

# Las posibilidades energéticas de la Biomasa en la Comunidad Autónoma de Madrid

José Javier ALONSO MATEOS

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid

Recibido: 5 de abril de 2004.

Aceptado: 13 de septiembre de 2004.

## RESUMEN

El incremento en el consumo energético experimentado en los últimos años en España, unido a un deterioro cada vez mayor del medio ambiente, producido, entre otras razones, por el aumento incesante de la emisión de gases de efecto invernadero, ha provocado que las energías renovables pueden ser un pilar importante en la diversificación energética española. La Comunidad de Madrid, como región que emplea buena parte de la energía consumida en España, debido a la alta concentración de población, industrias y vehículos, tiene que aprovechar la mayor parte de los recursos naturales posibles susceptibles de aprovechamiento energético, y entre ellos la biomasa destaca por su importancia, para de esa forma intentar disminuir en la medida de lo posible, el balance energético negativo existente en la Comunidad de Madrid entre oferta y demanda.

**Palabras clave:** Consumo energético - Medio Ambiente - Gases de efecto invernadero - Energías Renovables - Comunidad Autónoma de Madrid - Biomasa.

## The energetic possibilities of Biomass in Madrid region

### ABSTRACT

In the last years, the growth of the energetic consumption and the environmental deterioration because of the uncontrollable growing of the greenhouse gasses are two of the most important reasons of the increase of using renewable energies in Spain, which are very interesting point in the Spanish energetic diversity. Madrid Region is a necessitated place of a big part of the Spanish energetic consumption due to the high levels of population, factories and transport, and if Madrid Region wants to decrease the energetic dependence of the foreign areas, it will have to manage using all the natural sources that can be considered in the future.

**Keywords:** Energetic consumption - Environment - Greenhouse gasses - Renewable energies - Madrid Region - Biomass.

### RÉSUMÉ

L'accroissement de la consommation énergétique subi pendant les dernières années en Espagne, uni à une détérioration de plus en plus grande de l'environnement, produite, entre autres raisons, par l'augmentation incessante des émissions de gaz à effet de serre, a fait que les énergies renouvelables puissent être un pilier important à la diversification énergétique espagnole. La Communauté Autonome de Madrid, étant une région qui emploie une grande partie de l'énergie consommée en Espagne, due à la haute concentration de population, d'industries et de voitures, doit profiter de la plus part des ressources naturelles possibles susceptibles de profit énergétique, et parmi elles la biomasse se distingue par son importance, pour, de cette façon, essayer de diminuer le bilan énergétique existant en la Communauté Autonome de Madrid entre l'offre et la demande.

**Mots clés:** Consommation énergétique - Environnement - Gaz á effet de serre - Énergies Renouvelables - Communauté Autonome de Madrid - Biomasse.

**SUMARIO:** 1. Introducción. 2. La Biomasa. 3. La situación agraria actual en la Comunidad de Madrid. 4. El Cardo (*Cynara cardunculus* L.) como cultivo energético. 5. Las aguas residuales y los RSU en la Comunidad de Madrid. 6. La estructura energética en la Comunidad de Madrid. 7. Evaluación del potencial energético con Biomasa en la Comunidad de Madrid. 8. Conclusiones. 9. Bibliografía.

## 1. INTRODUCCIÓN

La dependencia que se tenía en materia energética en el siglo XX por parte de los países desarrollados, a su vez grandes consumidores de energía, así como después de la situación vivida en las economías de buena parte del mundo después de las dos crisis internacionales del petróleo más importantes que tuvieron lugar a finales de 1973 y 1979, respectivamente, y por otro, el surgimiento de una preocupación cada vez más fuerte de protección del medio ambiente, fueron dos de las principales razones que llevaron a buscar fuentes de energía propias de cada lugar para reducir dicha dependencia, satisfacer las necesidades energéticas y no provocar impactos negativos sobre el medio ambiente, derivados de los procesos de producción de energía con las fuentes convencionales. Así fue como surgieron las *energías renovables o energías alternativas*, que son aquellas tecnologías que aprovechan de forma directa o indirecta unos recursos naturales tales como el sol, el aire y el agua, provocando en mayor o menor medida un impacto ambiental beneficioso, sobre todo por la no emisión a la atmósfera de las cantidades de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno), SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), etc., que se producen en la combustión de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural).

Las características más importantes que presentan las energías renovables con respecto a los combustibles tradicionales, son las siguientes:

- a) Extensas: se producen en cualquier lugar.
- b) Dificilmente almacenables: no se pueden guardar en momentos de gran generación para los momentos de menor producción a igualdad de consumo.
- c) Difusas: se requiere a veces una importante cantidad de terreno para poder tener importancia cuantitativa en términos de energía.
- d) Intermitentes: dependen de la existencia de diversos factores naturales.

A su vez, a lo comentado anteriormente, hay que añadir que no están sometidas a las coyunturas e incertidumbres y se pueden aprovechar en cualquier lugar posible, siempre y cuando haya el recurso disponible.

En España el año 1999 supuso un punto de inflexión, ya que a finales de dicho año se elaboró por parte del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), el Plan de Fomento de las Energías Renovables. En este documento se recogen como objetivos primordiales los siguientes:

- a) La diversificación de las fuentes energéticas primarias para garantizar así la seguridad en el suministro energético, cubriendo el 12% de la demanda energética en el año 2010 en España.
- b) La eficiencia en su utilización y el respeto al medio ambiente por la disminución de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera.

En dicho Plan se destacan como principales energías renovables, por orden de importancia en cuanto al aumento de las mismas hasta el año 2010, la biomasa, la eólica, la hidráulica y la solar (en su vertiente térmica y fotovoltaica).

## 2. LA BIOMASA

### 2.1. CONCEPTO

Se entiende por *biomasa* toda aquella materia orgánica que ha tenido como precedente un proceso biológico, y en función de su origen puede ser vegetal (aquella que su precedente biológico es la fotosíntesis) o animal (aquella cuyo precedente biológico es el metabolismo heterótrofo).

### 2.2. FUENTES DE BIOMASA

Las fuentes de biomasa que se pueden considerar de forma global son las siguientes:

- a) Biomasa natural.
- b) Biomasa residual.
- c) Excedentes agrícolas.
- d) Cultivos energéticos.

Por lo que se refiere a la *biomasa natural* es la procedente de forma espontánea de la naturaleza (masas forestales generalmente), y actualmente es la principal base energética de los países subdesarrollados que se encuentran en vías de desarrollo, por lo que se deberían establecer programas adecuados de gestión de ese aprovechamiento, porque se podría originar una degradación de los ecosistemas con consecuencias tan negativas como la deforestación y la erosión de grandes superficies de terreno que lleva asociado.

Respecto a la *biomasa residual*, se puede decir que en ella se incluyen todas aquellas materias primas que se generan en las actividades de producción, transformación y consumo, y que no han alcanzado valor económico en el contexto donde se generan. Desde un punto de vista medioambiental, en algunas ocasiones provocan graves problemas de contaminación derivado de su mala gestión, por lo que si se actúa convenientemente pueden ser aprovechados energéticamente con las consiguientes revalorizaciones económicas. En este grupo se incluyen materiales como los residuos agrícolas herbáceos (de cultivos como los cereales, girasol, colza o algodón), residuos agrícolas leñosos (de las podas de frutales de pepita, de hueso, cítricos, olivo, vid o frutales de frutos secos), residuos de industrias agroalimentarias (en industrias tan importantes

como la del arroz, la del aceite de oliva, la de los frutos secos o la del vino), residuos forestales (procedentes de los tratamientos selvícolas para evitar incendios forestales y de las cortas de pies maderables en montes y en matorrales), residuos de industrias forestales (generada en industrias de primera y segunda transformación de la madera), residuos ganaderos (generados mayoritariamente en las explotaciones intensivas de ganado porcino y vacuno), aguas residuales (producidas como consecuencia de la actividad humana e industrial) y residuos sólidos urbanos (RSU, producidos en las concentraciones urbanas e industriales consecuencia de las actividades diarias).

Los *excedentes agrícolas* son todas aquellas materias primas que se encuentran en una situación cuya producción es mayor que su utilización. Su empleo como materia prima energética debe ser en momentos puntuales para remediar el problema de los excedentes, intentando que eso no se prolongue en el tiempo porque si no la situación sería insostenible.

