

# Los residuos agrícolas de poda

Agencia Extremeña de la Energía



## **Agencia Extremeña de la Energía**

[www.formatebio.es](http://www.formatebio.es)

[www.agenex.org](http://www.agenex.org)

[info@formatebio.es](mailto:info@formatebio.es)

### **Teléfonos y Direcciones:**

Rnd. De San Francisco  
Nº 3, 1ª Planta  
10005 Cáceres

Tel.: +34 927 625 794

Fax: +34 927 625 795  
[agenex@dip-caceres.es](mailto:agenex@dip-caceres.es)

Avda. Antonio Masa Campos  
Nº 26, Bajo  
06011 Badajoz

Tel.: +34 924 26 21 61

Fax: +34 924 25 84 21  
[agenex@dip-badajoz.es](mailto:agenex@dip-badajoz.es)

# PRÓLOGO

Desde la Agencia Extremeña de la Energía, dentro del Programa Emplea Verde 2007-2013 y en coordinación con La Fundación Biodiversidad, se lanza el Proyecto FORMATE-BIO destinado a dar formación a trabajadores de Pymes y trabajadores agrarios que se encuentran involucrados en la cadena de valor de la biomasa. El proyecto tiene como objetivo la formación específica sobre cada una de sus potenciales áreas de mejora dentro de las empresas en las que se encuentran.

Dentro de la producción de energías con nuevas fuentes, algunas son ya suficientemente conocidas y otras no tanto. De ahí la labor por parte de la Agencia Extremeña de la Energía de dar a conocer qué es la biomasa y su gran potencial como fuente de energía en la región.

La biomasa, entendida como el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, es un tipo de energía con amplio espectro de posibles materias primas.

El presente trabajo pretende ser un libro de consulta para todo aquel que tenga inquietudes sobre las distintas opciones dentro de la biomasa.

AGENCIA EXTREMEÑA DE LA ENERGÍA



# ÍNDICE

■	Prólogo	
■	1 INTRODUCCIÓN	1
■	2 LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE LA PODA	8
■	2.1 Situación en Extremadura	8
■	3 ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE PODA	12
■	3.1 Residuos de la poda de la vida	13
■	3.2 Residuos de la poda del olivo	14
■	4 MAQUINARIA DE RECOLECCIÓN	16
■	5 APLICACIONES	23
■	5.1 Generación de electricidad a partir de los residuos de la poda	23
■	5.2 Generación de energía térmica a partir de los residuos de la poda	26
■	Bibliografía	28

# POTENCIALES NICHOS DE MERCADO EN ZONAS RURALES II, LOS ÁRBOLES COMO FUENTE DE RIQUEZA: LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE PODA.

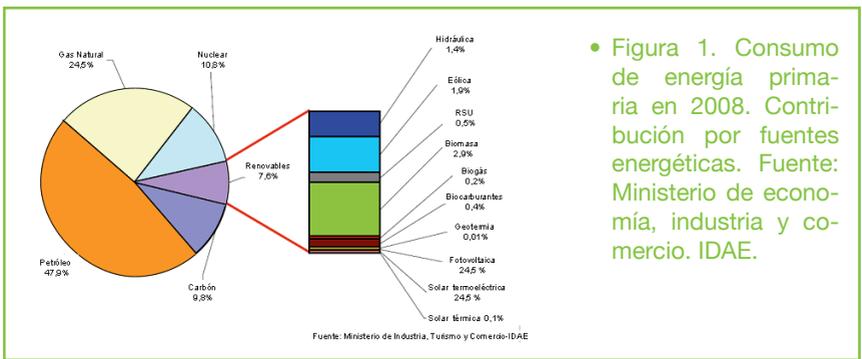
## 1. INTRODUCCIÓN

La biomasa presenta la gran oportunidad para el sector agrario en el siglo XXI, ofreciéndole recuperar todo su potencial productivo, sin problemas de generación de excedentes, con un planteamiento sostenible basado en la viabilidad económica y el respeto al medio ambiente.

El presente documento aborda la producción y utilización de los residuos agrícolas de las podas como biomasa. El objetivo es divulgar las posibilidades de esta fuente energética de enormes perspectivas para el sector agrario, pero bastante compleja en cuanto a la combinación de las posibles fuentes, procesos y aplicaciones, lo que hace que frecuentemente se produzca una cierta confusión en torno a la misma, con apreciaciones parciales e ideas preconcebidas que no corresponden a la realidad.

El desconocimiento sobre el potencial real de la biomasa se debe principalmente a su enorme diversidad en cuanto al recurso, procesos de transformación y aplicaciones, con múltiples combinaciones entre si, siendo frecuente que se consideren aspectos parciales de la fuente esta fuente de energía en lugar de tener una visión de conjunto de la misma.

Actualmente, más del 80% de nuestro abastecimiento energético proviene de energías fósiles, otro 13% de energía nuclear, y solamente alrededor del 6% de Energías Renovables. Este 94% no renovable conlleva importantes implicaciones medioambientales y una fuerte dependencia del abastecimiento exterior.



• Figura 1. Consumo de energía primaria en 2008. Contribución por fuentes energéticas. Fuente: Ministerio de economía, industria y comercio. IDAE.

