

# Identificación de áreas de oportunidad para el aprovechamiento de biomasa lignocelulósica residual en Colombia

Laura Isabel Márquez-Muñoz<sup>1</sup>

## Resumen

En el contexto internacional existe una amplia variedad de opiniones sobre la pertinencia de seguir usando recursos fósiles para la producción de energía, combustibles y productos químicos. Una realidad innegable es el progresivo agotamiento de estos recursos, los complejos dilemas políticos y económicos derivados de su asimétrica distribución y los notorios efectos adversos que causan en el ecosistema. Estas razones son motivos más que suficientes para buscar materias primas alternativas a los recursos fósiles, que mitiguen los problemas antes mencionados. Al respecto, se realizó un análisis teórico del potencial, disponibilidad y los retos actuales de Colombia para implementar el uso de los residuos agroindustriales como una alternativa para la producción de energía, combustibles y productos de alto valor agregado. Este enfoque contribuye a mitigar el impacto negativo de residuos industriales y se constituye en una alternativa para valorizar estos residuos, ya que cuenta con todos los elementos para contribuir al desarrollo de procesos y productos sustentables. Aunque la conversión de biomasa residual ha sido validada desde el punto de vista conceptual, aún se requiere muchos estudios científicos, tecnológicos y económicos para consolidar su implementación en el mercado.

*Palabras clave:* biomasa; biorrefinería; residuos agroindustriales; valorización.

---

<sup>1</sup>Ingeniera de Procesos. Correo electrónico: lauraisabelm6@gmail.com 

# Identification of areas of opportunity for the use of residual lignocellulosic biomass in Colombia

## Abstract

In the international context, there is a wide variety of opinions about the relevance of continuing to use fossil resources for the production of energy, fuels, and chemical products. An undeniable reality is the progressive depletion of these resources, the complex political and economic dilemmas derived from their asymmetric distribution, and the notorious adverse effects they cause on the ecosystem. These reasons are more than enough to look for alternative raw materials to fossil resources, which mitigate the aforementioned problems. In this regard, a theoretical analysis of the potential, availability, and current challenges of Colombia was carried out to implement the use of agro-industrial waste as an alternative for the production of energy, fuels, and products with high added value. This approach contributes to mitigating the negative impact of industrial waste and constitutes an alternative to value this waste since it has all the elements to contribute to the development of sustainable processes and products. Although the conversion of residual biomass has been validated from the conceptual point of view, many scientific, technological, and economic studies are still required to consolidate its implementation in the market.

*Keywords:* biomass; biorefinery; agro-industrial waste; valorization.

# Identificação de áreas de oportunidade para o uso de biomassa lignocelulósica residual na Colômbia

## Resumo

No contexto internacional, as opiniões divergem sobre a relevância de continuar a utilizar recursos fósseis para a produção de energia, combustíveis e produtos químicos. Uma realidade inegável é o esgotamento progressivo desses recursos, os complexos dilemas políticos e econômicos derivados de sua distribuição assimétrica e os notórios efeitos adversos que causam no ecossistema. Esses motivos são mais do que suficientes para buscar matérias-primas alternativas aos recursos fósseis, que amenizem os problemas mencionados. Nesse sentido, foi realizada uma análise teórica do potencial, disponibilidade e desafios atuais da Colômbia para implementar o uso de resíduos agroindustriais como alternativa para a produção de energia, combustíveis e produtos de alto valor agregado. Esta abordagem contribui para mitigar o impacto negativo dos resíduos industriais e constitui uma alternativa para valorizar estes resíduos, uma vez que possui todos os elementos para contribuir para o desenvolvimento de processos e produtos sustentáveis. Embora a conversão da biomassa residual tenha sido validada do ponto de vista conceitual, muitos estudos científicos, tecnológicos e econômicos ainda são necessários para consolidar sua implantação no mercado.

*Palavras-chave:* biomassa; biorrefinaria; resíduos agroindustriais; valorização.