Como *cultivos energéticos* se entienden todas aquellas especies vegetales tradicionales con gran superficie de cultivo que se pueden desarrollar tanto para uso alimentario como energético (caso de los cereales, girasol, colza, etc.), especies que se están ensayando y mejorando y que tienen como principal destino el energético (caso de la patata o la colza etíope) e incluso especies alimentarias con superficie de cultivo reducido pero que presentan un potencial energético muy alto como es el cardo.

### 2.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA BIOMASA

La utilización de la biomasa para fines energéticos, presenta una serie de ventajas desde distintos puntos de vista para la Comunidad Autónoma de Madrid, que son las que a continuación se comentan.

#### 1. *Socioeconómicas:*

- a) Facilitar la continuidad de la actividad del sector agrícola con cultivos energéticos, evitando así el abandono de superficies agrarias y del medio rural, y por tanto mantener la actividad industrial en sectores relacionados con la producción agrícola (de fertilizantes, fitosanitarios, maquinaria, etc.).
- b) Creación de puestos de trabajo de forma directa e indirecta.
- c) Canalización de los excedentes agrícolas alimentarios.
- d) Resolución de parte de los problemas energéticos en determinadas épocas del año.
- e) Ahorro económico en determinadas industrias por cuestión energética al implantar sistemas energéticos con biomasa.
- f) Mitigación en parte del problema de los RSU y de los lodos de depuradora de ser almacenados directamente en vertederos.

#### 2. *Estratégicas y de balanza de pagos:*

- a) Sustitución parcial de los combustibles traídos de fuera por biomasa procedente de la Comunidad Autónoma, y así reducir el grado de dependencia energética del exterior.

- b) Reducir la necesidad de disponer de abundantes reservas estratégicas para un futuro.
- c) Aumento de la diversificación energética.

### 3. Medioambientales:

- a) Reducción de los gases de efecto invernadero producidos en la combustión de combustibles fósiles.
- b) Reducción del metano emitido a la atmósfera en los vertederos de RSU como consecuencia de la degradación de la materia orgánica.
- c) Eliminación de las masas forestales madrileñas de una cierta cantidad de biomasa que aumentaría el riesgo de incendios, en todas aquellas zonas con suficiente nivel de materia orgánica en los suelos o para evitar la propagación de plagas y/o enfermedades en aquéllas.
- d) Utilización de bajos inputs en los cultivos energéticos, por lo que la agricultura resultante produciría un menor impacto ambiental que la tradicional.
- e) Protección del suelo con cultivos perennes como el cardo, eliminando las pérdidas de suelo que se producirían debido al viento y a la escorrentía del agua.
- f) Nuevos hábitats para especies cinegéticas en zonas de cultivos.
- g) Aumento de microorganismos descomponedores de la materia orgánica del suelo.
- h) Disminución de la contaminación de nutrientes del suelo, consecuencia de la fertilización excesiva en muchas ocasiones, debido al potente sistema radicular de los cultivos energéticos.
- i) Salida alternativa a los residuos ganaderos (estiércoles, lisieres, etc.), generados en las explotaciones ganaderas de muchas zonas de la Comunidad.
- j) Eliminación de riesgos presentes en la utilización de combustibles convencionales, derivados de una mala manipulación o de posibles escapes al sustituirlos por biocombustibles líquidos.
- k) Menor necesidad de espacio en los vertederos para almacenar RSU y lodos de depuradora.
- l) Eliminación de los lixiviados contaminantes producidos en los vertederos.

Pero no son todas ventajas lo que ofrece la biomasa, ya que también hay inconvenientes como los que a continuación se comentan.

- a) Desconocimiento de los cultivos energéticos por parte del agricultor.
- b) Falta de formación de técnicos en el sector de la biomasa.
- c) Necesidad de un tamaño de superficie de cultivo energético mínimo para que la central transformadora sea rentable.
- d) Impacto ambiental negativo sobre el paisaje de las centrales, pero que es fácilmente enmascarable y disminuible con un adecuado diseño de las instalaciones.
- e) Impacto ambiental causado por el tendido de la línea eléctrica hasta el punto de conexión con la red, en aquellos casos de aplicación eléctrica.
- f) Tránsito de camiones con biomasa cerca de los núcleos urbanos donde esté instalada la central eléctrica o la industria transformadora.

- g) Fuertes inversiones económicas a realizar en cada proyecto.
- h) Reducido margen de maniobrabilidad debido al escaso margen económico entre el escaso margen económico entre los costes de producción y el beneficio económico, por la venta de la energía producida.
- i) Limitaciones presupuestarias por parte de la Administración para la puesta en marcha de este tipo de energía.
- j) Viabilidad económica-financiera de las inversiones de las instalaciones a partir de cierta escala.
- k) Necesidad de una eliminación de los impuestos de hidrocarburos para los biocombustibles líquidos para fomentar así su uso.

## 2.4. LOS BIOCOMBUSTIBLES

Son todos aquellos productos biomásicos que pueden ser empleados para la obtención de energía. En función del estado que presenta el biocombustible se puede realizar la siguiente clasificación:

- a) Biocombustibles sólidos.
- b) Biocombustibles líquidos o biocarburantes.
- c) Biocombustibles gaseosos.

Dentro del grupo de los *biocombustibles sólidos* se encuentran los residuos agrícolas herbáceos y leñosos, los cultivos energéticos, los residuos forestales, los residuos de industrias agroalimentarias y forestales, que generalmente son utilizados para la producción de energía eléctrica y/o térmica en grandes centrales energéticas e incluso en el mismo lugar de generación. Destacan por su importancia en su utilización y por el nicho de mercado que poseen debido a la posibilidad de empleo a nivel doméstico, las leñas (elementos troceados de los árboles y arbustos), las astillas (material orgánico que procede de la fragmentación de la biomasa forestal, de los cultivos energéticos o de industrias de primera transformación de la madera), los pellets (cilindros entre 7 y 20 mm de diámetro y de 25 a 60 mm de longitud producidos con procesos de granulación similares a los utilizados para preparar algunos tipos de piensos), las briquetas (similares a los pellets por la forma cilíndrica pero de mayor tamaño, variando el diámetro entre 50 y 130 mm y su longitud entre 50 y 300 mm) y el carbón vegetal (material inerte de color negro procedente de la madera tras sufrir un proceso denominado carbonización).

Los *biocombustibles líquidos o biocarburantes* son todos los compuestos que pueden sustituir total o parcialmente a la gasolina o al gasóleo tradicional y que proceden de materias primas vegetales. Los productos obtenidos, dependiendo de la materia prima de la que se parte, son los siguientes:

- a) *Bioetanol y ETBE*: el bioetanol es el alcohol etílico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales combinados en forma de sacarosa, almidón, celulosa y hemicelulosa. El ETBE (etil-terbutil-éter), es el compuesto formado a partir del etanol y el isobuteno presente en

las refinerías del petróleo. Para su obtención se pueden emplear materias primas amiláceas como los cereales, materias primas azucaradas como la remolacha azucarera, y materias primas lignocelulósicas como la biomasa forestal o la procedente de los residuos de los cereales. Tanto el bioetanol como el ETBE se suelen emplear en sustitución parcial de la gasolina procedente del petróleo.

- b) *Bioaceites y biodiésel*: los aceites de origen vegetal, en lo sucesivo bioaceites, son los ácidos grasos de cadena larga que se extraen a partir de semillas y/o frutos de plantas oleaginosas como el girasol o la colza, aunque con un gran potencial también el cardo. Debido a la presencia de problemas que presentan en los motores de automoción la utilización directa de los bioaceites, se requiere una reacción denominada transesterificación, mediante la cual los ácidos grasos reaccionan con un alcohol para dar lugar a ésteres metílicos o biodiésel, y es lo que puede emplearse en los motores. Las materias primas tradicionales para la producción de estos compuestos son el girasol o diversas especies de colza, así como el propio cardo y los aceites de fritura usados y convenientemente tratados.

Dentro de los *biocombustibles gaseosos*, destaca el biogás como aquel gas producido por la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y gracias a la presencia de una serie de bacterias. Al contener el biogás una importante cantidad de metano el igual que el gas natural, es susceptible aquél de ser aprovechado energéticamente.

