

# HA LLEGADO EL MOMENTO...

Las plantaciones forestales, como cultivos energéticos, constituyen una de las buenas alternativas que tiene Chile para fortalecer la generación de energía.

Por Fernando Muñoz<sup>1\*</sup>  
Miguel Espinosa<sup>2</sup>  
Eduardo Acuña<sup>3</sup>  
Jorge Cancino<sup>4</sup>  
Rafael Rubilar<sup>5</sup>

El uso de hidrocarburos, como la principal fuente de energía, genera la emisión de grandes cantidades de metano y dióxido de carbono, gases causantes del "efecto invernadero". El problema ambiental originado por el uso de hidrocarburos, la amenaza de su agotamiento, la inseguridad de abastecimiento y el aumento continuo de los precios ponen en evidencia la necesidad de buscar vías alternativas de obtención de energía, único camino posible para un desarrollo sostenible.

La sustitución parcial de hidrocarburos por biomasa, como fuente de producción de energía, con efectos ambientales neutros, posibilitaría incrementar de manera importante la disponibilidad energética. En Chile (año 2005), la generación eléctrica en base a biomasa sólo alcanzó al 1,4% (CNE, 2008), bastante por debajo de su potencial de producción.

Se entiende por biomasa el conjunto de materiales orgánicos surgidos como consecuencia de un proceso biológico (Ortiz, 1994). La biomasa puede generarse por la acción de organismos vegetales (fitomasa) o acumularse en seres heterótrofos del reino animal (zoomasa). Los organismos fotosintéticos (autótrofos) son capaces de transformar la energía solar en energía química, acumulándola en los enlaces intermoleculares y liberándola en procesos de oxidación, reducción o hidrólisis, que pueden ser termoquímicos y biológicos.

Las fuentes de biomasa más comunes son los residuos sólidos urbanos (RSU), los residuos agrícolas, los cultivos de corta rotación, los residuos de animales, los residuos industriales, las semillas y los residuos forestales. La mayor fuente de biomasa, en términos de volumen, proviene de los bosques, tanto plantados como naturales (biomasa forestal).

La biomasa forestal se utiliza de diversas formas, mediante los llamados procesos de conversión. Se puede quemar directamente en plantas energéticas tradicionales con ciclos de vapor o en sistemas más avanzados y eficientes que emplean la gasificación en ciclos combinados. Otra vía es obtener combustible a través de la fermentación (etanol) y por hidrólisis (metanol).

## Caracterización de la biomasa forestal

La biomasa forestal presenta algunas características que afectan su potencial de aprovechamiento en la producción de energía. Éstas son (Ortiz, 1994):

- **Humedad:** El contenido de humedad de la biomasa afecta la eficiencia del proceso de conversión. Para eliminar el agua del interior de la biomasa por

<sup>1\*</sup>Autor de correspondencia: a Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Victoria 631, casilla 160-C, Concepción, Chile, terno: 41-2204679, fax 41: 2246004, e-mail: fmuñoz@udec.cl



vaporización, se requiere aproximadamente 2.300 kJ/kg.

- **Tamaño y forma de la partícula:** Un tamaño homogéneo de las partículas de biomasa facilita los procesos de conversión. En la actualidad, el tamaño de partícula es variado, desde virutas o aserrín hasta residuos forestales de gran tamaño, todos de forma irregular, generando dificultades de operación y variación en los resultados energéticos.
- **Densidad:** La densidad del material leñoso es variable. Entre otros depende de la especie y del lugar en el cual se desarrolle. En general hay grandes variaciones entre especies. También a lo largo del fuste de los árboles.
- **Composición química:** Es recomendable que la biomasa tenga un contenido de cenizas inferior al 10% y que su punto de fusión sea elevado. Esto evita que a altas temperaturas las cenizas se fundan, causando graves problemas en los equipos. El contenido de cenizas de la madera fluctúa entre 0,5 y 3% frente al carbón que puede llegar al 30%.
- **Componentes:** La biomasa (fitomasa) está formada por celulosa (30-40%), hemicelulosa (25-35%) y lignina (12-30%). Estos porcentajes varían en función de la especie, variedad, edad, estación del año y componente de la planta (hoja, rama, fuste), condicionando su eficiencia como materia para energía, ya que su capacidad de descomposición es distinta.
- **Poder calorífico:** El poder calorífico depende de la composición química, humedad y densidad de la biomasa, características mencionadas anteriormente.
- **Volatilidad de gases:** La baja proporción de volátiles permite una gasificación eficiente. Los volátiles fluctúan entre el 70 y 90%, comparado con el 30 al 45% de un carbón típico.

