



El uso de los residuos de origen vegetal en la generación de energía

Jorge Antonio Hilbert (*)

La humanidad ha dependido de la biomasa sólida durante miles de años para satisfacer sus necesidades cada vez más crecientes y todavía lo sigue haciendo en muchas sociedades. Con el descubrimiento de los combustibles fósiles en abundancia se produjo un gran cambio, motivado fundamentalmente por la alta densidad energética de los fósiles y su bajo precio relativo. Históricamente, la bioenergía ha cumplido un rol protagónico en el suministro energético de la humanidad, especialmente a través de la leña y el carbón vegetal. Durante

la última década se ha acrecentado el interés y desarrollo de fuentes de biomasa con fines energéticos debido a sus ventajas medioambientales.

En los últimos años se viene acrecentando un contexto energético mundial caracterizado por las incertidumbres ligadas al cambio climático y a la vulnerabilidad derivada del paulatino agotamiento de los recursos fósiles frente a una demanda de energía en aumento. Esto ha provocado una intensa búsqueda

(*) El Ing. Agr. M. Sc. Jorge Antonio Hilbert es Coordinador Nacional del Programa de Bioenergía y Director del Instituto de Ingeniería Rural del INTA.

queda de fuentes alternativas de energía, que suplanten a las reservas de recursos fósiles en continua disminución. Entre estas fuentes alternativas, los biocombustibles han cobrado particular relevancia por su fácil uso en vehículos y motores de combustión interna sin modificaciones relevantes.

Actualmente, la bioenergía representa un 10% de la matriz energética mundial, con amplia participación de la leña. La disponibilidad de más bioenergía contribuiría al suministro de servicios de energía más limpia para satisfacer las necesidades básicas. La bioenergía está llamada a cumplir un rol, junto a otras fuentes no convencionales, en el cambio de una economía basada en los combustibles fósiles a otra basada en un abanico de fuentes. La agricultura y la silvicultura serán las principales fuentes de biomasa para elaborar bioenergía en diferentes vectores, como la leña, el carbón, briquetas, biogás, bioetanol, biodiesel y bioelectricidad, entre otros.

La generación de biomasa está condicionada al suministro de los elementos esenciales que hacen al proceso fotosintético, como ser la provisión de radiación solar, agua, dióxido de carbono, nutrientes y temperatura, citando los principales. Estos factores son requerimientos fundamentales para el logro de volúmenes significativos explotables comercialmente.

La generación de biomasa en términos energéticos posee una relativa baja eficiencia y produce un recurso de baja densidad energética y con una alta dispersión geográfica, lo cual implica superar estos desafíos para lograr un aprovechamiento económicamente viable y competitivo ante las otras fuentes disponibles. Para ello, es preciso emplear modernas técnicas de sistemas de información geográfica, armando verdaderos atlas del recurso. El INTA viene efectuando estos estudios en todo el país y ya están disponibles los primeros resultados obtenidos (ver <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/bio.htm>).

Desde el inicio de la difusión y puesta en marcha de la producción de biocombustibles a nivel mundial, tres temas han estado siempre en la mesa de discusión y controversia. Éstos son: los balances energéticos, la competencia con los alimentos y la preservación del medio ambiente.

Estos enunciados, que tratan de instalar una idea de competencia, en realidad tienen muy escasos sustentos dado el bajísimo impacto relativo de los biocombustibles en la producción agrícola en general. La agricultura y los alimentos en particular son uno de los mercados más controlados y regulados del mundo, y ningún país va a permitir un impacto que sea negativo sobre la seguridad alimentaria de sus poblaciones.

En realidad, esta falsa disyuntiva se fomenta desde muchos sectores que tienen particulares intereses. Un aspecto a tener muy en cuenta es el uso que se le da a los alimentos, en gran parte de los países. Un reciente estudio de la FAO estima que casi 1/3 de los alimentos se tiran antes de llegar a la boca de los consumidores. Si bien estas cifras no tienen la publicidad que debieran, aquí existe un gran campo de trabajo a realizar.

A este fenómeno de desperdiciar más de 1.500 millones de toneladas anuales se le deben sumar las fuertes distorsiones en los patrones alimentarios, con más de 800 millones sufriendo obesidad y casi el doble con sobrepeso. Esta realidad muestra a las claras que los problemas alimentarios mundiales no se relacionan con la capacidad de producción, sino con la distribución del ingreso y un fomento continuo hacia el consumo indiscriminado de alimentos en muchos casos no saludables para el ser humano.

