

# BIOMASA

EL RECORRIDO DE LA ENERGÍA





Dirección General de Industria,  
Energía y Minas  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA  
E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

**Comunidad de Madrid**

# contenido

La biomasa

Descripción de la tecnología

Aplicaciones de la energía de la biomasa  
y los RSU

Situación de la energía de la biomasa  
y los RSU en la Comunidad de Madrid

Aspectos ambientales, económicos y legales

Proyectos de biomasa y RSU  
en la Comunidad de Madrid

EDICIÓN PARA LA COMUNIDAD DE MADRID

DIRECCIÓN: Carlos López Jimeno Director General de Industria, Energía y Minas  
de la Comunidad de Madrid

EQUIPO DE TRABAJO: Jorge Iñesta Burgos  
Pedro Antonio García Fernández

© Comunidad de Madrid  
Consejería de Economía e Innovación Tecnológica  
Dirección General de Industria, Energía y Minas

Esta edición ha contado con el soporte de los programas europeos ALTENER y  
SAVE, de la Dirección General de Energía (DG XVII), de la Comisión Europea y  
la colaboración del Centre International des Energies Nouvelles CIEN, y está  
basada en la obra elaborada por el Instituto Catalán de Energía del  
Departamento de Industria, Comercio y Turismo de la Generalitat de Cataluña,  
que fue redactada por las siguientes personas:

DIRECCIÓN: Albert Mitjà, Director del ICAEN  
EQUIPO DE TRABAJO: Joan Josep Escobar Yolanda Larruy  
Nuria Reol Lluís Vilalta  
Cristina Castells Jaume Margarit  
Xavier Martí

PRIMERA EDICIÓN: 2002

TIRADA: 1.700

EDITOR: E.i.S.E. Domènech, S.A.

DISEÑO: Vicenç Cegarra

MAQUETACIÓN: Tumar Autoedición, S.L.

IMPRESIÓN: Tallers Gràfics Soler, S.A.

DEPÓSITO LEGAL: B-41675-2002

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, la biomasa y la energía solar han sido las únicas fuentes de energía térmica utilizadas por el hombre.

A lo largo del tiempo, y hasta la llegada del carbón, en la Revolución Industrial, la biomasa ha servido para resolver las necesidades de calor e iluminación, tanto en la vida cotidiana, como en las diversas aplicaciones industriales existentes.

Actualmente, la biomasa continúa teniendo un papel muy importante como fuente de energía renovable y no contaminante, especialmente en un mundo tan preocupado por los graves problemas medioambientales.

Por un lado, el hombre utiliza los llamados residuos forestales o agrícolas, que son aquellos recursos que se generan directamente en el campo o en la montaña de manera dispersa, para aprovechar la energía.

Por otro lado, ya en nuestro siglo, el hombre también ha aprendido a recuperar la energía de las basuras domésticas, denominadas RSU (residuos sólidos urbanos), los cuales constituyen un caso singular de la biomasa. Los desechos tienen un alto contenido en materia orgánica, y otros componentes, como el papel, con un poder calorífico similar al de los carbones de baja calidad. Actualmente, con tecnologías muy diversas, se extrae la energía que nosotros hemos depositado en el contenedor de la calle en forma de bolsa de basura.

Pero no hay que olvidar que la mejor estrategia de eliminación de residuos urbanos consiste en combinar procesos de recogida selectiva con reciclaje y compostaje y, a la vez, limitar, cuanto más mejor, las opciones de verter e incinerar, por los problemas medioambientales que generan.



# ◆ LA BIOMASA

El término “biomasa” incluye toda la materia viva, o cuyo origen sea la materia viva, que existe en un instante de tiempo en la Tierra.

La energía que se puede obtener de la biomasa proviene de la luz solar, la cual, gracias al proceso de fotosíntesis, se aprovecha por las plantas verdes y se transforma en energía que queda acumulada en el interior de sus células. Esta energía puede traspasarse por la cadena alimentaria al reino animal.

