

DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.604403>

Propuestas de desarrollo de instalaciones de la industria de la caña de azúcar como biorrefinerías

Erenio González Suárez¹; Ana Celia de Armas Martínez²; Viascheslav V. Kafarov³; Juan E. Miño Valdés⁴; Pablo Galindo Llanes⁵; Fernando Ramos Miranda⁶

Resumen

Actualmente, no obstante las necesidades de biocombustibles y de favorecer la matriz química del país usando la biomasa, está presente la problemática de que no existe una estrategia de desarrollo de biorrefinerías; por ello es objetivo de este trabajo crear una capacidad anticipatoria de las empresas de la industria de la caña de azúcar en la región central de Cuba; para incrementar el impacto de este sector en las matrices energéticas y químicas partiendo de fuentes renovables mediante la conversión de fábricas de azúcar en biorrefinerías definiendo los esquemas tecnológicos a ser evaluados en las alternativas posibles.

Se aplicó la metodología de combinar los análisis prospectivos de cada instalación partiendo de la incertidumbre del mercado y la disponibilidad de las materias primas con el análisis complejo de los procesos de las instalaciones de la industria de la caña de azúcar en estudio.

Los resultados más sobresalientes del estudio son la posibilidad de desarrollar como biorrefinerías dos instalaciones en cada una de las provincias de Cienfuegos; Villa Clara, Santi Spiritus, Camagüey y Las Tunas

Entre las conclusiones de mayor relevancia se encuentran : 1) Las potencialidades de las industrias de la caña de

¹ UCLV, Cuba. E-mail: erenio@uclv.edu.cu

² UCLV, Cuba. E-mail: erenio@uclv.edu.cu

³ UIS, Colombia,

⁴ UNaM, Argentina,

⁵ Universidad de Camagüey, Cuba

⁶ Universidad de Cienfuegos, Cuba

azúcar para desarrollarse como biorrefinerías, productoras de bioetanol, biodiesel y electricidad 2) Las potencialidades de las biorrefinerías que se logren para sustentar la matriz química de Cuba, 3) La conveniencia de desarrollar un proyecto que estudio las alternativas de lograr en instalaciones de la industria de la caña de azúcar como fuente de productos químicos y energías renovables

Palabras Clave: Biorrefinerías, Prospectiva; Incertidumbre; Análisis de Procesos
Keywords: (traducción fiel al inglés del apartado palabras clave y mismo formato que el anterior agregando la cursiva).

1. Introducción

El concepto de que la biomasa es fuente de productos químicos y energía ha estado siempre presente en el pensamiento científico, no obstante, debemos reconocer que siempre se ha valorado con la visión parcial de utilizar algunas de sus partes en destinos específicos como una vía de diversificar las producciones de la industria de la caña de azúcar y no con una concepción de uso integral de la biomasa" (González y Castro; 2012). La idea debe ser fraccionar la biomasa atendiendo a obtener no uno, sino varios subproductos que sean susceptibles a la vez, cada uno de ser fuente de materia prima para un determinado producto que tenga una demanda en el mercado, y con ello permita viabilizar la rentabilidad de las instalaciones industriales, al

plantearse en símil con las refinerías de petróleo una gama de productos que satisfagan diversas demandas, con un producto líder estableciendo el concepto de biorrefinería de la caña de azúcar.

El punto de vista de aprovechar integralmente la biomasa disponible, como fuente de productos químicos y energía, "es un camino para optimizar la ganancia de la energía solar incorporada en el crecimiento de las plantaciones agrícolas"(Schacht et al, 2008) y permite a partir de un producto líder como el etanol, mediante el fraccionamiento inicial de la biomasa, una diversidad de productos químicos de alto interés.

