

Tech Note:

Revamping conventional refinery to biorefinery

José Izaguirre¹ , Jiraleiska Hernández¹ , Samuel Villanueva^{2*} ,¹Gerencia de Proyectos de Investigación, Desarrollo e innovación,²Dirección Técnica

Centro Nacional de Tecnología Química, Caracas, Venezuela.

Recibido: enero 2020;

Aceptado: abril 2020.

Autor para correspondencia: S. Villanueva e-mail: publicacionespidi.cntq@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3930526>**Abstract**

The growing social interest in energy and environmental problems is generating the search for new energy sources that contribute to the electrical, thermal and transport demands required by the current and future population. An option to fossil fuels is biomass; exploited for its abundance, maintainability and caloric characteristics, capable of generating bioenergetic products (heat, electricity, biofuels) in a sustainable way. However, for its use to be widespread, it is necessary to have facilities that allow the transformation of biomass into useful products, making it necessary to adapt conventional refineries to biorefineries. Through the search, storage, treatment and analysis of document data, both in patents and in scientific papers, for the period 2013 – 2019, the main requirements for conversion of a refinery to biorefinery were identified, which include from the change of raw material from petroleum to biomass, processes biological and adaptation or reuse of equipment such as tanks, distillation or desulfurization units as the axis of change.

Keywords: biorefinery; biogas; biomass; bioenergy.

Nota Técnica:

Renovación de refinería convencional a biorrefinería

Resumen

El creciente interés social por los problemas energéticos y ambientales está generando la búsqueda de nuevas fuentes de energía que contribuyan con las demandas eléctricas, térmicas y de transporte requeridas por la población actual y del futuro. Una opción a los combustibles fósiles, es la biomasa; aprovechada por su abundancia, mantenibilidad y características calóricas, capaz de generar productos bioenergéticos (calor, electricidad, biocombustibles) de manera sostenible. Sin embargo, para que su aprovechamiento sea masificado es necesario contar con instalaciones que permitan la transformación de la biomasa en productos útiles, haciendo necesaria la adecuación de las refinerías convencionales en biorrefinerías. Mediante la búsqueda, almacenamiento, tratamiento y análisis de datos de documentos, tanto en patentes como en publicaciones científicas, para el periodo 2013 – 2019, se identificó los principales requerimientos para la conversión de una refinería a biorrefinería que incluyen desde el cambio de materia prima de petróleo a biomasa, procesos biológicos y adaptación o reutilización de equipos como tanques, unidades de destilación o desulfurización como eje de cambio.

Palabras clave: biorrefinería; biogás; biomasa; bioenergía.

1. Introducción

El interés en mejorar procesos para la generación, distribución y almacenamiento de la energía eléctrica son iniciativas adquiridas por los países del mundo como acciones que contribuyen a la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera, responsables de la modificación del clima y de las afectaciones a la salud y al ambiente [1]. Aunado a la disminución de reservas de los recursos como el petróleo, la incertidumbre en su suministro y precio, está generando la necesidad de buscar y utilizar nuevas fuentes de energía que permitan satisfacer las demandas eléctricas, térmicas y de transporte de la población, sin comprometer el desarrollo industrial de cada país. La tendencia de las nuevas formas de energía esta orientada a la producción de recursos energéticos con baja emisiones de CO₂, que garantice el suministro de energía eléctrica sin hipotecar las generaciones futuras. Una alternativa que nace de la valorización de los residuos orgánicos es la biomasa, como sustituto de su homólogo fósil, aprovechada por su abundancia, mantenibilidad y características calóricas para generar bioenergía (calor, electricidad, biocombustibles) de manera sostenible.

La Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, IEA) define como biorrefinería a la fábrica, planta o factoría que genera en forma sostenible, una amplia gama de productos a partir de la biomasa (ver Fernández [2]).

Una biorrefinería utiliza la biomasa como materia prima para producir múltiples productos, al igual que una refinería de petróleo. Debido a que la biomasa tiene varios componentes como la lignina, la celulosa y la hemicelulosa, los productos de las biorrefinerías pueden incluir varios combustibles, productos químicos y plásticos que a menudo se producen a partir del petróleo (Ragauskas *et al.*[3]). Las ventajas del concepto de biorrefinería sobre los usos más convencionales de la biomasa incluyen una mayor utilización de toda la materia prima de biomasa, mayores ingresos por productos y menos residuos generados. Honnery *et al.* [4] afirman que las ventajas más amplias alegadas incluyen una mayor seguridad energética debido al reemplazo de combustibles fósiles, menores emisiones de gases de

efecto invernadero, beneficios económicos y sociales para los productores primarios, e incluso la creación de una nueva industria.

