

40

Fecha de presentación: Junio, 2018

Fecha de aceptación: Julio, 2018

Fecha de publicación: Octubre, 2018

EL DESARROLLO

TECNOLÓGICO Y SOCIAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA. EL CASO DE LAS BIOREFINERÍAS

THE TECHNOLOGICAL AND SOCIAL DEVELOPMENT OF THE SUGAR INDUSTRY. THE CASE OF THE BIOREFINERIES

Dr. C. Fernando E. Ramos Miranda¹

E-mail: framos@ucf.edu.cu

Ing. Marcos A. Cuellar¹

E-mail: mcuellar@ucf.edu.cu

Lic. Diego Saez Jover¹

E-mail: dsaez@ucf.edu.cu

¹ Universidad de Cienfuegos. Cuba.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Ramos Miranda, F. E., Cuellar, M. A., & Saez Jover, D. (2018). El desarrollo tecnológico y social de la industria azucarera. El caso de las biorefinerías. *Universidad y Sociedad*, 10(5), 295-300. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen los beneficios económicos, ambientales y sociales que se producen con este tipo de instalación. Se describen de forma sintética las tecnologías y algunos conceptos nuevos acerca del tema. Se concluye con la necesidad de reflexionar acerca de la necesidad de promover este tipo de fábrica para el mejoramiento de la sociedad.

Palabras clave: Biorefinería, caña de azúcar, beneficios sociales.

ABSTRACT

In the present work the economic, environmental and social benefits that occur with this type of installation are exposed. The technologies and some new concepts about the subject are synthetically described. It concludes with the need to reflect on the necessary promotion this type of factory for the betterment of the society.

Keywords: Biorefinery, sugar cane, social benefits.

INTRODUCCIÓN

La crisis energética que se vislumbra con el agotamiento paulatino de los combustibles fósiles y el efecto negativo que se ha tenido en el medio ambiente ha demandado la atención de los científicos y empresarios hacia el uso de las fuentes renovables de energía, sin embargo, la carencia de productos químicos está también presente en esta situación. En este concepto, el enfoque de aprovechar integralmente la biomasa disponible, como fuente de productos químicos y energía, con apoyo del concepto de biorefinería, mediante la conversión de los azúcares que están en los materiales lignocelulósicos es un camino para optimizar la ganancia de la energía solar incorporada en el crecimiento de las plantaciones agrícolas y permite mediante el fraccionamiento inicial de la biomasa obtener una diversidad de productos químicos de alto interés.

DESARROLLO

Es necesario identificar estos tres conceptos que suelen confundirse a menudo.

Fabrica especializada. El mejor ejemplo de las fábricas especializadas son las fábricas de bioetanol (establecidas en Brasil) en las que el guarapo o jugo, se destina a la producción de alcohol y el bagazo es el combustible que permite tanto su destilación, como la producción de energía eléctrica, derivada de las calderas para la operación de los molinos de la caña. Este sería el concepto de fábrica especializada, para nada diversificada como la fábrica convencional de azúcar. En Cuba también se tienen ejemplos de fábrica especializada, como las fabricas mieleras dedicadas esencialmente a asegurar la materia prima para las fábricas de etanol.

Fábrica diversificada. Desde hace más de 30 años, la industria azucarera cubana ha destinado una parte importante de sus subproductos (melaza y bagazo) para la fabricación de piensos, alcohol, levaduras y celulosa. En consecuencia, conviene comparar el uso diversificado de la caña de azúcar, con especial atención a la comparación de la situación actual, orientada a la producción de azúcar crudo, y en relación a la producción especializada de bioetanol o a otras alternativas que incluyan la tecnología ya conocida.

Biorefinería. Las biorefinerías son complejos agroindustriales integrados y diversificados y su mejor ejemplo lo constituyen las biorefinerías de maíz, desarrolladas principalmente en los E.U.A. Así, el maíz tiene tres destinos principales: la producción de piensos (alimentos para el ganado), la elaboración de almidones y jarabes para la industria y la exportación al mundo entero. Pero, hace

más de diez años ha crecido notablemente la producción industrial de etanol como aditivo de las gasolinas.

