

BIORREFINERIA: UNA OPORTUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL DESARROLLO BIOECONÓMICO DE LA GUAJIRA



BIORREFINERÍA: UNA OPORTUNIDAD ENERGÉTICA PARA EL DESARROLLO BIOECONÓMICO DE LA GUAJIRA

Ruth Hernández Benítez¹
Jesús Céspedes Rangel²

Resumen

Actualmente, el consumo de energía primaria proviene de los combustibles fósiles, como petróleo, gas y carbón mineral. Sin embargo, las reservas de estos elementos naturales se están agotando y sus precios aumentan constantemente. Lo anterior, ha estimulado la búsqueda de fuentes energéticas renovables más eficientes y amigable con el ambiente. En tal sentido, con este proyecto se planteó impulsar la industria y la innovación en la Guajira, como propuesta integral de un desarrollo con sostenibilidad ambiental, social y económica. La metodología utilizada fue de carácter

cualitativa, basada desde el alcance del concepto de bioeconomía y la definición de biorrefinería, la identificación de potenciales biorrefinerías susceptibles de aportar a la bioeconomía del departamento y el análisis de información secundaria, concluyendo que se debe trabajar en el desarrollo de sistemas de uso integral y completo de las biorrefinerías, que incluyan el uso de residuos y subproductos de los sectores rural e industrial.

Palabras clave: Biorrefinería, Bioeconomía, Biotecnología, Bioenergía, Energía Renovable.

BIOREFINERY: AN ENERGY OPPORTUNITY FOR THE BIOECONOMIC DEVELOPMENT OF LA GUAJIRA

¹ Magister en Gerencia de proyectos de investigación y desarrollo, Centro Agroempresarial y Acuícola del SENA Regional Guajira. Correo: ruthelenahb@misena.edu.co

² Magister en Gerencia de proyectos de investigación y desarrollo, Centro Industrial y de Energías Alternativas del SENA Regional Guajira. Correo: jcespedesrangel@misena.edu.co

Abstract

Primary energy comes from fossil fuels, such as oil, gas, and coal. However, the reserves of these natural elements are being depleted and their prices are constantly increasing. This has stimulated the search for more efficient and environmentally friendly renewable energy sources. In this sense, with this project it was proposed to promote industry and innovation in La Guajira, as a comprehensive proposal for a development with environmental, social and economic sustainability. The methodology used was qualitative in nature, based on the scope of the concept of bioeconomy and the definition of biorefinery, the identification of potential biorefineries that could contribute to the bioeconomy of the department and the analysis of secondary information, concluding that work should be done on the development of systems of integral and complete use of biorefineries, which include the use of waste and by-products from the rural and industrial sectors.

Keywords: Biorefinery, Bioeconomy, Biotechnology, Bioenergy, Renewable Energy.

Introducción

El creciente interés social por los problemas energéticos y ambientales que impulsan a la población mundial ha inducido a la investigación en nuevos procesos sostenibles para satisfacer las necesidades eléctricas,

térmicas y de transporte. La gran tendencia se asocia a las energías alternativas como oportunidad de futuro para el planeta, buscando desarrollar energías más limpias, más verdes y renovables. La biotecnología contribuye a este sector buscando la generación de bioetanol, biocombustibles y biogás a partir de biomasa residual y de cultivos energéticos, a través de diferentes técnicas y herramientas que optimizan la producción de una manera más sostenible, de aquí radica la importancia de las biorrefinerías.

Colombia, aunque tiene avances en la adopción de procesos, bajo el concepto de bioeconomía, y viene planteando iniciativas con este enfoque, se encuentra en un momento oportuno para avanzar en una discusión más profunda sobre el tema, con el fin de proponer un nuevo modelo de relacionamiento Económico que le permita acceder a una economía próspera y sostenible basada en la innovación. Un modelo de desarrollo bajo el concepto de bioeconomía permite aprovechar la riqueza natural del país, con las particularidades de cada territorio, y facilita la inserción en la economía mundial con nuevos productos y servicios sostenibles basados en la agregación de valor a partir del conocimiento científico y tecnológico. (Henry, Hodson, Aramendis, Trigo & Rankin, 2017)

La biotecnología como economía emergente de impacto global, en Colombia tiene un espacio muy importante en la búsqueda de la autosuficiencia energética, la producción de alimentos, y la preservación del medio ambiente. El uso eficiente y sostenible de la energía de la biomasa para la generación de electricidad, la producción de biocombustibles, productos químicos y alimentos en complejos industriales llamados biorrefinería, está demostrando ser una estrategia económica y políticamente correcta, (Lora, Palacio, Núñez, & Hernández, 2016).