Una de las limitantes para utilizar la biomasa como fuente de energía y de productos químicos, es el aseguramiento de su recolección y transporte, por ello, la logística existente para la transportación de la caña de azúcar y desde luego, el bagazo con ella, hasta un complejo fabril productor de azúcar susceptible de estar integrado material y energéticamente con otras instalaciones industriales, abre una perspectiva extraordinaria de transformar paulatinamente las fábricas de azúcar en biorrefinerías que emplean integralmente la caña de azúcar como fuente de productos químicos y energía (Ramos et al; 2011). Estas instalaciones cuentan con facilidades de producción de la energía en forma de electricidad y vapor que se requieren sus procesos y con ello con la cultura tecnológica de

explotación y mantenimiento de los procesos auxiliares, que les facilita la capacidad de aprendizaje tecnológico para la asimilación de nuevas producciones.

Los avances en los procesos biotecnológicos han hecho que el bagazo sea un material lignocelulósico con gran potencial para la producción de etanol y otros productos de interés dentro del concepto de biorrefinerías. (Mesa, L. et al; 2009). La producción de etanol de los sustratos azucarados de la industria de la caña de azúcar, tanto de las tradicionales tecnologías que emplean las mieles finales, las que emplean jugo de los filtros, jugos secundarios o mezclas de los mismos, así como la necesaria disponibilidad del bagazo adicional, después de garantizada la energía necesaria en el proceso, para instalaciones de productos derivados tales como tableros, papel y furfural, ha implicado los estudios de integración material y energética en cada instalación estudiada (González, et al; 2014), así como de conversión de las instalaciones existentes con apoyo de medios de simulación (Morales et al; 2010) y evaluación de alternativas de productos (Mesa et al; 2014), lo que es sin dudas fuente de retos científicos que pueden estar dirigidos a la aplicación de técnicas de optimización en la solución de problemas reales (Albernas et al; 2014a) en específico cuando se trabaja en sistemas discontinuos (Albernas et al 2014b), para lo cual están disponibles las herramientas matemáticas necesarias (González

et al; 2016), que permiten una adecuada estrategia para el aprovechamiento de la biomasa como fuente de productos químicos y energía (González y Miño; 2014).

El propósito esencial de este trabajo ha sido crear una determinada capacidad anticipatoria de las empresas de la industria de la caña de azúcar en la región central de Cuba; para incrementar el impacto de este sector en las matrices energéticas y químicas partiendo de fuentes renovables a través de la conversión de fábricas de azúcar en biorrefinerías.

La elección de un esquema de producciones múltiples a partir de la caña de azúcar en el concepto de biorrefinería, de una instalación específica, estará determinada por las características y actividades de la región en la que se produzca, lo que además propiciará y demandará, al ser la economía de los productos obtenidos con la biomasa fuente de empleo, impactos positivos en el contexto local de la comunidad, que deberán ser evaluados y beneficiados en el desarrollo y propuesta de cada estudio de caso.

2. Metodología

Una impronta de la época es que la tecnología incide cada vez más en las posibilidades empresariales, pero como se sabe el desarrollo tecnológico de la industria Química, está vinculado también a la incertidumbre, por lo que se requirió aquí pasar, en lo metodológico, de la perspectiva tecnológica tradicio-

nal, que no posibilita el desarrollo, a una prospectiva tecnológica, la que descansó en un análisis multilateral y pormenorizado de los factores y cambios tecnológicos de la empresa en estudio, para lo cual debe cumplirse una previsión global, cualitativa y múltiple, para lo cual el Análisis Complejo de Procesos es una poderosa metodología de investigación (Rabassa et al; 2016), lo que requiere desarrollar y validar procedimientos adecuados a las condiciones específicas de cada contexto (Pérez et al; 2012),

Debido a lo anterior, la metodología aplicada en el desarrollo de este trabajo se fundamentó en una combinación del uso del Análisis Complejo de Procesos con la Prospectiva Tecnológica considerando la aplicación de las soluciones a los problemas de incertidumbre que se presentan en la industria de procesos químicos y fermentativos y con especial énfasis a la consideración de los cambios futuros y las incertidumbres tecnológicas.