Ahí comenzó este concepto llamado Biorefinería y que se aplica a un conjunto de alternativas de transformación para una materia prima especializada. En este caso, la caña de azúcar.

En las Biorefinería de caña, se han llegado a establecer usos alternativos a los componentes de la caña como son: las puntas de caña o cogollo, el jugo de caña o guarapo, y la fibra o bagazo. Por ejemplo, el bagazo se puede destinar, en parte, para producir la energía eléctrica (bioenergía) necesaria para operar los molinos y la casa de calderas, y en otros casos para la producción de pulpa de celulosa. El guarapo, a su vez, puede destinarse a la producción de azúcar, bioetanol o biometano, y en forma alternativa, el guarapo puede destinarse a la producción de mieles vírgenes o meladuras, que, combinadas con el bagazo saponificado (tratado con álcalis) permite producir piensos para ganado vacuno.

En algún caso, los cogollos pueden guardarse como forraje fermentado (ensilaje) para servir de alimento rústico para el mantenimiento del ganado. Esta integración ya ha funcionado parcialmente, a escala comercial en México, en diversas partes de América Latina. y en Cuba (Hilbert, 2009). Por otra parte se ha introducido el concepto *bioeconomía* (Brambila Paz, Martínez Damián, Rojas Rojas & Pérez Cerecedo 2013) en esta problemática. El propio autor llega a la conclusión que la Biorefinería debe ser polivalente no solo en los productos, sino también en la materia prima y de acuerdo con los precios se decide cuánto producir de cada uno y qué materia prima consumir. Otro reporte elaborado defiende que los precios de los productos químicos utilizados en la siembra, cultivo y cosecha de la biomasa harán que aumenten los precios de la misma (Cuba es un ejemplo, en pocos años, el precio de la caña vendida ha sufrido varios cambios. En el 2012 aumentó al doble, de 50 a 100 pesos/t), esto hará que continuamente haya que seguir buscando variantes *bioeconómicas* que satisfagan el balance costo beneficio (Ree, 2013).

A partir del análisis de algunas informaciones, puede observarse el auge que el etanol producido con caña de azúcar y otros materiales lignocelulósicos han experimentado a partir de los años finales de la década anterior. Países como E. U., y muchos otros, han acometido iniciativas y proyectos encaminados a fabricar cantidades crecientes de etanol, fundamentalmente destinado a mezclar con la gasolina o incrementar su octanaje con sustancias no agresivas para el ambiente, siempre con

el doble objetivo de fortalecer la posición financiera de la industria y proteger al medio ambiente.

En Cuba se han hecho estudios para identificar las bondades de esta opción (González, 2005; González-Suárez, 2007; Hernández, et al, 2006) tomando como materia prima principal la caña de azúcar.

En la destilación de los líquidos alcohólicos se pueden reconocer tres destilados. El primero denominado alcoholes de cabeza, está compuesto por productos de punto de ebullición bajo, tales como aldehídos y ésteres, a continuación, los alcoholes de buen gusto, que están constituidos principalmente por alcohol etílico; al final se obtienen los alcoholes de punto de ebullición alto, constituido en su mayoría por los alcoholes superiores o de cola: el alcohol amílico o isoamílico, el propílico, butílico, entre otros. Componen las colas los alcoholes superiores que se conocen genéricamente como aceite de fusel (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2008).

El aceite fusel es un subproducto de la destilación de alcohol etílico a partir de la fermentación de la melaza. El aceite fusel es un líquido relativamente viscoso de color pardo-oscuro y un olor poco agradable (Bastida, 2010), está constituido por mezclas de alcoholes superiores principalmente C3-C5 y compuestos carbonílicos. El intervalo de ebullición de las mezclas de alcoholes contenidas en los aceites fusel oscila entre 80 y 130°C a presión atmosférica.

