alemania, Dinamarca, Austria y Finlandia. La tecnología existente en estos países se encuentra muy avanzada respecto del resto, por lo que constituyen un referente directo sobre cualquier iniciativa a desarrollar en este campo.

Estos países del Norte de Europa han adaptado la Normativa vigente para compatibilizar la generación de energía térmica con el uso de la biomasa en forma de pelets, sobre todo de origen forestal, dado el amplio potencial del que disponen.

La figura XVI muestra la distribución de plantas productoras de pelets en Europa, y la figura XVII la evolución de los mercados de pelets en los países más maduros en su uso.



Figuras XVI y XVII

Existe una brecha tecnológica importante entre los países punteros en la tecnología de pelets y aquellos que han comenzado a tener conciencia de los beneficios que el uso de la biomasa implica, por tener un gran potencial biomásico sin aprovechamiento y por la necesidad de cumplir los objetivos nacionales de sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía de origen renovable.

En cuanto a la situación en la UE, los países del Este de Europa, dada la gran abundancia del recurso, se sitúan potencialmente como los futuros impulsores del mercado de pelets. A la zaga de esta carrera tecnológica se encuentran países como España, Italia, Francia, Reino Unido, Portugal, Grecia..., aunque se prevé que se lleve a cabo un crecimiento importante en los próximos años, puesto que ya se están realizando proyectos de instalación de plantas para la fabricación de pelets. La tendencia, por tanto, se encamina claramente al alza.

Respecto al mercado español de pelets, existen ciertas barreras tecnológicas que impiden su despegue definitivo, similares a las de otros países que se encuentran en su misma situación en cuanto a avances tecnológicos. El desconocimiento del producto en sí por parte de los potenciales productores y usuarios de pelets crea una desconfianza que frena las expectativas creadas recientemente.

En España se producían unas 50.000-60.000 t/año (año 2001) de productos energéticos compactos: briquetas y pelets de los que únicamente 20.000 t/año fueron de pelets, dado la mayor implantación en el mercado energético español de las primeras. La materia prima más utilizada en la fabricación de pelets son residuos de madera.

En la actualidad la producción de pelets es de unas 70.000-80.000 t/año, en las seis plantas existentes (1 en Galicia, 3 en Castilla La Mancha, 1 en Cataluña y 1 en Navarra que produce tanto pelets para alimentación animal como pelets con fines energéticos).

La utilización más común son pequeñas calderas y estufas en el sector doméstico, fundamentalmente en comunidades de vecinos. Un factor básico en el desarrollo del mercado de pelets lo constituye la seguridad en el suministro de la materia prima. La falta de garantías que existe en torno a su abastecimiento a largo plazo y los costes elevados y variables que implican su puesta en planta han impedido hasta el momento la utilización sistemática del pélet como fuente de energía fiable.

Además, el uso extendido de otros combustibles sólidos, como la cáscara de almendra, la cáscara de arroz y residuos procedentes de las industrias de la aceituna y del piñón, contribuyen a este efecto.

La ausencia de una tecnología nacional afianzada y de un mercado regulado legislativamente suponen otros factores relevantes que aportan aún más incógnitas al desarrollo de la peletización.

A pesar de todo ello, las expectativas futuras en el escenario energético actual son cuanto menos prometedoras, ante la premisa del cumplimiento de los objetivos marcados en el PER. Tanto los centros de investigación como las agencias energéticas y universidades están respaldando la iniciativa, y los actores involucrados en el mercado (empresas, Administraciones y centros de investigación) están trabajando para eliminar o minimizar las barreras mencionadas. Esto permitiría la materialización de la construcción de nuevas instalaciones en los próximos años.

El mercado del pélet es un mercado en expansión, debido principalmente a que en la actualidad para asegurar el abastecimiento a las calderas instaladas se están importando pelets de distintos puntos de Europa y al aumento de calderas de pelets, debido principalmente al alto coste de los combustibles convencionales y al aumento de la confianza del usuario para el consumo de EE.RR. Es por esta razón que están previstas la construcción de varias plantas de peletización en los próximos meses en España.

## INTRODUCCIÓN

En este apartado se presentan los diferentes procesos de conversión energética que pueden utilizarse para el aprovechamiento energético de la biomasa, haciendo una revisión de sus características y adecuación para cada caso concreto.

La biomasa puede ser tratada mediante diferentes procesos para dar lugar a diversos productos de interés energético, tanto de tipo sólido, líquido o gaseoso.

Atendiendo al tipo de transformación, a la naturaleza del agente que produce la transformación, la temperatura del proceso, los microorganismos o productos químicos de estos procesos y los productos finales obtenidos, los procesos se clasifican en mecánicos, termo-químicos, biológicos y extractivos. Las tecnologías aplicables a la biomasa para su aprovechamiento energético y el producto final obtenido se indican en la tabla II.

PROCESOS		[PRODUCTOS	APLICACIONES
Mecánicos	Astillado Trituración Compactación	Leñas Astillas Briquetas y pelets Serrín	Calefacción Electricidad
Termoquímicos	Combustión	Gases calientes (humos)	Calefacción Electricidad Transporte
	Pirólisis	Carbón Aceites	Calefacción Electricidad Transporte
	Gasificación	Gas de gasógeno Gas de síntesis	Calefacción Electricidad Transporte Industria química
Biológicos	Fermentación	Etolanol	Transporte
	alcohólica	Varios	Industria química
	Digestión anaerobia	Biogás (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )	Calefacción - Electricidad
Extractivos	Extracción físico-química	Aceites Ésteres Hidrocarburos	Transporte Industria química

TABLA II

## PROCESOS MECÁNICOS

Normalmente, el uso de la biomasa con fines energéticos implica una adecuación de la materia prima para su empleo como combustible. El pretratamiento de la biomasa es un punto crítico en la rentabilidad del proceso y consiste en el acondicionamiento de la

humedad y la granulometría del residuo según las necesidades requeridas para su posterior peletizado y/o combustión mediante el secado natural y la trituración.

El proceso mecánico comienza en el mismo momento de la recolección de la biomasa para disminuir los costes de transporte hasta el lugar de su aprovechamiento energético, ya que la biomasa presenta una baja densidad, en ocasiones una alta humedad y se encuentra dispersa. También la adecuación de la biomasa se lleva a cabo en la línea de pretratamiento de la planta de combustión.

Los tratamientos mecánicos necesarios para adecuar la biomasa consisten en su astillado, triturado, molienda y secado. La necesidad de llevarlos a cabo depende de la naturaleza de la materia prima utilizada.