En Venezuela es de particular interés la creación y/o implementación de biorrefinerías orientadas a la generación de energía, como acciones que contribuyen a diversificar la matriz energética nacional a partir del aprovechamiento de los residuos orgánicos. Este aprovechamiento debe traer tecnologías seguras, eficientes y especialmente no contaminante, que cumplan con las legislación venezolana vigente.

Si bien la creación y/o implementación de una biorrefinería desde cero puede resultar costosa, la alternativa radica en adaptar una refinería existente a una biorrefinería. Por tanto, esta nota técnica tiene por objetivo brindar un panorama global sobre las biorrefinerías y las adaptaciones necesarias para su transformación y uso de manera sustentable, como posible alternativa energética del país. Lo cual implica la importancia y pertinencia de este estudio.

2. Metodología

La metodología consistió en una búsqueda sistemática sobre las biorrefinerías y las adaptaciones necesarias para su transición a partir de las refinerías convencionales. Fueron utilizados términos generales para la construcción de una ecuación que fue introducida en los metabuscadores y base de datos de publicaciones científicas y patentes. Quedó definida la ecuación de búsqueda de la siguiente manera:

```
(Biorefinery OR "Green Refinery" OR  
((Biogas OR Biomass OR ((Synthetic OR  
Synthesis) and Gas) AND plant)) AND  
((Revamping or Renew or Renewing) OR  
(Power OR Energy OR Electricity OR  
Electric)))
```

La plataforma *patentométrica* utilizada para las patentes fue PatenInspiration®. En la búsquedas bibliométricas para publicaciones científicas fueron empleadas las redes científicas Researchgate y Academia; además de la base de datos Science Direct y la herramienta de búsqueda de la *Oficina de Información Científica y Técnica* (OSTI) del *Departamento de Energía* (DOE) de los Estados Unidos *osti.gov*. La búsqueda fue aplicada al campo título en el período 2013 – 2019.

3. Discusión de resultados

De la revisión llevada a cabo se desprenden varios aspectos importantes que son abordados a continuación.

Importancia de la implementación de biorrefinerías

Si bien el énfasis en el empleo de biomasa en biorrefinerías puede generar una competencia entre el uso de cultivos para aplicaciones alimentarias y no alimentarias, se recalca que una biorrefinería no solo debe tener sentido económico, también debe ser ecológico y sostenible. Por tanto, los residuos orgánicos de origen doméstico y/o industrial son visualizados como opciones viables de materia prima.

Un beneficio de la utilización de los residuos es la disminución de su acumulación, impidiendo que lleguen a cuerpos de agua o sean susceptibles a ser incinerados; la incineración se traduce en la introducción de gases nocivos a la atmósfera.

Por otro lado, la puesta en marcha de las biorrefinerías permite crear nuevas oportunidades de desarrollo biotecnológico tanto a nivel científico-técnico como industrial. Actividad que dinamiza socio-económicamente las áreas rurales, donde es mayor la generación de residuos con alto poder calorífico aprovechable para su conversión en energía, además de originar un abanico de oficios ligados al abastecimiento continuo de materia prima demandado por este tipo de instalación [5], a modo de mantener una producción constante.

Reforma de refinería a biorrefinería

Una refinería es una planta industrial destinada a la refinación del petróleo, mediante una serie de procesos que conllevan a la producción de diversos combustibles fósiles, capaces de ser utilizados en motores de combustión: naftas, gas oil, etc. [5]. El cambio de una refinería a una biorrefinería requiere del estudio de sus diferencias y semejanzas para el aprovechamiento de sus procesos, equipos e infraestructura con el menor grado de modificación.

Diferencias fundamentales entre las biorrefinerías y las refinerías

Materia prima

La biomasa, materia orgánica que ha almacenado energía a través del proceso de fotosíntesis, desde el punto de vista químico, es básicamente una enrevesada mezcla de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, la diferencia de esta última y el petróleo radica en el contenido de esos componentes y la forma en que están organizados. Por ejemplo, el petróleo es más rico en carbono mientras que la biomasa tiene mayores contenidos de oxígeno.

