

BIOMASA: FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL URUGUAY



Ing. Agr. (MSc) Fernando Resquin,
Ing. Agr. Cecilia Rachid,
Lic. Leonidas Carrasco,
Quím. Daniel Vázquez

1. ANTECEDENTES

En las últimas décadas ha existido una importante dependencia del petróleo y sus derivados en términos de las fuentes de energía utilizadas en el país. Dicha dependencia se ha reflejado también en la utilización de esta materia prima para la generación de energía eléctrica en períodos de déficit hídrico, con el consiguiente aumento de los costos de producción. Esto, sumado al hecho que el precio internacional del petróleo ha sufrido importantes incrementos, termina trasladando esta carga a los precios de los combustibles utilizados fundamentalmente por los sectores más importantes de la economía como el transporte, la industria y el agro.

En los últimos años se ha venido promoviendo la generación de diversas fuentes “no tradicionales” de generación de energía mediante una serie de leyes

y decretos a través de las denominadas fuentes renovables como son el caso de la biomasa, eólica y pequeñas hidroeléctricas. Estos mecanismos procuran fomentar y regular la producción de agrocombustibles y, al mismo tiempo, generar un estímulo a las inversiones en la generación de nuevas fuentes de energía que se incorporen a la matriz energética actual. En ese sentido, a nivel nacional, se proponen metas de sustitución energética de las fuentes tradicionales del orden del 15 a 30% a través de materiales provenientes de cultivos forestales, entre otros. Esta sustitución se originaría a partir de cadenas energéticas las cuales en principio estarían asociadas, entre otras formas posibles, a la producción de biomasa y de agrocombustibles.

En términos generales el concepto biomasa se refiere a toda la materia orgánica proveniente de árboles, plantas y residuos de cosecha e industriales que pueden ser

convertidos en algún tipo de energía. De todas las fuentes energéticas renovables la biomasa es la que presenta la mayor diversidad en sus posibilidades de aplicación. Se utiliza para la producción directa de calor, generación de vapor o la producción directa de electricidad y su combinación, o la transformación en combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

A nivel nacional existen factores que en los últimos años estarían mostrando cierto potencial para el uso de estas fuentes renovables de energía (DNI, 2008). Los más importantes son:

- situación energética regional deficitaria
- la existencia de módulos de generación adaptados a la industria local
- buen potencial para el desarrollo de nuevos cultivos
- marco regulatorio que permite la generación de energía eléctrica a privados
- el desarrollo de esta cadena se encuentra comprendido dentro de las líneas estratégicas fijadas por el MIEM.
- es una fuente descentralizada que promueve la generación de empleo.

En este contexto, el cultivo de especies y/o el uso de residuos forestales con el objetivo de producción de biomasa destinada a la obtención de diferentes biocombustibles se muestra como una alternativa interesante, pero que en términos de cadena agroindustrial presenta algunos aspectos aún no analizados y/o resueltos que sería necesario considerar. Estos aspectos están relacionados a temas productivos, ambientales y económicos. Desde el punto de vista productivo es necesario generar y/o adaptar información sobre el potencial de distintas materias primas energéticas en cuanto a los volúmenes potenciales de producción de biocombustibles, fundamentalmente sólidos (chips y carbón) y líquidos (etanol y biodiesel).

En relación a aspectos económicos deben realizarse análisis del balance entre el consumo y la producción de energía al final de proceso particular de cada caso. Esto está muy relacionado a factores tales como:

- costos de cosecha y transporte
- economías de escala (el aumento de la capacidad reduce los costos fijos e incrementa la eficiencia de conversión)
- precios de la madera (chips) que puedan desviar los usos de la misma

1.1 Generación de energía

A nivel internacional existen algunos resultados, tanto en la región como en otros países, que muestran que el uso de cultivos forestales para la producción de biomasa es una alternativa a considerar pensando en la generación de energía eléctrica. Estos sistemas se basan en el cultivo de especies de rápido crecimiento, con altas densidades de plantación, en rotaciones cortas

(menos de 5 años) y en sitios próximos a las plantas de generación. Lo que se busca en esos casos es la obtención de un gran volumen de biomasa en plazos relativamente cortos. Otra alternativa a estos sistemas es el uso de residuos tanto de cosecha como de algunas prácticas de manejo tales como raleos y podas.