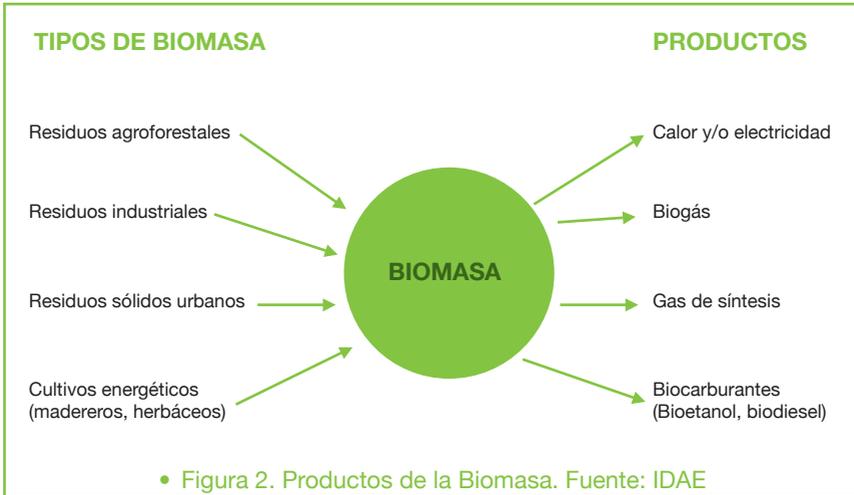
La biomasa, a pesar de ser una fuente de energía tan aparentemente conocida por todo el mundo. En la figura 1, se indica el balance de energía primaria que se utiliza en España, referida a 2008, con el desglose de las energías renovables. Como puede observarse, la biomasa en su conjunto, incluyendo todas las formas de bioenergía constituye el de la energía primaria aportada por las renovables, siendo por tanto la fuente de energía primaria renovable más utilizada en nuestro país, situación que se da también a nivel mundial.

En relación al recurso, se puede definir biomasa como todo tipo de materia orgánica de origen biológico, ya sea vegetal, animal o industrial. Se excluyen los productos energéticos fósiles o sus derivados, y todos los productos agrícolas que sirven de alimentación al hombre y a los animales domésticos. A grandes rasgos, la biomasa se puede clasificar en tres tipos:

- Biomasa natural, es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- Biomasa residual, que es la que genera cualquier actividad humana.
- Biomasa producida, que es la cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible.

En esta definición quedan excluidas del término de biomasa todos los productos agrícolas que sirven de alimentación al hombre y a los animales domésticos, así como los combustibles fósiles, estos últimos por derivar de materiales biológicos, pero que a través de transformaciones se han alterado muy profundamente su naturaleza.

La biomasa de origen residual puede definirse como el conjunto de materiales orgánicos generados en las actividades de producción, transformación y consumo, que en el contexto en el que se generan no tienen valor económico. La biomasa residual dependiendo de su origen puede clasificarse en: residuos agrícolas, forestales, ganaderos, e industriales. La heterogeneidad de recursos aprovechables es una característica intrínseca de los sistemas de producción de energía asociados a la biomasa. Ello aumenta su complejidad ya que cada proyecto necesita análisis específicos de disponibilidad, extracción, transporte y distribución. De hecho, la forma de extraer y utilizar como combustible los restos de una actividad forestal es distinta al uso de los residuos de una industria forestal. Por este motivo se utiliza la clasificación anteriormente mencionada, pues dependiendo de su origen, el tratamiento que se le da a la biomasa es diferente. En la figura 2 se ilustran los diferentes tipos de biomasa y sus principales aplicaciones.



Los residuos agrícolas que abarcan todas las partes de los cultivos que no son consumibles o comercializables. Generalmente se trata de restos lignocelulósicos que se suelen quemar en las tierras de cultivo. Se pueden clasificar en función de su naturaleza y características físico-químicas en herbáceos y leñosos.



• Figura 3. Residuos agrícolas de la poda del olivar

Los residuos agrícolas se pueden dividir en:

- Los residuos agrícolas herbáceos proceden de plantas de tallo no leñoso que mueren al final de su temporada de crecimiento.
- Los residuos agrícolas leñosos proceden principalmente de las podas de los olivos, viñedos y frutales, por lo que su producción, al igual que en el caso de los anteriores, tiene un carácter estacional.

La utilización de los residuos forestales implica una serie de operaciones de limpieza, astillado y transporte, las cuales se describirán más adelante y que pueden superar en algunos casos los precios que el uso energético puede pagar, pero cuya realización constituye el origen de la existencia de este recurso y que se justifican desde el punto de vista medioambiental.

En este documento nos centraremos en los residuos agrícolas de las podas (leñosos).

En la siguiente figura se muestra a modo resumen las producciones y rendimientos por hectárea de los residuos de poda de los principales cultivos en España.

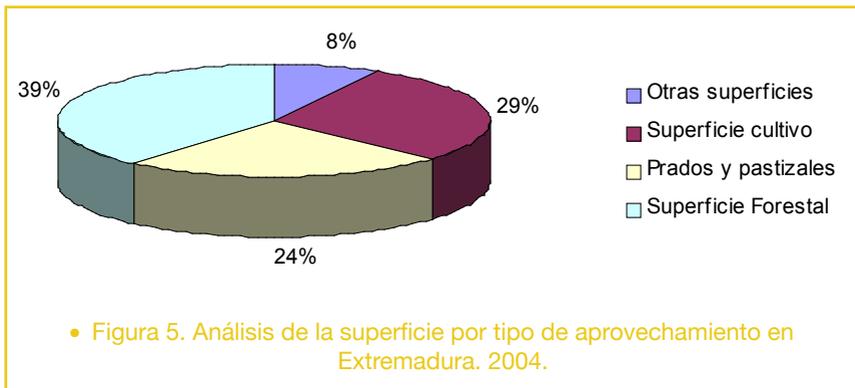
Cultivo	Superficie	Producción	Rendimiento
	ha	Tm	Tm/ha
Olivo	2.200.000	3.394.700	1,5
Viñedo	1.163.000	5.420.700	4,7
Almendro	664.000	279.100	0,4
Cítricos	283.350	5.820.900	20,5
Manzano	50.000	922.200	18,4

- Figura 4. Estimación de los rendimientos de residuos de poda de los principales cultivos leñosos en España por hectárea

## 2. LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE LA PODA

### 2.1 Situación en Extremadura

En Extremadura  $1.226 \times 10^3$  hectáreas se destinan a tierras de cultivo (Junta de Extremadura, 2004), lo que supone un 29% de la superficie total de la región, como se muestra en la figura 4. Las actividades agrícolas generan cantidades apreciables de subproductos y residuos que pueden ser aprovechados para diversos fines energéticos.