Las controversias mencionadas han impulsado con mayor énfasis estudios y tecnologías capaces de emplear los residuos agropecuarios y forestales. El aprovechamiento de los mismos enfrenta desafíos dados sus dos características: su baja densidad energética (poca cantidad de energía por unidad de peso y/o volumen) y su alta dispersión geográfica (bajos volúmenes distribuidos en amplias superficies). Esto implica enormes desafíos relacionados a su acondicionamiento, logística, transporte y transformación, a fin de lograr cadenas competitivas.

Las nuevas reglamentaciones que condicionarían el futuro comercio de los biocombustibles hacen especial hincapié en promocionar alternativas de productos que provengan de residuos de todo tipo, dentro de los cuales los agrícolas conforman un grupo importante.

Un elemento muy importante a tener en cuenta para establecer zonas de producción y distribución son las características del territorio, en cuanto a su clima, suelo y accesibilidad, a lo cual se le deben sumar las cadenas de transformación primaria y secundaria de los productos. Con la FAO se ha trabajado cuantificando geográficamente la potencialidad de producción de bioenergía mediante el empleo de la metodología WISDOM, cuyos resultados pueden consultarse en <http://www.fao.org/docrep/011/i0900s/i0900s00.htm>. Estos y otros estudios complementarios del INTA sobre una extensa variedad de cultivos permiten hoy en día tener una base importante de información georeferenciada que cubre la totalidad del país. En estos momentos, estos estudios se están profundizando a nivel de determinadas provincias que han mostrado un particular interés en desarrollar la bioenergía en sus territorios.

Durante la última década, se ha desarrollado en Europa y América del Norte un mercado de consumo de biocombustibles, sustentado principalmente por políticas gubernamentales que priorizan su utilización, en una estrategia de independencia frente a las energías tradicionales y a la sustentabilidad del medio ambiente. Estas políticas van incorporando permanentemente nuevas exigencias, a fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos ambientales por los cuales se realiza la promoción. Las últimas incorporaciones a punto de hacerse efectivas dan un giro mayor hacia la promoción, conversión y uso de biomasa procedente de residuos.

El insumo más utilizado en lo que respecta al mercado europeo de energía para calefacción es el pellet, que se obtiene a partir del procesamiento industrial de desperdicios de la madera. Este producto logra satisfacer necesidades técnicas, de



calidad y conservación del medioambiente. Asimismo, constituye un producto energético renovable y una alternativa de valor a los desperdicios de la industria maderera, debido a que proviene de bosques implantados y renovables. Si bien en nuestro país su empleo y explotación es incipiente, el potencial de aprovechamiento es enorme.

Cuando se plantea el retiro y empleo de residuos de cultivos, nos enfrentamos con una nueva exigencia sobre el agroecosistema que debe ser valorada en cada situación en particular. Los cultivos extensivos de especie gramíneas son potenciales fuentes de materia prima lignocelulósica para producción de energía, dada su relativa mayor eficiencia de conversión de la energía solar en compuestos orgánicos. Una vez realizada la cosecha de estos cultivos, queda en el lote de producción una cantidad importante de biomasa de “residuos de cosecha”, que llamamos comúnmente rastrojos. El rastrojo está compuesto, principalmente, por cañas (macollos secos) que tienen una alta relación C/N y una alta proporción de lignina y celulosa en sus tejidos {Forjan, #16; Morón, #15}. Descontando los requerimientos del sistema de suelo para mantener sus contenidos de materia orgánica y la compleja red trófica de organismos del suelo, el rastrojo en exceso podría ser utilizado como materia prima para la generación de energía.

La energía contenida en los rastrojos, como toda la biomasa vegetal, proviene de la energía que almacenan los vegetales al realizar la fotosíntesis, con el uso del agua y de los nutrientes del suelo para transformarlas en sustancias orgánicas complejas. La posibilidad de realizar un uso alternativo sustentable y rentable de los rastrojos, podría contribuir a promover la incorporación con mayor frecuencia de las gramíneas en las secuencias de rotaciones de cultivos. Promover rotaciones con mayor proporción de gramíneas, especialmente el maíz o el sorgo, tiene implicancias positivas sobre la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (e.g.: Alvarez; 2006). Estos cambios son

particularmente deseables para la generalidad de la Región Pampeana, donde el monocultivo de soja es el sistema preponderante.