Todas las fuentes de biomasa tienen un poder calórico (PC) que se define como el calor que se libera cuando se quema completamente el material, y depende del contenido de humedad. Las especies que han mostrado mayor potencial para estos fines han sido los eucaliptos, sauces, álamos y acacias, entre otras. La ventaja del uso de especies forestales frente a otro tipo de cultivos son los mayores volúmenes de biomasa obtenidos y no tanto por el contenido energético expresado por unidad de peso (Cuadro 1). A su vez la "facilidad" con que se queman los distintos materiales depende del contenido de resinas y otros químicos, del tamaño de partícula y del contenido de humedad, entre otros.

Cuadro 1 - Poder calórico de distintas fuentes de biomasa

TIPO DE BIOMASA	Valor calórico bruto (MJ/Kg)
MADERA	
Astilla de madera	20,9
Corteza de pino	20,9
Residuos industriales	19
Aserrín	19,3
SUB PRODUCTOS AGRICOLAS	
Caña de azúcar	18,1
Bagazo de caña	18,1
Cáscara de arroz	15,6
Rastrojo de arroz	15,6
Cáscara de coco	18,6
Rastrojo de trigo	18,9
Mazorca de maíz	17,7

Fuente: <http://www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf>

Debido a su gran adaptabilidad a distintas condiciones de sitio y clima y a su rápido crecimiento, los eucaliptos han mostrado un alto potencial de producción de madera, lo que a su vez permitiría la utilización de importantes volúmenes de residuos. Dejando de lado su poca tolerancia a las heladas se destacan algunas especies como *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus viminalis* como las de mejor comportamiento para estos usos.

Un aspecto a tener en cuenta es que en función de los costos de producción y transporte, estos sistemas serían rentables en situaciones en donde las plantas de generación estuvieran a cortas distancias de los sitios



de extracción de las materias primas. Se debe tener en cuenta que por su naturaleza, la madera tiene un bajo contenido relativo de energía comparada con los combustibles fósiles. Esto determina, a su vez, que se requiera de una producción de altos volúmenes de materia prima para justificar las inversiones económicas en plantas de generación de energía eléctrica.

A nivel nacional solo existen algunos pocos resultados de tipo experimental de plantaciones energéticas cuya información no ha sido de uso público y que no se ha trasladado a emprendimientos comerciales. Hace algunos años UTE realizó un estudio de factibilidad de instalación de una planta generadora de 100 MW utilizando leña como combustible, comparándola con el uso de petróleo y carbón. Los resultados mostraron que sería necesaria una plantación forestal de unas 31000 hectáreas (ha) con una densidad de plantación muy similar a las utilizadas tanto para celulosa como para madera sólida.

Esto indicaría que podría incrementarse la eficiencia del sistema a través de una mayor producción de biomasa, aumentando el número de árboles por ha, y por lo tanto reduciendo la superficie mencionada. De todos modos, varios analistas coinciden en señalar que las potencias de 1 a 10 MW instaladas en las distintas zonas forestales del país son las que presentan mayor viabilidad económica y justificación técnica. Más recientemente, estimaciones realizadas por el MIEM indican que plantas de esta capacidad requerirían de unas 6000 ha totales con una superficie de abastecimiento anual de 750 ha con turnos de cosecha de 8 años (DNETN, 2007).

A partir de los años 70 y 80 varias empresas optaron por la madera como fuente de energía debido a los altos valores del petróleo. Esto provocó que se implantaran montes básicamente de *Eucalyptus grandis* con densidades de 1500 a 2000 árboles por hectárea con turnos de cosecha superiores a los 10 años destinados a la producción de leña. Este modelo de producción fue sustituido a partir de la década del 90 con plantaciones cuyo objetivo ha sido la producción de celulosa y/o madera sólida de alto valor.

En países de la región hay algunas estimaciones que indicarían que para abastecer plantas de pequeño porte (por ejemplo 10 MW) serían necesarias superficies de aproximadamente 1500 ha anuales con plantaciones de eucalyptos de alto crecimiento (Dias Muller y Couto, 2006). Estos datos varían fuertemente en función del número de árboles plantados por ha, de los crecimientos alcanzados y la densidad de la madera, la cual determina la cantidad de materia seca disponible para ser transformada en calor y energía eléctrica.

