

Termo-conversión de biomasa por pirólisis. Tendencias de investigación y desarrollo.

Biomass thermo-conversion by pyrolysis. Trends in research and development.

Lizet Rodríguez-Machín, Iosvani López-Díaz, Víctor Samuel Ocaña-Guevara, Raúl Alejandro Pérez-Bermúdez.

Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales, Facultad Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV), Cuba.

Categoría docente: Asistente.

Dirección postal: Carr. a Camajuaní km. 5½, C.P. 54830, Santa Clara, V.C. Cuba.

Dirección particular: Edificio Multifamiliar, Apto. 101, Carr. a Camajuaní km 6, C.P. 54830, Santa Clara, V.C. Cuba. E-mail: lizetr@uclv.edu.cu ;Teléfono: 281194 ext.123

Resumen

En el presente trabajo se estudia el estado del arte con el objetivo de conocer las principales tendencias de investigación y desarrollo en los procesos de termo-conversión de biomasa, por pirólisis, para obtener combustibles y otros productos químicos. Las investigaciones sobre pirólisis de biomasa, a escala mundial, apuntan a los residuos de madera, forestales, los residuos orgánicos y el bagazo de caña como las materias primas con mayor proyección futura. En Cuba, las inclinaciones fundamentales se dirigen hacia la utilización del bagazo y paja de caña, la leña y los desechos agrícolas no solo porque éstas representan las principales ofertas reconocidas si no por la insuficiente investigación en la pirólisis de otras formas de biomasa. La indagación realizada sobre la pirólisis de biomasa refleja la complejidad del proceso sobre todo porque se obtienen cientos de productos intermedios y con desempeño ambiental incierto por lo que los estudios y desarrollo deben dirigirse hacia la optimización y explicar las variaciones en el comportamiento entre las materias primas, los parámetros del proceso y las escalas de funcionamiento para hacerlos técnica y económicamente competitivos. A pesar de las conocidas ventajas y futuro prometedor de la pirólisis rápida, en el país, se han realizado escasas investigaciones en la obtención de productos líquidos por esta vía. Se identifican brechas en las investigaciones cinéticas y dispersión en los estudios de la producción de combustibles líquidos en cuanto a decidir las tecnologías para su obtención.

Palabras clave: biomasa, pirólisis, termo-conversión.

Abstract

In this paper is studied the state of the art in order to identify the main trends in research and development in the processes of thermo-conversion of biomass by pyrolysis into fuels and other chemicals. Research on pyrolysis of biomass, worldwide, point to the wood waste, forestry, organic waste and bagasse as raw materials with the best future. In Cuba, the fundamental inclinations are directed towards the use of sugarcane bagasse and straw, wood and agricultural wastes not only because they represent the main supplies recognized otherwise the insufficient research in the pyrolysis of other biomass. The investigation conducted on the pyrolysis of biomass reflects the complexity of the process especially since they get hundreds of intermediate and uncertain environmental performance so that the research and development should be directed towards optimizing and explain variations in behavior between raw materials, the process parameters and operating range to make it technically and economically competitive. Despite the known benefits and promising future of fast pyrolysis, in the country, there has been few research on the liquid products obtained in this way. It was identified research gaps and dispersion in kinetic studies of the production of liquid fuels in deciding their production technologies.

Key words: biomass, pyrolysis, thermo-conversion.

Introducción

La creciente preocupación mundial sobre las consecuencias ambientales de la fuerte dependencia de los combustibles fósiles, especialmente el cambio climático, restringirán el uso excesivo de los combustibles fósiles⁴. La biomasa es un recurso renovable cuya utilización ha recibido gran atención debido a consideraciones medioambientales y a la creciente demanda de energía en todo el mundo²¹.

A escala mundial, gran parte de la energía de biomasa se produce a partir de madera y sus residuos, seguido por los residuos sólidos urbanos, los residuos agrícolas y los gases de vertedero^{10,11}. La utilización, en la producción de energía, de cultivos como el maíz, la remolacha y otros granos es rechazada por gran cantidad de países porque compromete la alimentación humana y animal, sobre todo en tiempos de grandes sequías que ha provocado entre otras causas la subida preocupante de los precios de los alimentos sobre todo de primera necesidad¹⁰.