La composición de los aceites fusel está influenciada por la materia prima utilizada en la fermentación, encontraron que la composición del aceite de fusel varía de una destilería a otra independientemente de que se parta de la misma materia prima y reportan que los principales factores que afectan la composición del aceite de fusel son: el tipo de levadura o enzima, las condiciones y el ambiente bajo las cuales se lleva a cabo la fermentación y el método de recuperación del aceite de fusel procedente de la columna rectificadora.

Los aceites fusel, pueden ser utilizados para la obtención de compuestos de alto valor agregado. Actualmente, los fusel se queman en las calderas de los centrales o se comercializan para su utilización como solventes en algunas aplicaciones industriales, luego de separar el agua y el etanol que contienen. Además, en otros países se utiliza el fusel para la desnaturalización de alcohol o para suprimir la espuma durante la fabricación de azúcar. Ésteres. Los ésteres son compuestos distribuidos en la naturaleza que se encargan de dar el olor y sabor característicos de frutas y flores; aunque no siempre están presentes de manera tan sencilla sino una mezcla compleja, pero con

el grupo funcional del éster presente. El olor a cambur del acetato isoamílico, es una característica predominante que poseen los ésteres, el cual tiene una desagradable referencia a fusel.

Son, tal vez, las impurezas menos tóxicas en el alcohol y participan de manera decisiva en el olor y sabor del alcohol, con elevada variabilidad de tonos y matices. En general puede permitirse en el alcohol superfino hasta 20 mg de ésteres /litro de alcohol absoluto, conociendo que el acetato de etilo proveniente del ácido acético constituye el 90 % de los ésteres totales presentes en el alcohol, comunicando calidad de aroma hasta 5 – 10 mg/litro de alcohol absoluto, dando excelente referencia a frutas (Casanovas, 2007).

Por ejemplo, el ácido acético y ésteres de ácido butírico, tienen un valor económico como productos químicos para el sabor y la fabricación de perfumes. Especialmente el acetato de butilo está en alta demanda como componente de los sabores de piña y plátanos en la industria de los alimentos (Herrera, 2005). Además, los ésteres grasos del alcohol amílico tienen aplicaciones como lubricantes, surfactantes y como ingrediente en la industria cosmética.

La levadura torula es una proteína unicelular proveniente de la fermentación de la miel final. Es un producto que se puede obtener en forma de crema y en forma seca, rico en proteínas y vitaminas del complejo "B", ideal para la fermentación de piensos para la alimentación animal.

Ante la necesidad actual de hacer rentables las producciones cubanas, entre ellas la de levadura forrajera torula, es imprescindible ir a la búsqueda de sustratos que aporten azúcares más baratos que la miel final de caña, cuyos precios se mantienen relativamente altos en el mercado mundial (Bastida, 2010).

Entre estas fuentes de azúcar, las más atractivas resultan los mostos o vinazas de destilería, por ser un subproducto con alrededor de 10 g/L de azúcares reductores totales (ART), y que es un residual con una gran carga orgánica y de difícil tratamiento. Al realizar un análisis para corroborar lo antes dicho se mostró cómo las vinazas, al ser utilizadas para la producción de levadura torula, disminuyen su carga orgánica y también se aprecia una disminución de la DQO a media que se trabaja con mayores porcentajes (%) de miel y jugo de los filtros, por lo que se hace factible la producción de levadura torula con mezclas de miel, jugo de los filtros y vinazas, en una gama amplia de proporciones (Medel, 2005). La levadura puede desarrollarse en procesos a batch o continuos, siendo este último el de máxima productividad y rendimiento. La producción de levadura torula por fermentación continua comenzó en Cuba en el año 1964 y se incrementó a finales de la

década del 70. La fermentación continua para la reproducción de biomasa consiste en la alimentación constante de una masa de sustratos balanceados al fermentador (azúcares, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, nitrógeno, oxígeno), donde ocurre el crecimiento y reproducción de la levadura, cuyo cultivo se mantiene a una concentración constante en el fermentador, obteniéndose un mosto fermentado con una pobre concentración de sustrato y rico en biomasa, la cual es separada posteriormente por operaciones mecánicas y de evaporación del líquido que la contiene, para obtenerla seca o en forma de crema.