No obstante, la economía actual de La Guajira tiene como base principal la producción primaria de carbón, gas y sal marina. Alrededor de la explotación carbonífera hay toda una infraestructura tecnológica que hace parte del sector privado, con equipamientos extractivos, portuarios y de transportes ferroviarios. Estas actividades económicas se reflejan en un crecimiento y unos altos niveles de PIB per cápita que conllevan a generar un flujo importante de recursos por regalías derivadas de las explotaciones mineras del departamento, sin embargo, no han significado en un desarrollo territorial satisfactorio. Además, los recursos minerales no renovables próximamente reducirán su disponibilidad, lo que hace necesario

que el departamento busque otras alternativas de producción y desarrollo.

Por lo tanto, se estima que uno de los retos principales para la competitividad de La Guajira, está en diversificar su estructura productiva y definir una estrategia que vincule a los sectores empresarial, gubernamental y académico y los grupos étnicos de la región, quienes son protagonistas en aprobar las concertaciones previas con sus respectivas comunidades, a la hora de implementar un proyecto que genere impacto social. Ante esta situación, se plantea en esta investigación, analizar la Biorrefinería, como una oportunidad energética para el desarrollo bioeconómico de La Guajira, ventaja que le permitirá a la región proyectarse, consolidar y fomentar la investigación, el desarrollo y crecimiento sociotecnológico.

Fundamento teórico

Con la adopción de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y la puesta en marcha de la Agenda 2030 en respuesta al cambio climático progresivo y la vulnerabilidad de algunas regiones, los recursos naturales finitos, la seguridad alimentaria y nutricional, así como las desigualdades sociales, la comunidad mundial respaldaron dichos objetivos), ha reconocido el imperativo ético y

social de promover un futuro con sostenibilidad social, ambiental y económica, de la cual nace la bioeconomía, que representa un modelo socioeconómico que reduce la dependencia hacia los recursos fósiles y promueve la producción y utilización intensiva del conocimiento sobre los recursos, procesos y principios biológicos, para el suministro sostenible de bienes y servicios en todos los sectores económicos (bioenergía, agrícola y bioinsumos, alimentos, fibras, productos para la salud, productos industriales y bioplásticos). (Henry, et al., 2017).

El uso de procesos de biorrefinería y sus productos finales marcan el camino hacia una economía de base biológica, llamada bioeconomía. Las biorrefinerías son parte de la agenda de I+D de los países más desarrollados y en desarrollo, como Colombia. La movilización de los esfuerzos públicos y privados y las grandes cantidades de recursos centrados en el uso optimizado de las materias primas, agregan valor a las cadenas de suministro de biomasa y reducen los posibles impactos medioambientales de las mismas (Vaz Jr, 2011).

El concepto de biorrefinería es análogo al de las refinerías de petróleo que producen múltiples combustibles y productos (Cherubini, 2010). Las biorrefinerías industriales han sido

identificadas como la vía más prometedora para la creación de una nueva bioindustria (Kamm & Kamm, 2007). La refinería, entendida como el proceso que incluye el fraccionamiento y transformaciones químicas de una materia prima, en este caso el petróleo, para producir derivados de un mayor valor, ha sido retomada para su aplicación en el campo de la bioenergía, o energía de biomasa, pero en este caso es conocido como “biorrefinería”. Este concepto, equivalente a la refinería petrolera, usa como materia prima a la biomasa.

Seguidamente se presentan algunas definiciones del concepto de biorrefinería:

Según la fuerza tarea 42 de la IEA, una biorrefinería se caracteriza por la conversión sostenible de biomasa en una gama de productos comerciales y energía. Por lo tanto, una biorrefinería puede estar constituida por un proceso, una planta o un conjunto de instalaciones.