La energía acumulada en la biomasa puede ser liberada sometiéndola a diversos procesos de aprovechamiento energético. Atendiendo a su origen, podemos clasificar la biomasa, de la cual se puede extraer la energía útil para la humanidad, en: residuos agrícolas, residuos forestales, cultivos energéticos y residuos urbanos.

## Residuos agrícolas, forestales y cultivos energéticos

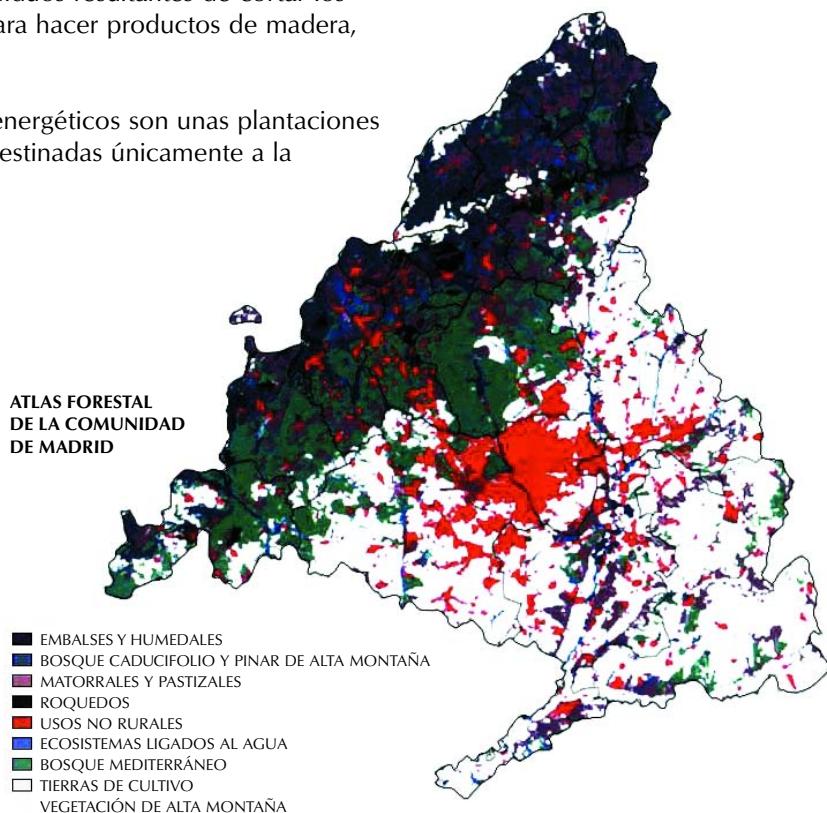
Entendemos como residuos agrícolas aquellos que provienen de cultivos leñosos o herbáceos. Estos restos se obtienen de los restos de los cultivos, y también de las limpiezas que se hacen en el campo para evitar las plagas o los incendios.

Los residuos forestales pueden venir, por un lado, del mantenimiento y la mejora de las montañas y masas forestales cuando se hacen podas, limpiezas, etc., y, por otro lado, son los residuos resultantes de cortar los troncos de los árboles para hacer productos de madera, como muebles, etc.

Finalmente, los cultivos energéticos son unas plantaciones de crecimiento rápido, destinadas únicamente a la producción de energía.

## Residuos urbanos

Los desechos que generamos en nuestra casa y que cada día depositamos en el contenedor de la esquina son seleccionados para poderlos reciclar y recuperar todo lo que sea posible. La fracción no reciclable recibe diversos tratamientos: a menudo, se sitúa en depósitos controlados, se incinera o es tratada para obtener «compost». Estos procesos, bien gestionados, ayudan a mejorar el medioambiente y, además, el hombre ha aprendido a aprovechar la energía que se libera en la descomposición.



# ◆ DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

## Residuos agrícolas y forestales. Cultivos energéticos

Los diferentes aprovechamientos de la biomasa tienen aplicaciones domésticas e industriales. Estas aplicaciones están muy influenciadas por la realización de previos tratamientos de los residuos. Entre estos tratamientos previstos, podemos destacar:

- **Homogeneización:** son aquellos procesos de trituración, astillado, secado, etc., que transforman la biomasa en unas condiciones adecuadas de medida, humedad y composición, para ser tratada y aprovechada energéticamente.
- **Densificación:** es un tratamiento para mejorar las propiedades de la biomasa y hacerla más completa. El producto de este tratamiento tiene forma de aglomerado de madera, que son residuos con una elevada densidad y muy adecuados para el almacenamiento y el transporte.

