

Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano

Prospects of the potential of biomass energy in the global and Latin American framework

Julián Rodrigo Quintero González*
Laura Estefanía Quintero González**

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2014
Aceptación: 17 de abril de 2015
Recibido versión final: 29 de abril de 2015

Resumen

El calentamiento global y los cambios climáticos que éste conlleva han fomentado desde hace algunos años la exploración de otros tipos de obtención energética para disminuir el uso del combustible fósil, siendo éste último uno de los principales causantes de dicho problema ambiental. El presente artículo expone algunas investigaciones recientes sobre la bioenergía u obtención de energía a partir de biomasa, considerada como energía limpia. Se abarcan temáticas como la bioenergía y sus posibilidades desde el punto de vista energético, teniendo en cuenta las expectativas de producción según su potencial o productividad energética, además del aporte que este tipo de tecnología hace a la disminución de la huella ecológica.

Palabras clave

Biomasa, potencial energético, medio ambiente.

Abstract

Global warming and the climate changes it generates have encouraged in the last years the exploration of other energy sources to reduce fossil fuel use, because this latter is one of the main causes of this environmental problem. This paper pres-

* Magíster en Ingeniería Ambiental, Docente Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Tunja. Nacionalidad: colombiano. Email: julian.quintero@uptc.edu.co.

** Ingeniera Ambiental (c), Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Tunja. Nacionalidad: colombiana. Email: lauraestefania.quintero@uptc.edu.co.

ents recent research on bioenergy or energy production from biomass, considered as a clean energy. It covers topics such as bioenergy and its possibilities, from the energy point of view, taking into account production expectations by potential or energy productivity, and the contribution of this technology to the ecological footprint decrease.

Keywords

Biomass, energy potential, environment.

Introducción

La problemática del cambio climático y principalmente del calentamiento global ocasionado por el uso de combustibles fósiles, ha derivado en un consenso mundial en relación a la necesidad de desarrollar nuevas formas de producción de energía renovable y sostenible, a la vez que se propenda por su inclusión en más actividades económicas, comerciales e industriales y en los diferentes sectores productivos mediante procesos de producción más limpios y eficientes. A este respecto, y de acuerdo con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España (2007), la biomasa, entendida como toda materia orgánica proveniente de residuos agrícolas o forestales y que es susceptible de aprovechamiento energético, se muestra como una fuente de producción de energía con algunas ventajas desde el punto de vista energético, ambiental y económico. Algunas de ellas son el aprovechamiento de los residuos agrícolas y forestales, la independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles, la mejora socioeconómica de las áreas rurales y la reducción de emisiones de partículas y contaminantes. Esta investigación expone los principales aspectos relacionados con el panorama y las expectativas del potencial de producción de energía a partir del procesamiento de la biomasa.

Estudio de la biomasa y su producción

De acuerdo con Drapcho et al. (2008), Rudolf Diesel patentó el primer motor diesel en 1892 en Berlín (Alemania) al trabajar para Empresas Linde después de mudarse de París. En 1894 presentó el

funcionamiento de un motor a escala de casi 3 metros de altura, el cual estalló y por poco acaba con su vida. En 1900 exhibió en la Exposición Universal de París un nuevo motor diesel que trabajaba mediante el uso de aceite de maní como combustible. Desde entonces, el estudio de potencial energético de la biomasa desde el punto de vista de su aprovechamiento en la producción de combustibles (y que eventualmente pudiesen reemplazar a los combustibles fósiles) se ha extendido por todo el mundo, lo cual ha permitido avanzar en el mejoramiento de los procesos de producción a través del perfeccionamiento de las técnicas actuales para el procesamiento de la biomasa.

La biomasa como fuente de producción de energía puede clasificarse en tres tipos, los cuales incluyen cultivos bioenergéticos, residuos agrícolas y residuos forestales (Karaj et al. 2010); sin embargo, también podrían incluirse los residuos ganaderos, industriales y urbanos. Otras clasificaciones consideran seis grupos: los cultivos energéticos en tierras de cultivo propiamente dichas, los cultivos energéticos en tierras degradadas, residuos agrícolas, residuos forestales, el estiércol y los residuos orgánicos. La biomasa también podría clasificarse en función de su transformación en energía útil, para lo cual podrían distinguirse los usos térmicos en la producción de calor y agua caliente sanitaria y los usos eléctricos en la generación de energía eléctrica industrial y doméstica. También debe incluirse su uso en la automoción, principalmente en la producción de biodiesel y bioetanol (Ministerio de Minas y Energía 2008).