## 2.5. TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

Los métodos de aprovechamiento energético que posee la biomasa se pueden dividir en dos grupos, según sea la forma de descomposición de ésta.

1. *Métodos bioquímicos*: se obtiene energía a través de la acción de microorganismos aerobios o anaerobios, que descomponen la biomasa. Los procesos más importantes son:
  - a) *Digestión anaerobia*: es aquel proceso en el que se descompone la materia orgánica por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno, en unos elementos denominados digestores, en donde las temperaturas a las que se llevan a cabo esta operación se sitúan por debajo de 40 °C y por encima de 55 °C. Se emplea con biomasa procedente de los RSU, lodos de depuradora y determinados residuos industriales.
  - b) *Fermentación alcohólica*: es aquel método en el que se produce la conversión de los hidratos de carbono de la materia prima en etanol por la acción de microorganismos durante dos o tres días bajo condiciones controladas. Las materias primas generalmente empleadas han sido y son materias sacaríferas y amiláceas, aunque la utilización de estas últimas implica la realización de una hidrólisis ácida o enzimática para que los carbohidratos pasen a monosacáridos y se pueda realizar la fermentación propiamente

dicha. Actualmente existen alternativas para la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica y presentan bastante interés ya que el coste de la materia prima es menor.

2. *Métodos termoquímicos*: consisten en la descomposición de la biomasa por calor. Existen tres métodos de conversión energética, en los que en función de las condiciones en que se llevan a cabo los procesos, se obtienen diferentes proporciones de producto sólido, líquido o gaseoso, que mediante sucesivos procesos de refinado, se llega a conseguir productos secundarios para su uso más específico. Los procesos son los siguientes:
  - a) *Combustión directa*: es aquel proceso en el que se produce la oxidación completa de la materia prima. La energía obtenida se utiliza para la obtención de vapor y calor, para así poder aplicarlo en actividades domésticas, industriales, etc.
  - b) *Gasificación*: es el proceso en el que la biomasa pasa a gas combustible mediante una oxidación parcial a temperaturas elevadas.
  - c) *Pirólisis*: es la degradación térmica de la biomasa sin la presencia de oxígeno. Se usa para la obtención de combustibles líquidos, fáciles de transportar y almacenar pero con inestabilidad física y química.

## 2.6. FUENTES DE BIOMASA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Como se ha podido constatar, las fuentes de biomasa son muy variadas y diversas. En este artículo se va a considerar la biomasa procedente de los residuos agrícolas (herbáceos y leñosos), los residuos forestales, los cultivos energéticos herbáceos (cardo, debido a su perfecta adaptación a las condiciones mediterráneas), los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y los RSU, para de esa forma poder hacer la evaluación energética correspondiente de dicha biomasa. Por tanto se dejan sin considerar los residuos de industrias forestales, agroalimentarias y las aguas residuales industriales, ya que para poder hacer una correcta evaluación de estas biomásas es preciso hacer un estudio detallado y exhaustivo a nivel de industria, realizando un análisis in situ de la generación de residuos en distintas épocas del año.

## 3. LA SITUACIÓN AGRARIA ACTUAL EN LA COMUNIDAD DE MADRID

### 3.1. AGRÍCOLA

Partiendo de los datos ofrecidos por la Dirección General de Agricultura de la Comunidad, relativos a la distribución de las superficies de los cultivos en el año 2002 en cada término municipal, permiten exponer en la tabla 1 los datos agrupados por comarcas y por tipos de cultivos, sin diferenciar su desarrollo en secano o en regadío.

Como se puede comprobar en la tabla 1, el grupo principal y más representativo de los cultivos en la Comunidad de Madrid es el de los cereales, principalmente cul-

tivados estos en secano. Si se realizara un pequeño estudio económico de los mismos en cada una de las comarcas de la Comunidad de Madrid, considerando los costes de producción, los rendimientos del cultivo, los ingresos derivados de su venta, así como las actuales subvenciones de la Política Agraria Comunitaria (PAC), se llega a la conclusión que en determinadas regiones podría llegar a desaparecer el cultivo por el nulo rendimiento económico de los mismos.

Por tanto, los cultivos tradicionales de secano necesitan actualmente fuertes subvenciones por parte de la Administración para ser rentables, tal y como se ha visto anteriormente. El problema de los excedentes y el de los bajos precios del mercado del cereal, salvo en años en los que debido a las malas condiciones climáticas se da una mala cosecha y por tanto hay poco producto y se paga a un precio elevado, están planteando nuevas iniciativas que invitan a los agricultores a plantearse alternativas de cultivo no tradicionales, a la vez que obliga a una retirada de tierras de cultivo cada vez mayor.

También según la Política de Desarrollo Rural actual de la Unión Europea (UE), se hace hincapié en la vertiente medioambiental de la agricultura tendiendo hacia la diversificación de la actividad agraria, a nuevas alternativas destinadas a proteger los recursos naturales y hacia actividades nuevas menos intensificadas.

Por esas razones, desde las más altas instituciones se está fomentando la introducción de nuevos cultivos energéticos que sean viables, e incluso emplear algunos de los cultivos tradicionales para un destino energético, y asegurar de esa forma la renta de muchos agricultores fijando población en el medio rural, tan importante en los tiempos actuales ante los procesos migratorios que desde hace años se están produciendo desde los pueblos hacia las ciudades. Como ejemplo de cultivo energético perfectamente adaptado a las condiciones mediterráneas se encuentra el cardo (*Cynara cardunculus* L.).

**Tabla 1.** Distribución comarcal (hectáreas, ha) de la superficie agrícola por grandes tipos de cultivos. Campaña 2002/2003.

	I	II	III	IV	V	VI
Barbecho	219	0	9.471	17.689	10.443	5.665
Cereales	3.236	0	12.979	28.306	12.393	21.887
Oleaginosas	47	0	151	319	96	377
Leguminosas	196	0	1.122	1.773	2.241	6.320
Hortalizas	13	0	70	31	171	1.619
Frutales	0,24	0	9	133	2	42
Olivar	251	0	350	4.282	2.158	15.600
Viñedo	170	0	91	2.710	9.162	6.179
Retirada	1.888	0	3.387	6.232	3.465	4.212
Praderas y pastos permanentes	466	58	368	98	696	362
Tierras de pastoreo	52.187	37.756	15.127	5.467	10.474	8.840
Tubérculos	0	0	92	0,44	28	287
Otros cultivos herbáceos	15	6	42	42	468	243
Forrajeros	83	16	558	319	514	1.291
Chopos	0	0	0	81	0,30	16

(Fuente: Dirección General de Agricultura y Alimentación. Comunidad de Madrid. 2003).

### 3.2. GANADERO

En la Comunidad de Madrid, la cabaña ganadera existente en cada una de las comarcas, según los datos del Censo Ganadero de 2001, viene reflejado en la tabla 2.

**Tabla 2.** Cabaña ganadera en la Comunidad de Madrid en 2001.

	<b>Bovino</b>	<b>Ovino</b>	<b>Caprino</b>	<b>Porcino</b>	<b>Equino</b>	<b>Avícola</b>	<b>Cunícula</b>
I	28.238	32.401	4.737	709	1.217	4.077	1.562
II	27.714	18.053	10.889	550	1.806	16.199	1.820
III	19.686	41.488	3.862	3.369	2.643	48.469	2.634
IV	2.232	35.044	1.088	8.467	980	862.841	7
V	15.800	40.670	9.820	19.748	2.625	486.559	6.848
VI	7.035	38.672	1.992	9.569	1.392	264.792	547

(Fuente: Dirección General de Agricultura y Alimentación. Comunidad de Madrid. 2003).

Posteriormente hay que analizar si los residuos ganaderos producidos en cada comarca, producen algún problema de gestión ante la falta de capacidad de acogida en las tierras que constituyen la superficie agraria útil (SAU).

Para evaluar la necesidad de proponer sistemas energéticos de eliminación de residuos ganaderos, y teniendo en cuenta la Directiva 91/676/CEE de 12 de diciembre y el Real Decreto 261/1996 de 16 de febrero, es necesario comenzar con la expresión « $N_2 / (SAU \times 170)$ », que representa la cantidad de nitrógeno total producido por los residuos entre la cantidad máxima admisible a aplicar de nitrógeno en cada hectárea de SAU, para justificar dicha actuación. Partiendo de los datos de la tabla 2 y sabiendo que la SAU la forman cultivos herbáceos, leñosos, barbechos y retiradas, prados, pastizales, eriales a pastos y terreno forestal, junto con los datos de la tabla 3 relativos a la producción de residuos y concentración de nitrógeno, en la tabla 4 se observa que en ninguna comarca se tienen actualmente problemas de gestión de los residuos ganaderos, empleándose generalmente como fertilizantes orgánicos.