3. Resultados y discusión

En el estudio en las provincias de Cienfuegos, Villa clara, Cienfuegos, Santi Spiritus, Camagüey, y Las Tunas se proponen alternativas, para el desarrollo paulatino de fábricas de azúcar como biorrefinería, entre los que se incluyen:

I. La determinación de las posibles tecnologías a introducir, en las instalaciones existentes, en Cienfuegos con-

siderando las demandas del mercado, la disponibilidad de las materias primas y las tecnologías requeridas. Aquí se consideró como problemas de interés:

a. Las posibilidades de intensificación de la producción de etanol en la Destilería de Antonio Sánchez (ALFICSA) (Peñín et al; 2013), lo que incluyó lograr una tecnología más limpias mediante el aprovechamiento de los residuos de la producción de etanol (de Armas et al; 2013)

b. La conversión de la fábrica de azúcar de "5 de septiembre" en biorrefinería (Rocío et al 2015)

II. La determinación de las posibles tecnologías a introducir, en las instalaciones existentes, en Villa Clara considerando las demandas del mercado, la disponibilidad de las materias primas y las tecnologías requeridas. Aquí se consideró como problemas de interés:

a. Las posibilidades de transformación del Polo Heriberto - Chiquitico en el concepto de biorrefinería como una vía de impulsar el desarrollo territorial (González et al; 2018) e incluyendo el uso del bagazo como fuente de azúcares fermentables (Morales et al; 2018).

b. La transformación de "Perucho Figueredo" en biorrefinería a partir de la destilería prevista y empleando etanol de segunda y tercera generación (de Armas et al; 2018) (de

Armas et al; 2014)(Albernas et al; 2014),

III. La determinación de las posibles tecnologías a introducir, en las instalaciones existentes, en Santi Spiritus considerando las demandas del mercado, la disponibilidad de las materias primas y las tecnologías requeridas. Aquí se consideró como problemas de interés:

a. Incluir las producciones de ácido cítrico junto con las de una bioeléctrica en Jatibónico (Pérez et al; 2016) incluyendo modernas técnicas de separación para minimizar consumos energéticos.

b. Incluir el esquema energético de ALFICSA en la destilería de Melanio Hernández.

IV. La determinación de las posibles tecnologías a introducir, en las instalaciones existentes, en Camagüey considerando las demandas del mercado, la disponibilidad de las materias primas y las tecnologías requeridas. Aquí se consideró como problemas de interés:

a. La instalación de una destilería de etanol de hasta tercera generación para lo cual será necesario evaluar la capacidad inicial óptima (Oquendo et al; 2016) e incorporar resultados obtenidos para etanol de segunda generación (Mesa et al, 2016a) (Mesa et al, 2016b) y asociada a la producción de coproductos de los residuos y corrientes intermedias de la producción de etanol de segunda generación.

b. La instalación de una planta de biodiesel y alcoholes superiores de cachaza de caña de azúcar según la tecnología de la UCLV macrolocalizada en un lugar adecuado de Camagüey si es posible asociada a la destilería de tres generaciones (García et al, 2018)

V. La determinación de las posibles tecnologías a introducir, en las instalaciones existentes, en Las Tunas considerando las demandas del mercado, la disponibilidad de las materias primas y las tecnologías requeridas. Aquí se consideró como problemas de interés:

a. La reconversión como biorrefinería de Amancio Rodríguez aprovechando las instalaciones existentes y los logros en la utilización de las masas celulolíticas intermedias de la producción de furfural y después de etanol para etanol de segunda generación para tableros y aglomerado del bagazo virgen (Morales et al 2016) y en lo que habrá que considerar los problemas de fiabilidad (Morales et al; 2017).

b. La reconversión de las instalaciones de derivados de Antonio Guiteras considerando las posibilidades de producción de etanol de varias generaciones, la utilización del Potasio disponible como materia prima y la producción desde la cachaza de biodiesel y alcoholes superiores

4. Conclusiones

1) Las potencialidades de las indus-

trias de la caña de azúcar de la región central de Cuba para desarrollarse como biorrefinerías, productoras de bioetanol, biodiesel y electricidad 2) Las potencialidades de las biorrefinerías que se logran para sustentar la matriz química de Cuba,

3) La conveniencia de desarrollo en un futuro inmediato un proyecto que estudio las alternativas de lograr en instalaciones de la industria de la caña de azúcar como fuente de productos químicos en adición de energías renovables