Después de estos tratamientos previos, la biomasa ya puede ser utilizada en diversos procesos.

**Procesos petroquímicos:** son aquellos que transforman la biomasa, en determinadas condiciones de presión y temperatura, para obtener productos sólidos, líquidos o gaseosos. Estos productos serán diferentes según el tipo de técnica aplicada.

Atendiendo a la cantidad de oxígeno que interviene en la transformación, se clasifican en:

- **Combustión:** es un tratamiento a una temperatura entre 150°C y 800°C, en el que la cantidad de oxígeno no está controlada. Los residuos de biomasa se oxidan (reaccionan químicamente con el oxígeno) completamente y se obtienen gases calientes, que es la parte que se aprovecha como energía térmica. Coloquialmente, diremos que quemamos la biomasa.
- **Pirólisis:** tratamiento a una temperatura entre 500°C y 600°C, y con ausencia de oxígeno. Se basa en la descomposición de la materia orgánica por calor. Como resultado, se obtiene una mezcla que es, en parte sólida (principalmente carbón), en parte líquida, y en parte gaseosa. Los líquidos y los gases son hidrocarburos y compuestos alifáticos. Estos productos pueden ser utilizados como combustibles y materia primas.
- **Gasificación:** tratamiento muy parecido a la pirólisis, pero, en este caso, la cantidad de oxígeno está controlada, con lo cual se reduce significativamente la obtención de sólidos respecto al proceso anterior. Como resultado, se obtiene un gas denominado gas pobre que se utiliza como combustible.

**Procesos fisicoquímicos:** estos tratamientos, físicos por un lado, y químicos por otro, vendrían a ser los que preparan y condicionan la biomasa para el aprovechamiento energético posterior.

Los tratamientos físicos son los ya descritos como

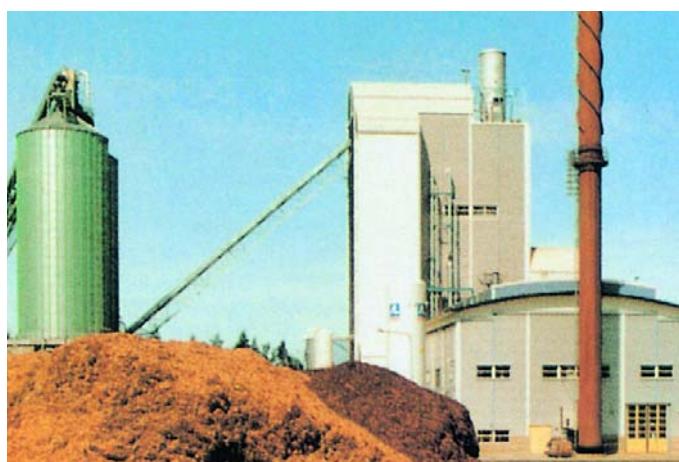
tratamientos previos de la biomasa. Los tratamientos químicos son los de esterificación de los residuos, para obtener unos combustibles líquidos. De esta manera, a partir del aceite vegetal, resultante del prensado de la biomasa, se obtiene químicamente un éster puro con propiedades muy similares a las del gasóleo.

**Procesos biológicos:** en este tipo de aprovechamiento, los residuos son transformados mediante la actividad de microorganismos. Se diferencian dos vías principales:

- La digestión anaerobia es un proceso que se utiliza para residuos biodegradables, a fin de reducir la carga contaminante que tengan. Consiste en que determinadas bacterias degraden la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Como resultado, se obtiene, por un lado, un gas (biogás) y, por otro lado, una parte sólida que concentra los minerales y los productos de difícil degradación. El biogás contiene una elevada porción de metano (entre un 50% y un 70%) y puede ser utilizado como combustible.
- La fermentación alcohólica se utiliza, principalmente, para las plantas de cultivos azucareros o de cereales, para obtener alcoholes denominados bioalcoholes. Estos alcoholes se pueden utilizar como combustibles para motores de explosión, ya sea directamente, o mezclados con gasolina.