- **Bajo contenido de azufre:** La madera contiene 0,2% de azufre, con lo cual es posible que reaccione en presencia de catalizadores.

Así, las características de la biomasa que, como insumo, afectan el potencial de aprovechamiento en la producción de energía, se resumen en tres grandes grupos:

- 1. Características del producto:** Dispersión de los residuos, gran heterogeneidad en cuanto a densidad, elevado grado de humedad, variación del tamaño y granulometría de las piezas de residuo, dificultad para el transporte, manipulación y manejo, elevados costos de extracción, presencia de productos indeseables (piedras, arena, metales).
- 2. Exportación de nutrientes:** Las partes verdes y las fracciones más finas de la biomasa concentran la mayor parte del contenido de nutrientes de las plantas, lo cual genera una extracción



neta de nutrientes. Aunque esto puede limitarse retirando sólo la parte leñosa del fuste.

- 3. Manejo de las partes verdes:** Esta parte del material produce numerosos problemas técnicos en los equipos, principalmente: atascos en astillado, fermentación en los montones de residuos, incremento de la humedad del combustible, incremento del contenido de cenizas al final del proceso.

En general, los procesos industriales buscan uniformidad de la materia prima que permita alcanzar un alto grado de eficiencia. Esta característica, de acuerdo a lo que actualmente ocurre en el mercado de la biomasa forestal, no es lo usual. La biomasa utilizada es un insumo altamente heterogéneo que no facilita lograr altos niveles de eficiencia en la producción de energía. Sin embargo, al utilizar plantaciones especialmente establecidas para la producción de energía, gran parte de las dificultades mencionadas con anterioridad son superadas. Purse



y Frichardson (2001) mencionan las siguientes ventajas para establecer plantaciones energéticas forestales:

- a) La cosecha de las plantaciones puede realizarse con maquinaria diseñada para obtener altos rendimientos y, por lo tanto, de bajo costo.
- b) Permite la producción de astillas limpias, sin impurezas, clasificadas según clientes, de tamaño uniforme.
- c) Se puede dejar en el lugar de producción silvícola las hojas que contienen alto porcentaje de nutrientes y evitar problemas en los equipos de producción de energía. También la extracción de nutrientes del suelo se aminora.
- d) El cultivo de plantaciones de este tipo se basa en principios agronómicos, intensivos en control de malezas, fertilizaciones y mejoras en el suelo.
- e) Se puede aplicar con especies adaptadas a diferentes sitios. Igualmente, se pueden desarrollar programas de mejora genética basada en la calidad calorífica.

### Plantaciones forestales con fines energéticos

Es reconocido que el costo de la materia prima, así como de la producción, tienen una fuerte influencia en la rentabilidad del proceso. De allí es que se consideran los cultivos especialmente establecidos para generar biomasa de características homogéneas para su uso en la producción de energía (bioetanol y electricidad). Las especies de los géneros *Eucalyptus* y *Acacia*, además de poseer un rápido crecimiento, se pueden manejar en rotaciones cortas, siendo factible mecanizar las actividades de cosecha. Algunas de estas especies poseen excelente capacidad de regenerarse vegetativamente, permitiendo el empleo de sucesivas rotaciones de monte bajo.

A pesar de la importancia que las plantaciones forestales tienen en la economía nacional, hasta ahora no se conocen experiencias publicadas de plantaciones forestales de alta densidad con fines energéticos (que no sea de uso como leña). Ésta fue una de las razones por las cuales un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción presentó un proyecto al Fondo de Innovación Tecnológica de la Región del Bío-Bío (Innova Bío-Bío) para abordar esta temática, que se titula "Desarrollo de protocolos para la producción de biomasa de especies forestales de rápido crecimiento y corta rotación para la generación de bioenergía".