Una de las principales barreras existentes para la utilización energética de la biomasa es la imposibilidad de suministrar una cantidad constante que asegure la producción en las instalaciones de calor o electricidad. La viabilidad de cualquier proyecto dependerá en gran medida, tanto de la disponibilidad del recurso biomásico como de su gestión.

La estimación y localización de las cantidades de biomasa que puede generar la actividad agrícola permitirá llevar a cabo un aprovechamiento planificado de éstas, en las que se tenga en cuenta tanto aspectos económicos como de conservación del medio ambiente.

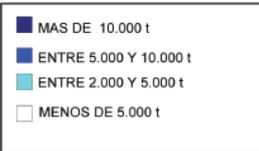
De este modo, el objetivo de este apartado es localización de la biomasa agrícola disponible para la producción energética y la localización cartográfica de estos recursos.

En las siguientes figuras se muestran los mapas de distribución comarcal correspondientes a los diferentes residuos dispersos considerados:

## RAMONES DE OLIVO



- Figura 6. Mapa de distribución comarcal de los ramones de olivo



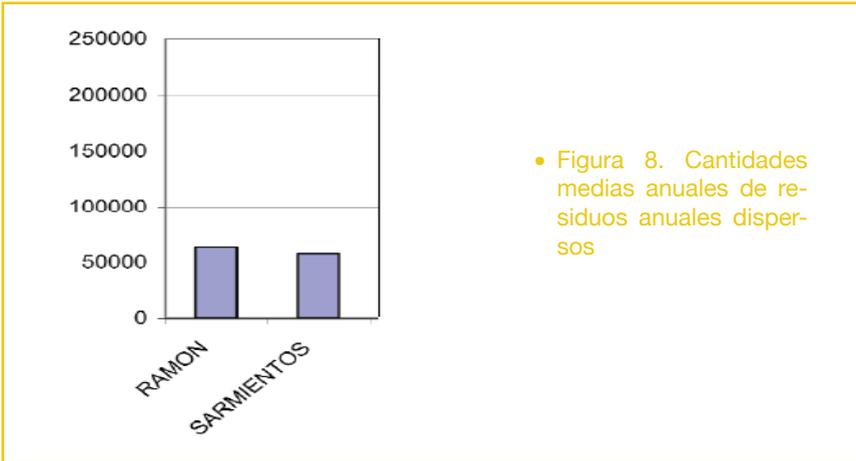
## SARMIENTOS VID



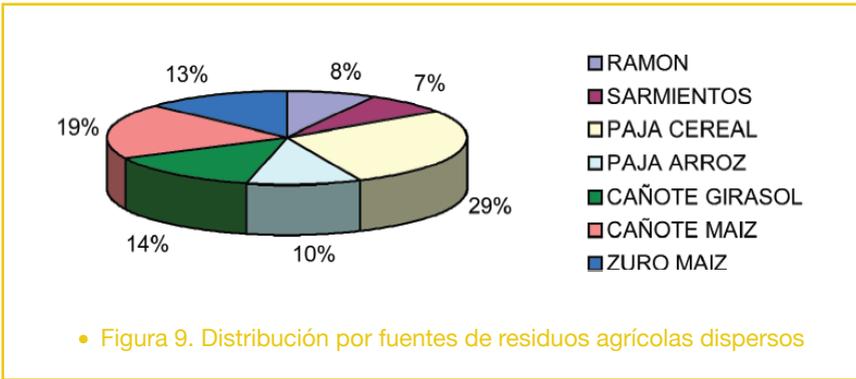
- Figura 7. Mapa de distribución comarcal de los sarmientos de la vid



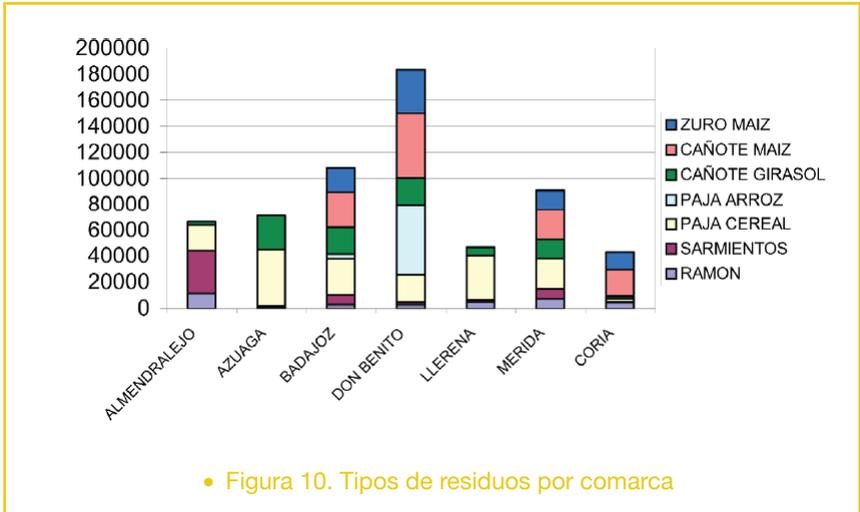
En las figuras siguientes se muestran las cantidades medias anuales en base húmeda y la distribución por fuente de residuos en Extremadura:



Si miramos la distribución por fuente de residuos agrícolas dispersos en la comunidad autónoma de Extremadura observamos que el ramón de olivo corresponde a un 8% y los sarmientos de la vid corresponde a un 7% del total, como se puede deducir de la siguiente figura.



