

# 61

Fecha de presentación: julio, 2021  
Fecha de aceptación: agosto, 2021  
Fecha de publicación: septiembre, 2021

## PROCEDIMIENTO

DE EVALUAR ALTERNATIVAS PARA TRANSFORMAR INSTALACIONES DE LA INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN BIORREFINERÍAS

### PROCEDURE FOR EVALUATING ALTERNATIVES TO TRANSFORM SUGARCANE INDUSTRY FACILITIES INTO BIOREFINERIES

Ana Celia de Armas Martínez<sup>1</sup>

E-mail: [anaceliaam@uclv.cu](mailto:anaceliaam@uclv.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0147-0704>

Erenio González Suárez<sup>1</sup>

E-mail: [erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

Viatcheslav V. Kafarov<sup>2</sup>

E-mail: [afarov@uis.edu.co](mailto:afarov@uis.edu.co)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2698-4621>

Lourdes Zumalacarregui de Cardenas<sup>4</sup>

E-mail: [lourdes@quimica.cujae.edu.cu](mailto:lourdes@quimica.cujae.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6921-737X>

Hilda Oquendo Ferrer<sup>5</sup>

E-mail: [hilda.oquendo@reduc.edu.cu](mailto:hilda.oquendo@reduc.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1705-5828>

Fernando Ramos Miranda<sup>5</sup>

E-mail: [framos@ucf.edu.cu](mailto:framos@ucf.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0601-6228>

<sup>1</sup> Universidad Central Martha Abreu de Las Villas. Santa Clara. Cuba.

<sup>2</sup> Universidad Industrial de Santander. Colombia.

<sup>3</sup> Universidad Tecnológica de la Habana. Cuba.

<sup>4</sup> Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte" Cuba.

<sup>5</sup> Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Cuba.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

De Armas Martínez, A. C., González Suárez, E., Kafarov, V. V., Zumalacarregui de Cardenas, L., Oquendo Ferrer, H., & Ramos Miranda, F. (2021). Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 565-573.

#### RESUMEN

En el trabajo se exponen las razones de desarrollar la industria de la caña de azúcar en el concepto de biorrefinería y los pasos que deben ejecutarse como acciones concretas en los estudios específicos para convertir paulatinamente las fábricas de azúcar en biorrefinerías. Se incluye un diagrama heurístico para estos estudios y finalmente se concluye que la propuesta de transformación de fábricas de azúcar como biorrefinerías deben ser abordados por especialistas de diferentes disciplinas que trabajen de forma armónica hacia un objetivo común, lo que permitirá también obtener aportes metodológicos al procedimiento.

**Palabras clave:** Biorrefinerías, caña de azúcar, procedimiento.

#### ABSTRACT

The work presents the reasons for developing the sugar cane industry in the concept of biorefinery and the steps that must be carried out as concrete actions in specific studies to gradually convert sugar factories into biorefineries. A heuristic diagram is included for these studies and finally it is concluded that the proposal to transform sugar factories as biorefineries must be approached by specialists from different disciplines who work harmoniously towards a common objective, which will also allow obtaining methodological contributions to the procedure.

**Keywords:** Biorefineries, sugarcane, procedure.

## INTRODUCCIÓN

Un problema apremiante del desarrollo económico de las regiones con disponibilidad de caña de azúcar es la reanimación de esta industria, por lo que la competitividad de este sector industrial será siempre de primera necesidad. Para ello se debe tener en consideración que la caña de azúcar es una planta con un espectro prácticamente infinito de aprovechamiento para la fabricación de diferentes productos, entre los cuales el azúcar ocupa, hasta la fecha, un lugar primordial.

Desde hace varios años, el azúcar viene enfrentando una situación de incertidumbre como producto de comercialización internacional. Por esta razón ha sido interés de los países productores de caña de azúcar el desarrollo de una estrategia para incrementar su competitividad. La misma ha incluido como acción fundamental la diversificación de la industria mediante el uso integral de la caña de azúcar, como materia prima, para la obtención de derivados y subproductos.

Como se conoce, el incremento de las investigaciones y la disminución de los plazos para la aplicación práctica de los resultados científicos, van convirtiendo a la ciencia en un instrumento fundamental para el desarrollo de las fuerzas productivas de la sociedad y el perfeccionamiento de la vida social en su conjunto.

Una impronta de la época es que la tecnología incide cada vez más en las posibilidades empresariales. El desarrollo tecnológico de la industria química, está vinculado también a la incertidumbre, por lo que se requiere pasar de la perspectiva tecnológica tradicional, que no permitió el desarrollo, a una prospectiva tecnológica. Esta prospectiva tecnológica tendrá que apoyarse necesariamente en un análisis multilateral y pormenorizado de los factores y cambios tecnológicos de la empresa, para lo cual debería cumplirse una previsión global, cualitativa y múltiple que cumpla el requisito de ser instrumento para la acción.