**Tabla 3.** Valores de producción unitarios de estiércol medios y porcentaje de nitrógeno.

		<b>Kg estiércol/cabeza/día</b>	<b>%N<sub>2</sub>/t</b>
Bovino	Cebo	5,8	1,9
	Carne / Lidia	30	5,2
	Leche	55	5,5
Ovino / Caprino	Carne / Cebo	1	11,3
	Leche	2,5	65
Porcino*	Reproductor	16	5,5
	Cebo	4	5,5
	Equino	25	5,0
Avícola	Puesta	0,2	11,5
	Carne	0,1	10,5
	Cunícula	0,05	8,5

(\*: litros lisier / cabeza / día y %N<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>). (Fuente: Torres Fernández, E. 1993).

**Tabla 4.** Concentración comarcal de los residuos ganaderos. (Fuente: Elaboración propia).

	N <sub>2</sub> / (SAU x 170)
I	0,27
II	0,40
III	0,28
IV	0,20
V	0,29
VI	0,20

A la vista de los resultados de la tabla 4, no es necesario plantear sistemas energéticos de eliminación de residuos ganaderos, debido a que cada comarca tiene suficiente capacidad de acogida de los residuos ganaderos.

### 3.3. FORESTAL

En la tabla 5 se muestra la distribución comarcal de la superficie forestal y de matorral en la Comunidad de Madrid.

**Tabla 5.** Distribución comarcal (ha) de la superficie forestal y de matorral.

	I	II	III	IV	V	VI
Matorral	41.666	19.905	11.023	11.204	12.432	30.720
Matorral con frondosas	8.463	10.021	7.115	1.358	5.921	2.480
Matorral con coníferas	97	2.803	112	0	7.063	0
Frondosas	12.039	2.979	15.876	1.284	1.885	1.863
Coníferas	22.764	17.500	3.751	1.656	12.675	427
Coníferas y frondosas	1.650	1.955	252	0	3.801	0

(Fuente: Mapa de cultivos y aprovechamientos Comunidad de Madrid. 1986).

El aprovechamiento sostenible de las masas forestales produce una gran cantidad de biomasa susceptible de aprovechamiento energético, que de otro modo en ningún momento se aprovecharía.

## 4. EL CARDO (*CYNARA CARDUNCULUS L.*) COMO CULTIVO ENERGÉTICO

### 4.1. GENERALIDADES

Se trata de una especie que comenzó a estudiarse por el Catedrático de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de Madrid, Dr. Jesús Fernández González, pionero en las investigaciones de este cultivo sobre las necesidades y requerimientos agronómicos.

Pertenece a la misma familia que el girasol o que la alcachofa (*Asteraceae*), es una planta herbácea vivaz (perenne), perfectamente adaptada a las condiciones de temperatura y pluviometría del área mediterránea. Su producción varía dependiendo lógicamente de las temperaturas y lluvias registradas durante el ciclo de desarrollo, pero con una pluviometría media entre 450 y 550 mm aproximadamente, supera las 15 toneladas de materia seca por hectárea, siempre y cuando se desarrolle en suelos idóneos (sin suela de labor y con suficiente profundidad de perfil) y sobre él se realicen las labores adecuadas de cultivo. Posee varias raíces principales y numerosas raíces secundarias. Al desarrollarse forma una roseta de hojas basales con un nervio muy marcado, emitiendo un tallo al final de la primavera en cuyo ápice se desarrolla una inflorescencia donde se encuentran los frutos denominados *vilanos*, comúnmente conocidos con el nombre de *semillas*, similares en forma a las del girasol.

La adaptación de esta planta a las condiciones mediterráneas y su elevada productividad de biomasa aérea en secano, en comparación con los cultivos tradicionales de la Comunidad, es posible por la existencia de las siguientes características:

- a) Es una especie que cubre rápidamente el terreno, sobre todo a partir del segundo año, captando la mayor radiación posible y eliminando por tanto la posibilidad de desarrollo de malas hierbas en la parcela.
- b) Su ciclo de desarrollo es amplio, lo que le permite incluso realizar la fotosíntesis con temperaturas bajas durante el invierno.
- c) El sistema radicular que posee es profundo, próximo a los cinco metros, permitiéndole utilizar el agua de lluvia infiltrada y los nutrientes lixiviados en el subsuelo de cultivos anteriores.
- d) El ciclo de desarrollo está adaptado a la sequía estival, secándose en su parte aérea pero permaneciendo latentes y vivas las raíces presentes en el suelo.

#### 4.2. CICLO DE CULTIVO

El ciclo de la planta para destino energético comienza en otoño o en primavera, dependiendo del lugar donde se realice la siembra, ya que necesita un período libre de heladas desde que la semilla germina hasta que llega al estado de roseta (que es aquel en el que aguanta las temperaturas más bajas). Es vital tener muy en cuenta lo comentado anteriormente, ya que la correcta instalación del cultivo en la parcela, es vital para la evolución del cultivo en los años venideros.

Durante el verano se pueden perder algunas hojas por desecación, pero en general las plantas siguen vivas, continuando el desarrollo vegetativo con la llegada de las primeras lluvias del otoño, complementándose el primer año del ciclo, que dura más de doce meses.

Los ciclos sucesivos comienzan con el rebrote de la planta en otoño después de la recolección, gracias a las yemas de recambio existentes en la base del tallo que brotan a expensas de los azúcares de la raíz acumulados durante el ciclo anterior. Los acontecimientos son los mismos que para el ciclo inicial, pero en primavera tiene lugar la formación del tallo con el escape floral, que en el primer año del ciclo no tiene debido a la todavía escasa implantación del cultivo.

### 4.3. LABORES A REALIZAR

Este cultivo, al igual que muchos otros tradicionales, se puede desarrollar con siembra tradicional o directa. Para ambos casos antes de la implantación del cultivo se realizará un abonado de fondo con productos orgánicos (lisier o estiércol sólido), o bien con productos químicos, a unas cantidades que dependerá de la fertilidad de los suelos donde se desarrolle, siempre sin pasar los límites legales de concentración de nutrientes. Si en aquellos existen restos de abonados de cultivos anteriores perdidos por lixiviación, puede ser interesante no dar un abonado de fondo el primer año para así favorecer la utilización de dichos nutrientes.

Al ser un cultivo que no está sujeto a las restricciones de la actual PAC respecto a los cultivos alimentarios, puede cultivarse en tierras de retirada.

Si se realiza un laboreo tradicional, es recomendable efectuar un subsolado en la línea de siembra para eliminar la clásica suela de labor y así poder penetrar las raíces sin problema alguno. Después se haría un paso de gradeo y posteriormente se realizaría la siembra. Si por el contrario se emplea laboreo de conservación (siembra directa), mucho más ventajoso desde el punto de vista medioambiental, tras el subsolado que convendría dar, y antes de sembrar, habría que realizar un tratamiento de herbicida total sistémico no residual para eliminar toda la flora arvense. Tras éste, se realiza la siembra con sembradora de siembra directa. El consumo aproximado de semilla viene a ser entre 4 y 5 kg/ha. Si la siembra es tradicional, convendría dar un pase de rulo para tener mejor contacto entre semilla y suelo.

Después de la siembra y antes de la emergencia del cultivo, es recomendable dar un tratamiento de herbicida. Esta labor es necesaria porque al principio existe bastante terreno no ocupado por el cultivo. A medida que las hojas de la roseta se van desarrollando, el cultivo va ocupando el terreno y la competencia de las malas hierbas se va haciendo más difícil.

Las plagas que hay que controlar en este cultivo son *Cassida deflorata* Suf., *Pyra-meis cardui* L., *Gortyna xanthenes* Germ., *Sphaeroderma rubidum* Graealis y *Apion carduorum* Kirb. Entre las principales enfermedades posibles se encuentra el mildiu, el oidio, la viruela de las hojas y la podredumbre gris.