En Europa, los estudios relacionados con la evaluación y el análisis del potencial energético (dado en

unidades de energía por unidad de masa disponible, en una unidad de tiempo definida) mediante el procesamiento y utilización de biomasa tomaron fuerza en los años noventa. Por ejemplo, en la región de Castilla y León en España, se evaluó el rendimiento y factores económicos de producción y consumo de dos tipos de viruta provenientes de residuos forestales (Ubeda y Antolín 1995) y se determinó que para esa década las astillas forestales costaban 2 ó 3 veces menos que otros combustibles como el diesel y la gasolina, por tanto el ahorro en energía en términos de costos podía ser del 50% al 260%, según se sustituyera gas o aceite combustible. Las astillas vegetales, por su parte, presentaban un porcentaje de ahorro del 150% debido a mayores costos de procesamiento para este tipo de viruta.

A finales del siglo xx, Szczodrak y Fiedurek (1996) determinaron que para la época pocos métodos de producción eran eficientes porque presentaban tasas bajas de hidrólisis debido a que los microorganismos utilizados en el proceso de conversión no podían utilizar xilosa, elemento importante para la producción de etanol. Para el mismo año, van den Broek et al. (1996) equipararon diferentes tecnologías de combustión en forma cualitativa y cuantitativa. Al comparar algunas plantas de producción, que para entonces se encontraban en construcción, se encontraron eficiencias por encima del 30 %: las plantas de producción por biomasa resultaron tener la mayor eficiencia en el momento, cerca al 37 %.

En otros países de la Unión Europea como Suecia, además de cálculos acerca de beneficios ambientales y valorización energética, se avanzó en la estimación con enfoque económico de la oferta de biomasa, encontrando que para la primera mitad del 2000 los niveles de energía por biomasa podían llegar a 470 PJ (Petajulio= 10^{15} Julios) de la silvicultura y 210 PJ (Petajulio= 10^{15} Julios) de la agricultura, reconsiderando el precio para que la bioenergía tuviese competitividad frente a otros productos de la madera. Este objetivo podría lograrse ya que la biomasa contribuye a la mitigación de daños am-

bientales, por lo que se invertiría menos dinero en la reparación de dichos daños (Johansson y Lundqvist 1999). El Reino Unido se orientó a la producción de energía a partir de biomasa, siendo ésta una de las posibles soluciones al problema de calentamiento global. Algunos investigadores señalaron que podría llegar a suplir hasta el 10% de las necesidades de electricidad de Reino Unido para el 2010, pues el contenido de energía de la biomasa en base seca para la mayoría de plantas oscilaba entre 17 a 21 MJ/kg (Megajulio/Kilogramo) (McKendry 2002).

En relación a los sistemas de producción, estudios económicos realizados en Italia han mostrado la viabilidad de la utilización de biomasa para la producción directa de energía eléctrica por medio de los procesos de combustión y gasificación para la conversión (Caputo et al. 2005). Otros estudios han permitido establecer que el nivel de los sistemas de producción agrícolas ecológicos muestra un potencial de biomasa de 2 a 5,7 EJ (Exajulio= 10^{18} Julios) para todos los países de Europa Central y Oriental (van Dam et al. 2007) y que países pequeños como Albania poseen un contenido teórico de energía de biomasa de hasta 11,6 millones de MWh (Megavatio por hora) (Karaj et al. 2010).