En Cuba, la biomasa constituye algo más del 99 % de la energía renovable total y continuará dominando en el futuro, debido a las grandes cantidades de residuos de las industrias como la del azúcar, la madera, el café, el arroz y otras fuentes como las leñas y las plantaciones de oleaginosas no comestibles¹⁹.

El proceso de pirólisis se divide, dependiendo de las condiciones de funcionamiento, en tres subclases: convencional, rápida y flash^{3,12}. El objetivo del presente trabajo es presentar las principales tendencias de investigación y desarrollo de los procesos de termo-conversión de biomasa por pirólisis.

DESARROLLO

En el resumen estadístico de la British Petroleum⁶ del 2011, se estima que el suministro mundial de combustibles líquidos, en el período comprendido entre el 2010 y el 2030, incrementará globalmente por lo que su producción ayudará a enfrentar el crecimiento en el consumo. Dentro de esta tendencia se espera también un aporte creciente por la producción de los biocombustibles. Para conocer las principales tendencias de investigación y desarrollo de los procesos de termo-conversión de biomasa por pirólisis se realiza el estudio del estado del arte. Con la información recopilada se hace un resumen de la composición básica y las formas de biomasa más usadas, se investigan los principales tipos de pirólisis para la producción energética basada en la biomasa y sus tendencias investigativas. Adicionalmente se incluyen los principios fundamentales de cada proceso y los productos que se obtienen, se analiza la situación en Cuba en los aspectos tratados.

- Composición básica de la biomasa

La estructura química y los componentes orgánicos básicos de la biomasa son extremadamente importantes en el desarrollo de los procesos para la producción de combustibles y productos químicos derivados. La biomasa, en general, se define como el conjunto de materia orgánica renovable que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico. La mayor parte de los componentes orgánicos de la biomasa se clasifican en celulosas, hemicelulosas tales como el xilano y ligninas²³. La celulosa se da en

diversas formas y una gran parte proviene de los desechos domésticos e industriales¹. Las hemicelulosas están presentes, principalmente, en los bosques caducifolios como pentosanos y en bosques de coníferas casi en su totalidad como hexosanos, sufren descomposición térmica muy fácilmente. La lignina es un polímero aromático sintetizado a partir de precursores de fenilpropanoides^{1,13}.

- Formas de biomasa más usadas

Actualmente, gran parte de la energía de biomasa se produce a partir de madera y sus residuos (64%), seguido por los residuos sólidos urbanos (24%), los residuos agrícolas (5%) y los gases de vertedero (5%)^{10,11}. En el caso de la pirólisis de biomasa se utilizan en mayor medida la paja, los residuos agrícolas, los desechos municipales y existen inclinaciones, a escala mundial, dirigidas hacia el empleo de los residuos de madera, forestales, los residuos orgánicos y el bagazo.

De las formas de biomasa que se emplean en Cuba, el serrín de madera, la cáscara de arroz, los desechos de café, los desechos forestales, el bagazo, la paja de caña y la leña representan el 98% de las fuentes renovables de energía que se utilizan en el país. Existe la tendencia al incremento de la oferta de las mismas (ver Tabla 1), dentro de ellas el bagazo, la paja de caña y la leña constituyen los más voluminosos representando el 99,6% del total de biomasa¹⁹.

Tabla 1. Oferta de biomasa en Cuba.

Biomasa	2006	2008	2009
Bagazo y paja de caña	865,4	927,2	1004,1
Leña	224,0	181,9	245,6
Serrín de madera	0,2	0,2	0,4
Cáscara de arroz	2,4	0,8	0,1
Otros desechos forestales	0,6	7,6	4,5

Sin embargo, Pérez en el 2002 plantea que en 1999, a escala mundial, el 50% del bagazo de caña se quema típicamente²². En los países en vías de desarrollo la combustión de biomasa se realiza de forma incompleta e ineficientemente en fuegos abiertos para cocinar y para calefacción.