La caña de azúcar es una importante fuente alternativa de energía con grandes posibilidades para la producción de derivados de la industria azucarera. Estas características, unidas a la necesidad de recuperación de la industria de crudos y refinados, requieren que se acelere el desarrollo diversificado del sector azucarero, aun en las limitadas condiciones actuales.

Para lo anterior, como se ha previsto para el modelo de gestión de gobierno orientado a la ciencia y la innovación se establece una organización similar a la de un proyecto, en el que se requiere de la colaboración coordinada de los actores, la identificación precisa del alcance, los

objetivos, responsables, equipos multidisciplinarios de varias instituciones, recursos, las actividades, los plazos y costos para el cumplimiento de las metas definidas (Díaz Canel & Delgado, 2021) en lo cual un procedimiento para la evaluación de oportunidades de desarrollo es primordial razón que justifica este trabajo y en lo cual, la enseñanza superior debe jugar un papel protagónico, debido a que es la base de la formación de los cuadros de alto nivel para las diferentes ramas de actividad económica y social del país, asegurándoles una sólida preparación científica, técnica, cultural y humana preparación técnica y profesional cuyo objetivo es prepararlos para el ejercicio de una profesión y/o especialidad, para responder a las necesidades del país (Álvarez, 2021).

## DESARROLLO

La crisis energética que se vislumbra con el agotamiento paulatino de los combustibles fósiles y el efecto negativo que ha tenido en el medio ambiente, ha demandado la atención de los científicos y empresarios hacia el uso de las fuentes renovables de energía. La plataforma industrial de productos químicos tales como ácido acético, láctico, levulínico, combustibles líquidos como bioetanol y plásticos biodegradables, pueden fabricarse a partir de fuentes maderables y otras biomásas lignocelulósicas (Hua-Jiang, et al., 2008).

de la biomasa El concepto de que la biomasa es fuente de productos químicos y energía ha estado siempre presente en el pensamiento científico. No obstante, se debe reconocer que se ha valorado con la visión parcial de utilizar algunas de sus partes en destinos específicos, incluso en lo que sin duda ha sido la visión más avanzada como una vía de diversificar las producciones de la industria de la caña de azúcar y no con una concepción de uso integral (González & Castro, 2012).

García, et al. (2015), plantean que *“la idea actual debe ser fraccionar la biomasa atendiendo a obtener no uno, sino varios subproductos que sean susceptibles a la vez, cada uno fuente de materia prima para un determinado producto que tenga una demanda en el mercado, que puede ser pequeña en cantidad, pero como mercado al fin, en un concepto de economía de regiones, permite viabilizar la rentabilidad de las instalaciones industriales, al plantearse en símil con las refinerías de petróleo una gama de productos que satisfagan diversas demandas, quizás con algunos productos líder de alta demanda como pueden ser además del azúcar, el etanol, la electricidad, todo ello estableciendo el concepto de biorrefinería de la caña de azúcar”*.

En esta proyección, el enfoque de aprovechar integralmente la biomasa disponible, como fuente de productos químicos y energía, con apoyo del concepto de biorrefinería, mediante la conversión de los azúcares que están en los materiales lignocelulósicos a etanol en primer término, es un camino para optimizar la ganancia de la energía solar.

Lo anterior permite que la energía solar incorporada en el crecimiento de las plantaciones agrícolas y considerando un producto líder como el etanol, mediante el fraccionamiento inicial de la biomasa, una diversidad de productos químicos de alto interés (Schacht, et al., 2008).

El concepto de biorrefinería constituye una vía para lograr las producciones limpias en la producción de etanol de primera, segunda y tercera generación desde la biomasa. Se ha definido como biorrefinería *“una instalación donde, mediante diversos procesos de transformación de la biomasa, se genera bioenergía (calor, electricidad, biocombustibles) y un amplio espectro de bioproductos (materiales, productos químicos, alimentos y piensos), requiriéndose para ello la integración de diferentes procesos y tecnologías en una misma instalación”* (SUSCHEM España, 2017). La definición muestra que las biorrefinerías no necesariamente incluyen un único proceso o tecnología, y que pueden desarrollarse diferentes rutas en función de las materias primas utilizadas y los productos a obtener.