Productos de densificación: pellas y briquetas.



Planta de gasificación a alta presión.

# Residuos sólidos urbanos (RSU)

## Incineración de los RSU

Consiste en un proceso de combustión controlada de las basuras domésticas (porción que no se ha podido reciclar), que son transformadas en escorias (compuestos que no se han quemado, materia no orgánica), cenizas y humos que se emiten a la atmósfera. Todos estos elementos resultantes son tratados adecuadamente para proteger el medioambiente. Por ejemplo, uno de los aspectos que preocupa mucho a la gente son los humos emitidos a la atmósfera. Las instalaciones para incinerar los desechos, para cumplir la normativa y poder funcionar, tienen que disponer de unos equipos con una tecnología muy avanzada, que permitan filtrar los gases de partículas contaminantes, y unos sistemas de limpieza que permitan eliminar los compuestos gaseosos nocivos y peligrosos.

Desde el punto de vista energético, se puede aprovechar la energía térmica generada en la combustión. Para poder aprovechar esta energía, actualmente, hay que tratar volúmenes de desechos de alrededor de 15.000 t/año, o más. Para las incineradoras de capacidad inferior, hay que estudiar la viabilidad en cada caso concreto.



Planta incineradora de TirMadrid.



Recogida del gas.

## Disposición controlada de los RSU

Otro sistema para tratar nuestros desechos es mediante su disposición en unos espacios preparados, para almacenarlos en las condiciones adecuadas para que no puedan ser fuente de contaminación del entorno. Los residuos se van colocando sobre un terreno, que antes ha sido impermeabilizado. Se extienden en capas de poco grosor, y se compactan para reducir el volumen. Después, se cubren con tierra para reducir los malos olores, evitar problemas sanitarios y confinar de manera correcta los residuos.

El fondo del vertedero se impermeabiliza cuidadosamente para que la fracción líquida resultante de la fermentación de los desechos enterrados, lixiviados, no se pueda filtrar al suelo y contaminar las aguas subterráneas. Mediante un drenaje, se recogen estos lixiviados y se conducen a unas balsas de recogida.

Por otro lado, esta misma fermentación da lugar a la descomposición de los desechos que se han ido depositando. Los gases que genera esta reacción química deben ser extraídos al exterior mediante una red de tuberías de evacuación.

Estos gases reciben el nombre de biogás, y se caracterizan porque en su composición tienen un porcentaje de alrededor del 50% de metano (el metano no es nada más que el gas natural que utilizamos para uso doméstico e industrial). La composición restante es, básicamente, de CO<sub>2</sub> y otros gases minoritarios, como el ácido sulfídrico, mercaptanos, amoníaco, etc., caracterizados todos por su mal olor.

El metano contribuye al efecto invernadero, en una proporción cuatro veces superior a como lo hace el CO<sub>2</sub>. Por este motivo, es muy importante no liberar este gas directamente a la atmósfera.

Para tener una idea de las cantidades de gas que son emitidas a la atmósfera si no las tratamos, hay que decir como ejemplo que una tonelada húmeda de residuos urbanos produce unos 20 m<sup>3</sup> de biogás anuales, pero, en la práctica, sólo el 40% se puede recuperar. Esto supone unos 12 m<sup>3</sup>/año liberados a la atmósfera por tonelada de RSU y durante los primeros 10 años de permanencia de los residuos en el vertedero.