La granulometría de la biomasa tras su tratamiento en la línea de procesado debe ser lo más homogénea posible, por lo que se necesitan equipos de trituración y molienda que sean capaces de obtener un tamaño de partícula óptimo de cada tipo de materia prima para su combustión.

En general, los tamaños de partícula óptimos para obtener una combustión aceptable de la biomasa puede oscilar entre 1 y 2 mm. En cambio, si se pretende peletizar la biomasa, basta con tamaños de partícula de 4-5 mm.

La humedad de cada biomasa está controlada desde el momento en que se recibe en la planta de tratamiento, así que el contenido de humedad a la salida de la línea de tratamiento será pequeño, incluso puede reducirse en el propio proceso, dadas las temperaturas que se alcanzan en los sistemas de triturado y molienda.

#### PROCESOS TERMO-QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y EXTRACTIVOS

En general, los sistemas comerciales existentes en el mercado para utilizar la biomasa residual seca se pueden clasificar 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. Para ambos tipos de recursos, existen tecnologías que posibilitan la obtención de biocarburantes.

#### Combustión directa

Es la tecnología más utilizada para la revalorización energética de los residuos secos biomásicos, tanto en el sector industrial como en el residencial.

En cuanto al proceso de combustión propiamente dicho, consta de una serie de etapas: secado, gasificación y pirólisis del material, combustión de los volátiles y combustión del carbono fijo.

Para conseguir una combustión energéticamente óptima y de bajo impacto medioambiental será necesario mantener un control sobre los parámetros del proceso: exceso de aire, CO emitido, inquemados y temperatura de emisión de humos.

Los hogares de las calderas industriales más utilizadas, para la combustión de biomasa seca disponen de una parrilla (fija, viajera o móvil) o de un crisol. También se utilizan quemadores de biomasa pulverizada, que permiten una combustión muy cercana a la de un combustible gaseoso o líquido; o las modernas calderas de lecho fluidizado, en

las que se alcanzan altos rendimientos, pero que tienen un coste superior y son para grandes potencias.

Las emisiones de gases de las calderas de biomasa suelen cumplir las normativas medioambientales sobre contenidos en SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, aunque pueden presentar problemas en cuanto a emisión de partículas (inquemados) si no se tratan correctamente los humos.

Una aplicación particular de la tecnología de combustión se lleva a cabo en las redes de calefacción centralizada a partir de biomasa, denominado comúnmente district heating o calefacción municipal.

El **district heating**, o red de calefacción centralizada o calefacción/redes de distrito, es una solución centralizada de calefacción que permite suministrar calefacción y ACS a distintos edificios a partir de una planta central y así cubrir grupos de edificios, urbanizaciones o incluso poblaciones enteras suministrándoles ACS y calefacción a través de una red de tuberías subterráneas.

Un district heating consta de tres elementos: la central térmica, la red de distribución y los sistemas de interconexión de la red de calefacción con los elementos de consumo del usuario. El sistema se completa con los elementos necesarios de control para asegurar las condiciones de suministro, los niveles de emisiones y la medida de los consumos de los usuarios.

Los tipos de biomasa a utilizar son variados: residuos de madera, residuos agrícolas, cultivos agroenergéticos, residuos urbanos, etc. En Europa son muchos los casos en los que se han reutilizado los antiguos district heating de combustibles fósiles, sustituyendo estos combustibles por biomásicos.

Mientras que los district heating son muy populares por su eficiencia y ahorro energético en varios países europeos, en España se encuentra en una fase inicial en cuanto a estas avanzadas soluciones de generación y distribución de calor.

Un ejemplo de district heating en España es la Central de Biomasa de Cuéllar (Segovia), tratándose éste de un proyecto innovador en España, pues aunque ya existen otras calderas de combustión de madera, en ningún caso son de carácter institucional ni abastecen a un gran número de ciudadanos, ya que se limitan a producir energía eléctrica o calorífica para vender a empresas del ramo o para fines privados en empresas. En países como Holanda, Austria, Suecia o Estados Unidos, ya está bastante desarrollado, con importantes beneficios económicos y ecológicos.

#### Gasificación

En el proceso de gasificación se produce la descomposición térmica de la biomasa y una oxidación parcial de la materia orgánica mediante la acción de un gas, que reacciona principalmente con el residuo carbonoso procedente de la descomposición térmica. Durante el proceso aparece una gran variedad de reacciones, que dependen de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado.

Dependiendo del medio gasificante se pueden distinguir distintos procesos de gasificación, que ofrecen diferentes distribuciones de productos con distintas aplicaciones.

Así, se pueden distinguir los siguientes tipos de gasificación:

- **Gasificación con aire.** Se obtiene un gas combustible de bajo contenido energético (menos de 6 MJ/Nm<sup>3</sup>). Este gas puede emplearse como combustible en quemadores de calderas, turbinas de gas o en motores de combustión interna.
- **Gasificación con oxígeno.** Se produce un gas de medio contenido energético (10-20 MJ/Nm<sup>3</sup>). Tiene las mismas aplicaciones que el gas de bajo contenido energético, siendo de mayor calidad, al no estar diluido con nitrógeno. Asimismo, este proceso se puede utilizar para obtener gas de síntesis para la obtención de metanol.
- **Gasificación con vapor de agua.** Se produce un gas que, al estar enriquecido en H<sub>2</sub> y CO se puede utilizar como gas de síntesis para la obtención de metanol, amoníaco y gasolina, entre otros compuestos.
- **Gasificación con H<sub>2</sub>.** Se produce un gas de alto contenido energético (más de 30 MJ/Nm<sup>3</sup>) que por tener un alto porcentaje en metano y olefinas, puede utilizarse como sustituto del gas natural.

#### Pirólisis o termólisis

El proceso de pirólisis consiste en la degradación térmica de la biomasa a altas temperaturas en ausencia de un agente oxidante, produciéndose la descomposición térmica de las materias celulósicas, y generándose una serie de compuestos sólidos, líquidos y gaseosos, que varían según la temperatura y el tiempo de calentamiento, entre otras condiciones de operación.

El compuesto sólido formado es carbón vegetal, los líquidos están constituidos por compuestos orgánicos que constituyen el aceite de pirólisis y los gases son vapor de agua, CO<sub>2</sub> y CO. Además, se forma un residuo semisólido, constituido por alquitranes.