Por otro lado, como se conoce, uno de los factores limitantes para utilizar la biomasa como fuente de energía y también de productos químicos, es lo referente al aseguramiento de su recolección y transporte hacia el lugar de destino. La logística existente para la transportación de la caña de azúcar, y 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 de transformar paulatinamente las fábricas de azúcar en verdaderas biorrefinerías que emplean integralmente la caña de azúcar como fuente de productos químicos y energía. Estas instalaciones cuentan con facilidades de producción de la energía en forma de electricidad y vapor que se requieren para los procesos de obtención de azúcar. Además de tener una cultura tecnológica de explotación y mantenimiento de estos procesos auxiliares, lo que les facilita la capacidad de aprendizaje tecnológico para la asimilación de nuevas producciones.

En este sentido, se ha avanzado mucho en la producción de etanol de los sustratos azucarados derivados de la industria de la caña de azúcar, tanto de las tradicionales tecnologías en las que se emplean las mieles finales

como principal fuente de azúcares fermentables, como las emplean jugo de los filtros, jugos secundarios o mezclas de los mismos. En paralelo a ello, la disponibilidad del bagazo como producto sobrante, después de garantizada la energía necesaria en el proceso, ha dado origen a instalaciones de productos derivados tales como tableeros, papel y furfural en el proceso de diversificación de la industria de la caña de azúcar, lo que debe implicar los estudios de integración material y energética en cada instalación estudiada (González, et al., 2015). Además están disponibles el análisis de las instalaciones existentes con apoyo de medios de simulación (Morales, et al., 2010) y la evaluación de alternativas de productos (Mesa, et al., 2009), 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., 2014), en los que el uso específico de los diseños experimentales contribuye a minimizar la incertidumbre (Concepción, et al., 2021).

Los avances en los procesos biotecnológicos y la demanda creciente del etanol como biocombustible líquido han permitido la tecnología de la producción de etanol de residuos lignocelulósicos en un problema cardinal de la ciencia y la técnica, debido a que existe el potencial, de conocimientos para ello y la necesidad práctica conjugando los dos factores que hacen un problema cardinal en la Ciencias debido a 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. No obstante, aunque el etanol representa al producto líder para el desarrollo de una biorrefinería, no se puede 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 (Mesa, et al., 2009). Además, al considerar la biomasa como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de disímiles actividades (Salapa, et al., 2017; Dong, et al., 2019) y con características diversas, se tendrá que utilizar un abanico de tecnologías para fraccionarla en sus compuestos intermedios (como proteínas, azúcares, aceites y fibras / ligninas), los que se procesan por diferentes vías hasta convertirlos en productos de base biológica comercializables y/o bioenergía (Hingsamer & Jungmeier, 2019).

La heterogeneidad de la biomasa y sus numerosas posibilidades de conversión multiplican los posibles esquemas de operación que se pueden desarrollar en una biorrefinería. Esta variedad hace que su clasificación esté en función de aspectos fundamentales como materia prima utilizada, productos de plataforma obtenidos, proceso

utilizado y grado de integración (Martín & Martín, 2017; Castilla, et al., 2019). Se propone para la clasificación de las biorrefinerías el esquema que aparece en la Figura 1 (De Armas, 2019).