## Compostaje y metanización

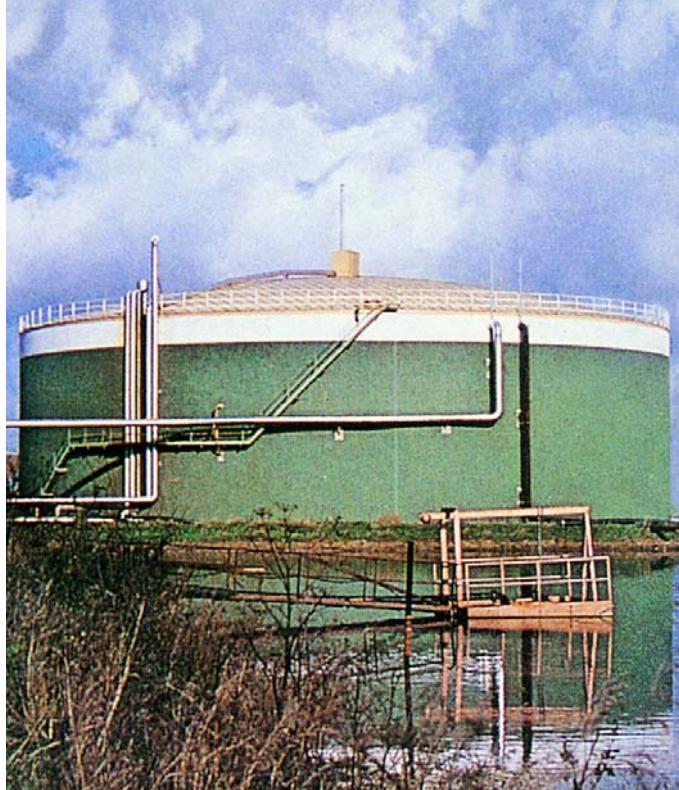
El escenario habitual de la materia orgánica de los RSU indica que en los próximos años, posiblemente, uno de los tratamientos viables será el compostaje y la metanización.

Respecto al compostaje, no se obtiene un aprovechamiento directo de la energía, pero sí un reaprovechamiento de la materia prima, al obtener un producto, el «compost», que posteriormente se podrá utilizar como abono.

El «compost» se obtiene una vez separados los elementos no adecuados de los residuos, para la fermentación de la materia orgánica en presencia de aire que provocan ciertos microorganismos, que existen de manera natural en las sustancias tratadas. El proceso de fermentación tiene lugar bajo cubierta, con recuperación de lixiviados, ventilación forzada y un proceso de extracción y tratamiento de aire.

Respecto a la metanización, se trata de hacer fermentar, de forma controlada, la materia orgánica. Los organismos biológicos que degradan la materia necesitan un ambiente sin oxígeno (anaerobio). En este proceso, se libera de nuevo biogás. Es un proceso idéntico al de la fermentación anaerobia que hemos descrito para los residuos agrícolas y forestales.

Estas opciones, aunque no constituyen por sí mismas la solución del problema de la eliminación de residuos y de su impacto ambiental, pueden ayudar a resolverlo, a la vez que permiten el aprovechamiento energético de una fuente renovable.



Planta de digestión anaerobia de aguas residuales.

# ◆ APLICACIONES DE LA ENERGÍA DE LA BIOMASA Y LOS RSU

## Aplicaciones de la energía obtenida a partir de los residuos agrícolas y forestales

Los residuos agrícolas y forestales, después de ser transformados por los diversos procesos ya mencionados, dan lugar a unos productos que pueden tener aplicaciones variadas.

Los productos que se obtienen pueden estar en forma sólida, líquida o gaseosa y, dependiendo de eso, tendrán diversas aplicaciones (calor, electricidad y fuerza motriz).

De una manera directa, la combustión de los residuos forestales y agrícolas pueden ser una fuente energética para calefacción en el ámbito doméstico, tanto en instalaciones individuales, como colectivas.

Por el tratamiento de combustión, también se genera vapor, que se puede utilizar como en una turbina, para producir energía mecánica e, incluso, hacer mover un generador y obtener energía eléctrica.

Por los tratamientos biológicos y termoquímicos, obtenemos el denominado biogás y también combustibles líquidos que se pueden utilizar en motores alternativos y turbinas de gas para producir electricidad.

Últimamente, se han obtenido unos productos denominados aceites vegetales que tienen unas características parecidas al petróleo y pueden ser utilizados como combustible en algunos tipos de vehículos.

Según el ámbito en el que se utilicen estos productos resultantes, se habla de aplicaciones industriales, o bien de aplicaciones domésticas.



Instalación de una turbina de vapor.