- Pirólisis de biomasa

La pirólisis es la degradación térmica de biomasa en ausencia de oxígeno, se utiliza desde hace mucho para producir carbón vegetal. En la década de los 80, los investigadores encontraron que el componente líquido de la pirólisis podría aumentar mediante el calentamiento de la biomasa a un ritmo acelerado y la condensación rápida de los vapores producidos¹⁷.

La pirólisis se encuentra en el corazón de todos los procesos termo-químicos de conversión de combustibles y varios investigadores señalan que se convertirá en una vía para la elaboración de productos tipo del petróleo proveniente de los recursos de biomasa.

- Procesos de pirólisis de biomasa

Aunque todavía la pirólisis está en fase de desarrollo, en el escenario energético actual, ha recibido especial atención ya que puede convertir directamente la biomasa en productos sólidos, líquidos y gaseosos¹⁵. En dependencia de las condiciones de operación, el proceso de pirólisis de biomasa se divide en tres subclases: convencional, rápida y flash³.

- Pirólisis convencional

La pirólisis convencional o lenta se define como la pirólisis que se produce en virtud de una velocidad lenta de calentamiento. Esta condición permite la producción de productos de pirólisis: sólidos, líquidos y gaseosos en porciones significativas^{3,12}.

En Cuba, se han realizado algunos estudios a escala de laboratorio entre los que se encuentran los trabajos

efectuados en la década del 90 por Quincóses et al para la obtención, por pirólisis lenta de paja de caña, de ácido piroleñoso como agente tensoactivo para la preparación de emulsiones acuosas de fracciones de petróleo crudas y destiladas, los de Medina et al en la obtención de carbón activado del Marabú (*Dichrostachys cinérea*)¹⁶ y entre otros los de Penedo y colaboradores en la caracterización química de productos líquidos obtenidos en un horno de pirólisis lenta al vacío a partir de bagazo de caña de azúcar a diferentes condiciones de temperatura, velocidad de calentamiento y densidad aparente de la biomasa²¹.

- Pirólisis rápida

La pirólisis rápida, definida con más precisión como termólisis⁹, es un proceso en el que un material como la biomasa, es rápidamente calentado a altas temperaturas en ausencia de aire (especialmente el O₂). Si el objetivo es principalmente la obtención de productos líquidos y/o gaseosos se recomienda la pirólisis rápida. En los procesos de pirólisis rápida se producen de 60-75% en peso de biocombustibles líquidos, 15-25% en peso de sólidos, y 10-20% en peso de gases no condensables, dependiendo de la materia prima utilizada¹⁷.

Actualmente, en estos procesos se utiliza una amplia variedad de configuraciones de reactores dentro de las cuales se encuentran el reactor ablativo, el Vortex, el de cono rotatorio, al vacío multi-hogar, mezclador de doble tornillo, al vacío de nueva generación y los de lecho fluido burbujeante y de lecho fluido circulante como los más utilizados y con mayores perspectivas futuras debido a su flexibilidad y adaptabilidad a diferentes tipos de biomasa. La selección de la configuración a utilizar se realiza en función de las características de la materia prima, las condiciones del proceso y las propiedades de los productos a obtener⁵.

En el país se han realizado pocos trabajos con esta variante de pirólisis por la carencia de instalaciones de este tipo debido al alto costo de las mismas, sin embargo García Rojas en la Universidad de Zaragoza (2007) estudió la influencia de la temperatura, la altura del lecho y la velocidad de fluidización, en el rendimiento de los productos de la pirólisis rápida de paja de arroz, en lecho fluidizado¹⁴.