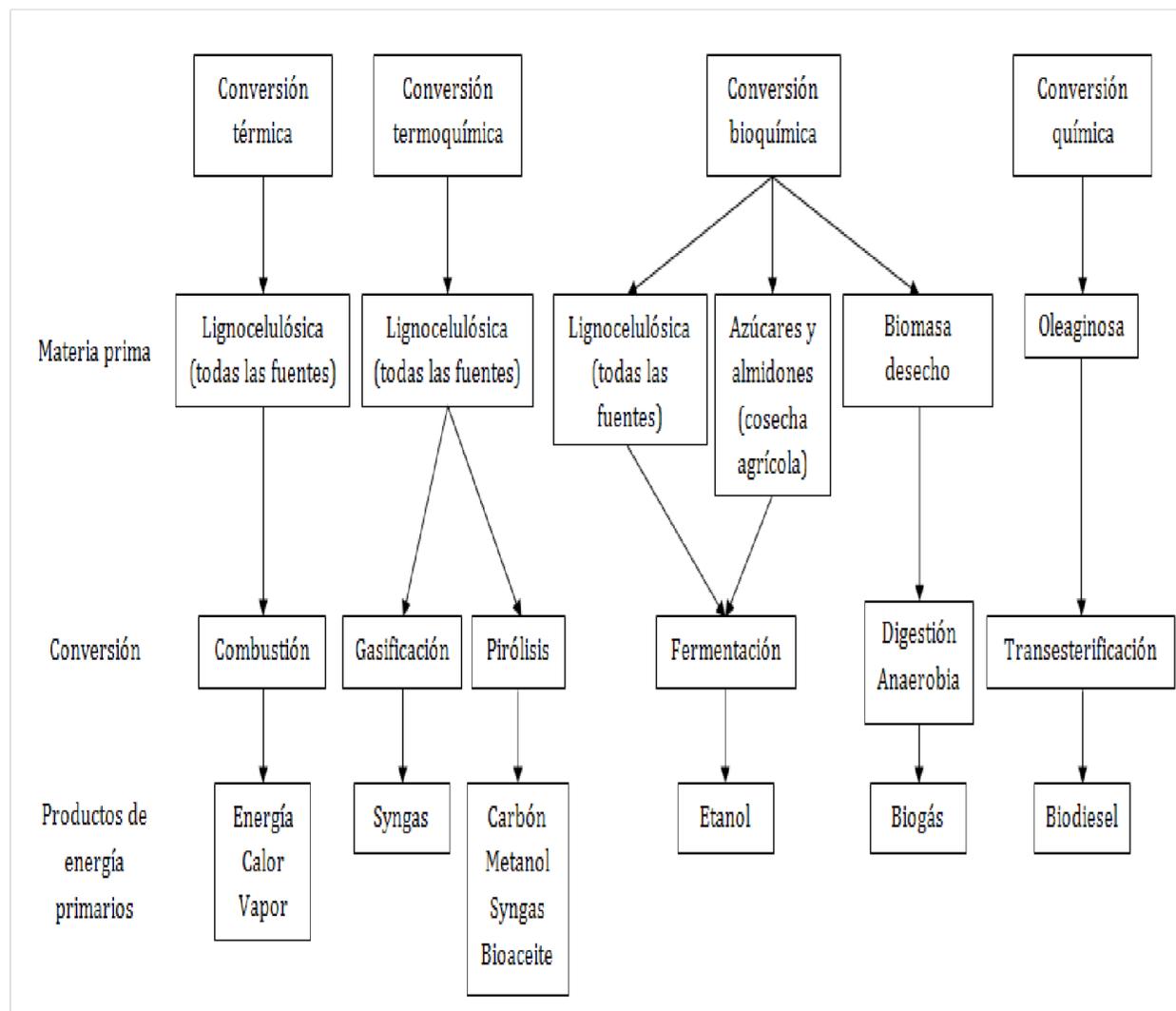


Figura 1. Ejemplos de clasificación de una biorrefinería.

Fuente: De Armas (2019).

En las biorrefinerías se utiliza una variedad de métodos de separación para producir coproductos de alto valor, de manera que en ellas estarán presentes las etapas esenciales de:

1. Procesos de fraccionamiento y extracción.
2. Tecnologías de conversión sean termoquímicas o bioquímicas.
3. Los procesos de separación y purificación de los productos.

Esto implica que una dirección de trabajo científico de relevancia es la concepción de una adecuada estrategia para el aprovechamiento de cualquier tipo de biomasa como fuente de productos químicos y energía, lo que puede contribuir acertadamente a la formación científica de los universitarios vinculados al proyecto. En particular, la competitividad económica de la obtención de etanol lignocelulósico depende de varios factores inherentes a sus insumos, el aprovechamiento de las corrientes intermedias del proceso industrial y sus residuos como fuente de coproductos aguas abajo.

Por ello el estudio de los aspectos técnico económicos es también una dirección de trabajo científico, para lo cual se requiere desarrollar y validar procedimientos adecuados a las condiciones específicas de cada contexto (González & Castro, 2012).

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 sociedad y comunidad, que deberán ser evaluados y beneficiados en el desarrollo y propuesta de cada caso de estudio en el proyecto.

Un estudio que tenga como objetivo evaluar las alternativas de desarrollo tecnológico y económico en condiciones ambientalmente compatibles, fundamentado en el concepto de biorrefinería de instalaciones de la industria de la caña de azúcar, que conlleven al empleo de tecnologías más limpias, la obtención de etanol un producto líder, coproductos químicos y de alimentación animal, que viabilicen la competitividad de estas instalaciones del Grupo Empresarial AZCUBA debe responder a objetivos específicos tales como:

1. Determinar las posibles oportunidades de negocios, de la fabricación de productos químicos en instalaciones de la industria de la caña de azúcar de Cuba que sean potencialmente factibles, considerando las demandas del mercado, las materias primas existentes y las tecnologías utilizables.
2. Estudiar y evaluar a escala industrial el impacto de la introducción de tecnologías que utilicen integralmente la caña de azúcar como fuente de materias primas para productos químicos de alto valor agregado y biocombustibles, de ser posible de forma conjunta, en el concepto de biorrefinería.
3. Estudiar posibilidades de encadenamientos productivos, en polos de la industria de la caña de azúcar, para la fabricación de productos químicos de alto valor agregado, asociadas a otras producciones de amplio interés para el mercado nacional y la exportación.
4. Evaluar alternativas de obtención por vía transformativa de productos químicos a partir de los subproductos y residuos de la producción de etanol en el concepto de economía circular, como vía para disponer de materias primas de la caña de azúcar.
5. Estudiar alternativas de programa inversionistas para la conversión segura, paulatina y fiable de instalaciones de producción de azúcar en el concepto de biorrefinerías, con adecuados esquemas de integración

material y energética, considerando el impacto ambiental y las solicitudes de los clientes.