## Introducción

La energía consumida en el mundo proviene principalmente de fuentes fósiles no renovables como: petróleo, carbón y gas, los cuales están distribuidos en lugares estratégicos y de manera asimétrica alrededor del mundo, por lo cual muchos países han basado su economía en su extracción. El recurso fósil energético más usado es el petróleo. De acuerdo con la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), el consumo diario de petróleo a nivel global para el año 2018 fue de 98,82 millones de barriles y la tendencia es que en 2019 siga subiendo hasta los 100,23 millones de barriles por día (BBC News Mundo, 2019). Del petróleo se obtienen alrededor de 70.000 productos; notoriamente, el 90 % se utiliza para producir combustibles y el 10 % restante se usa para productos químicos y otros fines (Habela, 2016).

Es importante mencionar que, el petróleo no está disponible en todas las partes del mundo, y para algunos países con reservas probadas, como es el caso de Colombia, las mismas se agotan progresivamente. Por ejemplo, según el Ministerio de Minas y Energía (2018), las reservas comprobadas de crudo en Colombia tendrán una vida útil de solo 5,7 años. Esta situación origina fuertes problemas energéticos, económicos y políticos en la sociedad. Adicionalmente, la extracción y el uso de petróleo y/o los productos de su refinación han originado notorios daños ambientales, algunos de los cuales son prácticamente imposibles de revertir, desde una perspectiva técnica o económica. Estos factores, entre varios otros, establecen la urgente necesidad de reducir el uso de petróleo, de mitigar sus impactos ambientales y, mejor aún, de encontrar materias primas alternativas que generen el mismo tipo de productos que el petróleo.

De acuerdo con lo anterior, la sustitución de las materias primas fósiles por materias renovables para la producción de energía, combustibles y productos químicos es una necesidad improrrogable. Diversos reportes indican claramente la urgente necesidad de desarrollar tecnologías alternativas para desarrollar procesos sustentables para la producción de energía; hay notorios esfuerzos para lograr una evolución equivalente en el caso de los combustibles y en los productos químicos. En ese sentido, la conversión de biomasa lignocelulósica se identifica como una alternativa preferente.

A diferencia de las materias primas fósiles, el uso de biomasa tiene diversas ventajas como insumo para la producción de energía, combustibles y productos químicos; hay dos de particular relevancia: a) mantiene neutro el balance de carbono en la atmósfera y, de esta forma, no contribuye al incremento de gases de efecto invernadero, b) está disponible en prácticamente cualquier lugar de la tierra, lo que favorece una mejor distribución del recurso natural. Esta situación abre la posibilidad de que cada país pueda usar estos insumos para lograr su independencia energética y de abasto en combustibles y productos químicos.

Si bien, el escenario anterior es muy promisorio, un aspecto de particular relevancia es que cada país o región identifique y documente la disponibilidad de biomasa para establecer una tecnología de este tipo. Debe, además, identificar sus propias

necesidades para definir qué tipo de producto, energía, combustibles o productos químicos debe ser la función objetivo. De esta forma, aquí se refieren algunos de los elementos que determinan el potencial de Colombia para permitir la evolución de la tecnología de conversión de biomasa.

## Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se estableció: un objetivo general y tres objetivos específicos, en un marco teórico investigativo, como se muestra a continuación:

**Objetivo general:** Identificar áreas de oportunidad para el aprovechamiento de biomasa lignocelulósica residual (BLR) en el contexto colombiano.

### Objetivos específicos:

- Reconocer el entorno de las fuentes de energía convencionales y la BLR.
- Establecer la disponibilidad y las ventajas del uso de BLR.
- Entender el entorno colombiano a nivel gubernamental, empresarial y académico.

Según lo anterior, la metodología se desarrolló en tres etapas: revisión, clasificación y redacción.

**Revisión:** Búsqueda de documentos relevantes en bases de datos científicas y gubernamentales, teniendo en cuenta palabras clave como: biomasa, conversión, fuentes de energía alternativas, petróleo, entre otras.

**Clasificación:** Selección de la información encontrada de acuerdo a los ejes temáticos establecidos por los objetivos, como fuentes de energía, disponibilidad de BLR, perspectivas del entorno y áreas de oportunidad.

**Redacción:** Construcción de la revisión documental de manera sintetizada en la que se incluyan los documentos y aportes más importantes obtenidos en la etapa de clasificación.