La cosecha de la biomasa aérea del primer año del ciclo se realizará tan pronto como esté seca. Puede realizarse de dos formas en función de si las semillas quieren recogerse aparte del resto de la biomasa y del sistema de almacenamiento que se tenga para su posterior uso energético.

- a) *Cosecha de la semilla separada del resto de la planta*: primero se pasaría la cosechadora de cereal con el cabezal alto para recoger las inflorescencias, y después habría que realizar otro pase para cortar toda la biomasa y recoger las semillas no recogidas anteriormente, por lo que al dejar la biomasa hilerada en cordones habría que proceder a un empaçado posterior con rotoempacadora.
- b) *Cosecha de la biomasa sin separar la semilla*: en este caso se puede segar con segadora de forrajes que deja la biomasa hilerada y luego habría que pasar una rotoempacadora, o bien picar la biomasa con picadora autopropulsada, presentando el inconveniente este último caso de necesitar un mayor consumo de

energía en la recogida y la dificultad de manejar la biomasa picada que presenta menor densidad.

A partir del segundo año de cultivo, hay que llevar a cabo menos operaciones. Hay que realizar un abonado de restitución en función de la cosecha obtenida. Respecto a las malas hierbas no suele haber problemas si durante el primer año ha habido un tratamiento adecuado, ya que se produce un rápido crecimiento de la roseta de hojas. Para las plagas y enfermedades, así como para la recolección de la biomasa, vale lo ya comentado para el primer año de cultivo.

## 5. LAS AGUAS RESIDUALES Y LOS RSU EN LA COMUNIDAD DE MADRID

### 5.1. LAS AGUAS RESIDUALES

En la Comunidad de Madrid, las EDAR existentes son gestionadas por el Canal de Isabel II, mientras que las Estaciones Regeneradoras de Aguas Residuales (ERAR) son gestionadas por el Ayuntamiento de Madrid.

En la tabla 6 se presentan las características más importantes de cada una de las ERAR.

**Tabla 6.** Características de las ERAR gestionadas por el Ayuntamiento de Madrid.

	Población servida	Habitantes equivalentes de diseño	Volumen medio de agua regenerada (m <sup>3</sup> / día)	DBO <sub>5</sub> influente (mg/l)	DBO <sub>5</sub> efluente (mg/l)	Consumo diario de agua (l/hab/día)
Viveros de la Villa	451.643	550.000	134.484	280	7	244,52
La China	1.375.801	1.000.000	321.855	233	5	321,86
Butarque	1.058.119	1.100.000	306.541	274	16	278,67
Sur	578.634	2.000.000	576.173	341	16	288,09
Sur Oriental	78.298	115.000	33.595	225	9	292,13
Valdebebas	58.628	144.000	22.525	246	16	156,42
Rejas	285.129	350.000	119.014	259	13	340,04

(Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2003).

Por otro lado en la tabla 7 se muestra a nivel de cuenca fluvial un resumen de los parámetros de depuración de las EDAR gestionadas por el Canal de Isabel II.

El patrón general más completo de regeneración del agua residual que sufren las depuradoras presentes en la Comunidad de Madrid, está constituido por cuatro líneas de tratamiento diferenciadas que a continuación se comentan.

a) *Línea de agua:*

a) Obra de llegada con pozos gruesos donde se extraen los sólidos de gran volumen mediante una cuchara bivalva.

- b) Pretratamiento constituido por rejillas de desbaste, desarenado y desengrasado.
  - c) Decantación primaria donde se extrae el fango primario y flotantes presentes en el agua residual.
  - d) Tratamiento biológico por fangos activos.
  - e) Decantación secundaria donde se extrae el fango secundario.
  - f) Cloración.
- b) *Línea de fango:*
- a) Espesamiento: los fangos primarios sufren un espesamiento por gravedad y los secundarios por flotación, para su posterior envío a la digestión.
  - b) Digestión anaerobia de los fangos con producción de biogás.
  - c) Deshidratación del fango mediante filtros de banda o centrífugas, previo acondicionamiento, alcanzándose una sequedad del 20-40% para darle un destino adecuado (vertedero, fertilizante, etc.).
- c) *Línea de gas:* el biogás producido en los digestores se emplea para la producción de energía eléctrica y/o térmica que se consume en las plantas, vendiéndose el resto a la red si fuera el caso.
- d) *Línea de aire:* se trata de un sistema de protección medioambiental para reducción de olores y ruidos.

Los lodos, una vez que se producen en las depuradoras y se someten a digestión anaerobia en los casos correspondientes, en la Comunidad de Madrid se llevan a vertedero o a plantas de secado térmico con cogeneración a partir de gas natural. En ellas los lodos se introducen en un sistema para reciclar la parte sólida y obtener un producto granulado seco, estable e higienizado, que reduce el transporte y mejora el almacenamiento, facilitando así su aplicación directa al terreno como fertilizante orgánico y disminuyendo el uso de fertilizantes químicos.

**Tabla 7.** Capacidad de depuración en las EDAR gestionadas por el Canal de Isabel II.

Cuenca fluvial	N.º EDAR	Habitantes equivalentes de diseño totales	DBO <sub>5</sub> media de influente (mg/l)	Consumo diario medio de agua (l/hab/día)
Lozoya	26	1.273.020		
Guadalix	5	81.500		
Henares	4	529.713		
Manzanares	7	125.120		
Tajo	2	161.500		
Guadarrama	12	1.388.225	275	260
Ausencia	6	82.500		
Alberche	13	72.801		
Cofio	5	28.500		
Perales	3	13.384		

(Fuente: Canal de Isabel II. 2003).

## 5.2. LOS RSU

Pertencientes al Ayuntamiento de Madrid, hay tres plantas de tratamiento y eliminación de los RSU, que son la planta de clasificación y compostaje, la planta de clasificación, compostaje e incineración, y el vertedero de Valdemingómez, todas ellas en el denominado Complejo Medioambiental de Valdemingómez. Las características de cada uno de dichos centros se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8.** Capacidad unitaria de las instalaciones de tratamiento de RSU del Ayuntamiento de Madrid.

		Instalación	Capacidad total
Centro La Paloma	Planta de separación y clasificación de RSU	Tratamiento de bolsa de restos (2 líneas)	256.000 t/año
		Tratamiento de bolsa amarilla (1 línea)	56.000 t/año
	Planta de compostaje		140.000 t/año
Centro Las Lomas	Planta de separación y recuperación (4 líneas de tratamiento de bolsa de restos)		438.000 t/año
	Planta de compostaje		230.000 t/año
	Planta de valorización energética (incineradora de Valdemingómez)		600 t/día
Centro Las Dehesas	Planta de separación y clasificación de RSU	Tratamiento de bolsa de restos (2 líneas)	475.000 t/año
		Tratamiento de bolsa amarilla (2 líneas)	90.000 t/año
	Planta de compostaje		200.000 t/año
	Planta de tratamiento de plásticos		1 t/h
	Planta de tratamiento de voluminosos		60 t/h
Planta de tratamiento de restos de animales		0,5 t/h	
Planta de tratamiento de lixiviados		50 m <sup>3</sup> /día	

(Fuente: Ayuntamiento de Madrid. 2003).

Por otro lado, en la Comunidad de Madrid hay cinco vertederos para el tratamiento de los RSU y que presentan las características que se muestran en la tabla 9.

El aprovechamiento energético de los RSU como fuente de energía en la Comunidad de Madrid, se tiene a partir de tres métodos que son los que a continuación se comentan.

**Tabla 9.** Características de los vertederos de la Comunidad de Madrid bajo las condiciones de 1995 de generación y vertido de RSU.

	Superficie (ha)	Zona vertido (ha)	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Ocupación en 1995 (m <sup>3</sup> )
Alcalá de Henares	30	22	4.000.000	300.000
Nueva Rendija	10,5	8	2.800.000	600.000
Pinto	99,2	51,3	12.300.000	4.000.000
Colmenar de Oreja	16,34	15,6	790.000	400.000
Colmenar Viejo	32	22	1.250.000	240.000

(Fuente: Plan Autonómico de Gestión de RSU de la Comunidad de Madrid. 1987).