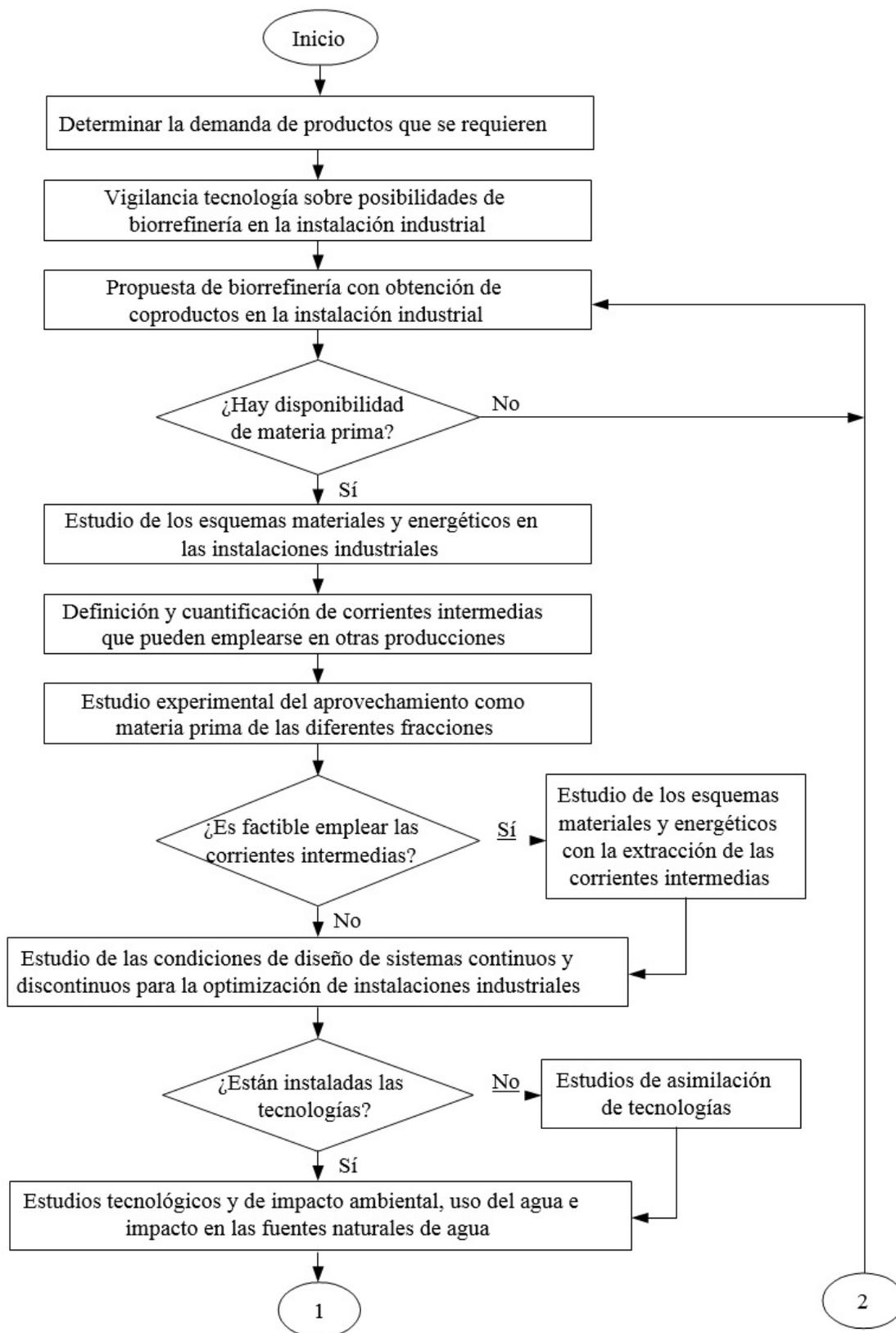
#### Propuesta de metodología a utilizar para enfrentar el problema

Con apoyo de los métodos de estrategia de procesos en la industria química y fermentativa, el diseño experimental y los métodos de prospectiva tecnológica, la metodología para enfrentar el problema se sintetiza en:

6. Elaborar y aplicar un procedimiento para el desarrollo paulatino de fábricas de azúcar como biorrefinería que considere los problemas de incertidumbre asociados a la industria de procesos químicos y que se apoye en métodos matemáticos de investigación.
7. Elaborar y aplicar procedimiento de intensificación energética de fábricas de azúcar en todas las potencialmente posibles de transformar paulatinamente a biorrefinería.
8. Determinar posibilidades de introducir nuevas tecnologías para oportunidades de negocios, mediante análisis de vigilancia tecnológica de patentes y la literatura científica internacional, sobre las posibilidades de fabricación de productos químicos, de alto valor agregado, bioetanol, y coproductos a partir del uso integral de la caña de azúcar como fuente sustratos azucarados en el concepto de biorrefinería.
9. Estudios específicos para la conversión de los polos productivos o complejos industriales, de la industria de la caña de azúcar, en complejos fabriles en el concepto de biorrefinerías, contribuyendo a la matriz química del país y valorando soluciones de economía circular.
10. Evaluación técnica, económica, energética y ambiental, mediante el análisis y síntesis de procesos de alternativas de incremento paulatino de las producciones químicas en la industria de la caña de azúcar.

#### El procedimiento para el desarrollo paulatino de fábricas de azúcar como biorrefinería

El procedimiento para el desarrollo paulatino de fábricas de azúcar como biorrefinería que considera las recomendaciones específicas para la industria de la caña de azúcar en la formulación de oportunidades de negocios se presenta en la Figura 2