5. Referencias bibliográficas

- 1) Albernas Carvajal, Y. M. González Cortés, G. Corsano, Erenio González Suárez. (2014) Optimal Design of pre-fermentation and fermentation stages applying nom linear programming. Energy Conversion and Management. 2014.
- 2) Albernas Carvajal, Y. G. Corsano, M. Morales-Zamora¹, M. González-Cortés, R. Santos-Herrero, E. González Suárez. (2014) Optimal design for an ethanol plant combining first and second-generation technologies. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro - Vol. 5 Num. 5 Dec. 2014 Pag. 113 – 136.
- 3) de Armas Martínez, A.C., Y. Martínez Martínez, N. López Bello, I. Gallardo Aguilar. (2014) Estrategia de tecnología limpia para una fábrica de alcohol extrafino. Centro Azúcar, 40, (4).51-58. Octubre-diciembre, ISSN: 2223-4861. Referenciada en: CITMA, DOAJ, Latin-dex, Cuba Ciencias, Fuente Académica, Informe Académico. Volumen 40 año 2013.
- 4) de Armas Martínez, Ana Celia, Viviana Quintero Dallos, Viatcheslav V. Kafarov, Leyanis Rodríguez Rodríguez y Erenio González Suárez. (2014) Valoración desde la vigilancia tecnológica de la contribución de las algas a una biorefinería. Centro Azúcar, Vol. 41, No. 4, pp. 21-29.
- 5) de Armas Martínez, A. C., M. Morales Zamora, Y. Albernas Carvajal, E. González Suárez (2018) Alternativas para convertir una fábrica azucarera cubana en una industria biorefinera. Centro Azúcar, Vol. 45, No. 3, julio – septiembre, pp. 56-77. ISSN: 2223- 4861.
- 6) García Prado R. A, Pérez Martínez A., González Herrera I., Villanueva Ramos, G., González, Suárez, E. (2018) Transferencia – asimilación de tecnologías de producción de biodiesel a partir de cachaza y la influencia de la macroloca-

- lización en su rentabilidad. Ingeniería, Investigación y tecnología. Volumen XIX (número 4), Octubre – Diciembre 2018: pp - pp.
- 7) González-Herrera, I. G. Rabasa-Olazábal, A. Pérez-Martínez, E. González-Suárez, E. Castro-Galiano. Herramienta para apoyar la toma de decisiones en el desarrollo de biorrefinerías. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Vol. 15, No. 3 (2016) 943-951
 - 8) González Suárez, E., J. E. Miño Valdés. (2014) Aspectos de la Estrategia de Proceso para el aprovechamiento de la biomasa como fuente de productos químicos y energía. Editorial Universitaria. Universidad Nacional de Misiones. 2014 ISBN. 978-950-579-339-6.
 - 9) González Suárez, E. E. Castro Galiano. (Editores) (2012.) "Aspectos técnico económicos de los estudios previos inversionistas para la producción de etanol de caña de azúcar en el concepto de biorrefinería". Editorial Cooperación Iberoamérica y Espacio Mediterráneo. Jaén, España. ISBN: 978-84-8439-609-3.
 - 10) González Suárez, E. M. Morales Zamora, y Concepción Toledo, D. N. (2018) Impulso al desarrollo territorial a través de la conversión paulatina en biorrefinerías de instalaciones de la industria de la caña de azúcar. Publicado en el libro Ciencia e innovación tecnológica, vol. 11, en el capítulo ciencias sociales y humanísticas. Coedición Editorial Académica Universitaria - Opuntia Brava. ISBN: 9 789597 225348
 - 11) Mesa, L.; E. González; N. López; C. Caro, E. Castro (2009). "Posibilidades de la industria azucarera como biorrefinería mediante el fraccionamiento de la caña de azúcar en la producción más limpias de etanol. Revista Centro Azúcar No 2. Abril- Junio 12-21
 - 12) Mesa, L. Morales, Gonzalez, Cara, C. Romero, I; Castro, E., Mussatto, S. Restructuring the processes for furfural and xylose production from sugarcane bagasse in a biorefinery concept for ethanol production. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 85 (2014) 196-202.
 - 13) Mesa, L. N. López Bello; C. Cara; E. Castro; E. González Suarez S. Mussatto. (2016a) Techno-economic evaluation of strategies based on two steps Organosolv pretreatment and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse for ethanol production. Renewable Energy. 86 270-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.105>.
 - 14) Mesa, L., C. A. Salvador, M. Herrera, D. I. Carrazana, E. González. (2016b) Cellulases by *Penicillium* sp. in different culture conditions Bioethanol. Bioethanol Journal. Bioethanol. 2, 84-92,
 - 15) Morales M. , H Verelst., L. Mesa, E. González, Simulation of furfural production process for revamping with ethanol technology from lignocelulosic residuals, Chemical Engineering Transaction. 2010. Referenciada por SCOPUS , ISI Web of Science (Thomson Reuters: Proceedings Citation in-