Una biorrefinería se puede definir como una instalación industrial que integra tecnologías de conversión de biomasa y procesos para la producción simultánea de combustibles, energía y productos químicos a partir de biomasa (National Renewable Energy Laboratory - NREL, 2008).

De acuerdo con la Red Holandesa de Biorrefinerías, las mismas consisten en el fraccionamiento de la biomasa en varios productos separados, que posiblemente se someten adicionalmente a procesos químicos-biológicos, químico-físicos y/o térmicos, y a la separación. Por medio de la coproducción de productos químicos de alto valor agregado que potencialmente podrían llegar a ser competitivos en el mercado, especialmente cuando la biorrefinería se integra en industrias químicas, de materiales y energéticas existentes (Bio2Value, 2015).

En términos generales, el concepto de biorrefinerías se relaciona con conceptos más amplios que definen una modalidad de desarrollo basada en productos biológicos como la bioeconomía o economía verde.

En el contexto energético biomasa es la forma elegante de nombrar el material biológico derivado de organismos vivos: plantas y animales. La biomasa potencialmente utilizable como materia prima en las biorrefinerías puede ser de diversos tipos: agrícola (cultivos energéticos y residuos agrícolas), forestal (madera, cultivos energéticos y residuos lignocelulósicos), residuos orgánicos domésticos, microalgas etc. En función del tipo de biomasa empleada

se obtendrán productos con diferentes características. Los principales tipos de productos obtenidos en una refinería pueden ser de dos tipos: 1) energéticos y 2) productos de base biológica. Dentro del primer grupo se encuentran los biocombustibles que pueden ser gaseosos (biogás, gas de síntesis, hidrógeno y biometanol), líquidos (bioetanol, biodiesel, bioaceites, etc.) o sólidos (pellets, lignina, carbón vegetal, etc.). Dentro de los productos de base biológica cabe destacar los productos de la industria química fina (productos aromáticos, aminoácidos, polialcoholes, ácidos, etc.), polímeros y resinas, fertilizantes, productos para alimentación animal y humana. (Espada & Moreno, 2016).

Es importante, reconocer el rol primordial del conocimiento científico-tecnológico como motor fundamental para redefinir las relaciones entre el agro, la biomasa y la industria. Con este enfoque, los procesos basados en la biomasa como materia prima son circulares y sostenibles: se reduce al mínimo la producción de residuos o desechos, se generan nuevos productos y servicios en múltiples sectores, lo que permite abordar de forma integral y coherente los retos de una región y, al mismo tiempo, crear nuevas fuentes de crecimiento económico y social equitativo, bajo una perspectiva territorial. (Henry, et al., 2017).

Métodos

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó una metodología cualitativa, soportada en la consulta de material publicado basado en la interacción desde el alcance del concepto de bioeconomía y la definición de biorrefinería, la identificación de potenciales biorrefinerías susceptibles de aportar a la bioeconomía del departamento y el análisis de información secundaria según criterios previamente definidos como fueron: estudios previos en el departamento relacionados con la biotecnología y los negocios verdes y las políticas relacionadas y las capacidades en I + D.

Resultados y discusión

Las biorrefinerías son en la actualidad uno de los conceptos más importantes de integración productiva, por su diseño, modelación y evaluación. Existe un gran número de publicaciones que avalan esta afirmación. (Pereira et al., 2014); (Renó et al., 2014); (Rabelo et al., 2011); (Dias et al., 2007); (Chandel et al., 2012); (Gheewala, 2011); (Maity, 2015); (Parajuli et al., 2015); (Keller et al., 2015). Entre las potenciales ventajas en la implementación de las biorrefinerías tenemos:

Combustibles alternativos: los productos químicos producidos

pueden ser utilizados para reemplazar combustibles líquidos tradicionales.

Eficiencia energética: debido a la estrecha integración entre la generación de energía y la síntesis química, el uso de energía en una biorrefinería con multiproductos tiene mayor eficiencia que los sistemas independientes que producen los mismos productos.

Reducción de emisiones: el uso de biomasa y residuos considerando la captura de CO₂ de la etapa agrícola presenta reducciones considerables de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Reducción de costos: un sistema multiproducto se caracteriza por una reducción de los costos de los productos finales, y depende menos de las fluctuaciones de precios en el mercado.