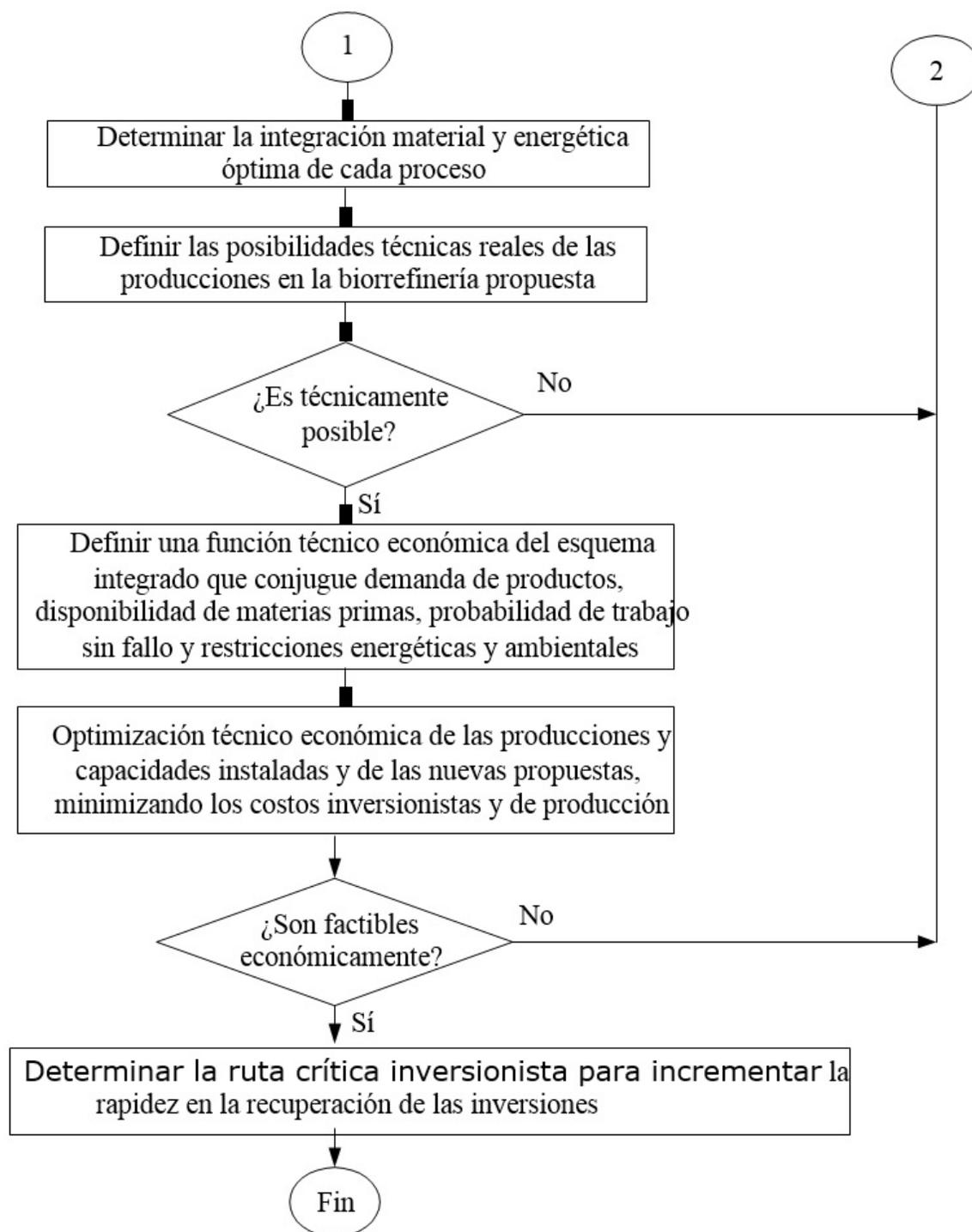


Figura 2. Diagrama heurístico del procedimiento para el desarrollo paulatino de una fábrica de azúcar como biorrefinería

Los pasos se presentan en el diagrama heurístico de la figura 2 incluyen:

1. Realizar análisis de vigilancia tecnológica de patentes y la literatura científica internacional, sobre las posibilidades de producción de un producto líder (bioetanol u otros), y coproductos a partir del uso integral de la caña de azúcar como fuente sustratos azucarados.

2. Estudio crítico de los esquemas materiales y energéticos de las instalaciones industriales en estudio para su posible conversión a biorrefinerías.
3. Determinación de la disponibilidad actual y prospectiva, considerando la incertidumbre, de la caña de azúcar como fuente de productos químicos y energía.
4. Determinación de la demanda de los posibles productos a obtener en una biorrefinería de caña de azúcar según las prioridades establecidas.
5. Definir las posibles corrientes intermedias destinadas a la producción de azúcar, sus derivados o residuos (Jugo de los filtros; jugos pobres, vinazas; etc.) que pueden ser utilizados directamente o mezclado para otras producciones
6. Determinar cuantificadamente el impacto de la extracción de corrientes intermedias destinadas a la producción de azúcar, sus derivados o residuos en la calidad y nivel de producción de azúcar u otros productos o la agresividad de los residuales
7. Formular las ecuaciones de los balances materiales y energéticos actuales y prospectivos que conjuguen los problemas de incertidumbre en la demanda de posibles productos y la disponibilidad de la caña de azúcar asociada a la instalación en estudio como fuente de productos químicos y energía, considerando las posibles extracciones.
8. Estudio, con apoyo de la vigilancia tecnológica, el trabajo experimental y la simulación, de alternativas de aprovechamiento como materias primas de las diferentes fracciones de las producciones del producto líder como vía de resolver los problemas de impacto ambiental negativo de las producciones del producto líder.
9. Estudio de las condiciones de diseño de sistemas continuos y discontinuos para la optimización de instalaciones industriales productoras del producto líder y coproductos combinando como fuente de materias prima el uso integral de la caña de azúcar.
10. Asimilación, escalado y evaluación industrial de diferentes alternativas de nuevas tecnologías del producto líder (etanol u otro) y coproducto utilizando integralmente la caña de azúcar.
11. Determinar la disponibilidad de las instalaciones existentes y la prevista de las nuevas instalaciones propuestas considerando la probabilidad de trabajo sin fallo de los equipos.
12. Definir una función técnico económico del proceso global integrado que conjugue la demanda de productos, la disponibilidad de las materias primas, la probabilidad de trabajo sin fallo y las restricciones energéticas y ambientales para ser considerada en la optimización.
13. Optimización técnico económica de las producciones y capacidad instalada inicial de la propuesta de biorrefinería considerando la incertidumbre en los recursos de biomasa disponible, la capacidad instalada (Oquendo, et al., 2016) y la demanda de los posibles productos en condiciones energéticamente sustentables y ambientalmente compatibles.
14. Determinar la Ruta Critica inversionista para incrementar la rapidez de la recuperación de las inversiones en las alternativas de desarrollo de cada fábrica de azúcar como biorrefinería partiendo de las instalaciones existentes seleccionadas.

## CONCLUSIONES

Los estudios para la propuesta de transformación de fábricas de azúcar como biorrefinerías deben ser abordados por especialistas de diferentes disciplinas que trabajen de forma armónica hacia un objetivo común.

El propósito esencial debe ser crear una determinada capacidad anticipatoria de la acción de las empresas, de la preparación de concepciones y propuestas a tomar y de la evaluación del presente, que persiga establecer los nexos de éste con los posibles cambios futuros.

Esta función gerencial debe ser considerada como componente de un sistema anticipatorio más amplio de gestión estratégica que tiene la misión fundamental de tratar de anticipar el conocimiento acerca de las condiciones cambiantes del mundo exterior de la organización y de ella misma, así como de contribuir a la estrategia de formular oportunidades de negocios de la mejor manera.