1.2 Obtención de biocombustibles

Los agrocombustibles líquidos se presentan como una alternativa de importancia estratégica, fundamentalmente para el sector del transporte. Por tal motivo, en este rubro también se ha generado un marco legal que promueve la producción, comercialización y utilización (en particular del etanol y biodiesel) a nivel nacional en los próximos años. En ese sentido, se fijó como meta para el 2015 que al menos el 5% del total de naftas producidas en el país provengan de la incorporación del etanol derivado de los agrocombustibles. Esta alternativa tiene como principal ventaja el hecho de que en el país existen buenas condiciones agroecológicas (suelo y clima) para la producción de distintas materias primas, fundamentalmente las tradicionales. Por otro lado, existen una serie de limitantes que sería necesario superar. Entre las más importantes se mencionan:

- falta de experiencia y conocimientos en la producción con buenos controles de calidad
- falta de investigación de potencialidades de fuentes de materias primas

El biodiesel, por su parte, se ha transformado en uno de los biocombustibles más utilizados en el mundo por ser compatible con el diesel convencional, pudiendo ser mezclado en cualquier proporción con este, creando mezclas estables. Para ello se han desarrollado una variedad de métodos de conversión que varían en simplicidad, costos de inversión y operación, consumo de agua, producción de desechos potencialmente tóxicos y calidad de producto obtenido (Jananun y Ellis, 2010). Otra de las ventajas que presenta el biodiesel es la variedad de fuentes de materia prima utilizable; entre las más comunes se encuentran los aceites de colza, canola, soja, girasol, palma y otras oleaginosas comestibles. También se pueden utilizar sebos vacu-

nos y ovinos y restos de aceites de cocina (Lin et al., 2010).

Sin embargo, dado el debate a nivel mundial acerca del riesgo sistemático a nivel económico y socio-político que representa la producción de biodiesel a partir de aceites comestibles, se han buscado fuentes alternativas de materia prima que permitan obtener altos volúmenes, teniendo en cuenta que la materia prima representa un alto porcentaje del costo final de producción. Entre las alternativas se encuentran especies de ambientes empobrecidos como la jatrofa o las que no compiten por el uso de la tierra como son la producción de algas y el aceite de castor. Si bien los cultivos forestales han sido considerados bajo esta alternativa, son escasos los estudios que los incluyen como fuente de materia prima para la producción de biodiesel.

Por otro lado, el uso de la madera (chip) como materia prima para la producción de etanol ha mostrado (aunque a escala experimental) mayores avances. Diversos grupos de investigación en distintas partes del mundo están trabajando hoy en mejorar la eficiencia de procesos de hidrólisis/fermentación de los azúcares de la madera, otros procesos de transformación bioquímica para producir precursores de distintos tipos de alcoholes o tecnologías termoquímicas que producen una amplia gama de posibles biocombustibles líquidos.

La factibilidad de un proceso de obtención de bioetanol a partir de biomasa depende de la naturaleza química de la materia prima de la cual se parte:

- azúcares simples
- materiales lignocelulósicos
- almidón

La celulosa y hemicelulosas son la forma más frecuente de carbono en la biomasa. Debido a su relativa alta disponibilidad en la naturaleza, ya que no compite con las cadenas alimenticias, los materiales celulósicos (por ej. madera, bagazo de caña de azúcar, paja de trigo, etc.) son una fuente de bajo costo para la producción de etanol. Este tipo de materias primas están compuestos además por lignina, la cual le confiere el soporte estructural a la planta. Este compuesto "encierra" a la ce-

lulosa y hemicelulosas haciendo difícil alcanzar estas últimas para hidrolizar sus azúcares, comparado con los azúcares provenientes del almidón de granos. De todos modos, en general, la biomasa forestal tiene mayores contenidos de azúcares que los residuos agrícolas.

En su concepto más amplio, de los materiales lignocelulósicos puede extraerse etanol mediante hidrólisis y posterior fermentación de la madera. Esto en general es un proceso más complejo que la simple fermentación de los azúcares. Los dos factores que en principio determinan el rendimiento de etanol son: cantidad y tipo de monosacáridos disponibles, ya que no todos son fermentables por microorganismos.

Los procesos bioquímicos utilizan enzimas para degradar la celulosa de la biomasa. Los azúcares obtenidos mediante estos procedimientos pueden ser usados para la fabricación de levaduras con destino de producción de alimentos, o ser fermentados y transformados en alcohol etílico. En estos casos el alcohol se obtiene por la fermentación de los azúcares procedentes de la celulosa. El rendimiento de la fermentación es del entorno del 50% (variando de 35 a 63%). Teniendo en cuenta que por un lado el contenido de celulosa de la madera es de aproximadamente 50% y que el rendimiento de transformar esta última en azúcares es del 90%, a partir de 1 tonelada de madera se obtendría 0.22 toneladas de etanol (Ferrari, et al. 2004). También es posible obtener estos volúmenes de etanol utilizando corteza de árboles.