- dex) VOL 21. ISBN 978-88-95608-05-1; ISSN 1974-9791.
- 16) Morales-Zamora, M., E. González-Suárez, L. Mesa-Garriga (2016 a) Avances en la obtención de tableros de fibras a partir de mezclas de residuales lignocelulósicos de bagazo. *AFINIDAD* Vol. 73, 575, julio - setiembre
- 17) Morales-Zamora, M. E. González-Suárez. (2017) Evaluación de la fiabilidad en una industria diversificada a partir de la reconversión de sus instalaciones. *Tecnología Química*, Vol XXXVII, Nro 1, pp 5 -15
- 18) Morales-Zamora, M, A.C. de Armas Martínez, L. Mesa-Garriga, D. Acosta-Martínez, E. González-Suárez. (2018) Avances en el uso del licor hidrolizado de bagazo en la fermentación de mezclas azucaradas *AFINIDAD* Vol. 75, 581, Enero- marzo.
- 19) Oquendo Ferrer, H. E. González Suárez, N. Ley Chong y M. F. Nápoles García. (2016) Cálculo de capacidades de producción iniciales óptimas considerando elementos de incertidumbre. *Centro Azúcar* Vol. 43, No. 2, pp. 24-34
- 20) Penín Pérez Enrique B., Antonio Frías López, Víctor M González Morales y Erenio González Suárez. Alternativas para mejoras tecnológicas en la destilería ALFICSA. *Centro Azúcar*, 40, (4). 64-69 Octubre-Diciembre, ISSN: 2223-4861. Referenciada en: CITMA, DOAJ, Latindex, CubaCiencias, Fuente Académica, Informe Académico. Volumen 40 año 2013.
- 21) Pérez, A.; M.C. Julián; E. González, A. Gómez, H. Oquendo, P. Galindo, L. Ramos;(2012) Procedimiento para enfrentar las tareas de diseño en la industria azucarera y sus derivados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, V 11, Nro 2.
- 22) Pérez Navarro O, N; Ley Chong, K. Regla Rodríguez Marroquí y E. González Suárez. Oportunidades de producción de ácido cítrico por vía fermentativa a partir de sustratos azucarados en Cuba. *Centro Azúcar* Vol. 43, No. 2, pp. 24-34.2012
- 23) Rabassa Olazábal G. E. González Suárez, J. E. Miño Valdés A. Pérez Sánchez, A. Pérez Martínez.(2016) Procedimiento para la evaluación de oportunidades de negocio en la industria azucarera. *Visión de futuro* Año 13, Volumen Nro 20, Nro 2, Julio -diciembre, páginas 153-174.
- 24) Schacht, C. Carsten Zetzl, Gerd Brunner,(2008) .From plant materials to ethanol by means of supercritical fluid technology.. *J. of Supercritical Fluids* 46 (2008) 299-321.
- 25) Rodríguez Plaza, R., A. C. de Armas Martínez, L. E. Rodríguez Carvajal y Y. García Orozco Evaluación prospectiva para transformar una fábrica de azúcar en biorrefinería/ *Centro Azúcar* 4/2015 pp. 85-95