La descomposición térmica se produce a través de una compleja serie de reacciones químicas, además de procesos de transferencia de masa y calor, lo que hace difícil predecir el transcurso del proceso de pirólisis, puesto que en él influyen un número elevado de variables. Para poseer un mayor conocimiento de la pirólisis se puede recurrir a un estudio cuantitativo como es el análisis termogravimétrico.

#### Co-combustión

Por último, también mencionar la tecnología de co-combustión como proceso termoquímico de aprovechamiento de la biomasa aplicable a todos los tipos de calderas que utilizan combustibles fósiles sólidos.

La co-combustión consiste en sustitución en una planta de carbón ya existente, una parte del combustible fósil habitual, entre el 2 y el 20% en energía, por biomasa.

Se han llevado a cabo hasta el momento demostraciones de viabilidad técnica y medioambiental de esta tecnología en diferentes países, probándose en todo tipo de calderas (combustible pulverizado -tangenciales, frontales, ciclónicas- lecho fluido y parrilla) y con los más diversos tipos de biomasa (residuos forestales, serrín, cultivos energéticos, residuos de empresas madereras, residuos de demolición, lodos de depuradora, orujillo, etc.).

Europa y EEUU son hasta el momento los países que más han apostado por aplicar esta tecnología en sus centrales térmicas, aunque también los países asiáticos comienzan

a interesarse, como puede observarse en la Figura XVIII, que muestra las experiencias realizadas en co-combustión en el mundo.

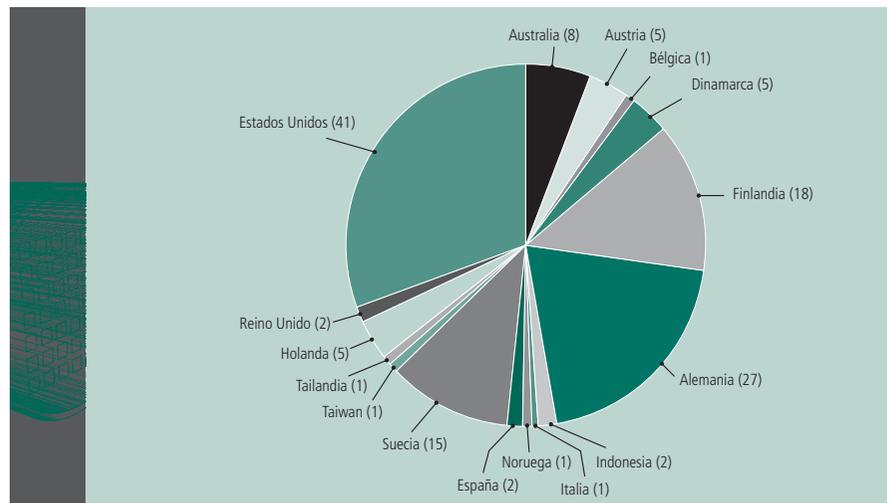


Figura XVIII

A continuación se describen brevemente las diversas alternativas de co-combustión que podrían implementarse en una central térmica que opera con carbón, y que difieren unas de otras fundamentalmente en el tipo de aprovechamiento que se hace del combustible a través de un proceso termoquímico diferente.

- **Co-combustión directa.** Es la más común, por ser la menos costosa, ya que habitualmente su elección implica ligeras o nulas modificaciones en los sistemas y equipos existentes. Ambos combustibles, carbón y biomasa, se queman conjuntamente en la misma caldera, habiendo sido triturados previamente hasta alcanzar la granulometría adecuada.
- **Co-combustión indirecta.** La co-combustión indirecta consiste principalmente en la combustión separada del carbón y de la biomasa en equipos independientes. En este caso, la biomasa se transforma en una etapa previa e independiente al carbón, en un equipo de combustión o de gasificación externo, tratándose de integrar o aprovechar los productos generados a partir de la combustión de la biomasa en la caldera de carbón de la planta existente.
- **Sistemas de pirólisis.** La pirólisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante a altas tempe-

raturas. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión.

- **Sistemas híbridos.** Esta técnica se emplea para mejorar las características del vapor generado, donde la finalidad principal (además de sustituir parcialmente al carbón) es la de producir una mayor cantidad de energía sin incrementar las emisiones contables de CO<sub>2</sub>. Se plantean dos sistemas de aprovechamiento de carbón y biomasa a través de instalaciones híbridas: plantas en líneas independientes y gasificación-combustión.

#### Digestión anaerobia

Es un proceso bioquímico producido por bacterias específicas, que transcurre por una serie de etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis obteniéndose como producto final el biogás. Este producto consiste en una mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica por acción bacteriana en condiciones anaerobias formado por CH<sub>4</sub> (40-70% ) y CO<sub>2</sub> (30-60%).

En los últimos años esta tecnología está teniendo una fuerte implantación en azucareras, alcohólicas, fábricas de levaduras, etc. Además, se ha observado una tendencia clara a su implantación en las industrias papeleras, textiles, lácteas, conserveras y también en vertederos.

Existe un gran desarrollo de esta tecnología en el aprovechamiento energético de los residuos ganaderos, y en la fracción orgánica de los residuos urbanos, ya que presentan una grave problemática en su tratamiento. Esto también contribuye a reducir el efecto invernadero, ya que el biogás que se genera por la descomposición de la materia orgánica, que iría a la atmósfera si no se utilizase como combustible, es otro de los gases efecto invernadero con mayor capacidad en el efecto que el CO<sub>2</sub>.

#### Fermentación alcohólica

El proceso consiste en la fermentación de materias primas azucaradas de origen agrícola o vegetal, obteniéndose como producto bioetanol. Las principales materias primas son la caña de azúcar, remolacha, cereales y patata, utilizándose en los últimos años otro tipo de cultivos como la papa, el sorgo, la yuca, excedentes de alcohol vínico y biomasa lignocelulósica.

El bioetanol que se obtiene en el proceso sirve como carburante de motores de combustión o como aditivo en gasolinas si se transforma en ETB.

#### Extracción físico-química

Hay plantas que acumulan aceites y/o grasas en sus semillas y que por extracción a presión o con disolventes, se pueden recuperar para su posterior transformación en biodiesel, que será el sustituto del diesel en los motores de explosión.

El proceso comprende la transesterificación del aceite o grasa con alcoholes ligeros, utilizándose un catalizador adecuado, para generar ésteres de ácidos grasos (biodiesel). El alcohol que generalmente se utiliza es metanol, aunque se pueden utilizar otros alcoholes ligeros, como etanol, propanol o butanol. Como coproducto se obtiene glicerina,

que se puede utilizar en otros procesos de interés industrial, suponiendo un factor positivo desde el punto de vista económico.