Recientemente en India, Nautiyal et al. (2014) evaluaron la viabilidad de la producción de biodiesel de tercera generación a partir de microalgas teniendo en cuenta los patrones de crecimiento de especies de los géneros *Spirulina*, *Chlorella* y algas de agua de estanque. Así, se extrae el aceite de la biomasa de algas y luego es transesterificado. En este proyecto se estudió el proceso de transesterificación aislada (proceso químico de combinación de aceites y alcoholes, como metanol y etanol, para la producción de esteres grasos como etiles), así como la extracción y transesterificación simultánea utilizando diferentes disolventes. El principal resultado de la investigación fue el máximo crecimiento y una mayor tasa de incremento biomásico de la especie de *Chlorella* frente a las otras especies evaluadas con base en el contenido de clorofila y el peso celular seco, además los autores hallaron el rendimiento

máximo de biodiesel con el proceso de extracción y transesterificación simultánea usando hexano como disolvente. El valor calorífico obtenido para la especie de *Chlorella* fue de 42,232 MJ/Kg.

Potencial energético de la biomasa en el marco internacional

La bioenergía plantea algunos problemas para la sustentabilidad. Por ejemplo, el aprovechamiento de la biomasa residual depende de la facilidad para su recolección, derivándose otros factores como el transporte y almacenamiento que pueden ser costosos; además su baja densidad energética y rendimiento en contraste con los combustibles fósiles, supone una mayor cantidad de biomasa para la producción de energía. De otra parte, el tema relacionado con la utilización de cultivos para la producción de energía en relación con aquellos reservados para el consumo humano, representa tal vez el problema de sustentabilidad más importante, debido a que el aumento desmedido en el uso de cultivos bioenergéticos podría afectar la producción alimentaria, subiendo los precios de los alimentos. Otros desafíos puestos en la mesa son los efectos ambientales negativos, representados principalmente por la deforestación en caso de que no se establezca un control de la producción de biomasa a gran escala, y por la generación de emisiones de gases contaminantes y/o tóxicos derivados de los procesos de incineración de la biomasa para la producción de energía.

En contraste con lo anterior, se han realizado diversos análisis de la eficiencia en el uso de recursos y el desempeño ambiental de los principales tipos de cultivos para biocombustibles, procesados por las técnicas de conversión de primera generación en diferentes países (de Vries et al. 2010). Los resultados señalan que el biocombustible producido a partir de aceite de palma (Sudeste Asiático), caña de azúcar (Brasil) y el sorgo dulce (China) se muestran más sostenibles, por tanto este tipo de cultivos hacen un uso más eficiente de la tierra, recursos de agua, nitrógeno y energía, mientras que las aplicaciones de plaguicidas son relativamente bajas en relación

con la energía neta producida. La palma de aceite es más sostenible en relación con el mantenimiento de la calidad del suelo. El maíz (Estados Unidos) y el trigo (Noroeste de Europa) como materia prima para el etanol muestran un rendimiento apenas aceptable. La remolacha azucarera (Noroeste de Europa), la yuca (Tailandia), la colza (Noroeste de Europa) y la soja (Estados Unidos) presentan una posición intermedia.

El estudio del territorio por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) presenta ventajas importantes pues se facilita el análisis de la dispersión geográfica de la biomasa residual, derivada de las actividades agropecuarias y forestales. Las herramientas de los SIG han brindado un panorama positivo acerca del potencial energético de la biomasa y han permitido hacer estimativos confiables en países como España, donde la evaluación espacial del potencial bioenergético de los residuos forestales en la provincia occidental de Cáceres ha permitido estimar un total de 463.000 toneladas de biomasa seca disponible, con un potencial de energía de 139.000 tep (Toneladas equivalentes de petróleo) (López et al. 2009). En Portugal se calculó un potencial promedio de 2.634 t/año para residuos forestales, 7973 t/año para residuos de la agricultura, y en total una producción de biomasa de 10.600 t/año, que en la producción de energía podrían llegar a representar 106.000 GJ (Gigajulio=10⁹ Julios) por año para ese país (Fernandes y Costa 2010). Polonia cuenta con más de 100 plantaciones de cultivos energéticos de al menos 5 hectáreas cada una y más de 100 centrales térmicas de biomasa de potencia de al menos 0,5 MW (Megavatio) (Iglinski et al. 2011), lo cual le otorga un potencial de la electricidad producida a partir de biomasa en co-combustión de 1,6 a 4,6 % de la producción total de electricidad proyectado a 2010 (Berggren et al. 2008).