La extracción de residuos también tiene su impacto sobre el balance general de nutrientes de cada agroecosistema. Esto es particularmente crítico para los sistemas productivos argentinos, donde sólo considerando la extracción de granos nos encontramos frente a una situación de desbalance entre lo repuesto y lo que se extrae. La discusión referente a la recolección y manejo de los rastrojos es muy amplia y compleja por la gran diversidad de escenarios edáficos, de eco-regiones y de sistemas productivos que se implementen en cada situación. Para poder realizar estimaciones que nos permitan evaluar escenarios alternativos, se pueden emplear modelos de balance similares a los desarrollados para el balance de carbono. A esto debemos agregar un término que considere la necesidad de cobertura. Este término debería estimar la cantidad de rastrojo que es necesario dejar en el lote para evitar pérdidas de agua, reducir los riesgos de erosión y como fuente de materia orgánica (MO, en adelante). Estas necesidades variarán, además, con la región considerada.

En los esquemas productivos donde, por distintas circunstancias, no se realizan actividades ganaderas, el aprovechamiento racional de los rastrojos puede venir de la mano de la utilización del excedente como materia prima para otros sistemas productivos agropecuarios; como también otros usos, como por ejemplo bioenergético. Sin embargo, la factibilidad en cuanto a la sustentabilidad posible de este uso alternativo de los rastrojos como base bioenergética, está comenzando a ser considerada y estudiada tanto en el ámbito local como globalmente. Algunos trabajos previos han evaluado el impacto de la remoción de proporciones crecientes de rastrojo de maíz sobre la fertilidad química (disponibilidad de nutrientes), física (estabilidad estructural) y biológica (abundancia de lom-



brices). Estos trabajos, en general, coinciden en recomendar remociones no mayores del 25% del rastrojo total de maíz.

Los ensayos realizados y trabajos de investigación en curso bien pueden servir de base para identificar integralmente áreas agroecológicas y sistemas de manejo y de rotación que puedan permitir o no la extracción de parte de los rastrojos, en equilibrio con la sustentabilidad y dinámica del suelo para cada situación particular. Nuevamente nos confrontamos a situaciones en que las “recetas generalizadas” demuestran fuertes limitaciones para resolver estos desafíos agronómicos y productivos. Por el contrario, mayor precisión e integración de conocimiento entre tecnologías de procesos deberá ser volcada no sólo en la investigación aplicada, sino también en la extensión para la correcta instrumentación potencial de la práctica. Aun se requiere de la realización de ensayos para la evaluación de la factibilidad o no de la práctica de recolección de rastrojos y sus consecuencias en el suelo, en diferentes entornos, bajo diferentes esquemas de rotación y con variados niveles tecnológicos; donde por ejemplo se evalúe la potencialidad de recolectar un 10%, 25% y un 40%. Con dichos resultados podremos contar con información de base para responder a las demandas y/o alertar sobre los riesgos y conflictos que prácticas como ésta pueden generar en la dinámica y estabilidad de los suelos y de los sistemas agroecológicos de nuestro país.

TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROPECUARIOS

Existe una variedad importante de tecnologías maduras para dar aprovechamiento a los diferentes tipos de residuos, de acuerdo a su constitución física y bioquímica, así como los vectores deseados (líquidos, sólidos o gaseosos). Describiremos las de mayor aplicación a nivel mundial.

BIOMASA SÓLIDA PARA COMBUSTIÓN:

El pellet se obtiene de la reconversión de diversos tipos de materia orgánica, con mayor énfasis aquellos provenientes de la explotación, el aserrín y la viruta. El 100% de la composición del pellet es natural. La materia prima sin tratar se compacta a presión alta, sin adición de aglutinantes y se prensa en los así llamados pellets, logrando una mayor densidad energética. La propia lignina hace de aglomerante. Este proceso les da una apariencia brillante, como si estuviesen barnizados, y los hace más densos. Controles de calidad sucesivos garantizan un combustible limpio, con humedad residual reducida y poder calorífico alto.

El principal uso del pellet es la generación de energía calórica. Su tamaño reducido permite automatizar la dosificación del combustible como si fuese un líquido (fuel oil, gas). Introduciendo únicamente las cantidades necesarias en el momento adecuado, logrando un quemado homogéneo, eficiente y un calor confortable.