- a) *A partir de la desgasificación de los vertederos sanitariamente controlados:* la materia orgánica se degrada en condiciones de anaerobiosis, produciéndose metano. Éste es un gas combustible, componente principal del gas natural, por lo que sellando el vertedero, realizando pozos de captación y con un sistema de recogida, canalización y tratamiento adecuado, se puede realizar su aprovechamiento en motores para la producción energética. Es el ejemplo que se tiene en los vertederos de Pinto, Colmenar Viejo o incluso en el mismo Valdemingómez.
- b) *Digestión anaerobia de la fracción orgánica:* tiene lugar en ausencia de oxígeno. La materia orgánica se introduce en unos digestores en condiciones de anaerobiosis para la producción de biogás, formándose posteriormente compost a partir de ella. Es poco empleado a nivel industrial, pero en la Comunidad de Madrid se tiene un buen ejemplo de ello en el vertedero de Pinto.
- c) *Tratamientos térmicos:* en la Comunidad de Madrid se tiene el ejemplo de la incineradora de Valdemingómez, en la que a partir de una combustión, se puede llegar a reducir el 80% del volumen de los residuos. En este proceso, es muy importante la depuración de gases que se controla con diversos métodos como los filtros de mangas, la inyección de carbón activo, etc.

## 6. LA ESTRUCTURA ENERGÉTICA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

### 6.1. INTRODUCCIÓN

En la Comunidad Autónoma de Madrid hay una serie de factores que inciden directamente sobre las necesidades energéticas y la forma en la que se satisfacen. Por una parte, hay una gran concentración de población urbana, el nivel de vida es uno de los más altos de España superados sólo por los habitantes de las Islas Baleares, y al contar con una estructura productiva volcada hacia los servicios, muy por encima de la media española, explica que haya una intensidad de consumo de energía tan alta, cerca del 10% del consumo energético español y en torno al 13% de toda la facturación eléctrica nacional.

Por lo que respecta a la producción energética en la Comunidad de Madrid, cuenta con una pequeña producción de energía hidráulica complementada con plantas de cogeneración, generalmente utilizando como combustible gas natural. A esto hay que añadir aproximadamente la producción energética con energías renovables que cubren el 2% del consumo final. Por tanto, la alta dependencia que tiene en materia energética es un factor importante a tener en cuenta para intentar establecer programas de autoabastecimiento energético.

Con todo lo anterior, se llega a la conclusión que la Comunidad de Madrid es una región que incide negativamente en el medioambiente respecto a la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo de forma directa en el cambio climático a nivel nacional, por lo que con los programas de apoyos a las energías renovables, de eficiencia y ahorro energético a nivel doméstico, urbano e industrial, se podría conseguir una situación medioambiental más favorable para el conjunto de la Comunidad para que repercutiera directamente sobre sus ciudadanos.

## 6.2. EL BALANCE ENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD DE MADRID

En la Comunidad de Madrid la producción de energía es más bien escasa. Teniendo en cuenta los datos del año 2000, la producción efectiva de energía eléctrica fue de 1.080.237 MWh (Megavatios-hora; 1 MWh =  $10^6$  Wh; Wh = vatios-hora), que corresponden a 92.000 tep (toneladas equivalentes de petróleo; 1 tep =  $10^7$  kcal; kcal = kilocalorías), que junto a la imputación para usos térmicos de la biomasa y de la energía solar térmica (96.500 tep), se obtiene una cifra de 188.500 tep de producción propia, siendo esto el 2% del total del consumo de energía final de la Comunidad.

Los sectores más consumidores son el transporte y en menor medida el de usos domésticos. Respecto a las fuentes de energía destacan los gasóleos (principalmente para transporte), electricidad, queroseno, gasolinas y gas natural. Teniendo en cuenta a lo que la biomasa puede sustituir, se estudia que la biomasa puede sustituir al carbón, coque, gasóleos, fuelóleos, GLP (gases licuados del petróleo), gas natural y electricidad, ya que sumando toda la energía que representan en la Comunidad es superior a la energía consumida en el transporte por medio de la gasolina y del gasóleo, representando aquella cifra en conjunto el 48,83% del total frente al 30,13% del total de gasolinas y gasóleos.

## 6.3. LA BIOMASA EN LA COMUNIDAD DE MADRID.

En el año 2001 hubo una producción total de 111.993 tep con biomasa y se espera que para el año 2010 se alcance la cifra de 360.000 tep, incluyendo el biogás y los biocarburantes.

La producción de energía eléctrica a partir de la biomasa es una de las mayores apuestas de la región. Asimismo, tampoco hay que dejar de lado la importancia que pueden tener las EDAR y ERAR, así como los lugares de tratamiento de RSU, para la producción de energía eléctrica.

Respecto a los biocarburantes, puede ser bastante interesante la reutilización de aceites usados para su empleo en los motores de combustión, siempre y cuando haya un sistema de recogida planificado y bien estructurado.

## 7. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO CON BIOMASA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Las fuentes de biomasa que se van a considerar para fines energéticos en la Comunidad de Madrid, son las procedentes de los residuos agrícolas herbáceos (la mitad como media de la producción de paja producida en los cultivos de cereales, ya que habrá años de mucha producción y ese porcentaje sea incluso bastante superior habiendo excedentes que provocarían un precio bajo de la materia prima, y años en los que la producción de la paja sea baja y al haber demanda ganadera el precio de la biomasa para fines energéticos será mayor), de los residuos agrícolas leñosos, de los residuos forestales, del cardo como cultivo energético, de las aguas residuales y de los RSU.

La evaluación que se realiza es teniendo en cuenta el potencial total<sup>1</sup> existente de los distintos tipos de biomasa, aunque a nivel de proyecto particular haya que cuantificar el potencial real<sup>2</sup> de las mismas, ya que si se hiciera a nivel de potencial disponible<sup>3</sup> habría un margen de error que desde un punto de vista económico podría acarrear algún problema respecto a la viabilidad económica del proyecto.

Partiendo de los datos de la tabla 1, considerando además los índices de regionalización para las distintas comarcas agrarias de la Comunidad, publicados en el Boletín Oficial del Estado n.º 29 de 2 de febrero de 2002, a partir de los coeficientes de producción de residuos y los valores de los poderes caloríficos mostrados en la tabla 10, así como lo comentado para el cultivo de cardo el cual posee un poder calorífico de 3.000 kcal/kg, en la tabla 11 se muestra la cantidad de energía procedente de biomasa agrícola capaz de producirse en cada una de las comarcas agrarias de la Comunidad de Madrid.

Si se tiene en cuenta la tabla 5 así como los valores de la tabla 12, en la tabla 13 se muestra la energía procedente de la biomasa forestal en cada una de las comarcas agrarias de la Comunidad de Madrid.

Respecto a la biomasa antropogénica procedente de las aguas residuales, hay que decir que para poder determinar el potencial energético de las mismas, se parte de variables como la capacidad de diseño de las depuradoras, el consumo diario de agua por habitante la concentración media de  $DBO_5$ <sup>4</sup> y el poder calorífico del biogás que

---

<sup>1</sup> *Potencial total*: es toda la biomasa susceptible de aprovechamiento sin considerar su posibilidad real de explotación o los aprovechamientos que se hagan actualmente.

<sup>2</sup> *Potencial real*: es toda la biomasa que puede utilizarse con las tecnologías existentes y sin otro valor que el energético y cuyo aprovechamiento es técnica y económicamente viable.

<sup>3</sup> *Potencial disponible*: es toda la biomasa que de momento no está siendo utilizada para ningún otro fin. En alguna ocasión la biomasa puede ser utilizada dentro de la propia explotación con un destino distinto al energético, por lo que ésta no debe considerarse en la cuantificación de la biomasa para dicho uso.

<sup>4</sup>  $DBO_5$ : es la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos para asimilar la materia orgánica presente. Es una medida del contenido en materiales asimilables bioquímicamente.

se establece en 5.500 kcal/m<sup>3</sup>, sabiendo que se producen 450 m<sup>3</sup>/t de DBO<sub>5</sub> de carga existente.