Para la obtención del biodiesel, se utiliza colza, girasol, soja, coco, cacahuete, cardo, orujo, así como otros cultivos energéticos como *Jatropha sp.*, *Higuereta sp.*, *Palma Africana*, etc.

#### TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA

El calor generado en el proceso de combustión puede ser aprovechado para la producción de energía eléctrica a través de un ciclo Rankine o para el aprovechamiento directo de energía térmica en calefacción, ACS, secaderos, etc.

En cualquier caso, el sistema principal de procesamiento de la energía térmica es una caldera, consistente en un hogar adaptado al tipo de biomasa y un intercambiador para transferir la energía térmica de los gases de combustión al fluido caloportador que lo transporta hasta el foco de consumo.

Las principales variables que afectan al proceso tecnológico de combustión son:

- Proporción de aire de combustión, dependiendo de la tecnología se suele introducir un exceso de aire del 20 al 40%.
- Temperatura de combustión, que oscila entre 600 y 1.300 °C.
- Características del combustible, físicas, químicas y térmicas, que influirán en los parámetros de la combustión.

Hay que tener en cuenta que la biomasa lignocelulósica posee un alto contenido en volátiles, lo que requiere de una importante proporción de aire secundario en el proceso de combustión que asegure la combustión completa y la reducción de emisiones gaseosas contaminantes a la atmósfera.

Las etapas en las que se puede dividir el proceso de combustión son las siguientes:

- Secado de la biomasa y eliminación del agua en forma de vapor.
- Liberación de los compuestos volátiles contenidos en la biomasa a partir de los 200-250 °C y formación de otros por el aire primario y la brasa del combustible.
- Combustión de los compuestos volátiles originados, a partir de 300-500 °C, mediante el aire secundario en la parte superior del lecho de combustible.
- Combustión del sólido carbonoso de la biomasa (brasa o char), que arde lentamente y sin llama (combustión con brillo). Al final sólo quedarán cenizas, que son elementos minerales, principalmente en estado de óxidos.

En cuanto a los equipos fundamentales, que forman parte de una planta de combustión de biomasa, cabe destacar los mostrados en la figura XIX.

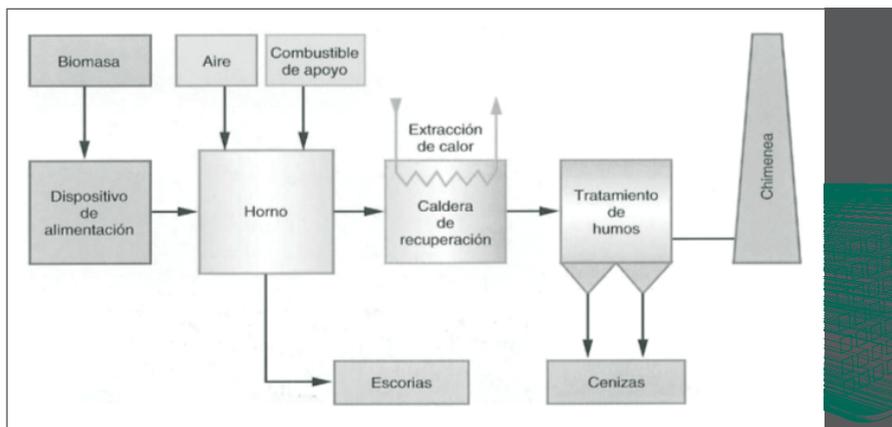


Figura XIX

En el almacenamiento del combustible se debe buscar una solución de compromiso entre la autonomía del sistema y los costes de inmovilizado que los stocks significan. Hay que tener en cuenta que muchas de las biomazas se pueden recoger únicamente durante un período corto de tiempo (recolección o limpieza).

Para el transporte y dosificación del combustible hasta el hogar de combustión, se pueden emplear sistemas neumáticos o mecánicos (cintas transportadoras o tornillos sin fin).

El hogar de combustión o quemadores está diseñado dependiendo de las características físicas y químicas del combustible empleado.

La caldera es el lugar donde se produce el intercambio de calor entre los gases de combustión generados en el proceso de oxidación del combustible y el fluido que se desea calentar o transformar en vapor. En función del sistema de calentamiento del fluido caloportador, las calderas pueden ser:

- Acuotubulares: el agua circula por el interior de los tubos.
- Piro-tubulares: los gases calientes fluyen por el interior de los tubos.

El bajo contenido en azufre de la biomasa hace que la temperatura de rocío de los humos sea baja, lo que permite aprovechar mejor el calor sensible de los humos y rebajar la temperatura de su emisión a valores de 125-150 °C, sin que se produzcan condensaciones ácidas que provocarían la corrosión de los equipos. Este calor residual puede ser utilizado en los recuperadores auxiliares de calor para precalentar el agua de alimentación de la caldera (economizadores) o para precalentar el aire de combustión (precalentadores).

La depuración de los humos debe realizarse de tal modo que se ajuste a la legislación vigente de emisiones gaseosas sobre contaminación atmosférica, con captadores centrífugos, ciclones o multiciclones.

La extracción de las cenizas producidas en la combustión se realiza tanto de la cámara de combustión como del ciclón, la caldera y el resto de los equipos auxiliares.

Los equipos que existen en el mercado garantizan rendimientos de combustión elevados, que pueden alcanzar hasta el 95%, si se acoplan equipos de recuperación de calor (precalentadores y economizadores), consiguiendo una combustión energéticamente óptima y de bajo impacto que cumple con las condiciones máximas de emisión de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas (tratando correctamente los humos instalando sistemas adecuados para ello).

#### TIPOS DE CALDERAS

Las calderas empleadas para calefacción y ACS se pueden clasificar en función del tipo de quemador y del combustible utilizado. Los tipos de quemadores más habituales en las calderas de biomasa son los siguientes:

- QUEMADOR DE TORNILLO SINFIN O CRISOL. Es el más utilizado para instalaciones de pequeña capacidad (máximo de unas 60106 kcal/h), y combustibles con una humedad máxima de hasta el 30%. El combustible contenido en una pequeña tolva, es introducido hasta el crisol de quemado mediante un tornillo sin fin de paso y velocidad variables, por el interior de un tubo guía. Junto al crisol se dispone de un juego de piezas de fundición, con diversos resaltes a través de los cuales pasa el aire primario de combustión. Como continuación a dichas piezas se coloca un emparrillado plano, con piezas de fundición taladradas, a través de las cuales pasa el aire secundario de combustión. La figura XX muestra un esquema de este equipo.