La producción de levaduras del país se hace a partir de dos tecnologías, la de alta y la de baja concentración, las cuales están definidas, fundamentalmente, por el diseño de los fermentadores (Galves, 2000).

El biodiesel es un biocombustible que se obtiene a partir de aceites y grasas vegetales y animales, los vegetales que principalmente se usan como materia prima son la colza, el girasol, la soja y actualmente se está potenciando el uso de la palma aceitera debido a su alto contenido energético.

El biodiesel, puede ser usado en forma pura al 100% (B100), como una base de mezcla para el diesel de petróleo (B20), o en una proporción baja como aditivo del 1 al 5 % (B5). De esta forma el biodiesel puede complementarse con el de petróleo, no competir con este (Villanueva, 2009).

Sus propiedades físicas y químicas para la operación de los motores diesel, son similares a la de los combustibles con base de diesel petróleo. Las cadenas de la molécula de biodiesel, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia.

Del biodiesel puede obtenerse alrededor de una centena de productos vegetales y animales, los cuales son transformados a metil ésteres o etil ésteres por transesterificación. Debido a esto las propiedades del biodiesel variarán según la materia prima empleada (Hernández, 2005).

Cuba, país altamente dependiente del exterior en cuanto a suministro de combustibles, posee una gran cantidad de residuos sólidos agroindustriales biodegradables sin o con escasa utilización, como la cachaza (residuo de la industria azucarera), que puede ser utilizada para la producción de biodiesel como alternativa de energía renovable y de producción nacional.

Las propiedades del biodiesel son similares a las del gasóleo que se usa normalmente en la automoción, en densidad y número de cetanos. También posee una característica muy importante y es que posee un punto de

inflamación superior al gasóleo de origen fósil, gracias a esto el biodiesel puede sustituir en su totalidad al gasóleo o ser mezclado con él para que sea usado en motores diesel (Medel. et al.. 2005).

Durante el proceso de molienda de la caña en los ingenios, parte de la cera contenida en la misma queda adherida o mezclada con el bagazo y parte pasa a los jugos, de donde es extraída durante el proceso de clarificación y entra a formar parte de la cachaza.

La misma se puede extraer por diferentes vías ya sea extrayéndola directamente de la corteza de la caña mediante el baño de esta en agua caliente o a partir del guarapo, del bagazo y de la cachaza. Este último método de extracción es el que ha tenido aplicación comercial y del que se ha obtenido un producto denominado cera cruda de cachaza (Villanueva, 2009).

Las ceras se definen como ésteres de ácidos grasos superiores, que en vez de contener grupos glicéridos son ésteres de alcoholes grasos superiores: C16 (cetílico), C24 (carnaubílico) y C30 (miricílico). La fórmula general de la cera es $R-CO-O-R'$. De una forma genérica puede afirmarse que las cadenas del ácido y del alcohol tienen longitudes similares. Las ceras tienen pesos moleculares elevados, son sólidas a la temperatura ambiente, pero tienen puntos de fusión inferiores a los 90°C y son insolubles en agua y en la mayoría de disolventes orgánicos (Galves, 2000).

La cera cruda extraída de la cachaza es una mezcla heterogénea de la cual pueden separarse tres fracciones características bien definidas una fracción de cera dura, una fracción grasa o aceite, una fracción resinosa y fracciones indeseables producto del proceso de extracción (agua, solvente, e insolubles).

La cera, el aceite y la resina componen los tres fragmentos de la cera cruda extraída de la torta. El aceite constituye el fragmento soluble en la acetona a 25%, es un líquido de color verde oscuro y de composición similar al de otros aceites de la verdura. La cera dura es el fragmento soluble en la acetona a 100 C y en el isopropanol a 80 C y la resina es un sólido frágil negro colorido e insoluble en los solventes mencionados previamente, a las temperaturas de 70 C a 100 C.