## Aplicaciones de la energía obtenida a partir de los RSU

Respecto a la incineración, la energía que se recupera se aprovecha para:

- Generar electricidad: un ejemplo lo tenemos en la incineradora de Madrid, que suministra electricidad para esta ciudad.
- Generar vapor: para ser vendido a industrias cercanas que necesitan estos elementos en sus procesos.

Respecto al biogás, provenga de los depósitos controlados o de las plantas de metanización, se puede utilizar en:

- Turbinas: podemos quemar el biogás directamente en una turbina, y obtener electricidad y calor.
- Motores alternativos: obtenemos electricidad y calor en mayor proporción al anterior, pero hay que depurar el biogás de impurezas, como el ácido sulfhídrico.
- Red de gas natural: el gas natural que utilizamos en nuestra casa está constituido por metano; si conseguimos limpiar nuestro biogás de las otras sustancias (recordemos que un 50%, como mínimo, es metano), lo podremos mezclar con el gas de la red.
- Combustible de automoción: últimamente hemos visto autobuses que circulan con gas natural comprimido. El biogás, una vez depurado de todos sus componentes diferentes del metano, se comporta igual que este combustible.

Por último, cabe decir que estas diversas aplicaciones todavía se encuentran en una fase inicial, salvo, posiblemente, las turbinas, que han sido más utilizadas.



Centro de valoración energética de los residuos, con depuración y control de las emisiones de humos.

# SITUACIÓN DE LA BIOMASA Y LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID

## Biomasa

El consumo de biomasa real en la Comunidad de Madrid en el año 2.000 fue de 79.937 tep. En la Comunidad de Madrid, el sector agrícola es el principal generador de biomasa para aprovechamiento energético, seguido de las industrias de 1<sup>a</sup> y 2<sup>a</sup> transformación de la madera.

El potencial biomásico a partir de cultivos herbáceos es de 101,10 ktep, de cultivos leñosos, 7,41 ktep, los residuos de aprovechamiento forestal 21,84 ktep y, por último, los residuos de industrias forestales, 38,50 ktep. Sumando todo lo anterior, es decir, alrededor de 170 ktep, el potencial de energía procedente de la biomasa en la Comunidad de Madrid supone más del doble del aprovechamiento real que se está haciendo.

Cabe destacar que el potencial de desarrollo de la biomasa fomenta, en primer lugar, el uso de la tierra. En la Comunidad de Madrid, el terreno forestal tiene una gran importancia, ya que representa un 49% de la superficie total y, en consecuencia, las tareas de limpieza y mejora de los bosques generan residuos que es posible aprovechar energéticamente.