El pellet es fácil de manipular, de almacenar, es limpio y seguro. Ofrece un elevado rendimiento, se usa de manera cómoda y respeta al máximo el recurso natural. El porcentaje de cenizas es muy bajo, lo que facilita la limpieza del calefactor.

El proceso completo consta de varias etapas como secado, triturado, pelletización, enfriado, embolsado y almacenaje. El proceso de pelletización se lleva a cabo mediante un sistema de rodillos cilíndricos que rotan sobre el interior de una matriz anular giratoria, generando presión sobre un manto de materia prima, forzando el flujo de la biomasa a través de orificios con diámetros comprendidos entre 6 y 8 milímetros. En la descarga a través de los orificios, la biomasa se compacta y la velocidad de rotación de la matriz anular determina la longitud del pellet, recomendándose un máximo de 4 veces el diámetro (24/30 mm aproximadamente).



DIGESTIÓN ANAERÓBICA, GENERACIÓN DE BIOGÁS:

Los residuos agropecuarios también pueden entrar en mezclas en procesos de degradación anaeróbica, con la finalidad de producir biogás, una mezcla constituida fundamentalmente por metanos y dióxido de carbono, con un poder calorífico entre 5.000 y 6.000 Kcal/m³. La ventaja de este tipo de tecnologías, que habitualmente se emplean con codigestión de residuos animales, es que los efluentes que salen del proceso fermentativo son aptos para su empleo como Biofertilizantes. De esta manera, se contribuye al reciclado de nutrientes en el mismo lugar, con beneficios adicionales desde el punto de vista del aporte de materia orgánica.

Desde el punto de vista agronómico y ambiental, estas tecnologías son las más amigables, ya que exportan una mínima cantidad de elementos del recurso suelo y lo protegen, contribuyendo a su balance de carbono y nutrientes, previniendo consecuencias de degradación por erosión o deficiencia de elementos esenciales para el crecimiento de los cultivos.

Otro aporte significativo de estas tecnologías, ampliamente desarrolladas y usadas en diversos países, es la reducción del poder contaminante sobre todo de los residuos de origen animal, ya que la patogenicidad de los mismos se reduce significativamente al pasar por este proceso.

El vector energético producido en este caso es un gas que se puede emplear para la generación de calor o calor y electricidad, mediante su empleo en equipos de cogeneración. La Argentina está creciendo en este rubro con las primeras plantas de alta tecnología bajo construcción que emplean desechos de cerdos más silos de maíz.

La tecnología ha logrado importantes grados de avance a nivel mundial, y hoy tiene altos niveles de confiabilidad y eficiencia a pesar de depender de un sistema biológico de alta complejidad, donde intervienen una serie importante de bacterias que actúan sobre la descomposición de los compuestos orgánicos, liberando como gases principales el metano y el dióxido de carbono.

Las aplicaciones son muy diversas, como la generación de calor directa, la inyección de gas en redes de distribución, el uso automotor y la generación de electricidad mediante motores o turbinas.

GASIFICACIÓN, CARBONIZACIÓN Y PIROLISIS:

Dejando aparte los procesos enzimáticos para la obtención de bioetanol, las tecnologías actuales para convertir lignocelulosa en combustibles líquidos implican principalmente dos procesos termoquímicos: gasificación y pirolisis. De ellos, la gasificación proporciona probablemente la ruta más flexible para obtener combustibles químicamente equiparables a los

obtenidos a partir de recursos fósiles. Entre los factores principales que afectan el proceso de pirolisis se encuentran la temperatura y la rampa de calentamiento de la biomasa. Si el propósito es maximizar la conversión de los productos líquidos resultantes, la pirolisis de la biomasa se hace a temperaturas bajas, alta rampa de calentamiento y tiempos de residencia cortos de los gases.

Para una alta producción de carbón vegetal, el proceso se hace a bajas temperaturas y bajas rampas de calentamiento. Si se desea maximizar la conversión de los gases combustibles resultantes, el proceso se realiza a altas temperaturas, baja rampa de calentamiento y largos tiempos de residencia de los gases.