Procesos de producción

Si bien algunos procesos de producción empleados en refinerías convencionales se conservan en las biorrefinerías, no es posible modificar la biomasa utilizando exactamente los mismos procesos que se emplean para transformar el petróleo. Las diferencias como el contenido y la organización de los componentes principales, juegan un papel clave, ya que afectan en gran medida a la forma en que el petróleo y la biomasa reaccionan, y en sus productos resultantes. Por ejemplo, simplemente con calentar el petróleo, éste es dividido en varias fracciones más sencillas. Cada una de esas fracciones, a través de una serie de procesos, se pueden convertir en gasolina, queroseno, ceras, lubricantes o gases combustibles. Sin embargo, si simplemente la biomasa es calentada sólo son obtenidas tres fracciones (sólida, líquida y gaseosa) que son aún complejas y requieren la puesta en funcionamiento de otras operaciones unitarias antes de convertirse en productos útiles.

Por ello a diferencia de las refinerías convencionales, los procesos en una biorrefinería no son únicamente químicos, sino también biológicos. Dichos procedimientos están ligados unos con otros, de tal manera que las salidas (Outputs) de unos sean las materias primas de los otros.

Productos

Tras la idea de biorrefinería subyace la de sostenibilidad, entendida ésta desde un punto de vista tanto ambiental como económico. Es por ello que los productos podrán ser elaborados o semi-elaborados obteniendo un mayor valor añadido, en un sistema donde todos los productos tengan provecho y no se generen residuos sin ningún interés comercial o industrial. La Tabla 1 ofrece una visión general de

Tabla 1: Comparación refinería vs biorrefinería

Elemento	Refinería	biorrefinería
Materia prima	Materia prima relativamente homogénea Bajo contenido de oxígeno. El peso del producto (mol/mol) en general, aumenta con el procesamiento A veces alto contenido de azufre	Materia prima heterogénea con respecto a los componentes a granel, por ejemplo, carbohidratos, lignina, proteínas, aceites, extractos y/o cenizas. Alto contenido de oxígeno. El peso del producto (mol/mol) generalmente disminuye con el procesamiento. Bajo contenido de azufre La mayor parte del material está presente en forma polimérica (celulosa, almidón, proteínas, lignina)
Composición de bloques de construcción	Principales bloques de construcción: Etileno, propileno, metano, benceno, tolueno, xileno, isómeros	Principales bloques de construcción: glucosa, xilosa, ácidos grasos (p. Ej., oleico, esteárico, sebáico)
Procesos	Procesos casi exclusivamente químicos. Introducción de heteroátomos (O, N, S) Procesos homogéneos relativos para llegar a los bloques de construcción: craqueo de vapor, reforma catalítica. Amplia gama de reacciones químicas de conversión.	Combinación de procesos químicos y biotecnológicos. Eliminación de oxígeno Procesos heterogéneos relativos para llegar a los bloques de construcción. Menor rango de reacciones químicas de conversión: deshidratación, hidrogenación, fermentación.
Productos químicos intermedios producidos a escala comercial.	Varios	Pocos pero en aumento (p. Ej., Etanol, furfural, biodiésel, monoetanolglicol, ácido láctico, ácido succínico, ... etc.)

Fuente: Adaptado de Jong & Jungmeier [6]

las principales similitudes y diferencias entre las refinerías convencionales y biorrefinerías.

Fases del proceso de una biorrefinería

De manera general, el esquema de trabajo de una biorrefinería está basado en las siguientes fases, acondicionamiento y preparación de la biomasa, separación de sus componentes (procesos primarios) y los subsiguientes pasos de conversión y procesado (procesos secundarios).

Procesos primarios

Los procesos primarios de una biorrefinería implican la separación de los componentes de la biomasa en productos intermedios (como celulosa, almidón, azúcar, lignina, aceite vegetal, biogás, fracciones proteicas, proteínas individuales, metabolitos

vegetales y microbianos). Normalmente incluyen operaciones de acondicionamiento y descomposición de la biomasa y operaciones de pretratamiento. Los productos intermedios que se originan durante los procesos primarios se conocen como plataformas de biorrefinería, sirven como materia prima para los procesos secundarios de la siguiente etapa. Por esta razón, adquieren un papel principal en el sistema global del concepto biorrefinería.