En Asia se han realizado varias propuestas sobre la utilización de biocombustibles para cocinar en países en vía de desarrollo (China, India, Nepal, Pakistan, Filipinas, Sri Lanka, Vietnam). Para esto

se han hecho comparaciones de rendimiento y emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para los combustibles normalmente usados en los hogares y los biocombustibles candidatos a la utilización en las cocinas familiares, mediante la evaluación de diferentes tipos de biomasa (leña, estiércol, residuos agrícolas, carbón vegetal). Se ha encontrado que para el caso del CO₂, las emisiones por unidad de energía útil son más bajas en las estufas con biogás, con 5,1g de CO₂ emitidos por unidad de MJ útil, mientras que la de mayor emisión se da en las estufas con keroseno, con 350g de CO₂/MJ útil (Bhattacharya y Salam 2005).

Otros estudios han estimado la disponibilidad de tierras para la producción de biomasa en China y Japón (Junfeng y Runqing 2003; Matsumura y Yokoyama 2005 respectivamente), para lo cual se logró establecer que el potencial de generación de electricidad a partir de plantaciones en los primeros años de la década del 2000 podría suministrar entre el 7,6 % y el 8,8 % de la demanda total de electricidad en China, y que aunque los recursos de biomasa en Japón fueran limitados y

su escala de producción pequeña, la cantidad de paja de arroz y la producción de cascarilla podrían aportar en forma importante a la generación de energía eléctrica en este país. Resultados interesantes también se han obtenido en Irán, donde al realizar ensayos con la microalga *Nannochloropsis* sp. como fuente de energía, se ha determinado que la sepa podría producir 130 t h⁻¹año⁻¹ de biomasa y 60.000 l de biodiesel (Moazami et al. 2012).

Según Carlos y Khang (2008), en 2006, la región del Sudeste Asiático produjo 102,12 millones de toneladas de arroz, lo que representa el 24,4 % de la producción mundial. Más de 100.000 molinos de arroz se encontraban en operación en Indonesia, Filipinas, Malasia, Tailandia y Vietnam, produciendo alrededor de 19 millones de toneladas de cascarilla de arroz al año, con un potencial de generación de energía de alrededor de 16.720 MW (Tabla 1). La región es también el mayor productor de aceite de palma. En 2006, Malasia e Indonesia produjeron 33,7 millones de toneladas de aceite de palma que representa más del 86 % de la producción mundial.

TABLA 1. Combustible utilizado en las distintas plantas de energía de biomasa en el sudeste de Asia

Combustible	Tamaño del proyecto / Cantidad de proyectos / Porcentaje sobre el total de proyectos									
	< 5MW		5-10MW		10-15MW		15-20MW		> 20MW	
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%
Cáscara de arroz	16	26,7	20	48,8	1	5,0	3	21,4	4	13,3
Bagazo	7	11,7	13	31,7	10	50,0	7	50,0	21	70,0
Aceite de palma	11	18,3	7	17,1	6	30,0	3	21,4	0	0,0
Residuos madera	15	25,0	1	2,4	2	10,0	1	7,1	3	10,0
Biogás	7	11,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Otros	4	6,7	0	0,0	1	5,0	0	0,0	2	6,7
Total	60	100,0	41	100,0	20	100,0	14	100,0	30	100,0

*Cant.: Cantidad de proyectos

Fuente: Carlos y Khang, 2008.

En África, los análisis preliminares del potencial energético de producción de biomasa de la tierra proyectado al año 2025 y que incluyeron cincuenta países, arrojó como resultado la estimación de la producción total de bioenergía potencial de África en el año 2025, la cual podría ser de 18 EJ (Exajulio= 10^{18} Julios) por año para un conjunto de hipótesis de referencia que incluía la plantación de sólo el 10 % de la superficie de las áreas de no cultivo, la superficie no boscosa disponible y áreas no desérticas con cultivos energéticos de biomasa (Marrison y Larson 1996).