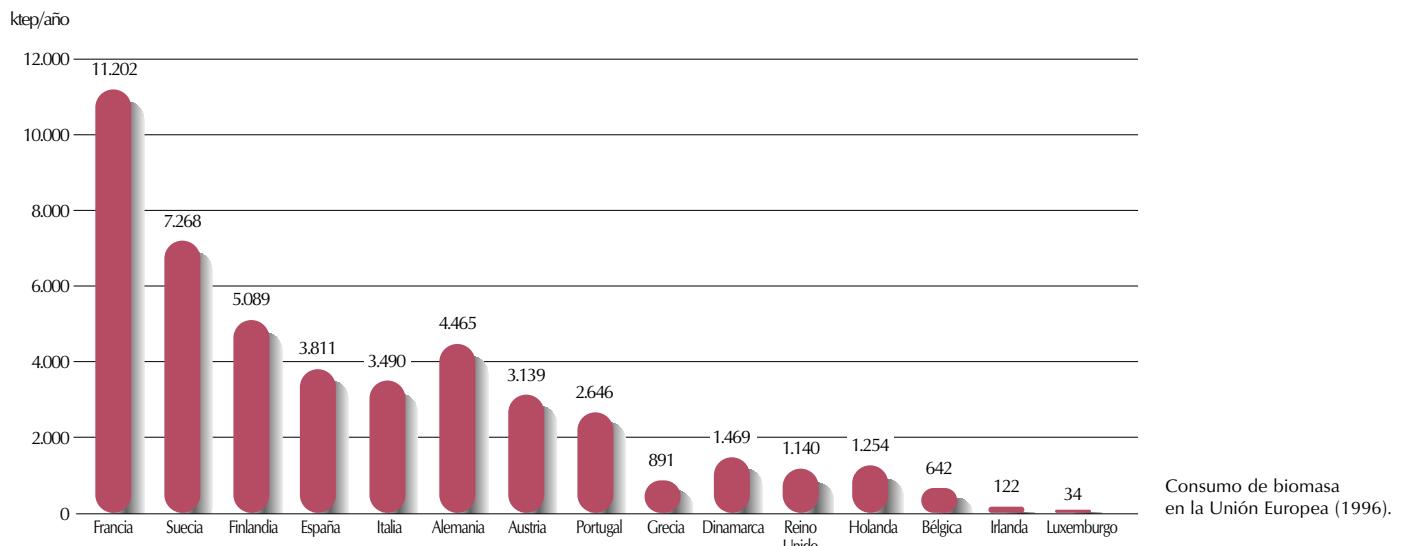
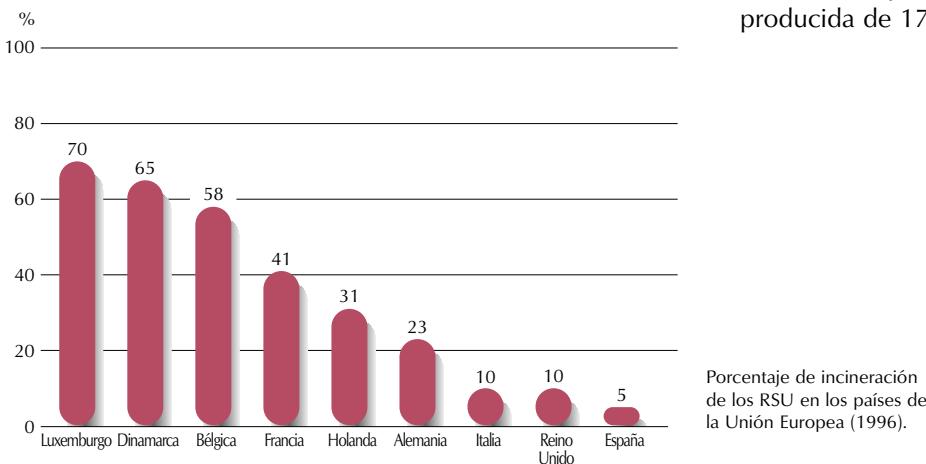
Asimismo, los cultivos leñosos ocupan una parte importante de las tierras de cultivo en la Comunidad de Madrid y, también, las podas de estos cultivos generan una gran cantidad de residuos.

## Residuos sólidos urbanos

En lo que se refiere a los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), la producción de la Comunidad de Madrid es de 2,12 millones de toneladas anuales, el valor medio de residuos generados por habitante es de 1,10 kg cada día; de este valor, un 44,06 % corresponde a materia orgánica, un 21,18 % a papel y cartón, un 10,59 % a los plásticos y un 6,93 % al vidrio.

De los sistemas de tratamiento de los RSU en la Comunidad de Madrid, el principal destino son los vertederos controlados, mientras que, casi el 10 %, tiene como destino la incineración.

La planta incineradora de Valdemingómez trata más de 200.000 toneladas anuales de residuos, y la potencia total de esta planta es de 29 MW, siendo la energía producida de 174 millones de kWh.



# ◆ ASPECTOS AMBIENTALES, ECONÓMICOS Y LEGALES

## Biomasa forestal y RSU

El aprovechamiento de la energía de la biomasa forestal contribuye notablemente a la mejora y conservación del medio. Mediante las limpiezas y las podas, se contribuye a mejorarlo y preservarlo de posibles incendios. Es conveniente que la explotación de los bosques se haga de una manera sostenible.

El aprovechamiento energético de la biomasa forestal no tiene un impacto medioambiental significativo, debido a que el CO<sub>2</sub> que se libera a la atmósfera durante la combustión ha sido captado previamente por los vegetales durante su crecimiento. Por tanto, el balance final es nulo.