**Tabla 10.** Producción de residuos y poderes caloríficos en los principales cultivos agrícolas.

Residuos agrícolas herbáceos		Residuos agrícolas leñosos			
	kg residuo/kg producto	Poder calorífico (kcal/kg)	Toneladas residuo/ha	Poder calorífico (kcal/kg)	
Trigo	1,2	3.630 (10% de humedad)	Frutales hueso/pepita	2-3,5	3.300 (20% de humedad)
Cebada/Avena	1,35		Frutales frutos secos	1,5	
Centeno/Triticale	2,5		Olivo	1,7	3.120 (20% de humedad)
Maíz	2,73		Vid	3,5	3.280 (20% de humedad)

(Fuente: Diversos autores).

**Tabla 11.** Producción total energética anual (tep) con biomasa agrícola en cada comarca.

	Paja 50%	Retirada cardo	Frutales	Olivar	Viñedo	Total
I	1.911	8.494	0	133	195	10.734
II	0	0	0	0	0	0
III	9.113	15.242	9	186	104	24.654
IV	18.194	28.044	122	2.271	3.111	51.741
V	6.523	15.593	2	1.145	10.518	33.781
VI	43.789	18.955	42	8.274	7.093	78.154

(Fuente: Elaboración propia).

**Tabla 12.** Producción de residuos y poderes caloríficos en las masas forestales.

	t/ha y año	Poder calorífico (20% humedad)
Matorral	0,5	3.100
Matorral con frondosas	0,75	3.260
Matorral con coníferas	1	3.388
Frondosas	0,5	3.420
Coníferas	1,75	3.675
Coníferas + frondosas	1,5	3.548

(Fuente: Diversos autores).

**Tabla 13.** Producción total energética anual (tep) con biomasa forestal en cada comarca.

	Matorral	Matorral con frondosas	Matorral con coníferas	Frondosas	Coníferas	Frondosas y coníferas	Total
I	6.458	2.069	33	2.059	14.640	878	26.137
II	3.085	2.450	950	509	11.255	1.040	19.290
III	1.709	1.740	38	2.715	2.412	134	8.747
IV	1.737	332	0	220	1.065	0	3.353
V	1.927	1.448	2.393	322	8.152	2.023	16.264
VI	4.762	606	0	319	275	0	5.961

(Fuente: Elaboración propia).

A partir de los datos comentados anteriormente y junto con los datos de las tablas 6 y 7, en la tabla 14 se muestra la producción de energía teórica en las distintas cuencas fluviales, mientras que en la tabla 15 se muestra la producción de energía teórica y real de las ERAR gestionadas por el Ayuntamiento de Madrid, puesto que todas ellas tienen sistema de digestión anaerobia.

**Tabla 14.** Producción total energética anual con biogás de depuradoras gestionadas por el Canal de Isabel II.

Cuencas fluviales	Energía producida teórica (tep)
Lozoya	8.223
Guadalix	526
Henares	3.421
Manzanares	808
Tajo	1.043
Guadarrama	8.967
Ausencia	533
Alberche	470
Cofio	184
Perales	86
Total	24.262

(Fuente: Elaboración propia).

**Tabla 15.** Producción total energética anual con biogás de depuradoras gestionadas por el Ayuntamiento de Madrid.

ERAR	Energía producida real (tep)	Energía producida teórica (tep)
Viveros de La Villa	2.269	3.402
La China	6.855	6.775
Butarque	5.464	7.588
Sur	8.399	17.749
Sur Oriental	—	683
Valdebebas	182	501
Rejas	1.663	2.785
Total	24.832	39.481

(Fuente: Elaboración propia).

En resumen, la energía teórica producida a partir de los datos anteriores procedente del biogás de depuradoras en la Comunidad de Madrid, suma un total de 63.743 tep.

Respecto a los RSU, hay que tener en cuenta que por cada tonelada de residuos depositados en el vertedero, se producen aproximadamente 370 m<sup>3</sup> de biogás, considerando un 50% de materia orgánica y una humedad del 35%. Pero como no todo el residuo es metanizable y algo se puede escapar a la atmósfera, se estima que la cantidad de biogás aprovechable es de 100 m<sup>3</sup> de biogás por cada tonelada de residuo en un período entre 10 y 15 años. A partir de este comentario y de la tabla 9, en la tabla 16 se muestra la cantidad de energía que se podría obtener de los vertederos gestionados por la Comunidad de Madrid una vez que se clausuren.

**Tabla 16.** Producción total energética anual con biogás de los vertederos gestionados por la Comunidad de Madrid.

Vertederos	Energía producida teórica (tep)
Alcalá de Henares	3.667
Nueva Rendija	2.567
Colmenar de Oreja	724
Colmenar Viejo	1.146
Total	8.104

(Fuente: Elaboración propia).

Al valor total recogido en la tabla 16 de 8.104 tep, hay que sumar la energía procedente de la incineradora y del vertedero de Valdemingómez, así como la energía producida en la planta de biometanización y en el vertedero de Pinto. En el vertedero de Valdemingómez durante los 16 que estén funcionando las instalaciones, se producirán un total de 18.425 tep cada año. En la incineradora, según los datos del Ayuntamiento de Madrid, en el año 2002 se produjeron 20.197 tep y en la planta de biometanización junto al vertedero de Pinto se espera una producción anual de 57.323 tep. En definitiva, la cantidad total de energía que se produciría cada año con biomasa antropogénica asciende a 121.066 tep. Seguidamente se establecen tres posibles casos de producción de energía con biomasa.

- a) Agrupando toda la producción energética con biomasa comentada anteriormente, cada año se podría producir una cantidad total de energía de 399.882 tep, que equivale a algo menos del 4,5% de toda la energía anual consumida en la Comunidad.
- b) En el caso de que se dejase de recibir la subvención de la PAC tal y como ahora se conoce, y se recibiese sólo la ayuda de 45 €/ha que a partir del año 2004 se va a percibir por cultivar especies con destino energético, haciendo el correspondiente balance económico entre los cultivos tradicionales y los energéticos en cada una de las comarcas madrileñas, muchas tierras que en la ac-

tualidad se cultivan de cereales dejarían de cultivarse por no ser rentables, y podrían pasar a cultivarse por ejemplo con cardo, siendo en toda la Comunidad un total de 31.282 hectáreas. La cantidad total de energía que se podría llegar a producir sería ahora en este caso de 532.652 tep, equivalente al 5,85% del total de la energía consumida en la Comunidad.

- c) Con el marco legislativo actual en el que en las tierras que se vienen cultivando con especies tradicionales se puede cultivar especies energéticas recibiendo la subvención actual más el plus de 45 €/ha comentado anteriormente (para una cantidad máxima en toda la UE de 1.500.000 ha), se podría llegar a sustituir toda la superficie de cereal por especies energéticas, produciéndose junto con el resto de la biomasa presente en la Comunidad de Madrid un total de 761.239 tep, que equivale al 9,16% del total de la energía consumida en la Comunidad.

Respecto a la evaluación ambiental, partiendo de los factores de emisión y de producción presentes en la tabla 17, se puede establecer el balance ambiental de esta energía respecto al CO<sub>2</sub> y la cantidad equivalente de combustibles tradicionales que produciría en cada caso la misma cantidad de energía que con biomasa.

**Tabla 17.** Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y de producción para usos energéticos. (kt CO<sub>2</sub> = kilotoneladas de CO<sub>2</sub> = 1.000 t de CO<sub>2</sub>; ktep = kilotep = 1.000 tep).

	<b>Factores de emisión de CO<sub>2</sub> (kt CO<sub>2</sub>/ktep)</b>	<b>Factores de producción (tep/t)</b>
Hulla + Antracita nacional	4,032	0,4850
GLP	2,614	1,1300
Gasolina	2,872	1,0700
Gasóleo	3,070	1,0350
Fueloleo	3,207	0,9600
Gas natural	2,337	1,0800
Biomasa	0	—

(Fuente: Plan de Fomento de las Energías Renovables 1999 y Agencia Internacional de la Energía).

La biomasa tiene un factor de emisión nulo porque la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera ha sido previamente fijado por la misma en su formación. Incluso no es eso del todo cierto, ya que las plantas fijan CO<sub>2</sub> en partes que luego no se utilizarán para fines energéticos como son las raíces, por ejemplo, por lo que el factor de emisión visto así sería incluso negativo, es decir, se toma más CO<sub>2</sub> de la atmósfera de lo que posteriormente se emite durante la producción energética.

A la vista de los valores de la tabla 17 para cada uno de los tres casos planteados anteriormente de producción energética con biomasa en la Comunidad de Madrid, se establecen las emisiones evitadas así como la cantidad de combustible equivalente, mostrándose dichos valores en la tabla 18.