En el continente americano, Perlack et al. (2005) señalan que para 2005 la base territorial de los Estados Unidos abarcaba casi 2.263 millones de hectáreas, incluyendo los 369 millones de acres de tierra en Alaska y Hawai, explicando además que algo más del 75 % del consumo de la biomasa en los Estados Unidos (alrededor de 142 millones de toneladas secas) provenía de tierras forestales. El resto (unos 48 millones de toneladas secas) incluía los productos de base biológica, los biocombustibles y algunos residuos de biomasa, provenientes de las tierras de cultivo. Las investigaciones sobre la competitividad de los costos de la biomasa forestal para la producción de electricidad en los Estados Unidos bajo la reducción de emisiones de CO_2 (las cuales emplean modelos de equilibrio simulando cambios en el precio del carbón para la producción de electricidad debido a la reducción de impuestos y de emisiones de CO_2), indican que los residuos de la tala serían competitivos frente al carbón (Gan y Smith 2006).

Potencial energético de la biomasa en Latinoamérica

En Latinoamérica se ha estudiado el potencial energético de la caña de azúcar y el maíz para la producción de etanol, evaluando criterios económicos. Por ejemplo, en Colombia los resultados de los estudios realizados indicaron que para el año 2005 el rendimiento de la caña de azúcar fue de 75 L/t de caña; en cuanto al maíz, se distinguió un rendimiento a partir del almidón de 419,4 a 460,6 L/t de maíz para molienda en seco y 403,1 L/t de maíz para molienda en húmedo (Cardona et al. 2005). Para ese mismo año se estableció según la FAO que en

Colombia la producción promedio de maíz fue de 1,8 t/ha, sin embargo, para ese año Estados Unidos fue el mayor productor de maíz a nivel mundial con 8,9 t/ha. Para la caña de azúcar el promedio nacional fue de 84,1 t/ha, y el promedio mundial fue de 65,29 t/ha. Otras investigaciones se han enfocado en la evaluación del potencial del bagazo de remolacha deshidratado y fresco para la producción de biodiesel, un análisis preliminar de biomasa potencialmente útil en la región pacífica de Colombia (García 2008; Cabrera et al. 2011), y la simulación del potencial de áreas aprovechables para biomasa, palma, caña de azúcar, banano, maíz y jatropha en todo el territorio (Quijano 2012).

En Argentina, la evaluación del potencial de producción y desarrollo de bioenergía en la provincia de Mendoza en 2010, ha dejado en evidencia la importancia del uso de la biomasa en la producción de energía, logrando establecer que el potencial de producción en dicha provincia era entonces de 548.605 tm (tonelada métrica) y el derivado de las industrias agrícolas consideradas en el estudio fue de 308.347 tm/año. La principal actividad generadora de residuos era la poda con 298.135,05 tm/año, seguido por la industria vitivinícola, 203.689 tm/año, y los restos generados en el acondicionado del ajo con 37.913 tm/año (Flores et al. 2010).

Estudios detallados han permitido realizar comparaciones entre las propiedades termo-físicas del biodiesel y las propiedades del diesel comercial. Cabrera et al. (2011) han probado diferentes tipos de combustibles como: el Biodiesel Tipo A compuesto por *Elaeis oleifera* (palma americana de aceite), el Biodiesel Tipo B por *Elaeis guineensis* (palma africana de aceite), el Biodiesel Tipo C por *Ricinus communis* (ricino o higuera infernal) y los Biodiesel Tipo 1 y Tipo 2 compuestos por aceite de palma y tratados con metanol y etanol, respectivamente. Los resultados indican que los biodiesel presentan eficiencias cercanas a las del diesel comercial, evaluadas a diferentes revoluciones por minuto (RPM) del motor (ver Tabla 2). Así, la potencia del combustible tipo diesel, a mayores RPM, es casi equiparada por los biodiesel, dejando en evidencia la bondad de este tipo de combustible y su posibilidad de reemplazar a los combustibles convencionales en el corto plazo.