Procesos secundarios

Los procesos secundarios de una biorrefinería son aquellos que permiten la conversión y procesado de los materiales intermedios obtenidos de procesos primarios en un gran número de productos.

Tabla 2: Procedimientos empleados en los procesos primarios y secundarios de la biorrefinería

Físicos	Adsorción, Centrifugación, Cristalización, Densificado, Destilación, Extracción, Filtración, Fraccionamiento, Humectación, Molienda, Prensado, Refrigerado/calentado, Rotura celular, Secado/deshidratación, Tamizado, Tratamiento con ultrasonidos
Químicos	Craqueo, deslignificación, electrólisis, epoxidación, esterificación, eterificación, explosión con amoníaco (AFEX), explosión con CO ₂ , explosión con vapor, hidrogenación, hidrólisis, hidrólisis ácida, hidrólisis alcalina, isomerización, oxidación-reducción, polimerización, pretratamiento químico, procesos hidrotérmicos, purificación, reacciones en disolventes eutécticos, reacciones en líquidos iónicos, reacciones de condensación, refinado, solvólisis (organosolv), síntesis Fischer-Tropsch, transesterificación
Termoquímicos	Combustión, gasificación, licuefacción, pirólisis, reformado con vapor, torrefacción
Biológicos	Deslignificación biológica, digestión anaerobia, esterificación enzimática, fermentación, hidrólisis enzimática

Procedimientos empleados durante los procesos primarios y secundarios

Los procedimientos ejecutados pueden dividirse en cuatro grandes grupos, como muestra la Tabla 2.

Físicos, operaciones básicas que cambian las propiedades del material aplicando energía mecánica.

Termoquímicos, son operaciones que mediante cambios de temperatura que en ocasiones implican modificaciones químicas en la materia prima.

Químicos, operaciones básicas para la modificación del material mediante reacciones químicas y conversiones catalizadas químicamente.

Bioteconológicos, conversiones catalizadas enzimáticamente, fermentación y descomposición gobernada por microorganismos.

Producción de energía eléctrica en las biorrefinerías

Las rutas más importantes radican principalmente en la descomposición térmica de la materia prima como combustión, pirólisis, gasificación, licuefacción y técnicas biológicas, por acción de microorganismos o enzimas como la digestión anaerobia [7]. La gasificación y digestión anaerobia son las más utilizadas a nivel industrial para la producción de energía eléctrica [8]. A continuación una breve explicación de las principales tecnologías empleadas en una biorrefinería.

Gasificación

La gasificación trata de un proceso termoquímico que tiene como fin el cambio de la biomasa (tales como madera, residuos agroindustriales, etc) de

naturaleza sólida en un gas combustible de bajo poder calorífico que puede ser quemado en motores de combustión interna, turbinas o en equipos de producción de calor y electricidad. El sistema básicamente consiste en un gasificador, un limpiador de gas y un convertidor de energía que generalmente es un motor o una turbina. En este proceso, la mayor dificultad estriba en el filtrado del “sinter gas”, pues se requiere de equipos con capacidad para operar con gases a elevadas temperaturas, con partículas en suspensión de diferentes tipos y algunas veces altos flujos de masa [9].

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia, también denominada biometanización, es un proceso biológico natural complejo, en el que una comunidad entrelazada de bacterias, en ausencia de oxígeno, cooperan para formar una fermentación estable, autorregulada, que convierte materia orgánica residual en una mezcla de principalmente metano y dióxido de carbono [10]. Se trata de un proceso complejo, dividido en cuatro etapas: hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis y metanogenesis en la cual intervienen diferentes grupos de microorganismos. Para maximizar la producción de energía eléctrica, se tiende a combinar ambos procesos, que garantice el incrementar la cantidad de combustible gaseosos y por ende, la generación de electricidad.

La solicitud de la patente número CN104830911A (ver [11]) del 2015 establece la integración de la gasificación y la digestión anaerobia para mayor eficiencia en la producción de combustibles gaseosos. El método comprende: (1) establecimiento de un sistema de gasificación en combinación con digestión

anaeróbica; (2) gasificación de la materia orgánica recolectada, que no se puede biodegradar fácilmente (material lignoceluloso) para producir gas de síntesis y, al mismo tiempo, someterla a un tratamiento de digestión anaerobia para generar biogás; (3) el gas de síntesis es introducido en el sistema de digestión anaeróbica para metabolizarlo biológicamente, así aprovechar el exceso de hidrogeno en la corriente para purificar el biogás, y finalmente, producir gas combustible de alta calidad. El método proporcionado puede procesar la biomasa de manera integral, sin importar si la biomasa es de fácil degradación o no, además de aumentar la cantidad de combustible gaseoso obtenido.