El carbón vegetal es un producto sólido, frágil y poroso, con un alto contenido en carbono (del orden del 80%). Se produce por calentamiento en ausencia de aire (hasta temperaturas de 400 a 700 °C) de madera y otros residuos vegetales. El poder calorífico del carbón vegetal oscila entre 29.000 y 35.000 kJ/kg, y es muy superior al de la madera que oscila entre 12.000 y 21.000 kJ/kg.

Los bio-aceites son líquidos de color marrón oscuro, corrosivos y con olor a humo, que están formados por compuestos orgánicos polares y agua (aproximadamente 20 a 25 %). Su formación se debe básicamente a la degradación de la lignina. La composición química de los bio-aceites es muy compleja, ya que están constituidos por una mezcla de más de 400 compuestos.

Los bio-aceites retienen hasta un 70% de la energía almacenada en la biomasa (16 MJ/Kg), pero presentan numerosos

inconvenientes para su uso directo como combustibles. Entre ellos cabe destacar su elevada acidez (pH = 2-3), alta viscosidad (cP 35–1000 a 40 ° C) y reducida estabilidad química.

Se trata de una mezcla de productos de la gasificación de biomasa. Dentro de esa mezcla, aproximadamente el 40% está formado por gases combustibles. Cuando se reducen los gases oxidados en el proceso pirolítico, se forma el denominado “gas pobre”. El poder calorífico del gas de pirolisis oscila entre 3,8 y 15,9 MJ/m³. Estos valores pueden aumentarse hasta 16,7-20,9 MJ/m³ mediante una variante del proceso denominada pirolisis flash. El gas obtenido en este tipo de proceso puede utilizarse en motores de combustión interna (Otto o Diesel, en este último caso una pequeña proporción mezclada con Gasoil), en turbinas de gas o en motores de combustión externa (Stirling).

TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Entre las nuevas tecnologías, las derivadas de la moderna biotecnología (MB) abren importantes oportunidades potenciales para la producción de biocombustibles que no compitan con los usos alimenticios de los cultivos. Se destacan las asociadas a enzimas celulósicas para la producción de Etanol a partir de biomasa celulósica (rastreo de maíz, bagazo, residuos de madera, aserrín, entre otros) y de residuos industriales y municipales. Empresas multinacionales líderes en los agronegocios y en la producción de insumos biotecnológicos están realizando importantes inversiones en la exploración de nuevas alternativas tecnológicas, y los gobiernos de países industrializados implementan programas de apoyo para el desarrollo de estas alternativas.





CONSIDERACIONES FINALES

Lo residuos agropecuarios ya son usados en muchos países con una significativa contribución al aporte energético. Su empleo no está exento de una serie muy importante de consideraciones y cuidados que deben ser atendidos a fin de lograr que su uso sea sustentable en el tiempo. Entre dichas consideraciones, resumimos a continuación las más importantes:

- La zona de producción de residuos es muy amplia y abarca diferentes agroecosistemas.
- El volumen que se genera de rastrojo es potencialmente atractivo para su empleo como biocombustible.
- Hay que considerar factores de variabilidad específica. Existe variabilidad en el volumen de producción y, potencialmente, en la calidad. Los factores que determinan esta variabilidad son la calidad del sitio (la zona o regiones de producción), el año (precipitaciones, temperatura), el manejo agronómico (siembra directa, genética, fertilización, riego, etc.).
- Debe encararse una revisión exhaustiva y adaptación de los indicadores relacionados a la temática (IC, MO, balance de nutrientes, estructura y mineralización, por ejemplo). Para algunas zonas será necesaria la adaptación y complementación de redes de ensayos.
- A pesar que varios trabajos proponen la remoción directa de una proporción del rastrojo, esta práctica presenta riesgo e incertidumbre en términos de sustentabilidad (pérdida de cobertura, descenso de la materia orgánica, pérdida la estabilidad estructural, aumento de los riesgos de erosión, pérdida de fertilidad química, etc.).
- Se deben explorar alternativas preliminarmente desarrolladas en otros sistemas, como por ejemplo la cosecha y aprovechamiento de marlos.
- Para una consolidación de estas prácticas es necesario una evaluación, adaptación y potencialmente desarrollo de maquinaria y equipamiento para la ejecución de los procesos adaptado a nuestros sistemas productivos.
- Debe seguirse evaluando y profundizar permanentemente los balances energéticos, los costos de oportunidad del uso de las fuentes alternativas y su relación costo/beneficio integral para cada etapa (recolección, logística, transformación y reincorporación al sistema).