TABLA 2. Eficiencias estimadas de diferentes tipos de biodiesel frente a diesel comercial

RPM.	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel c	Biodiesel 1	Biodiesel 2	Biodiesel comercial
750	9,07 %	10,50 %	9,36 %	10,32 %	9,97 %	14,74 %
1300	6,04 %	6,93 %	5,73 %	6,81 %	6,10 %	9,00 %
1750	5,40 %	5,72 %	5,12 %	5,63 %	5,45 %	7,55 %
1950	4,31 %	4,40 %	4,09 %	4,32 %	4,35 %	5,21 %
230	4,10 %	4,00 %	3,97 %	4,01 %	4,22 %	4,55 %

Fuente: Cabrera et al. 2011.

Recientemente se han realizado evaluaciones de la producción de bioenergía en Centroamérica, enfocándose principalmente en la integración de sorgo dulce en ingenios azucareros y cultivos energéticos. Como resultado de estas evaluaciones se sugiere que al crecer el sorgo dulce en el 5 % de las tierras de cultivo de Centroamérica, se podría suministrar alrededor del 10 % de la demanda eléctrica de la región. Por lo tanto, Centroamérica podría aumentar su cuota de cogeneración de suministro de electricidad del 4,4% al 5,6 %. El aumento de la producción de electricidad renovable permitiría a los países como Guatemala, Honduras y Nicaragua reducir las facturas de combustible fósil por 13, 10 y 20 millones de dólares respectivamente (Cutz et al. 2013).

Se han mostrado entonces cifras de eficiencia energética en la región del Sudeste Asiático (Carlos y Khang 2008), África (Marrison y Larson 1996) y en países como España (López et al. 2009), Portugal (Fernandes y Costa 2010) y Estados Unidos (Perlack et al. 2005). Este panorama evidencia las nuevas tendencias en relación a la variedad de fuentes y mecanismos para la producción de energía a partir de la biomasa y la propagación a lo largo de todo el mundo de las prácticas de aprovechamiento de la biomasa, así como un pensamiento más amplio acerca de la necesidad de buscar e implementar nuevas fuentes de energía. Teniendo en cuenta lo anterior es válido afirmar que las perspectivas en relación al desarrollo y evolución de este tipo de fuente de energía en el marco global son buenas, y que es imprescindible no solo

la inclusión de su fomento en las políticas medioambientales de las naciones, sino su implementación de carácter prioritario por encima de proyectos de producción de energía tradicionales.

Para el caso de los países latinoamericanos, puede concluirse que existe gran uso de biomasa no alimentaria, en su mayoría residuos de la actividad agrícola, aunque también hay tendencia a la plantación de cultivos energéticos de especies vegetales como la caña de azúcar, el sorgo dulce y el maíz para la producción de biocombustibles como el etanol y el biodiesel, productos que podrían convertirse en el eje del mercado de los combustibles alternativos orientados al desarrollo económico de los países de la región.

Países como Colombia (siguiendo la tendencia latinoamericana) han aprovechado el bagazo de la remolacha y han hecho uso de cultivos energéticos de caña de azúcar. Podría decirse que el país tendría buenas expectativas en el mercado de los biocombustibles si se tiene en cuenta que la producción promedio anual de Colombia de este cultivo se mantiene por encima del promedio mundial. Finalmente, con el objeto de sintetizar la información presentada en referencia al potencial energético en el marco global y latinoamericano, a continuación se muestra una tabla resumen que relaciona los casos expuestos y los resultados de los estudios del potencial energético desde la perspectiva de los diferentes tipos de biomasa (residuos forestales, residuos de agricultura, microalgas), la biomasa total disponible y la producción energética (ver Tabla 3).