Análisis de patentes empleadas en el proceso de producción de energía

La patente CN103088070B otorgada en 2015 [12] proporciona un método para producir biogás mediante proceso de fermentación acoplado a un sistema de pirolisis. El método comprende el tratamiento de los residuos de cultivo con NaOH mezclados uniformemente; inoculación de los residuos y posterior fermentación a 50–60°C; finalmente, se extraen los lodos de digestión después de la fermentación (biol). Se utiliza 30 % del biol como inóculos para tratar nuevos residuos en el proceso de digestión y el resto ingresa en un reactor de pirolisis para producir gas de síntesis. El gas generado puede usarse para suministrar calor al sistema, y el producto sólido después de la pirolisis, usarse como un material absorbente activo o un material catalítico, de modo que se realice una utilización y se maximice la cantidad de combustible gaseoso generado.

Adaptación de equipos de refinerías convencionales a biorrefinería de acuerdo con las patentes analizadas

La solicitud de patente EP3508583A1 publicada en 2019 [13] y asignada a Water And Soil Remediation Srl, establece un método para adaptar una refinería convencional a una biorrefinería de biomasa lignocelulosa. Método que permite la reutilización de al menos una parte de las unidades de producción de una refinería de petróleo existente, tales como los tanques de almacenamiento que pueden proporcio-

nar reactores de fermentación capaces de realizar diferentes tipos de fermentaciones, las unidades de lavado de gases podrían realizar la separación del dióxido de carbono del biogás producido por las fermentaciones para obtener biometano, las unidades de desulfuración y/o de isomerización catalítica para hidrogenar los glúcidos resultantes, una columna de fraccionamiento para destilar compuestos orgánicos obtenidos de las fermentaciones, así como, las unidades de autogeneración de energía eléctrica y calor, con el fin de satisfacer las demandas energéticas de los nuevos procesos.

El método proporciona una biorrefinería capaz de operar de acuerdo con uno o más de los siguientes pasos operativos: pretratamiento de la materia prima para obtener hemicelulosas y celulosas, sacarificación de las hemicelulosas y de las celulosas para obtener glúcidos, fermentaciones y la modificación de productos compuestos de los glúcidos obtenidos con separaciones y alteraciones de las ligninas.

De igual modo, la solicitud de patente EP3450524A1 del 2019 [14] establece un método para convertir una planta petrolera, petroquímica o química convencional en una biorrefinería, su particularidad reside en la reutilización de al menos dos unidades de destilación de la planta anterior, en la que una de ellas se usa en un pretratamiento de biomasa a presión atmosférica del tipo de explosión de vapor en la entrada a la biorrefinería, la unidad restante se utiliza para realizar la destilación de al menos una parte de los productos terminados en la salida. Ambas unidades son reutilizadas sin ninguna modificación de su estructura.

Desafíos de las biorrefinerías

Si bien, las biorrefinerías son presentadas como una solución a la necesidad de sustitución de las fuentes de energías actuales. Estos proyectos presentan desafíos en su implementación que incluyen: tecnologías avanzadas para mejor aprovechamiento de la lignina, enzimas utilizadas en técnicas biológicas para aumentar la producción, y el procesamiento y logística de la materia prima [15].

1 Mejoras en tecnologías para el aprovechamiento de la lignina

La lignina constituye hasta el 30 % del peso y el 40 % del valor energético de la biomasa. Sin embargo, es simplemente explotada por la combustión para generar energía para la planta. Debido a su estructura química, un heteropolímero fenólico puede convertirse en productos de mayor valor agregado, tales como: fibra de carbono, adhesivos, resina fenólica, aromáticos, etc. como materiales y productos químicos útiles en muchas industrias. Los avances tecnológicos son inevitables para el éxito de la biorrefinería.

2 Mejoras en tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa

En referencia al desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de la biomasa en cuanto a la digestión anaerobia, se ha utilizado hongos de podredumbre blanca (*Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* y *Fomes fomentarius*) o marrón capaces de degradar la lignina para facilitar su conversión a biogás [16].