- Pirólisis flash

La pirólisis flash de biomasa es una vía prometedora en lo que respecta a la producción de productos sólidos, líquidos y gaseosos, como posibles fuentes alternativas de energía. La conversión de biomasa en combustible crudo puede tener un rendimiento de hasta un 70% para los procesos de pirólisis flash^{7,8}. Es necesario superar algunos problemas en el proceso de conversión y uso del combustible, los cuales incluyen la pobre estabilidad térmica y la corrosividad. Los problemas principales de los reactores actuales en la pirólisis flash son la calidad y la estabilidad del combustible producido, fuertemente afectadas por el contenido de sólidos/cenizas.

La obtención de productos sólidos tiene la limitante de tener bajos rendimientos, aunque tienen la ventaja de usarse como combustible en distintas aplicaciones. El gas que se obtiene es de bajo valor calórico, por lo cual constituye un producto no económico para transportar y se prefiere su uso en consumidores cercanos al sitio de producción o como combustible del propio proceso.

Si el gas se pretende utilizar en motores de combustión interna debe ser sometido a un proceso previo de tratamiento que incluye la limpieza para la remoción de vapores ácidos y partículas que lo contaminan. La obtención de productos líquidos a partir de pirólisis rápida o flash se estudia mucho en la actualidad debido a las ventajas de estos de poder ser almacenados y transportados con facilidad, su adaptabilidad y flexibilidad en la producción y el mercado además de su potencialidad para el uso en plantas energéticas existentes^{2,5,9,24}. Pero estos productos presentan algunas propiedades que no son estables o, por su naturaleza, dificultan su utilización además de que se reportan algunos con características cancerígenas. Esto ha inclinado las investigaciones hacia la refinación de los mismos.

DISCUSIÓN

El crecimiento estimado en la producción de biocombustibles se debe a los beneficios que ofrecen, Ottinger, 2007 y Nuffield Council on Bioethics, 2011 señalan como fundamentales: su contribución a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de los gases de efecto invernadero, la reducción en la

dependencia mundial en los escasos e inciertos suministros de petróleo y que favorecen el descenso de los elevados precios del petróleo^{18,20}.

Además de los beneficios mencionados existe un número de motivaciones que impulsan la búsqueda de fuentes alternativas de energía dentro de las cuales la producción de biocombustibles mantiene gran interés en la actualidad, estos se congregan en cuatro grupos: las medioambientales, las económicas, las sociales y las políticas. Cada grupo tiene varios incentivos dentro de los cuales Goyal, 2006 y el Nuffield Council on Bioethics, 2011 coinciden en señalar como claves la contaminación ambiental, la demanda energética que es actualmente superior al suministro y por razones de seguridad energética^{15,18}.

Las tecnologías de pirólisis enfrentan algunas dificultades dentro de las que se pueden citar: la disponibilidad y suministro sustentable de materias primas además de problemas con escalado de plantas pilotos y demostrativas. Adicionalmente la producción es dirigida fundamentalmente por grandes productores de petróleo, lo que implica que responderá a sus intereses. Otra problemática se relaciona con usuarios no familiarizados con estos materiales; la necesidad de sistemas especializados para la biorefinación y conflictos en el comercio por normas técnicas divergentes en los distintos países. Por último, los costos son superiores al del combustible convencional, el desempeño medioambiental es deficiente y presentan problemas de seguridad en el manejo, transporte y uso.

Los autores concuerdan con Bridgwater y otros en que para comprender mejor los procesos de termo-conversión es esencial conducirlos hacia la optimización y explicar las variaciones en el desempeño entre las materias primas, los parámetros del proceso y las escalas de funcionamiento. Por lo general estos sistemas siempre serán relativamente pequeños y deben ser por consiguiente técnica y económicamente competitivos para su ampliación en el mercado.

Conclusiones

1. Las tendencias actuales de investigación y desarrollo en la pirólisis de biomasa en cuanto a materias primas se refiere se dirigen hacia el empleo de los residuos de madera, forestales, los residuos orgánicos y el bagazo de caña. En el caso de Cuba, las inclinaciones fundamentales se dirigen hacia la utilización del bagazo y paja de caña, la leña y los desechos agrícolas no solo porque éstas representan las principales ofertas sino por la insuficiente investigación en la pirólisis de otras formas de biomasa.