TABLA 3. Resumen casos expuestos en el marco global y latinoamericano

Estudios de caso	Potencial energético				Producción energética
	Residuos forestales	Residuos agricultura	Microalgas	Biomasa Disp. Total	
Provincia Cáceres, España	463.000 Toneladas de biomasa seca				139.000 tep (Toneladas equivalentes de petróleo)
Portugal	2.634 t/año	7.973 t/año		10.600 t/año	106.000 Gigajulios/año
Polonia	Más de 100 plantaciones de cultivos energéticos de al menos 5 hectáreas, cada una para alimentar sus centrales térmicas de biomasa				100 centrales térmicas de biomasa de potencia de al menos 0,5 MW (Megavatio)
Irán			130 t/ha/año		60.000 L de biodiesel
Indonesia, Filipinas, Malasia, Tailandia y Vietnam	19 millones de toneladas de cascarilla de arroz/año				16.720 MW
Malasia e Indonesia					33,7 millones de toneladas de aceite de palma
África	Hipótesis de plantación de sólo el 10% de la superficie de las áreas de no cultivo, la superficie no boscosa disponible y áreas no desérticas con cultivos energéticos de biomasa.				18 Exajulios/año
Estados Unidos	142 millones de Toneladas	48 millones de Toneladas			
Provincia de Mendoza, Argentina	308.347 Tonelada métrica/año	203.689 Tonelada métrica/año de la Viticultura		548.605 tm	

Fuente: elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica de los estudios de caso.

Conclusiones

Actualmente, y de acuerdo con lo expuesto desde hace casi dos décadas por autores como Hall y Scrase (1998), diversas organizaciones y entidades en todo el mundo prevén que la producción de energía mediante biomasa juega un papel importante en una matriz de energía sostenible para el futuro. Países como China, Japón, India, España, Portugal, Estados Unidos, Colombia, Brasil y Argentina están promoviendo el uso activo de biomasa para la energía y

el impulso del desarrollo de los conocimientos y la tecnología necesarios para los sistemas de energía de biomasa avanzados.

El estudio de la biomasa y su producción desde la perspectiva de los SIG en Europa, la utilización de múltiples tipos de biomasa en Asia, el estudio del potencial biofísico de África, los estudios económicos y proyecciones hechos en Norteamérica, y las investigaciones en nuevas fuentes de biomasa y biocombustibles realizadas en Latinoamérica, permi-

ten apreciar el consenso creciente de que la biomasa como energía renovable puede desplazar progresivamente a otras fuentes convencionales, así como al uso de combustibles fósiles.

El estudio de la biomasa no alimentaria (proveniente de residuos agrícolas, desperdicios de alimentos y desechos municipales), y las diferentes opciones tecnológicas empleadas en los procesos de produc-

ción para su aprovechamiento, además de los notables porcentajes de utilización como fuente de energía en diferentes países y regiones en todo el mundo, proporcionan un panorama claro acerca del potencial energético de la biomasa y su protagonismo como fuente de energía sostenible, de forma coherente con las nuevas políticas ambientales y las necesidades energéticas de las naciones.

Referencias

- Berggren, M., Ljunggren, E. y F. Johnsson. 2008. "Biomass co-firing potentials for electricity generation in Poland - Matching supply and co-firing opportunities". *Biomass and Bioenergy* (32): 865-879.
- Bhattacharya, S.C. y P. Abdul Salam. 2005. "Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries". *Biomass and Bioenergy* (22): 305-317.
- Cabrera, G., Burbano, J.C. y J. I. GarcíaI. 2011. "Preliminary analysis of biomass potentially useful for producing biodiesel". *Dyna* 78 (170): 144-151.
- Caputo, C., Palumbo, M., Pelagagge, P. M. y F. Scacchia. 2005. "Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables". *Biomass and Bioenergy* (28): 35-51.
- Cardona, C. A., Sánchez, O. J., Montoya, M. I. y J. A. Quintero. 2005. "Producción de etanol carburante: material lignocelulósico una nueva alternativa". *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR*, 2 (1): 47-55.
- Carlos, R.M. y D. B. Khang. 2008. "Characterization of biomass energy projects in Southeast Asia". *Biomass and Bioenergy* (32): 525-532.
- Cutz, L., Sanchez, S., Ruiz, U. y D. Santana. 2013. "Bioenergy production in Central America: Integration of sweet sorghum into sugar mills". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (25): 529-542.
- De Vries, S.C., Van de Ven, G.W.J., Van Ittersum, M.K. y K. E. Giller. 2010. "Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques". *Biomass and Bioenergy* (34): 588-601.
- Drapcho, C. M., Phu Nhuan, N. y T. H. Walker. 2008. *Biofuels Engineering Process Technology*. Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Fernandes U. y M. Costa. 2010. "Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal". *Biomass and Bioenergy* (34): 661-666.
- Flores, N., Silva, J., Anschau, R. A., Carballo, S. y J. A. Hilbert. 2010. "Analysis of the potential production and the development of bioenergy in the province of Mendoza - Biofuels and biomass- using Geographic Information Systems". *International Journal of Hydrogen Energy* (35): 5766-5771.
- Gan, J. y C. T. Smith. 2006. "A comparative analysis of woody biomass and coal for electricity generation under various CO₂ emission reductions and taxes". *Biomass and Bioenergy* (30): 296-303.
- García, M. C. 2008. "Producción de biodiesel mediante fermentación en estado sólido de compuestos lignocelulósicos derivados del bagazo de remolacha". *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9 (1): 66-72.
- Hall, D. O. y J. I. Scrase. 1998. "Will biomass be