La cera refinada se usa para grasas, los cosméticos, la impresión, pinturas para el papel del carbón, emulsiones para la preservación de frutas, verduras y queso, para dar la composición al brillo, medicinas de acción prolongada, las emulsiones para la impermeabilización de tablas de partículas, los tratamientos de fibras textiles, pegamentos de unión caliente, dar forma de plásticos, las fundiciones

de precisión y como el plastificante en los neumáticos (Galves, 2000).

Dos de los principales gases que producen el Efecto Invernadero, CO_2 y CH_4 , proceden de la fermentación, natural o acelerada, de la materia orgánica de muchos productos o residuos. Al conjunto de ambos gases se le conoce como **biogás**, que si bien posee un efecto negativo para el clima, también posee una característica energética positiva debida al CH_4 (Kempener, 2008).

Por ambas cosas, es de gran interés el estudio y análisis sistemático de todos los aspectos que rodean a la generación y utilización del biogás, porque se evita un daño ambiental, por la energía renovable que se produce, por la gran cantidad que se puede generar y porque sustituye a otros gases (no energéticos) que se hubieran formado, si la materia orgánica se hubiera procesado de otra forma (digestión aeróbica, combustión).

Algunos reportes reflejan una visión sistemática de los diferentes aspectos a considerar en el conocimiento del biogás (Villar, 2008).

Por otra parte, las promociones indiscriminadas de los sistemas de biogás pueden tener un efecto negativo, ya que si no se considera el balance de la disponibilidad de la materia prima lo suficientemente cerca del sistema puede hacerse incosteable, y si no hay suficientemente demanda, se corre el riesgo de verterse a la atmosfera un gas equivalente a 21 moléculas de CO_2 en términos de efecto invernadero.

Energía del bagazo de caña (bioenergía).

En el procesamiento industrial de la caña son necesarios tres tipos de energía: energía térmica para los procesos de calentamiento y concentración, energía mecánica en las molindas y demás sistemas de accionamiento directo, como bombas y ventiladores de gran tamaño, así como energía eléctrica para accionamientos diversos, bombeo, sistemas de control e iluminación, entre otros fines. Para poder cumplir con estas demandas energéticas se realiza, en las fábricas de azúcar, la producción simultánea de estos diferentes tipos de energía, todas extraídas del mismo combustible: el bagazo. Tal tecnología es denominada cogeneración.

Los investigadores cubanos e internacionales han estudiado las bondades y desventajas de reconvertir y modernizar los sistemas de generación de electricidad y vapor (De la Cruz González, et al., 2005). Kempener (2008), realizan un estudio bastante amplio de las tecnologías existentes para la producción de bioenergía y la posibilidad de utilizarlas en los países emergentes.

La centenaria vida de la industria azucarera cubana ha visto pasar cientos de sistemas energéticos ya obsoletos, y aun muchos de ellos se mantienen trabajando, sin embargo, ninguno de estos sistemas son lo suficientemente eficientes para competir en la actualidad. Es necesario sustituir los viejos generadores de vapor por las nuevas tecnologías, sobre todo a una alta presión y en ciclos combinados con gasificación (Pain, J., 2002).

La organización nacional cubana productora de azúcar y derivados (AZCUBA) tiene dentro de sus proyecciones a largo plazo, la introducción de plantas de bioelectricidad escaladamente para los próximos años, (una de ellas en la Provincia de Cienfuegos) que abrirá las puertas a esta tecnología en el país.

Si bien muchos autores defienden las biorefinerías como sistemas cada vez más cerrados que no solo utilizan energía limpia, sino que ayudan a balancear la economía empresarial y a aumentar la calidad de vida de la población, Cuba se proyecta solo al uso de las bioeléctricas cuando existen en el mundo biorefinerías de segundo y tercer nivel.