La lignina tiene algunas características como combustible que merecen ser destacadas. En los residuos del proceso de obtención de alcohol de madera, la lignina permanece en forma inalterada. De acuerdo a algunos autores el uso de este compuesto como combustible es de vital importancia desde el punto de vista del resultado económico del proceso. El poder calórico de la misma es del orden de 4800 a 6600 kcal/kg, y de acuerdo a algunas estimaciones se puede obtener 1 tonelada de lignina por cada 1000 litros de etanol producido.

De acuerdo a una revisión realizada por la Facultad de Ingeniería de la UDELAR con las maderas denominadas "duras" es posible obtener un mayor rendimiento potencial de etanol que con las más "blandas" (Cuadro 2).

Cuadro 2 - Composición de dos tipos de madera y rendimiento potencial de etanol.

Madera	Porcentajes base seca			Rendimiento potencial de azúcares fermentables (kg azúcar/ton madera)			
	Celulosa (%)	Hemicelulosas (%)	Lignina (%)	Xilosa	Glucosa	Otras Hexosas	Rendimiento total
"Dura"	48	32	19	219	533	40	792
"Blanda"	43	26	28	78	483	129	690

Fuente: Monografía. Producción de etanol a partir de residuos lignocelulósicos. Fac. de Ing. UDELAR.



Por otro lado, para las condiciones del país, los eucaliptos alcanzan mayores tasas de crecimiento que los pinos y por lo tanto sería posible obtener mayor rendimiento por unidad de superficie con turnos de pocos años. Según algunos autores, bajo condiciones de pretratamiento leves, como con ácido sulfúrico, es posible hidrolizar más del 80% de la celulosa y obtener más de 30 g de glucosa por cada 100 g de madera procesada.

A pesar de que estos resultados experimentales puedan resultar alentadores, desde el punto de vista de la utilización de algunas materias primas el costo de producción del bioetanol con las técnicas mencionadas es cerca del doble del costo de producción de etanol derivado del petróleo. Estos mayores costos están asociados al tratamiento previo que requiere la biomasa para lograr que los azúcares estén más fácilmente disponibles de ser transformados en alcohol. Por tanto, es necesario desarrollar tecnologías que permitan aumentar el rendimiento de combustible obtenido.

2. Situación actual y perspectivas

De acuerdo a estimaciones de la Dirección Forestal existiría una cantidad de residuos forestales en campo del orden de 1.500.000 m³ los cuales podrían, eventualmente, ser utilizados como materia prima para la generación de bioenergía. En los últimos años se han registrado avances desde el punto de vista de la transformación tecnológica de la madera para la obtención de energía a partir de la quema de materiales y biocombustibles, fundamentalmente etanol.

A nivel nacional existen algunos emprendimientos comerciales para la generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales y agrícolas los cuales utilizan unos

690.000 m³ de residuos de las industrias forestales para la cogeneración de energía eléctrica a través de la quema directa. Esas plantas generadoras de energía a partir de residuos de cosecha forestales y agrícolas, hasta el año 2010, representaban una potencia instalada de 44 MW correspondiendo a más de 4% del total de la matriz energética del país. Cabe destacar que del total de la potencia instalada existe un excedente que en ocasiones supera los 30 MW.

Con la relación de precios actuales, a pesar de algunas oscilaciones, el costo de generación del MW a partir de derivados del petróleo es cerca del doble del costo generado a partir de biomasa. Estos son costos únicamente del combustible por lo que debería hacerse un análisis que incluya los factores de producción, extracción y transporte para ambos sistemas de generación. Esto también requiere cuantificar el poder calórico de los diferentes cultivos energéticos, lo cual depende en gran medida de la cantidad de materia seca obtenida aunque también inciden aspectos de la composición química de las maderas de las diferentes especies forestales. Asociado a la capacidad calórica es importante evaluar el potencial de producción de etanol y (a través de metodologías desarrolladas recientemente en el país) la producción de melaza y/o alcohol a partir de chip de madera.