Por último se muestran en la figura 10 las comarcas con mayores cantidades de residuos y su distribución por fuente y en donde podemos discernir que la comarca de Almendralejo es en donde mas concentración de sarmientos de la vid y ramones de olivo podemos encontrar.



### 3. ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE PODA

Las podas de olivos, viñedos y árboles frutales, tallos, y en general, la parte aérea de la planta que es preciso separar para facilitar la recolección constituyen su principal fuente de suministro.

Por otro lado, es necesario realizar un astillado o empaclado previo a su transporte que unido a la estacionalidad de los cultivos aconseja la existencia de centros de acopio de biomasa donde centralizar su distribución.

La mayoría de los residuos no se producen todo el año, pues están sujetos a la estacionalidad de las operaciones que los generan. En este apartado se pretende recogerla temporalización anual en la que se ocasiona la generación del recurso, con el objetivo de poder garantizar un stock de materia, que proporcione un suministro seguro de la biomasa en las instalaciones de aprovechamiento. En la siguiente figura se muestra la estacionalidad de los distintos residuos agrícolas de las podas.

	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEPT	OCTUB	NOVIEM	DICIEM
Sarmiento vid												
Poda olivar												

• Figura 11. Estacionalidad de los distintos residuos agrícolas de las podas

Por otro lado las cantidades de agua existentes en las leñas, ramones y hojas procedentes del cultivo varía mucho según el momento de la medición, ya que los distintos procesos a los que pueden verse sometidos hacen variar de forma muy importante su humedad. En el momento de la poda el contenido de agua va a ser muy distinto según el régimen de lluvias anteriores a esta operación.

El secado en el campo de los restos de la poda durante unos días, denominado “oreo”, da lugar a una importante reducción de la humedad si las condiciones meteorológicas lo permiten. Esta reducción permite alcanzar un nivel de humedad (base húmeda) del 25%. Según los objetivos fijados en el uso de la biomasa puede permitirse un secado mayor, con el fin de desprender las hojas del resto, o menor si se quiere sacar las hojas del cultivo

El problema que nos encontramos para los aprovechamientos de la poda para biomasa es de índole técnico y económico. Un agricultor individual medio no tiene capacidad por sí mismo para, primero, adquirir la maquinaria necesaria para triturar los restos de poda y, en segundo lugar, gestionar el almacenamiento y transporte a planta de los restos, de tal forma que el proceso global le sea viable económicamente.

Esta situación conlleva la participación de empresas de servicios agrícolas o empresas cooperativas para la realización del triturado en campo y el transporte a destino (planta eléctrica o de producción de pellets) de los restos de poda, así como la gestión previa de la logística de almacenamiento en campo de los restos. Para que esta actividad sea viable económicamente la superficie de trabajo debe ser lo suficientemente amplia, de forma que si, como es normal, no puede ser aportada por un único propietario, deberemos de proceder a la agrupación mediante diversas fórmulas como la concentración o realización del servicio a los socios de una cooperativa, de una comunidad de regantes o, en el caso de agricultores no asociados, la creación de “bolsas” de fincas para recibir el servicio.

### 3.1 Residuos de la poda de la vid

Para el caso de biomásas agrícolas leñosas y en concreto en el caso de la vid, el agricultor poda anualmente las viñas, en la gran mayoría de los casos con un podado manual (tijeras de podar y a se procede a la recogida y apilado de sarmientos (usando un sarmentador). La poda es la operación agrícola que genera el residuo por lo que su justificación vendrá dada por criterios de cultivo y no por criterios energéticos.

En la poda de viñedos, habrá que tener en cuenta el marco de plantación, es decir, la forma de disponer las plantas en el terreno, que puede ser regular o irregular, y dentro de éstas separación de líneas entre sí, la inclinación relativa de las mismas y las distancias de cada dos plantas contiguas en las líneas.

Se harán distintos cortes y supresiones que se ejecutan en los sarmientos, brazos y excepcionalmente, tronco, así como en las plantas herbáceas ( pámpanos, hojas, racimo, etc.) que se lleva a cabo algunos o todos los años.





- Figura 12. Sarmientos de la vid

Algunas de ellas se practican generalmente durante el periodo de reposo de la vid, sobre partes, por lo tanto agostadas (sarmientos, brazos y tronco); se designan con el nombre de poda en seco o poda de invierno. Por su importancia tiene lugar todos los años, y en adelante las denominaremos escuetamente poda.

Otras se llevan a cabo durante el periodo de vida activa de la planta, sobre sus órganos herbáceos, agrupándose bajo la denominación de poda en verde, contribuyendo, con la poda a conseguir alguno o algunos de los objetivos deseados. En muchos casos no son de práctica general, y en todos han de ser materia de apartados especiales.

### 3.2 Residuos de la poda del olivo

Tradicionalmente, los restos de poda de olivar se han quemado en la misma finca una vez realizada la actuación, lo cual supone un problema medioambiental y derroche energético, ya que no sólo no estamos aprovechando estos residuos, sino que tampoco estamos devolviendo al terreno los nutrientes extraídos por el cultivo.

Para el olivar se consideran unos índices de residuo de 1.400 y 1.700 kg/ha, para olivares con rendimientos productivos <3.000 kg cosecha/ha y >3.000 kg/ha, respectivamente.



- Figura 13. Ramones de olivo

El manejo tradicional de los restos de poda ha sido la quema, lo cual es totalmente rechazable bajo el punto de vista energético. Posteriormente, se comenzó a practicar la incorporación al suelo de estos restos una vez triturados y astillados por la correspondiente maquinaria trituradora. Sin embargo, la situación más eficiente consiste en utilizar los restos de poda para la producción de electricidad o como uso térmico en calderas.