**Tabla 18.** Emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera para cada combustible y cantidad equivalente de combustibles tradicionales consumidos en cada caso.

	Caso a		Caso b		Caso c	
	Emisiones evitadas (kt CO <sub>2</sub> )	Cantidad necesaria (t)	Emisiones evitadas (kt CO <sub>2</sub> )	Cantidad necesaria (t)	Emisiones evitadas (kt CO <sub>2</sub> )	Cantidad necesaria (t)
Hulla + Antracita nacional	1.612	824.499	2.148	1.098.252	3.069	1.569.505
GLP	1.045	353.878	1.392	471.373	1.990	673.663
Gasolina	1.148	373.721	1.530	497.806	2.186	711.438
Gasóleo	1.228	386.359	1.639	514.640	2.337	735.497
Fueloleo	1.282	416.544	1.708	554.846	2.441	792.957
Gas natural	935	370.261	1.245	493.196	1.779	704.851

(Fuente: Elaboración propia).

## 8. CONCLUSIONES

Como se ha podido constatar, en la Comunidad de Madrid existen actualmente fuentes de biomasa variadas que prácticamente no se las está dando un mínimo uso energético.

La rentabilidad de los cultivos tradicionales de secano al ser escasa y al no poder esperar que siempre existan subvenciones procedentes de la UE, con cultivos energéticos como el cardo se satisfacen las necesidades de los agricultores contribuyendo también favorablemente sobre el medio ambiente. Si a este tipo de biomasa se une el aprovechamiento sostenible de las superficies forestales y la biomasa antropogénica producida en lugares tan cosmopolitas como la Comunidad de Madrid, se brinda la posibilidad de sustituir una buena parte de los combustibles tradicionales consumidos actualmente.

Finalmente, invitar a todas las Administraciones Públicas, instituciones privadas y a particulares en general, a poner todos los instrumentos necesarios para que se puedan sustituir las fuentes de energía convencionales por fuentes de energía alternativas, y en especial apuesten por la biomasa, de tal forma que se provoque un impacto positivo sobre el medio ambiente del cual todos nos beneficiamos a corto y medio plazo, y de esa forma no se hipotecará el mismo para las futuras generaciones.

## AGRADECIMIENTOS:

El presente trabajo se ha podido realizar gracias al apoyo económico ofrecido por la Obra Social Caja Madrid en el año 2002 para la realización del estudio «La biomasa y su aprovechamiento energético en la Comunidad de Madrid».

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO MATEOS, J. J. y SANZ GALLEGO, M. *La biomasa y los biocarburantes en la provincia de Segovia*. 182 p. 2002.
- BALLESTEROS PERDICES, M. *Fermentaciones en estado líquido. Fermentación alcohólica en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Instituto de Estudios de la Energía. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). 37 p. 1996.
- BALLESTEROS PERDICES, M. et. al. *Bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica: una opción cercana*. Infopower Nov-Dic 2000, pp. 99-104. 2000.
- BALLESTEROS PERDICES, M. *Bioetanol y ETBE en Situación actual y futuro de la biomasa*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 12 p. 2003.
- CAMPS MICHELENA, M. y MARCOS MARTÍN, F. *Los biocombustibles*. Mundiprensa. 364 p. 2002.
- CARRASCO GARCÍA, J. *Producción y utilización de los biocombustibles líquidos en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 27 p. 1996.
- CARRERAS ARROYO, N. *Digestión anaerobia en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 27 p. 1996.
- CARRERAS ARROYO, N. *Biomasa residual seca (sólidos urbanos) y húmeda (ganadera, agroindustrial y aguas residuales). Recursos en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 31 p. 1996.
- CARRERAS ARROYO, N. *Residuos biodegradables en Situación actual y futuro de la biomasa*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 38 p. 2003.
- CARRILLO, P. *Bioetanol: obtención y aplicación en Situación actual y futuro de la biomasa*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 49 p. 2003.
- COLL BATLORI, D. *La intensificación ganadera como proceso de producción de residuos en Residuos Ganaderos*. Fundación La Caixa. 12 p. 1993.
- Comisión Europea. *Libro Verde: Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético*. Dirección General de Energía y Transportes. Comisión Europea. 109 p. 2001.
- Consejería de Agricultura y Ganadería. *Código de Buenas Prácticas Agrarias*. Consejería de Agricultura y Ganadería. Junta de Castilla y León. 46 p. 1998.
- Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional. *Plan Autonómico de Residuos Sólidos Urbanos de la Comunidad de Madrid (1997-2005)*. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional. Comunidad de Madrid. 156 p. 1997.
- Ente Regional de la Energía (EREN). *Energía en Castilla y León*. Consejería de Industria, Comercio y Turismo. Junta de Castilla y León. 153 p. 2000.
- Ente Vasco de la Energía (EVE). *Valorización energética de RSU integrada con ciclo combinado*. Tecnologías Avanzadas de Generación Eléctrica. EVE. 4 p. 2001.
- EVE. *Plantas de valorización de biogás de vertedero*. Tecnologías Avanzadas de Generación Eléctrica. EVE. 4 p. 2001.
- De Esteban, F. *La biomasa en los programas comunitarios en Jornada sobre biomasa en España. Oportunidades de negocio y posibilidades de mercado*. IDAE. 12 p. 2000.
- Esteban Pascual, L. S. *Biomasa de origen residual: evaluación de recursos en Situación actual y futuro de la biomasa*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 23 p. 2003.

- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J. *Los cultivos energéticos: agroenergética en Situación actual y futuro de la biomasa*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 11 p. 2003.
- GARCÍA BACAICOA, P. *Gasificación en Situación actual y futuro de la biomasa*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 19 p. 2003.
- GONZÁLEZ IZQUIERDO, E. *Biomasa residual seca (forestal, agrícola e industrial) en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 31 p. 1996.
- IDAE. *Manuales de Energías Renovables. N.º 3. Energía de la biomasa*. IDAE. 155 p. 1996.
- IDAE. *Manuales de Energías Renovables. N.º 4. Incineración de Residuos Sólidos Urbanos*. IDAE. 144 p. 1996.
- IDAE. *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*. IDAE. 271 p. 1999.
- Infopower Plant Report. *Planta de secado térmico de lodos con cogeneración de 25 MW en la ERAR Sur de Madrid*. Infopower febrero 2001, pp. 115-137. 2001.
- Infopower. *Proyecto de recuperación del vertedero de Valdemingómez*. Infopower marzo 2002, pp. 52-53. 2002.
- JIMÉNEZ JIMÉNEZ, J. C. (Coor.) et. al. *Balance y estructura energética de la Comunidad de Madrid 2001-2002*. Cámara de Comercio Madrid, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de Madrid y Club Español de la Energía. 199 p. 2003.
- MANZANARES SECADES, P. *Aceites vegetales y ésteres metílicos en Situación actual y futuro de la biomasa*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 60 p. 2003.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de la Comunidad de Madrid*. MAPA. 113 p. 1986.
- ORTIZ TORRES, L. *Pretratamiento de la biomasa en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 10 p. 1996.
- ORTIZ TORRES, L. *Recolección, astillado y secado natural de la biomasa en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Instituto de Estudios de la Energía. CIEMAT. 33 p. 1996.
- SEBASTIÁN, F. *RSU. Tratamientos en Máster Europeo en Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Universidad de Zaragoza. 19 p. 2002.
- SILVA FRÍAS, A. *La eficiencia energética en la depuración del agua residual. La depuradora de La Almozara de Zaragoza en Máster Europeo en Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Universidad de Zaragoza. 54 p. 2002.
- TORREMOCHA, M. A. *Aproximación a la geografía de la Comunidad de Madrid*. Consejería de Educación y Cultura. Comunidad de Madrid. 131 p. 1992.
- TORRES FERNÁNDEZ, E. *Plan de tratamiento de residuos ganaderos. Experiencia en Cataluña en Residuos Ganaderos*. Fundación La Caixa. 15 p. 1993.
- VV.AA. *Plan de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Comunidad de Madrid (1995-2005)*. Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid. 274 p. 1995.
- VV.AA. *Las Energías Renovables en Castilla y León*. EREN. Junta de Castilla y León. 83 p. 1997.