El proyecto investiga la factibilidad técnica-económica de establecer plantaciones forestales para la generación de bioenergía. Para ello se determinaron plantaciones de alta densidad (5.000, 7.500 y 10.000 plantas por hectárea) en el secano interior y en arenales de la Región del Bío-Bío con especies de rápido crecimiento inicial (*Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus*, *E. nitens* y *Acacia melanoxylon*) para la obtención de la máxima producción de biomasa en corta rotación. Se evaluará el rendimiento de la biomasa para: a) la generación de vapor mediante análisis calorimétrico y b) la obtención de bioetanol mediante hidrólisis del material leñoso y su posterior fermentación. Se trata de un proyecto multidisciplinario, en el cual contribuyen diferentes profesionales forestales, químicos y de ingeniería. La duración del proyecto es de 5 años (2006-2011).

Aun cuando la industria bioenergética a partir de madera como materia prima es incipiente, especialmente la producción de bioetanol, se proyecta que al existir una oferta segura de madera proveniente de plantaciones de alta productividad en cortas rotaciones, incentive la inversión en este sector. Determinaciones realizadas en la Universidad de Concepción en *E. globulus* y *E. nitens* señalan que para edades entre 1 y 3 años la cantidad de bioetanol es de 381 lt/ton seca y para el rango 4 - 6 años entre 371 y 393 lt/ton seca (Parra, et al. 2004); en *Pinus radiata* entre 316 y 325 lt/ton seca para los mismos rangos de edades (Berrocal, 2003) y en *A. melanoxylon* entre 274 y 299 lt/ton seca para edades que fluctúan entre 7 y 25 años (López, 2007).

La biomasa forestal presenta ventajas evidentes en relación a otras fuentes de energía renovables, como aquellas provenientes de cultivos agrícolas (e.g. maíz, remolacha). Es un recurso cuya utilización no trasciende más allá de su posible uso energético, como por ejemplo su uso alimenticio; puede establecerse en suelos considerados marginales para una producción agrícola sustentable, incluyendo aquellos degradados, ampliando la disponibilidad de suelos para estos fines y, en consecuencia, creando oportunidades para el desarrollo económico en áreas rurales, las que usualmente son muy limitadas. Los árboles, a su vez, capturan y acumulan carbono a una tasa mayor y por más tiempo que los cultivos agrícolas, contribuyendo a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera; reducen (controlan) la erosión de los suelos al establecer una cubierta vegetal permanente y mejoran la calidad de éste, debido a la biomasa que permanece (y se descompone) en el piso del bosque. En cuanto a la utili-