Los restos de la poda del olivar sitúan sus valores de poder calorífico anhidro en el entorno de las 4.800 kcal/kg. Dado que la humedad en el momento de la corta es muy elevada, se toman valores del poder calorífico inferior considerando que la biomasa se seca al aire, bajando su base húmeda (base húmeda) al entorno del 25% y obteniendo valores sobre las 3.100 kcal/kg. El valor del poder calorífico inferior anhidro ( $PCI_0$ ) calculado para las hojas es 4.500 kcal/kg, mientras que para los ramones y las leñas 4.300 kcal/kg.

## 4. MAQUINARIA DE RECOLECCIÓN

La biomasa residual procedente de aprovechamientos agrícola de las podas de olivos, viñedos y árboles frutales se caracteriza por encontrarse de forma dispersa en el territorio donde se produce. Esta característica supone la mayor limitación en su aprovechamiento como fuente de energía, a diferencia de los combustibles fósiles, que se encuentran concentrados espacialmente. Esta distribución dispersa en el espacio limita, de forma considerable, el rendimiento de su extracción, y como consecuencia, el coste de su aprovechamiento es muy sensible a variaciones de esta densidad espacial. Otra característica que supone una limitación importante se encuentra en la densidad aparente que encarece su transporte posterior a planta para su procesado.

La producción y obtención de biomasa como material procedente de la explotación agrícola, con fines energéticos, son actividades que se deben mecanizar todo lo posible con el fin de optimizar costes y productividad y limitar trabajos manuales penosos.

Los costes de extracción del residuo generado en los tratamientos agrícolas dependen de una serie de factores como la naturaleza de la biomasa, que habrá de tenerse en cuenta a la hora de elegir el tipo de maquinaria a utilizar en su extracción, o la pendiente del terreno, que también afectará en la elección de la maquinaria y obliga a desestimar superficies que superen un máximo, ya que, no será posible el uso de esta maquinaria pesada, además de hacer inviable económicamente su aprovechamiento manual.

En este capítulo se realizará una revisión de las diferentes técnicas para el acondicionamiento de restos y la maquinaria utilizada, enfatizando aquellas de nuevo diseño.

La biomasa, por su propia naturaleza, requiere de una serie de pretratamientos o transformaciones para ser objeto de un aprovechamiento energético eficiente. Las características intrínsecas y extrínsecas que aparecen tanto en la biomasa forestal son:

- Gran tamaño de las piezas (granulometría).
- Heterogeneidad y poca uniformidad.
- Elevado contenido en humedad.
- Reducida densidad.
- Gran dispersión de los residuos.
- Dificultad de transporte y manipulación.
- Presencia de residuos no aprovechables como arena, piedras, metales, etc.

Cada tipo de residuo presenta los anteriores inconvenientes en mayor o menor medida (p.e. ramas y hojas verdes), pueden originar algunos problemas en equipos de tratamiento y manejo, tales como el taponamiento en los equipos de astillado, trituración, transporte y manipulación, abovedamientos en silos y tolvas de almacenamiento, fermentación de la biomasa amontonada perdiendo parte de su poder calorífico, e incremento de la humedad.

Estas características son las que dificultan o incluso impiden, a veces, su aprovechamiento como combustibles. Al margen de su poder calorífico, es conveniente que los combustibles biomásicos tengan las siguientes propiedades:

- Homogeneidad y uniformidad.
- Aumento de su densidad natural mediante compactación.
- Humedad relativa baja.
- Limpieza. Deben estar exentos de contaminantes.
- Facilidad de manejo y almacenaje.
- Economía de transporte.

Para conseguir el acondicionamiento de la biomasa y las características necesarias para mejorar la valorización de la misma como combustible, es necesario realizar una serie de modificaciones. Generalmente, estos tratamientos se efectúan antes de la fase de transporte, para reducir el coste del mismo.

Las etapas fundamentales en el pretratamiento son:

- Reducción de la granulometría: consiste en la homogenización y reducción del tamaño de la biomasa, dando la posibilidad de un transporte y almacenaje más sencillo y económico, e incluso la alimentación automática a diferentes equipos. En este proceso se utilizan sistemas de astillado, triturado, molienda, cribado, tamizado y disgregación.
- Reducción de la humedad: fundamental para reducir costes de transporte, se consigue mediante secado. El secado es la fase más costosa de las transformaciones previas. Existen dos formas de secado distintas: secado natural y secado forzado. El secado natural es ideal para zonas con clima mediterráneo o continental y cuando la humedad de la materia prima sea elevada (>30%). Por el contrario, el secado forzado es mucho más costoso y sólo es necesario para algunos usos finales como la producción de pelets.



En cuanto al secado natural se pueden distinguir dos casos:

- Secado de residuos previo al astillado inicial.
- Secado natural de los materiales que han sido previamente astillados.
  - Densificación o compactación de la biomasa: consiste en reducir el volumen de la biomasa, consiguiendo minimizar el coste de transporte y almacenaje. Al mismo tiempo se evita la degradación por fermentación. En este proceso existen varias alternativas como son el pelletizado y briquetado, pero el único que nos interesa en este capítulo es el empaquetado o empacado.
  - Eliminación de componentes no deseados: consiste en eliminar residuos extraños, como metales, plásticos, piedras. Se aplican técnicas de cribado, separación por gravedad, imanes, triaje manual, etc.

En lo que respecta a la poda de olivo, el proceso de obtención de esta biomasa es similar al de la poda de la vid. Los cambios se encuentran en las tecnologías a emplear dadas las peculiaridades de cada especie. El olivo es una especie arbórea y la vid es una especie arbustiva rastrera y trepadora) y de sus tratamientos agrícolas. Para la poda de los olivos se utilizan distintas herramientas atendiendo al grueso de la rama a cortar.