Aumento de la sostenibilidad en el uso de biomasa y residuos: Las biorrefinerías conviene evaluarlas en toda su cadena de producción, desde el punto de vista ambiental, económico y social, cubriendo así todo el ciclo de vida (construcción, operación y desmonte). (Lora, et al., 2016)

El principal criterio de la clasificación de biorrefinerías es la ruta que conduce al producto final, diferentes rutas pueden desarrollarse

en función de las materias primas utilizadas y los productos a obtener, dependiendo de la composición inicial de la biomasa utilizada. La clasificación consiste en cuatro características principales, las cuales son capaces de identificar, clasificar y describir los diferentes sistemas de biorrefinerías, tales son: plataformas, productos (energía, biomateriales y químicos), materias primas y procesos de conversión.

Posibles productos basados en la biomasa del departamento de la Guajira

La Guajira es una de las regiones que presenta un alto potencial para el desarrollo de la Bioeconomía gracias a sus condiciones climatológicas y a sus ventajas comparativas como la cercanía a los puertos permitiendo una visión exportadora a los países de la Cuenca del Caribe, se merece un escaso nivel de cultivos tecnificados con excepción de los que se generan en la llamada Troncal del Caribe, en Riohacha y en el municipio de Dibulla, que hoy se puede considerar una zona verde de alta tecnología para el desarrollo de la agroindustria en el Departamento. Pero el bajo grado de investigación y las capacidades científicas en materia de I + D en biotecnología y desarrollo de nuevos productos, genera esta insuficiencia de industrialización. Los tipos de biomasa que se busca aprovechar en

una biorrefinería en el departamento son, principalmente, los residuos de cultivo, grasa animal e incluso, aceite usado en restaurantes u hogares, residuos orgánicos urbanos y estiércol, por mencionar algunos. Por otro lado, también es posible usar algas o microalgas, que representan un tipo de biomasa que no compite por el uso de suelo, ni con la seguridad alimentaria, biorrefinería que proyectaría al departamento en una nueva apuesta de industrialización y desarrollo.

De la biomasa se pueden obtener productos similares a los obtenidos con el petróleo, pero se les agrega el prefijo bio- para diferenciar su origen, tal es el caso de combustibles como: biogás, biohidrógeno, biometano, pellets, carbón vegetal, bioetanol, biodiesel, bioaceites, por mencionar algunos.

Además, se pueden generar productos de base biológica que sirven para fabricar pinturas, desinfectantes, complementos alimenticios y plásticos. También se pueden producir biomateriales como las fibras de celulosa que se usan para producir sedas, barnices, aislamientos térmicos y acústicos, en pequeñas cantidades en películas fotográficas, celofanes, explosivos, entre otros; y papel o fibras de madera con las que se pueden fabricar tableros DM

(densidad media) o MDF (siglas del inglés Medium Density Fiberboard). Aunado a esto, se pueden generar productos para la alimentación animal y humana, así como fertilizantes.

Tipos de Biorrefinerías

Biorrefinerías de microalgas

Las microalgas son consideradas una posible y prometedora materia prima para su empleo en biorrefinerías por diversos motivos: fijan CO₂ durante su crecimiento, poseen un elevado contenido en lípidos por unidad de biomasa mayor que el de otros tipos de plantas y que, además, puede ser incrementado bajo ciertas condiciones de estrés, su variedad permite la obtención de múltiples productos y, algunas de ellas, pueden desarrollarse en medios de cultivo económicos, incluso a través del aprovechamiento de las aguas residuales. Por tales razones, son sistemas productivos altamente eficaces y sostenibles en el sector de las biorrefinerías.