En este sentido, la solicitud de patente CN107435053A del 2017 [17] utiliza un tratamiento de digestión anaerobia a través del pretratamiento de biomasa con hongos. En lo ofrecido por la invención, el residuo es pulverizado en trozos pequeños entre 6 – 10 cm, humedecido con agua en una cantidad de 1 a 1,5 veces en peso de residuo, es mantenido 2 a 3 días en el agua para que adquiera humedad. Paralelamente los hongos de podredumbre blanca se inoculan, el material resultante se mezcla en orden de lograr uniformidad del cultivo en el residuo a digerir, se apila durante 1 - 2 días a temperatura ambiente, luego se agrega estiércol entre 5 % – 15 % en peso seco del residuo y urea para ajustar la relación C/N, posteriormente se realiza el proceso de digestión anaerobia. Según el inventor, el tiempo inicial de producción de gas se acorta en 50 % aproximadamente, y la tasa de producción de gas se mejora en no menos del 45 %. Así mismo la solicitud de patente US2018291405A1 del 2018 [18] expone un método para convertir la biomasa lignocelulosa en diversos productos químicos intermedios y productos finales, incluidos los combustibles. Los aspectos incluyen la despolimerización de lignina, celulosa

y hemicelulosa en una amplia lista de compuestos de despolimerización que posteriormente pueden ser metabolizados por bacterias genéticamente modificadas y convertidos en ácido cis, cis-mucónico con el fin de producir productos útiles que incluyen, entre otros, ácido adípico, 1,6-hexanodiol y combustibles de hidrocarburos, con el uso de catalizadores monometálicos.

3 Ineficiencia de los microorganismos

Un desafío técnico relacionado es la necesidad de desarrollar enzimas más eficientes y robustas, particularmente para la conversión de material lignocelulósico de una variedad de materias primas como mazorcas de maíz, estufa, paja de trigo, bagazos, arroz y biomasa leñosa. Además, la utilización de una mayor parte de la biomasa requerirá nuevos procesos que permitan la conversión de materiales para extraer su máximo valor. Las estrategias utilizadas para superar esta problemática tienden a orientarse a la alteración de la genética de las enzimas [15].

La solicitud de patente EP3540044A1, publicada en 2018 [19], refiere un proceso para la preparación de enzimas celuloicíticas en hidrolizados que contienen xilosa para degradar biomasa lignocelulosa, comprende los siguientes pasos: a) proporcionar una cepa de hongos filamentosos modificados genéticamente capaz de producir celobiohidrolasas, endoglucanasas, exocelulasas y/o β -glucosidasas en sustratos que contienen xilosa y xilano, b) cultivo de la cepa de hongos filamentosos modificada genéticamente en un hidrolizado que contiene xilosa o xilano para la producción de enzimas celulolíticas en el proceso de flujo de goteo que limita el crecimiento, y c) aislamiento de las enzimas celulolíticas producidas en la etapa b.

4 Procesamiento y logística

Otro de los desafíos para implementar una biorrefinería se relaciona con la optimización del procesamiento de materias primas y la logística, como el desarrollo de técnicas de densificación que permitan el transporte de baja densidad a bajo costo, estableciendo técnicas de preservación para controlar la modificación física y química de la biomasa durante el procesamiento previo a la conversión (cosecha, almacenamiento y transporte)

o una red de distribución de productos que puede usar la infraestructura existente, por ejemplo, usar oleoductos o actualizar estaciones de servicio para permitir la distribución de una mayor proporción de biocombustibles.

4. Conclusiones

Las diferencias prominentes de una biorrefinería en contraste a una refinería convencional radica en la materia prima utilizada, procesos adoptados y productos obtenidos que si bien comparten similitudes son fundamentalmente diferentes. Si se desea pasar de una refinería a una biorrefinería se debe cambiar materia prima de petróleo a biomasa, así mismo deberá haber una inclusión de procesos biológicos, pudiéndose reutilizar equipos como tanques, unidades de destilación o desulfurización a modo de facilitar los nuevos procesos y disminuir costos.

En caso de la biorrefinería para la generación eléctrica, los procesos como la gasificación o la digestión anaerobia son los más idóneos, a su vez la combinación de estos dos métodos de producción resultan más eficiente a la hora de producir combustibles gaseosos y energía eléctrica.