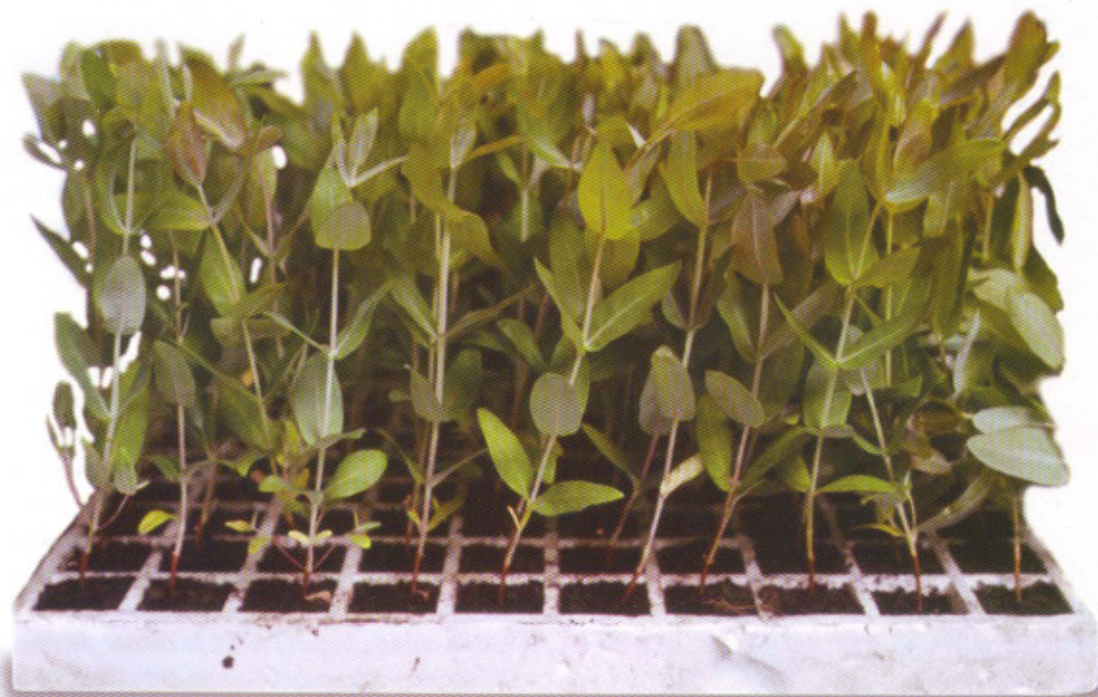


zación de desechos de la actividad forestal (i.e. raleos, podas, corta final), su aprovechamiento está fuertemente limitado por la dispersión del material y los altos costos de extracción y transporte asociados, además del impacto al suelo que implica extraer material que, por el proceso de descomposición natural, incorpora nutrientes y humedad al suelo.

En Chile, los terrenos agrícolas son reducidos para sostener una producción competitiva de materias primas agrícolas para su uso en bioenergía. Sin embargo, el país posee grandes extensiones de tierra con capacidad para sostener nuevos cultivos forestales, que en el caso de las regiones del Maule y del Bío-Bío alcanza a 753.000 ha según estimaciones realizadas en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. Otro aspecto a considerar es el impacto favorable

que el establecimiento de plantaciones de corta rotación para la generación de bioenergía puede tener en los pequeños propietarios de terrenos forestales. Éstos, en el marco de una silvicultura comunitaria (FAO, 1995) que integra la agricultura, la ganadería y la silvicultura, encontrarían nuevas opciones de producción para sus suelos, que no soportan ningún otro tipo de cultivo sustentable que el forestal, en rotaciones más cortas que las actualmente en uso para la producción de pulpa (10 a 14 años) o madera aserrada (> a 18 años).

Actualmente, Chile es uno de los pocos países con desarrollo forestal sostenido que no estimula, a través de adecuadas políticas públicas, el uso de biomasa forestal para la producción de bioenergía. Todo indica que ha llegado el momento de hacerlo. ■



## Bibliografía

- **Berrocal, A.** 2003. Cuantificación y caracterización química de material lignocelulósico de *Pinus radiata* (D. Don) en la VIII Región, para la producción de bioetanol. Tesis de Grado de Magíster en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile. 91 págs.
- **FAO.** 1995. Desarrollo forestal comunitario: diagnóstico, seguimiento y evaluación participativos. Nota 2. FAO. Roma, Italia.
- **CNE.** 2008. Capacidad instalada de generación eléctrica por sistema: 2005. Comisión Nacional de Energía. Gobierno de Chile. Disponible on line: [http://www.cne.cl/estadisticas/nacionales/energias/f\\_energias.html](http://www.cne.cl/estadisticas/nacionales/energias/f_energias.html) (21 abril 2008).
- **López, G.** 2007. Caracterización química de la madera de *Acacia melanoxylon* R. Br. y evaluación económica de la posibilidad de establecer plantaciones para la producción de bioetanol. Memoria de Título. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 46 págs.
- **Ortiz, L.** 1994. Energías Xilogeneradas. Universidad de Vigo. Galicia, España. 188 págs.
- **Parra, C.; A. Berrocal, J. Freer, J. Rodríguez, M. Espinosa y J. Baeza.** 2004. Caracterización química de *Eucalyptus globulus* y *E. nitens* para la producción de bioetanol. International Workshop Bioenergy for Sustainable Development. 8-9 de noviembre, Viña del Mar, Chile.
- **Purse J. and K. Frichardson.** 2001. Short rotation single stem tree crops for energy in the UK - an examination with *Eucalyptus*. Biomass and Energy Crops II. Aspects of Applied Biology No. 65:15-19.