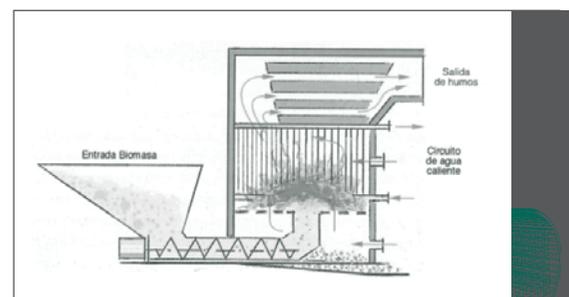


Figura XX

La principal limitación técnica de este quemador nace del hecho de que la combustión se efectúa en una zona muy restringida, lo que implica elevadas temperaturas de llama, y consecuentemente, la formación de escorias. Para evitar esto, es imperativo operar con elevados excesos de aire de combustión, de un 80 a un 150%, lo que afecta en detrimento del rendimiento de la instalación. La mayoría de los fabricantes, por este motivo, limitan sus equipos a 30106 kcal/h. El sistema

funciona aceptablemente para combustibles con escaso contenido en cenizas (valores inferiores a 1,5%).

Debido a sus características de funcionamiento, este tipo de quemador es el que generalmente se emplea para el uso de pelets de biomasa como combustible. La figura XXI muestra un esquema de un quemador de pelets.

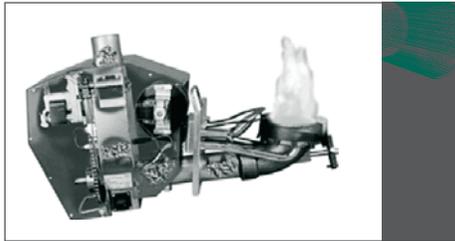


Figura XXI

- QUEMADOR DE PARRILLA.** Las parrillas están formadas por piezas de fundición de formas diversas, a través de las cuales circula el aire de combustión. La manera más habitual de quemar el combustible biomásico es en lecho delgado. El combustible se lanza sobre la parrilla de forma que, en mayor o menor grado, las partículas entran en combustión antes de llegar a la parrilla, fundamentalmente los finos y los volátiles que se desprenden del combustible, terminando de quemarse la fracción de mayor tamaño en la propia parrilla. Para residuos de muy baja humedad (10-15%), y con tamaños de partícula pequeños, la combustión se realiza en su totalidad en suspensión en el aire, necesitándose parrillas de poca superficie. La combustión en lecho grueso se realiza cuando el combustible tiene alta humedad, mediante parrillas móviles o de avance (parrilla viajera) si el tamaño de la partícula es pequeño, o bien en parrillas fijas (horizontales o inclinadas) para combustibles con partículas de gran tamaño. Las figuras XXII, XXIII y XXIV muestran esquemas de quemadores de parrillas fijas y móviles (horizontal e inclinada).

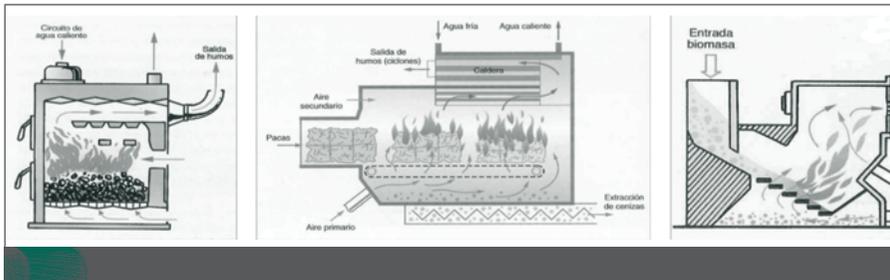


Figura XXII, XXIII y XXIV

Respecto al sistema de aplicación del aire de combustión existen dos prácticas frecuentes:

- Impulso del aire de combustión primario y secundario hasta la cámara de combustión, por mediación de un ventilador.** A partir de este punto es el extractor de humos el encargado de arrastrar el flujo de gases.
- Colocación de un único ventilador que aspire el aire de la atmósfera a través de la parrilla y el combustible.** Esto provoca grandes excesos de aire, con disminuciones apreciables de rendimiento.

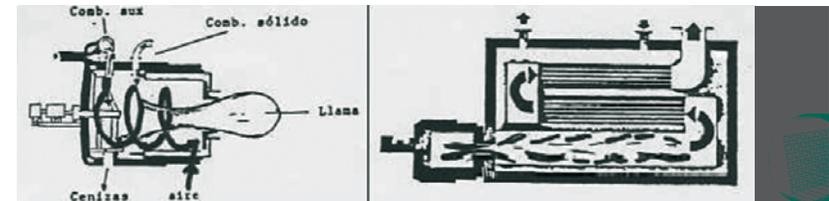


Figura XXV

- QUEMADOR CICLÓNICO O CÁMARA TORSIONAL.** Se trata de un dispositivo diseñado para la combustión de sólidos pulverizados. El combustible se introduce a presión, de forma neumática, adoptando un movimiento helicoidal dentro de la cámara, al mezclarse con el aire de combustión. La cámara de combustión es calentada previamente utilizando un combustible de apoyo, que se utiliza sólo en los períodos de arranque o de baja temperatura. El efecto es como una llama que surge del quemador y se utiliza en el proceso de generación de calor (caldera, horno, secadero, etc.). Por su alto coste y la necesidad de un combustible adicional, sólo son recomendables en instalaciones de gran potencia, generalmente desde 20106 hasta los 120106 kcal/h. La figura XXV muestra un esquema del quemador ciclónico y su funcionamiento.
- LECHO FLUIDO.** Este sistema consiste en el desarrollo de la combustión en el seno de una masa en suspensión de partículas de combustible y cenizas. En ocasiones se emplea un inerte granular (arena y/o caliza) que también son fluidizados por la corriente de aire de combustión primario, que se inyecta por una serie de toberas situadas en la parte inferior para producir el movimiento de toda la mezcla. Por la parte superior (freeboard) se inyecta el aire secundario para poder quemar todos los gases de combustión (volátiles) que se han generado en el lecho antes de salir por chimenea.
- QUEMADOR DE DOBLE CUERPO.** Consiste en un hogar con dos cuerpos y con dos etapas de combustión. En el primer cuerpo se alcanzan temperaturas no superiores a los 800 °C, que permite pirolizar al combustible sin generar escoria, siendo quemados estos gases en el segundo cuerpo a altas temperaturas. Estos quemadores posibilitan el uso de cualquier tipo de biomasa (herbácea y/o leñosa), ya que no se

formarán escorias con ninguna de ellas, debido a las bajas temperaturas alcanzadas.