1. La indagación realizada sobre los procesos de termo-conversión de biomasa, por pirólisis, refleja la complejidad de los mismos sobre todo porque en ellos se obtienen cientos de productos intermedios y con desempeño ambiental incierto por lo que los estudios y desarrollo deben dirigirse hacia la optimización y explicar las variaciones en el comportamiento entre las materias primas, los parámetros del proceso y las escalas de funcionamiento para hacerlos técnica y económicamente competitivos.

2. Aunque la pirólisis rápida tiene reconocidas ventajas y un futuro prometedor, en el país, se han realizado escasas investigaciones en la obtención de productos líquidos por esta vía. Existen además, brechas en las investigaciones cinéticas y dispersión en los estudios de la producción de combustibles líquidos en cuanto a decidir las tecnologías para su obtención.

Bibliografía

1. Abella, L., S. Nanbu, and K. Fukuda, A Theoretical Study on Levoglucosan Pyrolysis Reactions Yielding Aldehydes and a Ketone in Biomass. 2007, Kyushu University. p. 67-74.
2. Babu, B.V., Biomass pyrolysis: a state-of-the-art review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2008. 2(5): p. 393-414.
3. Balat, M., E. Kirtay, and H. Balat, Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. *Energy Conversion and Management*, 2009. 50(12): p. 3147-3157.
4. Bhattacharya, B. and S. Kumar. Renewable energy in Asia: a technology and policy review. *Proceedings of world renewable energy congress VI*. 2000. Brighton.
5. Bridgwater, A.V., D. Meier, and D. Radlein, An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry*, 1999. 30(12): p. 1479-1493.
6. British Petroleum, 2011. *BP Energy Outlook 2030*. London: British Petroleum.

7. Demirbas, A. and G. Arin, An Overview of Biomass Pyrolysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2002. 24(5): p. 471-482.
8. Demirbas, A., Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 2001. 42(11): p. 1357-1378.
9. Demirbas, A., Biorefineries: Current activities and future developments. *Energy Conversion and Management*, 2009. 50(11): p. 2782-2801.
10. Demirbas, A., Combustion Systems for Biomass Fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2007. 29(4): p. 303 - 312.
11. Demirbas, A., Correlations between Carbon Dioxide Emissions and Carbon Contents of Fuels. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2006. 1(4): p. 421 - 427.
12. Demirbas, A., Current Technologies for the Thermo-Conversion of Biomass into Fuels and Chemicals. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2004. 26(8): p. 715 - 730.
13. Demirbas, A., Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. *Energy Conversion and Management*, 2000. 41(6): p. 633-646.
14. García Rojas, L.M., L. Aguiar Trujillo, and F. Márquez Montesino. Pirolisis rápida de paja de arroz en lecho fluidizado. V Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética, CIER 2007. 2007. Palacio de Convenciones de La Habana.
15. Goyal, H.B., D. Seal, and R.C. Saxena, Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008. 12(2): p. 504-517.
16. Medina Álvarez, B.F. and P.J. Villegas Aguilar. Empleo del Marabú para la obtención de carbón activado y energía. IV Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica. 2006: Editorial Feijóo.
17. Mohan, D., C.U. Pittman, and P.H. Steele, Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, 2006. 20(3): p. 848-889.
18. Nuffield Council on Bioethics. 2011. *Biofuels: ethical issues*, London.
19. Oficina Nacional de Estadísticas, R.d.C., Anuario Estadístico de Cuba 2009, O.N.d. Estadísticas, Editor. 2010.
20. Ottinger, R. L. 2007. *Biofuels – Potential, Problems & Solutions*. Biofuels Conference. Pace University School of Law Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro National Energy-Environment Law & Policy Institute. The University of Tulsa College of Law.
21. Penedo Medina, M., et al., Pirólisis de bagazo de caña a escala de laboratorio, parte II: caracterización de productos líquidos de pirólisis. *TECNOLOGÍA QUÍMICA*, 2008. XXVIII(3): p. 35-45.