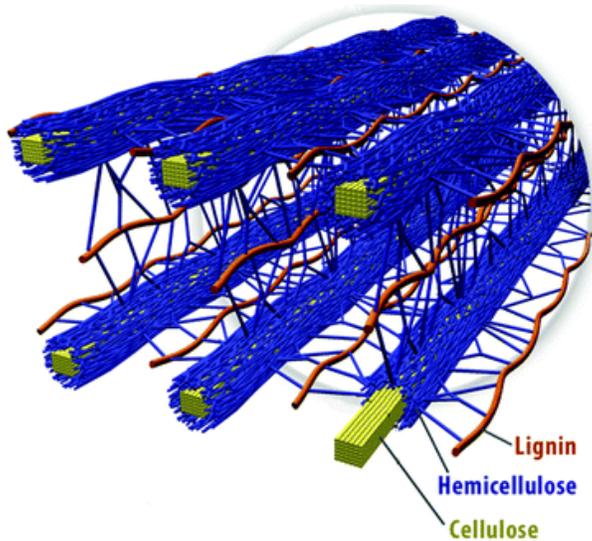
## Biomasa y Biomasa Lignocelulósica Residual

La biomasa lignocelulósica es el recurso renovable más abundante actualmente disponible y cada vez son más los motivos que invitan a que sea utilizado en el desarrollo de procesos de conversión en biorrefinerías a nivel mundial. Una de las principales razones para que la biomasa sea considerada es que posee tres clases de polímeros principalmente, a saber: celulosa, hemicelulosa y lignina (los cuales varían dependiendo el tipo y las condiciones de la biomasa) (Nanda et al., 2015; Zhou et al., 2011; Zhou et al., 2014).

Estos tres últimos polímeros mencionados son los principales constituyentes de la biomasa lignocelulósica, son fibras que los atraviesan por todo el tallo. La celulosa y hemicelulosa son polímeros de carbohidrato y la lignina un polímero aromático. En cualquier material la celulosa se encuentra organizada en el centro de las fibras, mantiene su orden debido al recubrimiento de hemicelulosa a su alrededor, sobre las cuales se deposita la lignina como se observa en la Figura 1. Estos polímeros de carbohidratos contienen diferentes monómeros de azúcar (de seis y cinco carbonos) y están estrechamente ligados a la lignina. Generalmente su composición es de 50 % de celulosa, 20 % de lignina y el restante mayormente hemicelulosa y en menor proporción algunos extractos hidrosolubles de bajo peso molecular y cenizas (Brandt et al., 2013).

### Figura 1

*Estructura de la biomasa lignocelulósica*



Fuente: Brandt et al. (2013).

La clasificación del tipo de biomasa lignocelulósica, disponible en el mundo, se presenta de acuerdo con su generación. La biomasa lignocelulósica de 1.ª generación o comestible es aquella que se obtiene directamente a partir de cultivos alimenticios como soya, sorgo, caña de azúcar, entre otros. De 2.ª generación o no comestible se obtiene a partir de cultivos y plantas no comestibles como pastos, ramas, maderas, y demás cultivos forestales. Y, la de 3.ª generación o biomasa lignocelulósica residual (BLR) se genera como residuo de cultivos agrícolas, forestales y del beneficio de los cultivos agroindustriales como el bagazo de caña, bagazo de palma, paja de trigo y entre otras (Salinas y Gasca, 2009).

Entre las distintas alternativas, el uso de biomasa no comestible y/o de la biomasa residual de procesos agroindustriales se distingue, por obvias razones, como la mejor alternativa para sustituir al petróleo en las refinerías. En ese sentido, la biomasa lignocelulósica residual ha generado gran interés entre la comunidad científica, ya que diversas investigaciones la han identificado como la única fuente de carbono renovable a partir de la cual se puede obtener directamente energía, combustibles líquidos y productos químicos (Guarnizo-Franco et al., 2012; Huber et al., 2006; Juárez-Barrientos et al., 2011; Muñoz-Muñoz et al., 2014; Requejo et al., 2012).

### **Disponibilidad de Biomasa Lignocelulósica Residual en Colombia**

Los diferentes países, y Colombia no es la excepción, deben promover, desarrollar y utilizar soluciones alternativas al uso de petróleo para generar energía, combustibles y productos químicos en la industria. Estas alternativas deben tener amplia disponibilidad, ser económicas y, sobre todo, renovables.