Las plantas de aprovechamiento energético de la biomasa están reguladas por diversas normativas. Por un lado, desde el punto de vista de la potencia térmica, todas aquellas instalaciones de combustión, cuya potencia térmica nominal sea igual o superior a 50 MW, están sujetas a la legislación del Real Decreto 646/1991, que establece los límites de emisión de agentes contaminantes como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y las partículas. Todas aquellas instalaciones industriales de combustión, de potencia térmica nominal inferior a 50 MW, están reguladas por el Decreto 833/75, que desarrolla la Ley estatal de protección del ambiente atmosférico.

Actualmente ante el avance técnico de estas últimas instalaciones se ha visto la necesidad de adaptar la normativa y se ha hecho una propuesta de decreto para regularlas de la manera más conveniente.

Al mismo tiempo, como productores de electricidad que puedan ser estas plantas de aprovechamiento energético, están sujetas al marco económico delimitado referente a ingresos por venta de electricidad (Real Decreto 2818/98).

Por otro lado, el tratamiento de los RSU, ya sea mediante reciclaje, compostaje, metanización o incineración permite reducir considerablemente el volumen de basuras, de lixiviados generados y la generación de malos olores.

En referencia al metano generado en los vertederos, considerados una de las principales fuentes causantes del calentamiento global del planeta, la buena gestión de estos depósitos con la captación y el aprovechamiento de gases emitidos favorecen que se dejen de emitir a la atmósfera directamente miles de toneladas de gases causantes del efecto invernadero.

### RELACIÓN DE PLANTAS DE BIOMASA Y PLANTAS DE RSU EN LA COMUNIDAD DE MADRID

PLANTAS DE BIOMASA		
Nombre de la planta	Potencia (MW)	Combustible
Ayuntamiento de Madrid	0,2	Biogás
Depuradora de Rejas	0,8	Biogás
Ayuntamiento de San Martín de la Vega	1,0	Biogás
Valdemingómez	12,0	Biogás de vertedero
Pinto (en proyecto)	10,0	Biogás
PLANTAS DE RSU		
Nombre de la planta	Potencia (MW)	Combustible
TirMadrid A	30,0	Residuos Sólidos Urbanos



# PROYECTOS DE BIOMASA Y RSU EN LA COMUNIDAD DE MADRID

## Plantas de Biomasa

- 1.- Planta del Ayuntamiento de Madrid
- 2.- Depuradora de Rejas
- 3.- Planta del Ayuntamiento de San Martín de la Vega
- 4.- Planta de Valdemingómez
- 5.- Planta de Pinto (en proyecto)

## Plantas de RSU

- 6.- TIRMADRID



## GLOSARIO

<u>Biodegradables</u>	Son aquellas sustancias que pueden destruirse por la acción de las bacterias u otros agentes biológicos.	<u>Fracción líquida</u>	Parte líquida de una mezcla de diversas sustancias que se encuentran en diferentes estados de agregación.
<u>Biomasa</u>	Es el conjunto de toda la materia orgánica procedente de la actividad de seres vivos, presente en la biosfera. La biomasa puede ser convertida en energía, utilizando diversas técnicas.	<u>Hidrocarburos</u>	Compuestos (líquidos) orgánicos formados por hidrógeno y carbono. Se obtienen, principalmente, del petróleo, el gas natural, el alquitran de hulla y, en menor cantidad, de las ceras, las resinas y los aceites de origen vegetal.
<u>Compuestos alifáticos</u>	Hidrocarburos, cuyas moléculas forman cadenas abiertas que no se cierran sobre ellas mismas.	<u>Lixiviados</u>	Sustancias líquidas que se separan de forma natural en los RSU (Residuos Sólidos Urbanos).
<u>Esterificación</u>	Proceso de la química orgánica, que consiste en hacer reaccionar un ácido orgánico con un alcohol. El producto de la reacción es un éster (un tipo de producto químico orgánico) y agua.	<u>Valoración</u>	Referida a la biomasa, indica los diferentes tipos de transformaciones y procesos a los cuales puede ser sometida para obtener un provecho energético.