El diseño de estas biorrefinerías sostenibles debe incluir una adecuada integración energética y un correcto

aprovechamiento de productos, subproductos y residuos. Además, es fundamental que la instalación esté interrelacionada con otros tipos de industrias. Así, los residuos de biomasa microalgal generados en la operación principal, puedan ser empleados como materia prima para la fabricación de fertilizantes, fuentes de energía, entre otros productos. La energía generada con este residuo puede ser empleada para producir nueva biomasa y el CO₂ emitido durante dicha generación de energía serviría como fuente de carbono para más crecimiento celular. Otra alternativa, es que la biorrefinería pueda usar como fuente de carbono el CO₂ proveniente de alguna otra actividad industrial. Con respecto a otros productos no energéticos los denominados de base biológica, se estima que en este tipo de plantas podrían suponer una importante contribución para la fabricación de pigmentos, vitaminas, diversos principios activos y otros productos de interés para la industria cosmética y farmacéutica. La figura 1 muestra una propuesta de una biorrefinería basada en microalgas.

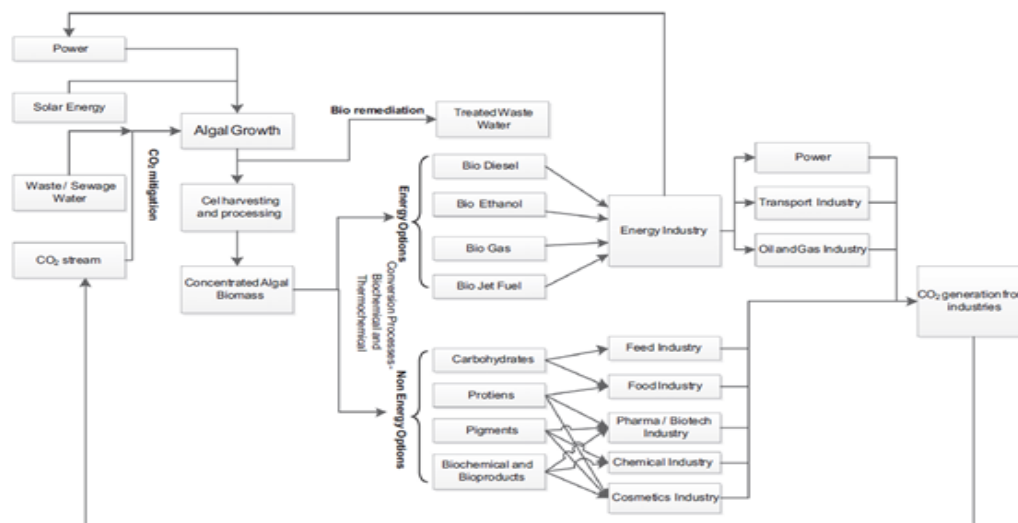


Figura 1. Propuesta de una biorrefinería basada en microalgas

Fuente: Trivedi, Aila, Bangwal, Kaul y Garg, (2015).

Puesto que existen muchas alternativas técnicas, la secuencia más adecuada de procesos de transformación y aprovechamiento de la biomasa microalgal dependerá de la especie de microalga a utilizar y del producto/s y/o sub-producto/s cuya generación se desee maximizar. Aunque se han publicado diversos estudios sobre la mejor opción de aprovechamiento para diferentes tipos de microalgas, hay todavía bastante controversia sobre cuáles son las rutas más adecuadas en cada caso. Posiblemente, uno de los puntos más críticos de todo el proceso reside en la adecuada separación de los productos formados en cada etapa de tratamiento sin dañar el resto, de forma que todas las fracciones puedan ser aprovechadas, lo que incrementa considerablemente la viabilidad

económica y ambiental de la biorrefinería.

En la Guajira se han adelantado estudios sobre el uso de las Microalgas, desde biofertilizantes hasta productos alimenticios (Gómez, Tirado, & Posada, 2013), (Vanegas & Hernández, 2018); siendo unos referentes de identificación de Microalgas endógenas con las que se pueda pensar en una biorrefinería en el departamento de la Guajira.