A partir de este punto la gestión de los residuos se puede conducir por dos alternativas diferentes, independientemente de su origen:

- Triturado en campo.
- Empacado para su posterior envío a planta.

La recogida de restos de labores en cultivos de leñosas (poda de olivar, de almendro, de vid y de otros frutales) son tratamientos bien estudiados. La novedad se enmarca en la utilización de medios mecánicos para su mejor procesado y transporte.

En el caso de la poda del olivar son destacables las experiencias de recogida y astillado simultaneo de los restos mediante una maquina experimental utilizada en Andalucía.

En el caso de recogida mecanizada de la poda del olivar es importante, de acuerdo con experiencias realizadas, proceder a un hilerado del ramón con máquina hileradora en montones de 1,5 m de anchura y 1 m de altura como máximo.

En el caso de la poda de frutales, concretamente en naranjas de la Comunidad Valenciana, el prototipo de empacadora de restos leñosos agrícolas de TRABISA es otro referente de mecanización de estas labores.

Como ya se ha comentado en función del tipo de biomasa, el estado en que es recogida y las características finales que ha de tener, se realizan una serie de tratamientos, estando relacionados directamente con la aplicación final del combustible y su precio. La maquinaria utilizada para su recogida y procesado también varía en función de estos parámetros. A continuación se describe dicha maquinaria.

### **Procesadoras**

Las procesadoras, cuya aplicación principal es apearse y trocear la parte maderable, también pueden trocear las ramas grandes y las copas, para facilitar el posterior trabajo del manejo de los residuos.

Según las experiencias realizadas se demuestra que, si los residuos están amontonados en el campo, en su posterior recolección, ya sea para empacar, astillar, o desemboscar, la productividad es mayor y el coste menor.

### **Autocargadores**

Los autocargadores son utilizados para realizar el desembosque de los materiales, ya sean maderables o con destino energético. Generalmente, este medio de saca se usa junto con otros equipos como una cosechadora de cabezal procesador. Los autocargadores se clasifican en función de su estructura. Normalmente son tractores forestales con un remolque unido por medio de un sistema de articulación.

Están formados por la cabeza tractora y el remolque que se pueden situar en planos distintos. Asimismo, entre los autocargadores, se puede distinguir:

- De semichasis, que tienen doble articulación, una delantera con el sistema motriz y el habitáculo para el operario, con los sistemas de mando y control, y otro trasero con el órgano de trabajo. Cada módulo tiene su propio eje motriz.
- De doble eje: el conjunto sigue siendo articulado, pero ahora es más propio hablar de “cabeza tractora”, o simplemente tractor, y remolque u “órgano de trabajo”. El tractor forestal, en este caso, es de doble eje y el remolque es exactamente igual al del caso anterior.



Los órganos de trabajo en todos los autocargadores son la caja de carga y la grúa. El elemento de trabajo activo de un autocargador es la grúa de carga. Está formada por tres elementos principales: el brazo de grúa, el rotator y la grapa. El sistema es accionado desde el habitáculo por medio de un sistema hidráulico.

### Maquinaria para el astillado y triturado

Este tipo de maquinaria se utiliza para reducir el volumen de los residuos forestales procedentes de las leñas producidas en las podas de frutales, olivo y vid. Con el astillado se consigue aumentar la densidad del residuo facilitando su secado natural, y economizando en su transporte.

Las astilladoras se pueden clasificar según su sistema de tracción que, a su vez, está relacionado con el tamaño y capacidad de proceso.

- Astilladoras estáticas: son equipos fijos que pueden procesar una gran cantidad de biomasa por hora (cerca de 200.000 kg/h). Generalmente están localizadas en industrias transformadoras de madera o plantas de tratamiento de residuos leñosos.
- Astilladoras semimóviles: son equipos de grandes dimensiones con ruedas, desplazados a las explotaciones para realizar el astillado en campo. Pueden procesar gran cantidad de biomasa en poco tiempo, hasta 100.000 kg/h (árboles enteros, sarmiento, etc.).
- Astilladoras móviles: por su reducido tamaño tienen gran facilidad de acceso a las explotaciones forestales y agrícolas.
  - Astilladoras remolcadas: son de tamaño pequeño, remolcadas y accionadas mediante la toma de fuerza de un tractor. Pueden procesar entre 1.000 y 10.000 kg/h.
  - Astilladoras autopropulsadas: son equipos de mayor dimensión, con tracción autónoma y con producciones que van de 5.000 a 20.000 kg/h.

### Empacadoras

Las máquinas compactadoras o empacadoras realizan la densificación del residuo forestal mediante compactación del material produciendo pacas de diferentes geometrías, como la de la imagen siguiente.



- Figura 14. Pacas de restos de almendro

### Empacadora de Trabisa

TRABISA ha desarrollado la segunda generación de una máquina autopropulsada, con capacidad de alimentar y empaquetar todo tipo de materiales leñosos, tomando como base estructural un modelo anterior.

Gracias al trabajo de la empaquetadora se consigue compactar y dar forma al material, reduciendo los costes de transporte y el espacio de almacenamiento del mismo. Con este modelo nuevo se consigue una densidad de material de hasta  $0,7 \text{ t/m}^3$ .

El objetivo de la máquina es reducir la densidad del material, teniendo la capacidad de empacar incluso si el material está contaminado por piedras, troncos, tocones, etc. El peso de la bala varía entre 300 y 700 kg dependiendo del tipo de material y su contenido en humedad. Las medidas de la bala son: ancho de 700 mm, alto de 1.000 mm y largo opcional.

### Cosechadoras

Las cosechadoras sólo cortan el material, por lo que se requiere una astilladora (y autocargador para la alimentación del material) para obtener la densidad apropiada para su transporte posterior. Las cosechadoras son muy eficientes en montes llanos y plantaciones energéticas, con cortas a hecho. También se alcanzan buenos resultados para especies de matorral.