La aplicación práctica del procedimiento sin dudas ofrecerá criterios enriquecedores de aspectos esenciales en su formulación, por lo que debe tornarse solo como una guía para la acción

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albernas Carvajal, Y., González Cortés, M., Corsano, G., & González Suárez, E. (2014). Optimal Design of pre-fermentation and fermentation stages applying non linear programming. *Energy Conversion and Management*, 87, 1195-1201.
- Álvarez Enríquez, G. F. (2021). El enfoque Ciencia - Tecnología – Sociedad en la gestión del talento humano docente. *Universidad y Sociedad*, 13(1),150-158.
- Castilla-Archilla, J., O’Flaherty, V., & Lens, P.N.L. (2019). *Biorefineries: Industrial Innovation and Tendencies*. Springer.

- Concepción Toledo, D. N., González Suárez, E., López Bastida, E. J., & Ramos Miranda, F. (2021). Gestión del conocimiento en la proyección científica de la industria química mediante diseños experimentales. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 446-451.
- De Armas Martínez, A. C. (2019). Evaluación de esquemas de biorrefinería de segunda y tercera generación en una industria azucarera cubana. (Tesis Doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Díaz-Canel Bermúdez, M. M., & Delgado Fernández, M. (2021). Gestión del gobierno orientado a la innovación: Contexto y caracterización del Modelo. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(1), 6-16.
- Dong, C., Wang, Y., Wang, H., Ki Lin, K.S., Hsu, H.Y., & Leu S.Y. (2019). New generation urban biorefinery toward complete utilization of waste derived lignocellulosic biomass for biofuels and value added products. *Energy procedia*, 158, 918-925.
- García Prado, R., Pérez Martínez, A., Diéguez Santana, K., Mesa Garriga, L., González Herrera, I., González Cortes, M., & González Suárez, E. (2015). Incorporación de otras materias primas como fuente de azúcares fermentables en destilerías existentes de etanol. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 75, 130-142.
- González Cortés, M., Pedraza Gárciga, J., Clavelo Sierra, D. A., & González Suárez, E. (2015). Incertidumbre en la integración de procesos para el desarrollo de Biorrefinerías. *Centro Azúcar*, 42(3), 10-22, 30-38.
- González Suárez, E., & Castro Galiano, E. (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.
- Hingsamer, M., & Jungmeier, G. (2019). *The Role of Bioenergy in the Bioeconomy Biorrefineries. Resources, Technologies, Sustainability and Policy*. Academic Press.
- Hua-Jiang, H., Ramaswamy, S., Tschirner, U. W., & Ramarao B. (2008). A review of separation technologies in current and future biorefineries. *Separation and Purification Technology*, 62(1), 1-21.
- Martín, P., & Martín, J. (2017). Biorrefinerías basadas en explotaciones agropecuarias y forestales. Materiales elaborados como parte del Proyecto de Innovación Docente de la Universidad de Zaragoza. [https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/915/mod\\_resource/content/1/Manual%20del%20curso.pdf](https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/915/mod_resource/content/1/Manual%20del%20curso.pdf)
- Mesa, L., González, E., López, N., Caro, E., & Castro, N. (2009). Posibilidades de la industria azucarera como biorefinería mediante el fraccionamiento de la caña de azúcar en la producción más limpias de etanol. *Centro azúcar*, 36(2), 55-61.
- Morales, M., Verelst, H., Mesa L. & González, E. (2010). Simulation of furfural production process for revamping with ethanol technology from lignocellulosic residuals. *Chemical Engineering Transactions*, 21 (2), 967-972. [DOI:10.3303/CET1021162](https://doi.org/10.3303/CET1021162)
- Oquendo Ferrer, H., González Suárez, E., Ley Chong, N.m & Nápoles García, P. (2016). Cálculo de capacidades de producción iniciales óptimas considerando elementos de incertidumbre. *Centro Azúcar*, 43(29)24-34.
- Salapa, I., Katsimpouras, C., Topakas, E., & Sidiras, D. (2017). Organosolv pretreatment of wheat straw for efficient ethanol production using various solvents. *Biomass Bioenergy*, 100, 10-16.
- Schacht, C. Carsten, Z., & Gerd, B. (2008). From plant materials to ethanol by means of supercritical fluid technology. *J. of Supercritical Fluids*, 46(3), 299– 321.
- SUSCHEM España. (2017). Manual sobre biorrefinerías en España. [http://www.bioplat.org/setup/upload/modules\\_docs/content\\_cont\\_URI\\_4020.pdf](http://www.bioplat.org/setup/upload/modules_docs/content_cont_URI_4020.pdf)