Biorrefinería en plantas de beneficio para el sector agroindustrial: (Caso Palma de aceite)

En el sector palmicultor de Colombia desde hace dos años se comenzó a generar la bioenergía, pero esta era solo para el uso de las plantas extractoras en Magdalena y

Bolívar. Los conceptos de biorrefinería aplicados en plantas de beneficio son alternativas para la fabricación de nuevos productos provenientes de la biomasa residual generada por el residuo del fruto de la palma de aceite. La figura 2, muestra tres rutas para el procesamiento de la biomasa: biológica, fisicoquímica y termoquímica. En la primera, procesos de digestión anaerobia y fermentación alcohólica con microorganismos o enzimas promueven la producción de

etanol, compost y biogás. En la segunda, se obtiene celulosa, pellets, briquetas y otros productos a través de procesos de transformación física y química. Para el caso de la ruta termoquímica, la degradación térmica de la biomasa en diferentes condiciones genera productos como el biocarbón, bioaceites y gases de síntesis usados como fuente de energía, enmiendas orgánicas, carbones activados e incluso otros productos químicos.



Figura 2. Propuesta de una biorrefinería aplicada a plantas de beneficio.

Fuente: Adaptado García-Núñez y García-Pérez (2012)

En el sector palmicultor a nivel mundial, se encuentran la producción de compost, cogeneración de energía eléctrica, recuperación de biogás en lagunas anaeróbicas, pirólisis y gasificación (biocarbón, bioaceites y gases de síntesis, H₂, CO y CH₄, especialmente), producción de fibra larga de tusa, briquetas, pellets, separación de los principales componentes de la biomasa (celulosa, hemicelulosa y lignina) para ser

usados como materias primas en la obtención de productos químicos, alcoholes, aglomerantes, aditivos, materiales aislantes, etc.. Algunas plantas de beneficio en Colombia han iniciado la aplicación de conceptos de biorrefinería dentro de la cadena de proceso, impulsadas por el potencial de generación de energía o por el cumplimiento de las regulaciones ambientales actualmente dispuestas por el Estado. Este hecho ha generado

la necesidad de evaluar técnica, financiera y ambientalmente las diferentes alternativas de uso de la biomasa con el fin de identificar aquellas con mayor potencial de desarrollo sostenible dentro de la cadena ya establecida del aceite de palma.

Este tipo de biorrefinería se puede tomar como referencia en relación con el sector agrícola del departamento de la Guajira, resultado de una economía agrícola deprimida enfocada a la producción de unas pocas variedades tales como arroz, plátano, yuca y tomate, salvándose únicamente los cultivos de palma de aceite y de banano orgánico que se están desarrollando con tecnología de punta en esta zona verde comprendida entre Riohacha y Dibulla.

Biorrefinería de residuos sólidos urbanos RSU: Tratamiento y transformación de residuos sólidos urbanos para su revalorización, un nuevo reto para la I+D aplicada a las biorrefinerías

El crecimiento acelerado de la población mundial y su concentración en las grandes ciudades han aumentado la generación de los residuos urbanos. Actualmente, la mayor cantidad de residuos corresponden a bioresiduos, residuos provenientes de alimentos consumidos en los hogares, restaurantes, caterings, mercados

y locales comerciales, además de residuos biodegradables producidos en los jardines y parques.

Lograr una gestión integral de los residuos urbanos para su valorización presentaría una solución al problema de la contaminación ambiental, además de contribuir a la transformación económica hacia el modelo de economía circular. Europa, ha tomado la iniciativa de desarrollar un proyecto demostrativo sobre la viabilidad tecno-económica y medioambiental de una biorrefinería para convertir residuos urbanos orgánicos, dotarlos de valor y convertirlos en bioproductos.

- “Building blocks “ (bioetanol, ácidos grasos volátiles cortos o medios, biogás).
- Biopolímeros (polihidroxialcanoatos de baja y media cadena, composites que combinan diferentes PHA)
- Aditivos (bioetileno, productos bioquímicos derivados de microalgas).

Éste será el punto de partida para estimar cómo los bio-deshechos urbanos podrían ser desviados a sistemas de gestión locales basados en biorrefinerías. Así mismo, reconocer la explotación de los residuos urbanos orgánicos como

materia prima según su naturaleza y composición. No obstante, definir los requerimientos industriales necesarios para la transformación de los residuos en nuevos bioproductos y la interconexión entre los mismos, a fin de conseguir sinergias que desemboquen en una biorrefinería versátil y eficiente, (Ballesteros, 2015).

El proyecto URBIOFIN como le llaman en Europa, demostrará las capacidades de una biorrefinería para transformar residuos sólidos urbanos en nuevos bioproductos. Las actividades de investigación que se adelantan en materia de biorrefinerías son las que se demuestran en la figura 3.