En Colombia el 39 % de la superficie está destinada a los cultivos agroindustriales. A nivel internacional, el país se destaca principalmente por la producción de cultivos como caña de azúcar, palma de aceite, café y cacao. En Colombia, 24.38 millones de toneladas de caña (Asocaña, 2018), 1.6 millones de toneladas de frutos de la palma de aceite (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite [Fedepalma], 2018), 840 mil toneladas de café (Rodríguez Valencia et al., 2006) y 60.5 mil toneladas de cacao (Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao], 2020) se producen aproximadamente cada año. En su mayoría, esta materia orgánica se transforma en residuos no comestibles que se convierten en fuentes de contaminación ambiental (Sarkar et al., 2012; Cury et al., 2017).

A partir de estos productos principales son generados diferentes tipos de residuos, empezando por la caña de azúcar, el residuo más importante es el bagazo de caña, el 30 % de la caña se transforma en bagazo y actualmente es utilizado en la producción de energía a través de su combustión en las calderas, transformación en bioetanol, producción de fibras de pulpa celulósica para la fabricación de papel, y en el área de producción de alimentos al ser usado como sustrato en la producción de hongos comestibles como las orellanas; también existen otros residuos como la cachaza, que finalmente son reaprovechados en el proceso de producción de azúcar (Asocaña, 2018; Chandel et al., 2012; Vargas y Pereira, 2010).

Por otra parte, de la palma de aceite se generan residuos que incluyen fragmentos lignocelulósicos como los racimos de fruto vacíos secos, fibra de mesocarpio y cuesco de palma, que representan el 25 %, 7 % y 10 % de residuos, respectivamente. Estos se usan como *pellets* para combustión, producción de biocrudo, producción de combustibles como biodiesel, obtención de fibras para papel y aditivos para la nutrición de suelo. Existen residuos no lignocelulósicos como la torta de palmiste que se usa

para producción de bioetanol y como aditivo para alimento de aves de corral (Coral et al., 2015; Kerdsuwan y Laohalidanond, 2012; Medina et al., 2016; Mohammad et al., 2012; Sulaiman et al., 2010; Yusoff, 2006).

En otro caso, los residuos lignocelulósicos generados a partir del café incluyen la borra, el cisco y los tallos que corresponden, respectivamente, a 10.4, 4.2 y 60 %. Estos residuos se usan para la producción de bioetanol, biogás, biodiesel, aceites y combustibles directos. Otros residuos no lignocelulósicos son la pulpa (39.4 % de los residuos), que se usa como combustible directo, producción de etanol y metano, obtención de cafeína, pectinas, y enzimas, cultivo de hongos comestibles y abono, y el mucílago que se puede usar para la obtención de alcohol, metano, pectinas, como complemento de alimento para cerdos y sustrato para la producción de hongos (Bermúdez et al., 2014; Rodríguez et al., 2006; Romero-Arenas et al., 2013).

Finalmente, del cacao son generados residuos no lignocelulósicos, pero se pueden usar en el desarrollo de procesos sustentables. Los tres residuos que se distinguen son: cascaras de cacao (90 % del fruto), que se usan para la obtención de polifenoles, fibras, antioxidantes y celulosa; cascarilla de la semilla (12 % de la misma), de la cual se pueden obtener nanofibras, y el mucílago (5-7 %), que se usa en las fermentaciones alcohólicas y acéticas (Preciado et al., 2011; Sosa et al., 2015).

### **Áreas de oportunidad**

Frente a las oportunidades para aprovechar la BLR generada, se reconoce como la más importante su conversión en productos de alto valor agregado. Aunque el tema más reconocido es que la conversión de biomasa lignocelulósica debe contribuir al abastecimiento de distintos combustibles líquidos, sea gasolina, diésel o jet-fuel verdes. Existe ya una creciente tendencia en usar este enfoque tecnológico para la síntesis de los productos químicos que requieren las diferentes áreas estratégicas, las cuales mueven la economía de un país, como la industria química, la de polímeros, la de alimentos, la farmacéutica, solo mencionando las más comunes (Cárdenas, 2012; Serrano-Ruiz y Luque, 2011; Pérez et al., 2015).