El desarrollo de las biorefinerías puede tener un componente social significativo, Ramos lo demuestra (Ramos, 2014) cuando elabora una metodología mediante lógica difusa de la influencia del componente social en la conversión de una fábrica de azúcar en biorefinería.

Entre los aspectos más importantes está la elaboración de alimento animal, el desarrollo de los territorios y del nivel de vida, el aumento de empleo y específicamente para las mujeres, el mejoramiento de la infraestructura urbanística y la creación de centros docentes asociados a universidades.

CONCLUSIONES

Los avances en los procesos biotecnológicos y la demanda creciente del etanol como biocombustible líquido han convertido la producción de residuos lignocelulósicos en un problema cardinal de la Ciencia y la Técnica, haciendo que el bagazo sea un material lignocelulósico con gran potencial para la producción de etanol y otros productos de interés dentro del concepto de biorefinerías.

No obstante, aunque el etanol representa al producto líder para el desarrollo de una biorrefinería, no podemos perder de vista que en esta industria se dan o pueden darse todos los procesos tecnológicos de conversión de biomasa en productos de alto valor agregado

El uso de biorrefinerías es necesario para la vida nacional, que necesita el desarrollo económico y el mejoramiento de la vida social e intelectual en cuanto al mejoramiento

de tecnologías. En Cuba, estas instalaciones van quedándose cada día más atrás y es necesario reflexionar al respecto para insertarlas en los planes perspectivas de la economía nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brambila Paz, J. J., Martínez Damián, M. Á., Rojas Rojas, M. M., & Pérez Cerecedo, V. (2013). Real options, biorefineries and bioeconomy: The case of bioethanol and sugar. *Agrociencia*, 47(3), 281-292. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/302/30226978007.pdf>
- Casanovas, R. D., et al. (2007). Perspectivas de los biocombustibles en argentina, con énfasis en el etanol de base celulósica. La Habana: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- De la Cruz González, R., et al. (2005). Aplicación del análisis complejo de procesos en el estudio de alternativas de integración de un complejo agroindustrial azucarero y una planta de alcohol. Centro de Análisis de Procesos. Santa Clara: Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- Galves, L.O. (2000). La producción diversificada de la agroindustria de la caña de azúcar. Cuba: En Manual de los derivados de la caña de azúcar.
- Hernández, M. T. (2005). Tendencias actuales en la producción de bioetanol. Facultad de Herrera, Joan M. Rodríguez et al. (2005). Procedimiento metodológico para la evaluación económica preliminar de la síntesis de bio-combustibles. Santa Clara: Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- Hilbert, J. A. (2009). Proyecto integrado: Desarrollo de herramientas para el crecimiento sostenido de la producción de bioenergía a partir de diversas fuentes. Ingeniería - Universidad Rafael Landívar Boletín Electrónico, 8.
- Kempener, R. (2008). Stimulating sustainable development of bioenergy networks in emerging economies thesis presented for PhD). Sydney: University of Sidney.
- López Bastida, E., et al. (2010). Análisis del ciclo de vida (acv) de la producción de alcohol: Ejemplo de caso Alficsa. VI Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente, Cienfuegos.
- Medel, M., et al. (2005). Integración de los procesos de fabricación de bioetanol y azúcar para el desarrollo de tecnologías limpias. Santa Clara: Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). Annual Report 2010. Roma: FAO.
- Pain, J. (2000). Coogeneration in the sugar industry. Amsterdam: Elsevier editor.
- Ramos Miranda, F. (2014). Metodología de evaluación para la conversión de fábricas de azúcar a biorefinerías mediante lógica difusa. Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Santa Clara: Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- Ree, R. (2013). The role of biorefining in a future bioeconomy. Austria: IEA.
- Villanueva, Gretel et al. (2009). Obtención de biodiesel a partir de un residuo de la industria azucarera. P Memorias de CIER 2009.
- Villar, M., et al. (2008). Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento. Recuperado de http://www.madrid.org/media/mtec/17_Situacion_actual_produccion_biogas_y_aprovechamiento.pdf