Por otro lado, a nivel internacional, se están evaluando métodos de obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos más eficientes que los procesos ya utilizados. Una de estas nuevas tecnologías, denominada CES (combinación de extrusión-sacarificación) se basa en el concepto de deconstrucción mecánica de la biomasa por extrusión, para favorecer la hidrólisis enzimática de la celulosa y hemicelulosas.



Se estima que con el uso de este proceso se reduciría 13% el costo de producción comparado con los procesos actuales, además de mejorar las condiciones de seguridad y medioambientales.

Un aspecto a tener en cuenta es que sobre estos temas prácticamente no se ha generado información en el país, en aspectos tanto silviculturales como logísticos de producción y uso de la biomasa con fines energéticos. En función de lo mencionado surgen algunas interrogantes, tanto productivas como tecnológicas y ambientales, sobre la posibilidad de generar biocombustibles de los denominados de segunda generación a partir de materiales lignocelulósicos. En este sentido, en primer término es necesario determinar el volumen real de biomasa existente y potencialmente utilizable para la generación de energía, y en una segunda etapa identificar cultivos energéticos de alto potencial de producción de biomasa.

En función de esto, INIA ha iniciado la ejecución de varios proyectos de investigación apuntando a obtener información en el área de la generación de bioenergía a partir de materiales lignocelulósicos. Estos proyectos se llevan a cabo conjuntamente por parte de los Programas: Cultivos de secano, Horticultura, Sustentabilidad Ambiental y Forestal. A su vez, estas actividades están siendo financiadas por fondos INIA y también por la Comunidad Económica Europea en asociación con países integrantes del PROCISUR. Estas líneas de investigación, por un lado procuran estimar a nivel nacional los volúmenes de residuos (agrícolas y forestales) y su composición química para ser usados como materia prima para la obtención de etanol de segunda generación (Proyecto BABETHANOL).

Al mismo tiempo, se está obteniendo información para determinar el potencial de producción de biomasa de especies forestales de relativo rápido crecimiento en los distintos suelos del país. Para esto, en una primera etapa, se deben identificar cuáles serían las especies de mayor crecimiento y las densidades de plantación óptima, y en una segunda cuantificar el poder calórico de los diferentes cultivos energéticos y evaluar el potencial de producción de etanol y (a través de metodologías desarrolladas recientemente en el país) la producción de melaza y/o alcohol a partir de chips de madera.

Conjuntamente, es de vital importancia la evaluación de la sostenibilidad de este tipo de sistemas de producción desde el punto de vista de la extracción y reciclaje de los principales nutrientes del suelo. Buscar altos niveles de producción de biomasa, con altas densidades y en tiempos relativamente cortos desde el punto de vista de la forestación tradicional podría provocar altas tasas de extracción de nutrientes, lo que en principio requeriría una alta reposición de los mismos a través de fertilización en rotaciones siguientes o de reincorporación al suelo de restos de cosecha. Estos aspectos serán analizados a los efectos de evaluar el impacto de estos sistemas de producción procurando la mayor sostenibilidad posible en el largo plazo.



REFERENCIAS

- Dirección Nacional de Industria, (MIEM) 2008. Cadenas productivas en energías renovables biomasa, agrocombustibles, eólica y solar térmica Fase I - Análisis de cadenas y diagnóstico preliminar. 42 p.
- DNETN (Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear, MIEM) 2006. Generación de energía eléctrica a partir de la biomasa en Uruguay. La Dendroenergía. 21 p.
- Dias Muller, M.; Couto, L. 2006. Avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa. rede nacional de biomassa para energia. Documento Técnico Renabio nº002, 65 p.
- Ferrari, D.; Neirotti, E.; Albornoz, C.; Saucedo, E.; 2004. Ethanol production from eucalyptus wood hemicellulose hydrolysate by *Pichia stipitis*. *Biotechnology and Bioengineering* 40, 753:759
- Hamelinck, C.; van Hooijdonk, G.; PC Faaij, A., 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy* 28, 384-410.
- Janaun, J., Ellis, N. 2010. Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14, 1012-1320.
- Lin, L.; Cousan, Z.; Vittayapadung, S.; Xiangqian, S.; Mingdong, D. 2010. Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied Energy* 88, 1020-1031.
- Patrouilleau, R.; Lacoste, C.; Yapura, P.; Casanovas, M. 2007. Perspectiva de los Biocombustibles en la Argentina con énfasis en el etanol de base celulósica. Unidad de Coyuntura y Prospectiva. INTA 70 p.