La figura XXVI muestra un quemador de lecho fluidizado.

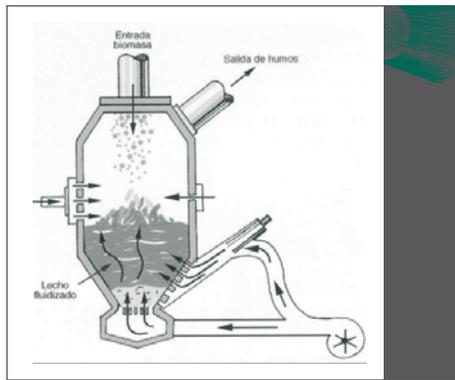


Figura XXVI

La figura XXVII muestra el esquema de un quemador de doble cuerpo.

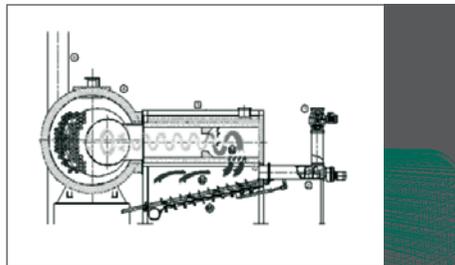


Figura XXVII

#### TIPOS DE COMBUSTIBLE PARA CALDERAS DE BIOMASA

El combustible biomásico que se utilizan en las calderas es muy variado en cuanto al tamaño y procesado necesario para su obtención. Una caldera de biomasa puede ser alimentada con biomasas de diferente naturaleza y estado, como leñas, recortes de madera, briquetas, astillas, pelets, aserrín, etc.

Las leñas proceden habitualmente de ramas delgadas no maderables generadas fundamentalmente en las limpiezas forestales y podas de árboles. Su consumo está reducido a un entorno doméstico, lo que permite un nivel reducido de automatización de las cal-

deras. El procesado necesario para su uso como combustible pasa por una reducción de longitud de la rama en función del tamaño necesario para alimentar la caldera.

La industria de transformación de la madera es la principal productora y consumidora de los recortes de madera y el aserrín que se emplean como combustible en calderas de biomasa.

En cuanto a las astillas, para su obtención se requiere una trituración de la madera, que bien puede proceder de limpiezas forestales, podas en jardines o de recortes generados por las industrias de transformación de la madera. Su uso está extendido tanto a nivel industrial como doméstico para la obtención de calefacción y ACS.

Las briquetas y pelets, son productos procesados y obtenidos a partir de la compactación de biomasa triturada. La diferencia entre ambos radica en el tamaño que presentan; las briquetas suelen tener un diámetro de 5-10 cm y 20-30 cm de largo, mientras que los pelets tienen un diámetro de 6-8 mm y una longitud de 20-30 mm. En ambos casos se utilizan mayoritariamente en el entorno doméstico permitiendo los pelets un mayor grado de automatización en las calderas, ya que permite una manipulación sencilla, al poder manejarse como si fuera un fluido.



## 5. LA GESTIÓN Y EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA.

### CAPÍTULO 5. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE LA MADERA

El aprovechamiento de los recursos forestales consiste en la realización de una serie de técnicas, que permiten el suministro de la materia prima procedente del monte a las industrias transformadoras de la madera.

Hay que tener en cuenta que este aprovechamiento no puede hacerse de una manera irresponsable, y que hay que salvaguardar el principio de persistencia del bosque para así evitar la deforestación que lleva implícita una futura desertización de los montes. Todas estas acciones que se pueden llevar a cabo en el bosque tendrán como principio fundamental el aprovechamiento sostenible de los bosques.

El proceso que se seguirá en la industria de la transformación de la madera empezará con las operaciones de aprovechamiento forestal en el monte. Mediante los distintos procesos de claras, claros, podas y aperturas de vías y cortafuegos, se obtendrá la biomasa que abastecerá a la industria de la primera transformación de la madera.

La industria de primera transformación de la madera estaría formada por la industria del aserrado y la del tablero, a partir de la cual se enlazaría con la industria de segunda transformación, es decir, la industria de la fabricación de muebles, construcción e industria papelera.

La figura XXVIII muestra el esquema de trabajo en los aprovechamientos de la biomasa forestal.

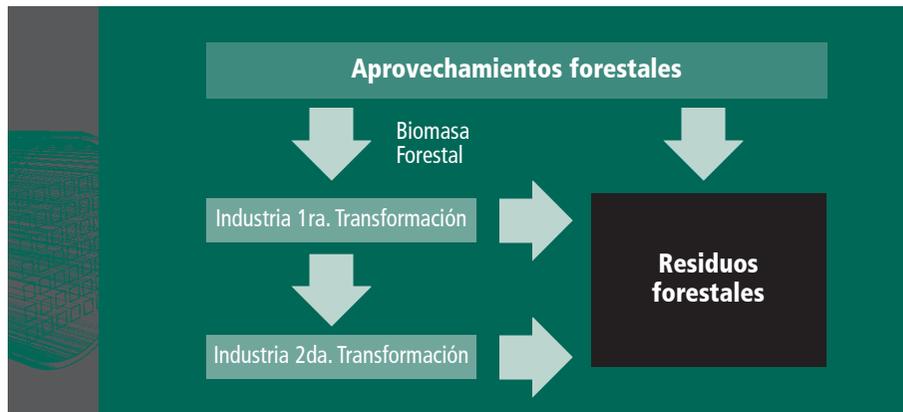


Figura XXVIII

A lo largo de todo este proceso de transformación de la madera van apareciendo distintos residuos de origen forestal:

- Cortezas.
- Desechos de chapa.
- Desechos de aserradero.
- Polvo de lijado.
- Aserrín y virutas.
- Recortes y astillas.

Todos estos residuos pueden suponer una oportunidad de negocio que no hay que desechar para las distintas empresas involucradas en la industria de la madera, ya que permite obtener una revalorización del residuo, lo que suponen unos ingresos adicionales para la empresa.