A la fecha, hay datos y tendencias económicas que establecen un gradiente muy favorable para usar biomasa y así sintetizar productos químicos en lugar de producir combustibles líquidos. A este respecto, se han propuesto procesos térmicos, químicos y/o biológicos para descomponer la biomasa lignocelulósica en celulosa, hemicelulosa y lignina. A partir de los dos primeros, usando diferentes procesos químicos catalíticos es posible generar una variedad de productos que puede ser tan amplia como la que se obtiene de una refinería de petróleo. El nivel de desarrollo de estos procesos de transformación es incipiente, pero los resultados a la fecha documentan que es posible la síntesis de productos de alto valor agregado como ácido succínico, aspártico, glutámico, levulínico, glicerol, sorbitol, xilitol y HMF, por mencionar algunos comercialmente importantes.

La conversión de los intermediarios de biomasa se lleva a cabo a través de familias de reacción, como la deshidratación, la oligomerización, la hidrogenación y la deshidrogenación, entre otras. Estos procesos se pueden integrar en una secuencia que permita la síntesis de los productos de interés, por ejemplo, la adecuada integración de una serie de procesos sucesivos de deshidratación e hidrogenación facilita la conversión de bioglicerol (una molécula con 3 oxígenos en su estructura) en propano (una molécula sin oxígeno en su estructura). En este tipo de procesos una clara tendencia es desarrollar y usar catalizadores bifuncionales que permitan llevar los dos procesos, como deshidratación e hidrogenación, en una sola etapa. El catalizador requerido en este caso implica una función ácida para catalizar la deshidratación y una función metálica para catalizar la hidrogenación

Como ya se indicó, la conversión de biomasa en un producto de interés implica diversos tipos de transformaciones físicas, químicas y/o biológicas. En el caso más general, la biomasa se puede descomponer inicialmente, ya sea mediante tratamientos térmicos y/o químicos, en una serie de compuestos con estructura más simple, que por su naturaleza se conocen como compuestos oxigenados, a partir de los cuales se pueden obtener todos los productos de interés. Para este propósito, el reto consiste en eliminar progresivamente el oxígeno de la estructura química y dar la funcionalidad química apropiada al compuesto de interés. Este proceso, conocido como desoxigenación, requiere el uso de catalizadores homogéneos, heterogéneos o enzimáticos. Se hace notar que, a la fecha, las rutas químicas mejor desarrolladas para la transformación de los intermediarios químicos derivados de la biomasa es la de catálisis heterogénea, a pesar de las condiciones de temperatura y presión que demandan ciertos procesos. En este caso, la adecuada selección de los catalizadores para la ruta de reacción elegida es vital, ya que el catalizador determina la velocidad de la reacción, pero también la selectividad de la misma. Los catalizadores heterogéneos tienen diversas ventajas operativas como la facilidad para recuperar el catalizador en el proceso, aspecto que tiene un fuerte impacto en la economía del proceso.

En este contexto, es importante enfatizar que existen enormes áreas de oportunidad para el desarrollo de procesos sustentables para la conversión de biomasa lignocelulósica, sobre todo desde la perspectiva de una biorrefinería cero residuos. Dentro de este marco, existen aún grandes dificultades técnicas para optimizar y escalar los procesos de transformación que implican reacciones catalíticas en tándem. Uno de los principales retos es la adecuada formulación del catalizador. Es por ello que en el desarrollo de procesos sustentables es aún necesario desarrollar procesos eficientes para la conversión primaria de la biomasa lignocelulósica, la síntesis de catalizadores heterogéneos, enzimáticos y a base de microorganismos genéticamente modificados para mejorar la actividad, selectividad y estabilidad de los procesos, la intensificación de procesos de reacción y separación, el uso de energía proveniente de fuentes renovables, la simulación y optimización de procesos, así como la evaluación técnico-económica, que sustente el futuro éxito comercial de los nuevos procesos.

## Perspectivas actuales en Colombia

Para Colombia es indispensable empezar o continuar con la migración efectiva a sistemas bioeconómicos que le permitan aprovechar la riqueza agrícola que posee. Establecer alianzas estratégicas entre las industrias y la academia, de modo que puedan desarrollar y fortalecer actividades investigativas en ciencia, tecnología e innovación sobre la conversión de biomasa en bioproductos, con el objetivo de avanzar hacia una economía sostenible (Global Bioeconomy Summit, 2018; Rodríguez et al., 2018).