Referencias

- [1] T. Forster-Carneiro, M.D. Berni, I.L. Dorileo, and M.A. Rostagno. Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 77:78–88, 2013.
- [2] K.A. Fernández A. Evaluación técnico-económica de alternativas de adaptación tecnológica para biorrefinerías en una industria de la caña de azúcar. Trabajo de diploma, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas., Santa Clara, Cuba, 2013.
- [3] A.J. Ragauskas, C.K. Williams, B.H. Davison, G. Britovsek, J. Cairney, W.J. Frederick Jr. C.A. Eckert and, J.P. Hallett, D.J. Leak, C.L. Liotta, J.R. Mielenz, R. Murphy, R. Templer, and T. Tschaplinski. The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*, 311(5760):484–498, 2013.
- [4] D. Honnery, G. Garnier, and P. Moriarty. in *Integrated Biorefineries. Design, Analysis, and Optimization*. Edited By P.R. Stuart, M.M. El-Halwagi, chapter Biorefinery Design from an Earth Systems Perspective. Taylor & Francis Group, Boca Raton, EE. UU., 2012.
- [5] R. Benini, M.V. Cortés, M.P. Monsalvo, J.C. Paladino, L. Spinelli, M.S. Tambussi, and G. Trubiano. *Refinación de petróleo: Parte 1*. Programa de Fortalecimiento de Escuelas Técnicas. Una escuela hacia el futuro. Área: Actualización tecnológica aplicada a la industria. Cámara Argentina del Libro: Fundación YPF, Buenos Aires, Argentina, 2011.
- [6] E. de Jong and G. Jungmeier. in *Industrial Biorefineries & White Biotechnology*, chapter Biorefinery Concepts in Comparison to Petrochemical Refineries. Elsevier, New York, 2015.
- [7] C. Pineda C. Evaluación de diagramas de flujo de sistemas de tratamiento de deyecciones ganaderas que incluyan codigestión anaerobia. Tesis de master, Escola Tècnica Superior d'Enginyers De Camins, Canals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2011.
- [8] V.S. Sikarwar, M. Zhao, P.S. Fennell, N. Shah, and E.J. Anthony. Progress in biofuel production from gasification. *Progress in Energy and Combustion Science*, 61:189–248, 2017.
- [9] C.A. Estrada and A. Zapata M. Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia et Technica*, 2(25):155–159, 2004.
- [10] R.J. Rosa-Cruz. Producción de biogás en sustrato sólido mediante la digestión anaerobia de pulpa de café. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México, 2015.

- [11] W. Kaijun and X. Heng. CN104830911A. Method for producing high-grade fuel gas through combined technology of biomass gasification–anaerobic digestion, 2015.
- [12] L. Guangqing, L. Yeqing, Z. Ruihong E. Yanfeng, C. Chang, F. Lu, X. Xiao, and M. Xinxin. CN103088070B, Método para producir biogás mediante fermentación sólida combinada de paja de cultivo y estiércol de ganado y aves de corral, 2015.
- [13] A. Prandi. EP3508583A1. Method for obtaining integrated biorefineries of lignocellulose biomasses by reusing production units of former oil refineries, 2019.
- [14] A. Prandi. EP3450524A1. Method for converting a conventional oil, petrochemical or chemical plant into a biorefinery, 2018.
- [15] M. Lauria, F. Molinari, and M. Motto. *in Plants for the future. Edited By H. El-Shemy*, chapter Genetic Strategies to Enhance Plant Biomass Yield and Quality-Related Traits for Bio-Renewable Fuel and Chemical Productions. InTechOpen, Croatia, 2012.
- [16] M. González C., L. Castellanos, Y. Albernas-Carvajal, and E. González. La integración de procesos en el esquema de una biorrefinería. *Afinidad*, LXXI(568):274–278, 2014.
- [17] H. Song, C. Guangsheng, Y. Jie, and Guo Shuai. CN107435053A, A kind of white-rot fungi pretreatment agricultural crop straw quickly produces the fermentation process of biogas, 2017.
- [18] G.T. Beckham, C.W. Johnson, D.R. Vardon, and M.A. Franden. US2018291405A1, Biomass conversion to fuels and chemicals, 2018.
- [19] P. Ballmann, S. Dröge, and M. Müller. US2018291405A1, Process for the preparation of cellulolytic enzymes in xylose-containing hydrolysates for the degradation of a biomass containing lignocellulose, 2018.