Para la elección del tipo de cosechadora a emplear se deben tener en cuenta una serie de consideraciones. En los cultivos energéticos la corta es a hecho por lo que son recomendables el uso de cosechadoras con astillado posterior

para la densificación del material. Lo mismo ocurre en el aprovechamiento de especies de matorral como en el caso de la jara. El aprovechamiento de los residuos forestales de tratamientos convencionales (podas, clareos, claras y cortas finales) se recomienda el uso de astilladoras móviles, arrastradas o suspendidas (Marcos Martín, F).

La pendiente y rugosidad del terreno afectará también en la elección de la maquinaria a usar. Para bajas pendientes se recomienda el uso de autocargador.

Entre los modelos de cosechadoras, se encuentra por ejemplo, la Cosechadora Brunet BMR 200, que es una cosechadora autocargable muy útil para el aprovechamiento de matorral o cultivos energéticos. Requiere de un tractor con potencia superior a 90 CV.

## 5. APLICACIONES

### 5.1. Generación de electricidad a partir de los residuos de la poda

Las tecnologías más desarrolladas para la generación de electricidad a partir de residuos de poda están basadas en instalaciones de combustión en pequeños sistemas de gasificación acoplados a motogeneradores.

Las plantas de combustión directa se basan en sistemas convencionales, ciclo Rankine, empleados por el sector térmico y que son utilizados en la práctica totalidad de las actuales plantas comerciales de biomasa. Estos ciclos se desarrollan en una caldera donde se genera vapor que alimenta a una turbina acoplada a su vez por un alternador. El calor residual de la turbina puede utilizarse para redes de calefacción centralizada o en industrias próximas a la central en un ciclo de cogeneración. Este tipo de tecnología puede ser utilizada para el aprovechamiento energético de un grupo de biocombustibles muy amplio.

Los combustibles empleados pueden ser podas y ramajes entre otros, siempre con unas condiciones de humedad adecuadas para que sea posible su combustión en caldera.

La utilización de ciclos de vapor como el descrito en plantas de pequeño tamaño presenta una viabilidad escasa debido a los altos costes específicos de generación y a muy baja eficacia de las pequeñas turbinas de vapor.

Como sistemas alternativos, basados también en la combustión de biomasa pero aplicables en instalaciones de tamaño inferior a 1 MW, pueden citarse los motores Stirling y los de vapor. Con estos motores se puede lograr eficiencias de generación eléctrica en un rango de 18-40%, muy superiores en general a las turbinas de vapor de tamaño semejante. Otra alternativa interesante en plantas de combustión de tamaño inferior a 1 MW la constituyen los motores de vapor cuya eficiencia de generación Rankine se sitúa en torno a un 20-25% para modelos de potencia inferior a 500 MW. Estos valores son superiores a los alcanzados con turbinas de vapor de tamaño comparable. Todas estas tecnologías no han alcanzado su madurez comercial a día de hoy.

A parte de las tecnologías de combustión existe un desarrollo muy importante en plantas de gasificación, donde la biomasa es descompuesta por la acción térmica dando como producto principal un gas constituido fundamentalmente por metano, hidrógeno y monóxido de carbono, que es susceptible de ser utilizado como combustibles en ciclos de generación eléctrica más eficientes que los de vapor tradicionales. Entre los ciclos de gasificación – turbina de gas (o motogenerador) actualmente la gasificación en lecho fijo de corrientes paralelas es la tecnología más viable para ser utilizada en la generación de electricidad,



si bien limitaciones de diseño hace que el tamaño máximo de estos equipos no pueda exceder de 1 MW.

Otro proceso de gasificación es el correspondiente al lecho fijo a contracorriente, muy próximo a la zona de pirólisis lo que no lo hace especialmente viable para la producción eléctrica. En general, la tecnología de gasificación de la biomasa puede considerarse hoy en día comercial en cuanto a sistemas de lecho fijo, en fase precomercial en los gasificadores de lecho fluidizado atmosférico y en fase de demostración en cuanto a los de lecho fluidizado a presión.

Cabe mencionar una aplicación de la gasificación a sistemas de generación eléctrica de alta eficiencia, Ciclos IGCC. La generación de electricidad a partir de biomasa en grandes instalaciones va estar ligado al desarrollo de sistemas más eficientes que los descritos para la producción eléctrica, entre los cuales está el denominado sistema de gasificación integral en ciclo combinado, el cual se basa en la gasificación de la biomasa en una turbina de gas utilizándose los gases de su cámara de combustión para generar vapor que alimenta a una turbina de vapor, con lo que se logra aumentar la eficiencia de generación eléctrica.

A parte de las tecnologías mencionadas puede generarse electricidad a partir de la pirólisis de la biomasa y utilización de los aceites piroleñosos en calderas y motores. La pirólisis consiste en su descomposición térmica a temperaturas entre los 500 y 1000 °C, en ausencia de oxígeno, para dar lugar como producto principal a los aceites piroleñosos. El valor de los productos obtenidos en este proceso para su uso como materia prima en distintas industrias es mayor que su valor para la producción energética, no siendo un sistema utilizado comúnmente para tal fin.

### Generalidades de la gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso es transformado en un gas combustible, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua). El gas combustible generado, de medio-bajo poder calorífico, es susceptible de ser aprovechado posteriormente de diversas maneras, a través de un motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico, en un ciclo combinado para producir vapor y electricidad y, dependiendo de la composición como gas de síntesis, transformándolo en productos de mayor calor añadido.

El proceso de gasificación puede dividirse en tres grupos de reacciones químicas:

- La Pirólisis o descomposición térmica: la biomasa se descompone mediante el suministro de energía térmica, dando lugar a un sólido, un líquido y un gas. Durante este proceso no se da ninguna reacción química.
- La Oxidación o combustión: Es un conjunto de reacciones de oxidación. Es la fase donde se genera el calor para alimentar al proceso.
- Reducción o gasificación: Es un conjunto de reacciones principalmente endotérmicas por medio de las cuales el sólido remanente se convierte en gas.