Desde el punto de vista social, la valorización de este tipo de residuos representa una alternativa muy importante para la diversificación productiva y la agregación de valor en el medio rural (FAO et al., 1998), que permite generar beneficios económicos, así como mitigación de problemas ambientales para los productores, consumidores y comunidad en general, debido al gran potencial que poseen. Este tipo de investigaciones sobre aprovechamiento supone el desarrollo de procesos con alta competitividad y rendimiento en el mercado y viabilizaría nuevas oportunidades de ingresos y empleo (Núñez, 2012).

Aunque ya están disponibles diversas estrategias comerciales para el establecimiento de las tecnologías de conversión de biomasa, la mayoría de estudios realizados al respecto son experimentales y en pequeña escala, que, si bien son útiles, no brindan un aproximado claro con las condiciones de la realidad. Es por ello que el desarrollo de tecnologías locales, que hagan uso eficiente de los insumos disponibles y que no establezcan una dependencia científica, tecnológica ni económica con las tecnologías que ofrecen empresas transnacionales, es de vital importancia para países como Colombia. Desde otro punto de vista, el desarrollo de dichas tecnologías no sería aprovechable sin el acompañamiento de una cadena de valor para la transformación de biomasa y los productos bio-basados, para ello es necesaria la participación conjunta del gobierno, el sector productivo y el sector académico, para lograr la consecución de un objetivo común con beneficios para todos los actores.

A la fecha, el gobierno de Colombia tiene ya establecidas algunas políticas de apoyo para las empresas que desarrollen procesos sustentables y cogenerated energía, reglamentado en la Ley 1715 del 13 de mayo de 2014. Esta ley regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, donde establece beneficios tributarios, divulgación, estímulos y promueve la venta de energía excedente para las empresas que las integren.

Bajo la dicha ley, las empresas colombianas han empezado a generar alianzas con instituciones educativas para mejorar sus bioprocesos, haciéndolos más eficientes y aprovechando los beneficios de la cogeneración de energía alternativa. De forma más específica, el sector agroindustrial identifica que la conversión de biomasa genera grandes beneficios, ya que además de dar valor agregado a los residuos, pueden recibir beneficios tributarios y reconocimiento público cuando los usan como insumo para generar energía u otros productos químicos, como se ve de manera particular en

los ingenios azucareros. El gobierno también se beneficia de esta situación, porque aumenta sus índices de producción de energía a partir de fuentes renovables, acota la importación de petróleo, reduce los indicadores de contaminación ambientales y permite que las zonas no interconectadas puedan acceder a servicios de energía eléctrica.

Todos estos factores repercuten de forma favorable en la sociedad, debido a que se estimulan las economías locales, se abren nuevas y mejores oportunidades de empleo y se contribuye así a una mejor calidad de vida de todos los habitantes.

## Conclusiones

La biomasa lignocelulósica residual (BLR) es una materia prima alternativa viable y ampliamente utilizada para sustituir el petróleo en la producción de energía, combustibles y productos químicos.

Es importante identificar diversos tipos BLR en cada departamento, de forma que se use como materia prima para el desarrollo de procesos sustentables en el contexto de una biorrefinería, pero sin alterar de ninguna manera la diversidad propia de cada región.

La síntesis de productos químicos es preferente económicamente sobre la de combustibles líquidos y se debe seleccionar qué productos son los más adecuados en función de la materia prima y las necesidades del cliente potencial.

La capacidad de Colombia para desarrollar e implementar estas tecnologías resulta muy prometedora, ya que tiene amplia disponibilidad de BLR, que al ser escalado y estandarizado le permitiría competir a nivel mundial.

Se requiere aún de mucha investigación básica y aplicada para capitalizar favorablemente la conversión de BLR, por ello, es necesaria la integración efectiva entre el gobierno, el sector productivo y la academia para el desarrollo de esta industria.

A nivel nacional, se debe desarrollar el mercado y promover una cadena de valor que permita la inclusión y diferenciación para los bioproductos, al igual que lo realizado con los excedentes energéticos.

## Referencias

Asocaña. (2018). *Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña 2017-2018*.