Hay procesos en los que este tipo de residuos es fundamental, constituyendo la materia prima de sus procesos productivos, y por eso hay empresas interesadas en la compra de los mismos. Algunos de los usos que se le puede dar a los residuos sólidos de la madera son los siguientes:

- **FABRICACIÓN DE PASTA DE MADERA Y PAPEL.** Estas industrias utilizan en su proceso productivo aserrín y astillas de la madera para elaborar sus productos que posteriormente serán usados en manualidades y tareas de bricolaje.
- **TABLEROS MANUFACTURADOS.** Al igual que la industria de pasta de madera y papel, para la elaboración de los tableros manufacturados es necesario el empleo de serrín y astillas para la fabricación de tableros de partículas, escamas, hebras, obleas o fibras, entre otros.
- **ELEMENTOS DE PAISAJISMO.** Con los restos de las cortezas de los árboles se forma una capa en la superficie de los jardines, denominada parterre, para impedir el desarrollo de hierbas indeseables.
- **FERTILIZANTE.** Dado su contenido en materia orgánica y su estructura, los residuos de la madera mantienen la fertilidad del suelo y ayudan a controlar la erosión, sedimentación e inundaciones. Debido al poco contenido en nutrientes que posee el aserrín se recomienda compostarlo, mientras que la corteza, al poseer una cantidad mayor de elementos nutritivos, puede utilizarse sin compostar.
- **COMBUSTIBLE.** Los residuos forestales generados pueden ser revalorizados con un fin energético, ya que es una fuente de energía que puede ser usada dentro de las propias industrias de transformación para, no sólo calefactar sus instalaciones, sino para la obtención del calor necesario en determinadas fases de su proceso productivo (producción de vapor o agua caliente). Las distintas posibilidades de utilización de los combustibles producidos a través de los residuos forestales (quemador ciclónico, combustión en crisol, district heating,...) ya han sido descritas detalladamente con anterioridad.

También cabe la posibilidad de vender la biomasa como fuente de energía, ya sea en forma de biomasa sin pretratamiento o con distintos tipos de tratamientos mecánicos, como pueden ser el astillado, triturado o densificado (en forma de pelets o briquetas).

Por último, hay que tener en cuenta que no todos los subproductos o residuos son aprovechables sino que también se pueden producir emisiones aéreas, efluentes líquidos

y residuos sólidos que no son valorizables y que en algunos casos pueden suponer un impacto para el Medio Ambiente como se verá en el siguiente capítulo del Cuaderno Tecnológico.

## CAPÍTULO 6. IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD MADERERA.

### INTRODUCCIÓN

La consideración del impacto medioambiental derivado del sector de la madera es de vital importancia en aspectos como la emisión de gases y partículas (vapores de compuestos orgánicos, humos de calderas, polvo de aserrín,...), la generación de aguas residuales, la producción de residuos sólidos, así como la generación de ruidos por el empleo de maquinaria en las distintas operaciones.

A continuación se exponen los distintos factores que intervienen en esta actividad y que provocan un impacto ambiental que debe ser considerado y minimizado.

### CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS

Las materias primas empleadas en los procesos productivos del sector de la transformación de la madera se pueden clasificar en función de las características de las mismas:

- Madera y/o derivados.
- Colas y adhesivos.
- Barnices, pinturas, tintes y colorantes naturales.
- Disolventes y diluyentes.
- Productos químicos orgánicos e inorgánicos empleados como colorantes.
- Material de embalaje.

Para evitar el impacto ambiental que produce por el consumo de estas materias primas existen una serie de medidas a tener en cuenta, que deberán llevarse a cabo con el objetivo de minimizar tal impacto:

- Gestión los desechos, como el aserrín, restos de madera, tableros, etc, a través de "bolsas de subproductos". Hay empresas que reutilizan estos subproductos como materias primas.
- Empleo de materiales realizados a partir de productos reciclados, como tableros y planchas fabricados a partir de conglomerados de madera.
- Tener en cuenta el Medio Ambiente durante el aprovisionamiento, seleccionando materiales, productos y suministradores con certificación ambiental.
- Compra de elementos que tengan pocos envoltorios con envases de un tamaño adecuado.
- Cumplimiento de los requisitos de almacenamiento de cada tipo de madera para poder conservar al máximo su calidad y evitar así su deterioro al exponerse a las inclemencias meteorológicas.

Un impacto ambiental que hay que considerar en el consumo de madera de una manera indiscriminada puede traer consigo la DEFORESTACIÓN. Hay que tener en cuenta que una hectárea de bosque puede neutralizar unas 10 t de CO<sub>2</sub> al año y que para neutralizar el CO<sub>2</sub> que emiten los países industrializados habría que crear un bosque de tres millones de km<sup>2</sup> (superficie equivalente a las dos terceras partes de Argentina). Además, el fenómeno de la deforestación implica otro, igualmente grave, como es el de la DESERTIZACIÓN.

Todos estos problemas tendrían solución si se hiciese un aprovechamiento sostenible de los bosques, a través de:

- Un nivel de cortas no por encima del crecimiento medio del bosque.
- La realización de actuaciones selvícolas (podas, clareos, claras,...) que mejoren la calidad del bosque.
- La realización de repoblaciones con especies autóctonas que ayuden a recuperar la diversidad y riqueza de las zonas ya aprovechadas o que hayan sufrido incendios o daños.

### CONSUMO ENERGÉTICO

El consumo energético es un aspecto generalmente no muy significativo, ya que el proceso productivo no exige grandes consumos de energía, salvo en ciertas etapas puntuales del proceso.

Una práctica habitual en la actividad maderera es la utilización de la madera residual y de las mermas del proceso para alimentar la caldera y así producir la energía térmica para satisfacer las necesidades energéticas. Este aprovechamiento debe hacerse con cierto control, dado que la quema de residuos peligrosos y la falta de equipamientos de depuración de gases provoca un fuerte impacto ambiental, como se indicará posteriormente.

Para disminuir, e incluso en algunos casos evitar, los impactos ambientales derivados del consumo energético se pueden llevar a cabo las siguientes acciones:

- Aprovechamiento energético de los residuos lignocelulósicos usando la metodología y los medios adecuados a cada caso.
- Realización de campañas de información, formación y concienciación entre los empleados de las empresas para el ahorro energético.
- Uso de equipos de bajo consumo.
- Fomento de costumbres para el ahorro energético, promoviendo la desconexión de las máquinas que no se usen para evitar el despilfarro energético.
- Revisión rutinaria de los equipos y maquinaria de forma que el consumo energético sea el óptimo.

### CONSUMO DE AGUA

El consumo de agua en el sector de la madera es un aspecto de menor importancia, ya que el agua se utiliza en pocas operaciones del proceso y algunas industrias de la madera utilizan el agua exclusivamente para el aseo personal de los trabajadores.