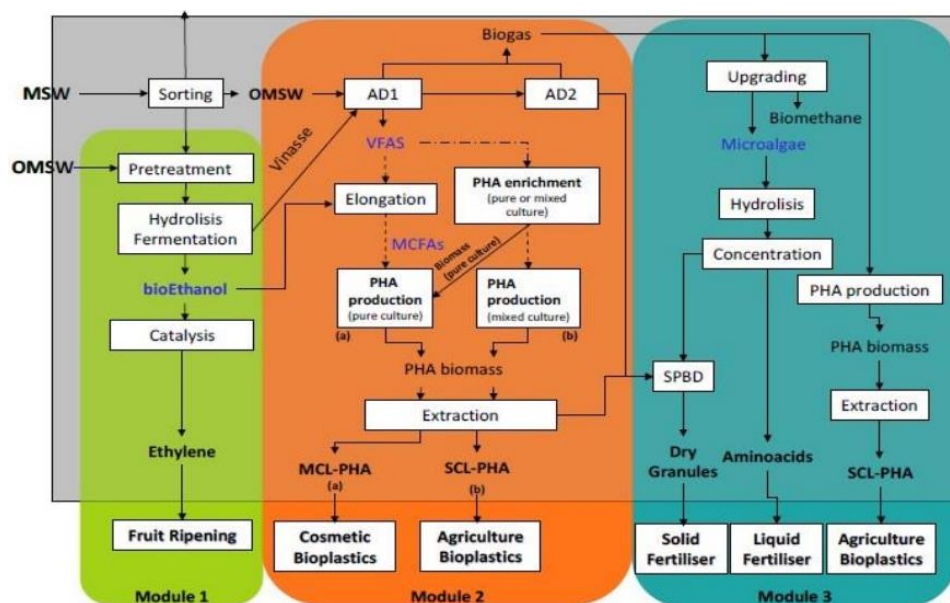


Figura 3. Propuesta de una biorrefinería aplicada a RSU.

Fuente: (s/a, s/f).

Conclusiones

El trasfondo general de dicha respuesta es la necesidad de evolucionar hacia un nuevo sistema económico basado en la integración del conocimiento para el uso sostenible de los recursos biológicos mediante el aprovechamiento de todos los productos y subproductos de los procesos relacionados con recursos biológicos, reduciendo tanto la generación de residuos, de desechos y

de contaminación, así como la emisión de gases de efecto invernadero, todo ello en busca de una ‘descarbonización’ de la economía. Con el fin de diseñar procesos más eficientes basados en el precepto de “más con menos”, se debe trabajar en el desarrollo de sistemas de uso integral y completo de la biomasa, como es el caso de las biorrefinerías, y definir cadenas de biomasa que incluyan el uso de residuos y subproductos de los sectores rural e industrial.

Las biorrefinerías pueden ser diseñadas teniendo en cuenta experiencias de las industrias: maderera de la cual se obtiene pulpa y papel, alimenticia, de biocombustibles y la (petro) química, entre otras; además, conviene considerar que, en esta rama de negocios, sus operaciones muchas veces se centran en la manufactura de un solo producto de valor, mientras que la biorrefinería debe buscar una eficiente elaboración de una variada gama de bienes, si se quiere competir con la industria petroquímica. Según, el tipo de biomasa como materia prima y el producto final deseado, las biorrefinerías utilizan diferentes procesos y tecnologías para transformar la biomasa en fuentes energéticas comerciales.

La presencia de una oferta biotecnológica en La Guajira coloca en ventaja al departamento. Para determinar qué tipo de biorrefinería es la ideal para procesar la biomasa disponible, se debe hacer una revisión de experiencias aprendidas de otras biorrefinerías en el país, tales como la de la palma de aceite; además, realizar una evaluación económica y de sostenibilidad de diferentes conceptos o alternativas, un análisis de diferentes metodologías para la evaluación de la sostenibilidad en biorrefinerías, considerando que estas son sistemas multiproductos y que estos poseen diferente naturaleza: energéticos, alimentos, productos químicos y biomateriales.