- the environmentally friendly fuel of the future?" *Biomass and Bioenergy* 15 (4/5): 357-367.
- Iglinski, B., Iglinska, A., Kujawski, W., Buczkowski, R. y M. Cichosz, 2011. "Bioenergy in Poland". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (15): 2999-3007.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía 2007. *Energía de la biomasa. Serie de Manuales de Energías Renovables*. Editorial Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España.
- Johansson J. y U. Lundqvist. 1999. "Estimating Swedish biomass energy supply". *Biomass and Bioenergy* (17): 85-93.
- Junfeng, L. y H. Runqing. 2003. "Sustainable biomass production for energy in China". *Biomass and Bioenergy* (25): 483-499.
- Karaj, Sh., Rehl, T., Leis, H. y J. Muller. 2010. "Analysis of biomass residues potential for electrical energy generation in Albania". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (14): 493-499.
- López, F.; Pérez, C.; Cuadros, F. y A. Ruiz. 2009. "Spatial assessment of the bioenergy potential of forest residues in the western province of Spain, Caceres". *Biomass and Bioenergy* (33): 1358-1366.
- Marrison, C.I. y E. D. Larson. 1996. "A preliminary analysis of the biomass energy production potential in Africa in 2025 considering projected land needs for food production". *Biomass and Bioenergy* 10 (5/6): 337-351.
- Matsumura, Y. y S. Yokoyama. 2005. "Current situation and prospect of biomass utilization in Japan". *Biomass and Bioenergy* (29): 304-309.
- McKendry, P. 2002. "Energy production from biomass (part 1): overview of biomass". *Bioresource Technology* (83): 37-46.
- Ministerio de Minas y Energía 2008. *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D.C., Colombia.
- Moazami, N., Ashori, A., Ranjbar, R., Tangestani, M., Eghtesadi, R. y A. S. Nejad. 2012. "Large-scale biodiesel production using microalgae biomass of *Nannochloropsis*". *Biomass and bioenergy* (39): 449-453.
- Nautiyal, P., Subramanian, K.A. y M. G. Dastidar. 2014. "Production and characterization of biodiesel from algae". *Fuel Processing Technology* 120: 79-88.
- Perlack, R. D., Wright, L. L., Turhollow, A. F., Graham, R. L., Stokes, B. J. y D. C. Erbach, 2005. *Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply*. Oak Ridge National Laboratory-U.S. Department of Energy- U.S. Department of Agriculture, Oak Ridge, Tennessee, United States of America.
- Quijano, R. 2012. Diseño e implementación de una plataforma integrada de modelación para la planificación energética sostenible - Mordergis - "estudio de caso Colombia". Tesis doctoral. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, Colombia.
- Szczodrak, J. y J. Fiedurek. 1996. "Technology for Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol". *Biomass and Bioenergy* 10 (5/6): 367-375.
- Ubeda, J. y G. Antolín. 1995. "Energy Possibilities from Forest Residues in the Region of Castilla y León in Spain". *Biomass and Bioenergy* 8 (I): 21-28.
- Van Dam, J., Faaij, A. P. C., Lewandowski, I. y G. Fischer. 2007. "Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios". *Biomass and Bioenergy* (31): 345-366.
- Van Den Broek, R., Faaij, A. y A. Van Wijk. 1996. "Biomass combustion for power generation". *Biomass and Bioenergy* 11 (4): 271-281.