BBC News Mundo. (2019, 1 de abril). Cuáles son los países con mayores reservas de petróleo y por qué esto no siempre es señal de riqueza. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47748488>

- Bermúdez, R., García, C., Serrano, M., Rodríguez, M. y Mustelie, I. (2014). Conversión de residuales agroindustriales en productos de valor agregado por fermentación en estado sólido. *Tecnología Química*, XXXIV(3), 217–225. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2014.3.%x>
- Brandt, A., Gräsvik, J., Hallett, J. & Welton, T. (2013). Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids. *Green Chemistry*, 15(3), 550–583. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/gc/c2gc36364j#!divAbstract>
- Cárdenas, R. (2012). *Biorefinerías para la producción de biocombustibles de segunda generación* (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia). <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27803/tesisUPV9008.pdf>
- Chandel, A. K., da Silva, S. S., Carvalho, W., & Singh, O. V. (2012). Sugarcane bagasse and leaves: Foreseeable biomass of biofuel and bio-products. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 87(1), 11-20. <https://doi.org/10.1002/jctb.2742>
- Coral, J. D., Woiciechowski, A., Zandona, A., Nosedá, M. D., Kaur, B. & Soccol, C. R. (2015). Lignin preparation from oil palm empty fruit bunches by sequential acid/alkaline treatment - A biorefinery approach. *Bioresource Technology*, 194, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.018>
- Cury, K., Olivero, R., Chams, L., Aguas, Y. y Martínez, A. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(Suple.), 122–132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530>
- Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). (2020). Así quedó el ranking de producción de cacao en Colombia. <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1193-boletin-de-prensa-asi-queda-el-ranking-de-produccion-de-cacao-en-colombia>
- Fedepalma. (2018). Balance económico del sector palmero colombiano en el segundo trimestre de 2018. *Boletín Económico*. [http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/BET\\_OCTUBRE\\_2018.pdf](http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/BET_OCTUBRE_2018.pdf)
- FAO, NU. Cepal, German Agency for Technical Cooperation. (1998). *Agroindustria y pequeña agricultura: vínculos, potencialidades y oportunidades comerciales*. Naciones Unidas. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2185/S9800001\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2185/S9800001_es.pdf)
- Global Bioeconomy Summit. (2018). Comunicado Cumbre Global de Bioeconomía 2018. Innovación en la bioeconomía global para la transformación sostenible e inclusiva y el bienestar. [https://gbs2018.com/fileadmin/gbs2018/Downloads/ComunicadoGBS2018\\_final\\_Spanish.pdf](https://gbs2018.com/fileadmin/gbs2018/Downloads/ComunicadoGBS2018_final_Spanish.pdf)

- Guarnizo-Franco, A., Martínez-Yepes, P. N. y Pinzón-Bedoya, M. L. (2012). Azúcares del pseudotallo de plátano : una opción para la obtención de alcohol de segunda generación. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas: Bistua*, 10(1), 39–51. <https://biblat.unam.mx/hevila/BistuaPamplona/2012/vol10/no1/4.pdf>
- Habela, F. (2016). *Tipos de catalizadores y procesos catalíticos en la conversión de ácido levulínico a productos con aplicación industrial* (tesis de maestría, Universidad Nacional de Educación a Distancia). e-spacio. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Fhabela>
- Huber, G. W., Iborra, S., & Corma, A. (2006). Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. *Chemical Reviews*, 106(9), 4.044–4.098. <https://doi.org/10.1021/cr068360d>
- Juárez-Barrientos, J., Ramírez, E., Ramírez-Figuero, E., Ramón, L. y Rodríguez-Miranda, J. (2011). Aplicación y comparación de pretratamientos totalmente libres de cloro en residuos de piña ( Ananas comosus ) y zapote mamey ( Pouteria sapota ) para la obtención de carboximetilcelulosa. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 2(1), 108–126.
- Kerdsuwan, S. & Laohalidanond, K. (2012). Renewable Energy from Palm Oil Empty Fruit Bunch. In M. Nayeripour (Ed.), *Renewable Energy - Trends and Applications* (pp. 123–150). InTech. <https://doi.org/10.5772/25888>
- Medina, J. D. C., Woiciechowski, A., Filho, A. Z., Nigam, P. S., Ramos, L. & Soccol, C. R. (2016). Steam explosion pretreatment of oil palm empty fruit bunches (EFB) using autocatalytic hydrolysis: A biorefinery approach. *Bioresource Technology*, 199, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.126>
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). Reservas. <https://www.minenergia.gov.co/reservas>
- Mohammad, N., Alam, M. Z., Kabbashi, N. A. & Ahsan, A. (2012). Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.10.009>
- Muñoz-Muñoz, D., Pantoja-Matta, A. J. y Cuatin-Guarín, M. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como combustible y biorefinería. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 10–19.
- Nanda, S., Azargohar, R., Dalai, A. K. & Kozinski, J. A. (2015). An assessment on the sustainability of lignocellulosic biomass for biorefining. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 925–941. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.058>

- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, 16(34), 142–156. [https://www.researchgate.net/publication/276714886\\_Uso\\_de\\_residuos\\_agricolas\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_biocombustibles\\_en\\_el\\_departamento\\_del\\_Meta](https://www.researchgate.net/publication/276714886_Uso_de_residuos_agricolas_para_la_produccion_de_biocombustibles_en_el_departamento_del_Meta)
- Pérez, J. F., Barrera, R. y Ramírez, G. (2015). Integración de plantaciones forestales comerciales colombianas en conceptos de biorrefinería termoquímica: Una revisión. *Colombia Forestal*, 18(2), 273–294.
- Preciado, O., Ocampo, C. y Ballesteros, W. (2011). Caracterización del sistema tradicional de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.), en seis núcleos productivos del municipio de Tumaco, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2), 58–69.
- Requejo, A., Rodríguez, A., Colodette, J. L., Gomide, J. L. & Jiménez, L. (2012). TCF bleaching sequence in kraft pulping of olive tree pruning residues. *Bioresource Technology*, 117, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.084>
- Rodríguez, A., Mondaini, A. y Hirschfeld, M. (2018). Bioeconomía en América Latina y el Caribe Contexto global y regional y perspectivas. Cepal. file:///D:/Biblio7eca/Downloads/BioeconomiaALC.pdf
- Rodríguez, N., Araque, M. y Perdomo, F. (2006). Producción de los hongos comestibles Orellanas y Shiitake. FNC, Cenicafé. [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/857/1/Hongos\\_comestibles\\_Orellanas\\_Shiitake.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/857/1/Hongos_comestibles_Orellanas_Shiitake.pdf)
- Romero-Arenas, O., Hernández, I., Parraguirre, J., Marquez, M. y Amaro, J. (2013). Evaluación de bagazo de café (*Coffea arabica*) como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 33, 472–481.
- Salinas, E. y Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, 157, 75–82.
- Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., & Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy*, 37(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045>
- Serrano-Ruiz, J. C., & Luque, R. (2011). Biocombustibles líquidos: procesos y tecnologías. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 107(4), 383–389.
- Sosa, G., Bautista, M., Moscoso, R., Boldo, L., Hernández, V. y Soto, E. (2015). Actividad enzimática extracelular de EXO-1,3/1,4-β-glucanasa de *Moniliophthora roreri* expresada en residuos agrícolas. En J. Herrera, R., López, J. Cámara. (Eds.), *Ciencia y tecnología forestal y agropecuaria en Tabasco* (pp. 336–342). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Sulaiman, F., Abdullah, N., Gerhauser, H. & Shariff, A. (2010). A Perspective of Oil Palm and Its Wastes. *Journal of Physical Science*, 21(1), 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.004>

- Vargas G. J. y Pereira, N. (2010). Sugar cane bagasse as feedstock for second generation ethanol production. Part I: Diluted acid pretreatment optimization. *Electronic Journal of Biotechnology*, 13(3), 1–9. <https://doi.org/10.2225/vol13-issue3-fulltext-3>
- Yusoff, S. (2006). Renewable energy from palm oil - Innovation on effective utilization of waste. *Journal of Cleaner Production*, 14(1), 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.07.005>
- Zhou, C., Xia, X., Lin, C., Tong, D. & Beltramini, J. (2011). Catalytic conversion of lignocellulosic biomass to fine chemicals and fuels. *Chemical Society Reviews*, 40(11), 5.588–5.617. <https://doi.org/10.1039/c1cs15124j>
- Zhou, M., Yang, J., Wang, H., Jin, T., Hassett, D. & Gu, T. (2014). Bioelectrochemistry of MFC. *Bioenergy Research: Advances and Applications*, 131-152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59561-4.00009-7>