Las operaciones del proceso de extracción y transformado de la madera que más consumo de agua tienen son las cortinas de agua de las cabinas húmedas en la sección de acabado (tintado, barnizado y/o pintado) y la limpieza de los equipos, principalmente encoladoras de aplicación de adhesivos termoendurecibles.

Como en los casos anteriores, además de la realización campañas de información y formación entre los empleados, se pueden aplicar las siguientes medidas para disminuir el impacto producido por el consumo de agua:

- Control diario del consumo de agua en las distintas zonas del proceso mediante la instalación de contadores secundarios.
- Realización de inspecciones en las instalaciones de fontanería para detectar fugas y goteras.
- Instalación en los baños de dispositivos limitadores de presión y difusores, ya que permiten una limpieza correcta con un menor consumo de agua.
- Instalación de grifos con temporizador, de forma que no exista la posibilidad de que se queden abiertos.

#### EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Como ya se ha mencionado, el aspecto medioambiental referido a las emisiones atmosféricas producidas en el sector del mueble es muy significativo. Las emisiones están muy relacionadas no sólo con los tipos de productos químicos que se aplican, sino también con el método de aplicación. Los tratamientos de las maderas para exteriores también requieren una serie de productos químicos de tratamiento que si no se gestionan de forma adecuada pueden crear impacto en el Medio Ambiente.

Los diferentes tipos de emisiones que se pueden encontrar son:

- Emisiones de humos de la caldera.
- Emisiones de aldehídos de la cola de urea-formol.
- Emisiones de disolventes orgánicos.
- Emisiones de partículas al ambiente procedentes de sistemas de captación (silos).

Para evitar estas emisiones habrá que mantener bien cerrados los recipientes de productos como colas, disolventes o barnices para que mantengan sus propiedades y evitar las emisiones difusas de compuestos orgánicos volátiles. También será importante controlar las emisiones derivadas de los sistemas de aerografía y tampografía, puesto que son muy peligrosos para la salud.

En las calderas de biomasa no se deberán emplear combustibles para los que no está diseñado el equipo. Será necesario consumir residuos como la madera, aserrín o virutas, para poder así controlar la emisión de contaminantes atmosféricos y la posible recuperación de energía.

#### CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

El ruido es un aspecto medioambiental que puede llegar a ser significativo en el sector de la madera. Sin embargo, los focos de contaminación acústica pueden prevenirse

fácilmente con una mejora tecnológica. Estos focos se encuentran localizados en las máquinas de corte y mecanizado de la madera, en los motores y sistemas de aspiración del material pulverizado y en los compresores.

Las soluciones para evitar la mencionada contaminación acústica pasa por una mejora tecnológica, así como, por el aislamiento de la maquinaria y de los equipos que actúan por impacto, para lo cual se pueden usar pantallas, cabinas, anclajes, etc.

En el caso del personal habría que protegerles con equipos de protección individual (EPIs) adecuados.

#### GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

El vertido de aguas residuales industriales en el sector de la madera posee una importancia media-baja, ya que el caudal generado es muy bajo con respecto a otros sectores industriales.

Los principales procesos de generación de aguas residuales son en el encolado de piezas y en la sección de acabado (cabinas de aplicación). Los dos procesos son muy conocidos, si bien la variabilidad de las condiciones de cada empresa es enorme (productos de aplicación, tipos de cabina, periodicidad de cambio de las aguas de cabina, limpieza de la encoladora,...).

Las dos principales medidas para paliar este problema son:

- El tratamiento del residuo líquido mediante integración energética en el proceso de fabricación.
- El aprovechamiento del calor residual generado en los circuitos de calefacción de aceite térmico, para la mejora del proceso de evaporación del agua procedente del lavado de la maquinaria de encolado.

#### GENERACIÓN DE RESIDUOS

La generación de residuos, tanto peligrosos como no peligrosos, es el aspecto medioambiental más importante en este sector. La mayor parte de estos residuos provienen, principalmente, de los productos químicos utilizados en las etapas de lijado y pulimento, así como las colas utilizadas en el mecanizado, y de todos los materiales que han sido tratados con estas materias peligrosas y se han convertido en residuo. Estos residuos pueden identificarse como urbanos, tanto peligrosos como no peligrosos.

Para evitar esta generación de residuos hay que realizar las siguientes actuaciones:

- Gestionar a través de agentes autorizados los restos de envases de pinturas, barnices, colas, disolventes, etc. puesto que estos también son considerados como residuos peligrosos.
- Entregar los residuos calificados como urbanos a gestores autorizados.
- Reciclar embalajes para el transporte entre almacén y detallistas. Se generarán menos residuos y se ahorrará en materiales de empaquetado.
- Valorizar residuos como aserrín, restos de maderas, tableros, etc. a través de "bolsas de subproductos" (una posible revalorización sería su uso como fuente de energía).

- Evitar los derrames de barnices y disolventes por accidente o mala aplicación, ya que se trata de residuos peligrosos.
- Instalar un sistema de destilación para recupera disolventes agotados.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAIER, G., 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. **Informe Nacional 1. Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020 en Argentina. Publicación de la FAO.**
- CAMPS M, MARCOS F, 2002. Los Biocombustibles. **Colección Energías Renovables. Ediciones Mundi-prensa.**
- GARCÍA ESTEBAN, L.; et al. 2002. La madera y su tecnología. **Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundi Prensa y AITIM.**
- GUINDEO CASASÚS, A.; et al. 1997. Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario. **Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, AITIM, Madrid.**
- GUTIÉRREZ, J.L.; et al. 2000. La empresa forestal. Caracterización y peculiaridades. **Montes 61.**
- MARCOS F, 2001. Biocombustibles sólidos de origen forestal. **AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación.**
- ORTIZ L, 1998. Procesos de densificación de la biomasa forestal. **Ed. Gamesal, Universidad de Vigo.**
- PINEDA M, CABELLO P, 1998. Energía de la biomasa: Realidades y Perspectivas. **Servicio de Publicaciones Universidad de Córdoba.**
- TOLOSANA, E.; et al. 2000. El Aprovechamiento Maderero. **Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundi Prensa.**
- VIGNOTE PEÑA, S. 1986. Apuntes de tecnología general de productos forestales. **Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.**
- VIGNOTE PEÑA, S.; et al. 1996. Tecnología de la madera. **Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.**



**LA GESTIÓN Y EL  
APROVECHAMIENTO  
DE LOS RESIDUOS  
EN LA INDUSTRIA  
DE LA MADERA**



**INTI**

**50**  
ANIVERSARIO  
1957-2007

Instituto  
Nacional  
de Tecnología  
Industrial



Unión Europea