Referencias bibliográficas

- Ballesteros Perdices, M. (2015). Biorrefinería: hacia una economía sostenible basada en la biomasa.
- Bio2Value (2015). Biorefinery Concepts. [En línea] Available at: <http://biorefinery.nl/background-biorefinery/biorefinery-concepts/>.
- Chandel, A. K., da Silva, S., Carvalho, W. & Singh, V. (2012). Sugarcane bagasse and leaves: foreseeable biomass of biofuel and bio-products. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 87(1), pp. 11-20.
- Cherubini, F. & Jungmeier, G. (2010). LCA of a biorefinery concept producing bioethanol, bioenergy, and chemicals from switchgrass. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(1), pp. 53-66.
- Cherubini, F. et al. (2009). En: *Biofuels, Bioprod. Biorefining*. Vol 36(12). pp. 534-546.
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(7), pp. 1412-1421.
- Dias, M. O. S. et al., 2013. Biorefineries for the production of first and second generation ethanol and electricity from sugarcane. *Applied Energy*, Volumen 109, pp. 72-78.
- Fedepalma (2013). Anuario Estadístico: La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo.
- García, M., y García, J. (2013). Nuevos conceptos para biorrefinerías de aceite de palma. *Palmas*, (34)4, pp. 66-84.
- García, M. Cárdenas, E. (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de

- aceite en Colombia. PALMAS, vol. 31, pp. 41 – 48, 2010.
- Gheewala, P. (2011). Life Cycle Assessment (LCA) to Evaluate Environmental Impact of Bionergy Projects.. *Journal of Sustainable Energy & Environment Special Issue*, 35(1), pp. 35-38.
- Gómez, M., Tirado, D. & Posada, J. (2013). Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. La experiencia en La Guajira, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 17(32), 113-126.
- Henry, G., Hodson, E., Aramendis, R., Trigo, E., & Rankin, S. (2017). La bioeconomía: motor de desarrollo integral para Colombia.
- IEA, 2015. TASK 42 Biorefining. [En línea] Available at:
- Kamm, B. & Kamm, M., 2004. Principles of Biorefineries. *Applied microbiology and biotechnology*, 64(2), pp. 137-145.
- Kamm, B. & Kamm, M., 2007. *International Biorefinery Systems*. pp. 1983-1997.
- Keller, H., Rettenmaier, N. & Reinhardt, G. A. (2015). Integrated life cycle sustainability assessment - A practical approach applied to biorefineries. *Applied Energy*, Volumen 154, pp. 1072-1081.
- Lora, E. E. S., Palacio, J. C. E., Núñez, J. A. G., & Hernández, J. C. B. (2017). Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite.
- Maity, S. K. (2015). Opportunities recent trends and challenges of integrated biorefineries: Part II. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 43, pp. 1446-1466.
- National Renewable Energy Laboratory - NREL (2008). Biomass research. [En línea] Available at: <http://www.nrel.gov/biomass/>.
- Olivério, J. (2003). *Fabricação Nacional de Equipamentos para a Produção de Álcool e Co-Geração*. Rio de Janeiro: Seminário-Álcool: Potencial Gerador de Divisas e Empregos.
- Parajuli, R. et al. (2015). Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 43., pp. 244-263.
- Pereira, L. et al. (2014). Butanol production in a sugarcane biorefinery using ethanol as feedstock. Part II: Integration to a second generation sugarcane distillery. *Chemical Engineering Research and Design*. Vol 92. Issue 8., pp. 1452-1462.
- Rabelo, S. C., Carrereb, H., Filho, R. M. & Costa, A. (2011). Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept-. *Bioresource Technology*. Vol. 102. Issue 17., pp. 7887-7895.
- Renó, M. et al. (2014). Sugarcane biorefineries: Case studies applied to the Brailian sugar-alcohol industry.. *Energy Conversion and Management*. Volume 86., pp. 7887-7895.
- Trivedi, J., Aila, D., Bangwal, S., Kaul, & Garg, M. (2015). Algae based biorefinery-How to make sense? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (47), pp. 295-307. DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.052.
- Vanegas, J., & Hernández, L. H. (2018). Potencial biotecnológico de las microalgas zonas áridas.