Existen varios tipos de gasificadores según se realice dentro de ellos el proceso descrito: De lecho móvil en contracorriente, de lecho móvil en contracorriente, de lecho móvil en corrientes paralelas y de lecho fluidizado.

En lo que a versatilidad se refiere, los distintos procesos de gasificación admiten que las características físicas y químicas de la biomasa, u otros residuos de naturaleza carbonosa, puedan ser heterogéneas. La eficacia en la producción eléctrica hace que la gasificación sea ventajosa frente a la combustión. Desde el punto de vista medioambiental, la gasificación supone una buena opción, ya que minimiza el residuo que se genera frente al beneficio que se obtiene. La demanda del mercado europeo de biomasa es de instalaciones de menor potencia y mayor eficacia. Esto implica que las tecnologías de gasificación no pueden ser de una complicación excesiva, aunque esa complicación tenga como fin mejorar su eficiencia, ya que supone un encarecimiento de los costes globales de la planta. Se considera que las pequeñas instalaciones de gasificación, hacia las que tiende el mercado, han de ser ante todo sencillas y robustas. La mejora en la eficacia debe buscarse en aumentar el rendimiento a energía eléctrica en el sistema generador (motor o turbina).

Las tecnologías desarrolladas para la gasificación de biomasa no son de aplicación universal, ya que cada aplicación se ha de adaptar al caso concreto de la biomasa a gasificar. Las modificaciones a aplicar dependen de la naturaleza de la biomasa. Por este motivo es menos atractiva que la combustión, tecnología más conocida, ya que una empresa busca rentabilidad lo más rápido posible la investigación.

El aprovechamiento más rentable actualmente de la biomasa por gasificación es la generación de electricidad. Esta transformación puede realizarse a través de su combustión en turbinas o bien en motores de combustión interna.



Las turbinas de gas se han venido desarrollando para grandes potencias por lo cual, considerando que la tendencia es a pequeñas instalaciones y con un gas de bajo poder energético, no hay equipos adaptados a estos gases a bajas potencias. Asimismo estos equipos demandan especificaciones muy estrictas en lo que se refiere a la calidad y pureza del gas producto de la gasificación.

Los motores de combustión interna si están disponibles para bajas potencias, sin embargo hay pocas experiencias que cuenten con más de 8.000-10.000 horas de funcionamiento en la utilización de éstos gases de bajo poder calorífico, como los generados en la gasificación con aire.

## 5.2. Generación de energía térmica a partir de los residuos de la poda

Las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del sector de la biomasa.

La producción térmica sigue una escala de usos que comienza en las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares. Hoy en día existen aparatos tanto de aire, (las estufas de toda la vida, mejoradas y actualizadas a las necesidades de los usuarios de hoy) que calientan una única estancia, como de agua, que permiten su adaptación a un sistema de radiadores o de suelo radiante y a otros sistemas con producción de agua caliente sanitaria.

En un segundo escalafón se sitúan las calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, equiparables en su funcionamiento a las habituales de gasóleo C o gas natural, que proveen a las viviendas de calefacción y agua caliente. Debido a la necesidad de disponer de un lugar amplio y seco para el almacenamiento del biocombustible este tipo de instalaciones pueden tener problemas en edificios con salas de calderas pequeñas y poco espacio aprovechable. En cambio son una buena solución, tanto económica como medioambiental, para edificios de nueva construcción, sobre todo si se atienden a las nuevas ordenanzas y reglamentos publicados en los últimos años, como el Código Técnico de la Edificación (que permite utilizar biomasa en lugar de la citada energía renovable) o el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Otra aplicación importante de estas calderas es la conversión de las antiguas calefacciones de carbón o gasóleo C a instalaciones de biomasa, existiendo muchos ejemplos en nuestro país. La buena disposición de los vecinos que encontrarán un ahorro económico en su consumo de calefacción y agua caliente, un acertado asesoramiento profesional y espacio suficiente para el almacenamiento son los tres pilares básicos para este tipo de cambios.

Una red de calefacción centralizada, más conocida como district heating, supone el siguiente nivel dentro de las aplicaciones térmicas de la biomasa. Este tipo de instalaciones están muy extendidas en el Centro y Norte de Europa. La red de calor y agua caliente llega no sólo a urbanizaciones y otras viviendas residenciales sino también a edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales y un amplio elenco de edificios e incluso industrias. El mayor tamaño, tanto de las calderas como de los silos de almacenamiento del combustible, requiere de instalaciones exclusivas para estas centrales térmicas. Dadas las características de nuestro país, en España están iniciándose las primeras redes de climatización centralizada alimentadas con biomasa, las cuáles no sólo proveen de calefacción en invierno a los usuarios sino que permiten la distribución de frío para la climatización de las viviendas y otros edificios en verano.

Por último, los consumos térmicos de determinadas industrias también son abastecidos por calderas de biomasa.



# BIBLIOGRAFÍA

- POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL EN EXTREMADURA.  
*A.R. Celma, M.T. Miranda, S. Rojas Rodríguez.*
- VALORIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN EXTREMADURA. Proyecto BIOTERMI.  
*Agencia Extremeña de la Energía.*
- BIOMASA. MAQUINARIA AGRÍCOLA Y FORESTAL.  
*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.*
- OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR DEL ACEITE DE OLIVA. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS.  
*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.*
- <http://www.usuarios.lycos.es/maquinariaforestal>
- <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es>
- <http://www.idae.es>



# Agencia Extremeña de la Energía



## Acciones Gratuitas Cofinanciadas por el FSE

