

Revista de Ciencias Sociales

Biotecnología y gerencia aplicada en la producción de bioetanol 1G y 2G

Melendez, Jesus R.*

Resumen

En el contexto actual y global la producción de bioetanol de primera generación y segunda generación ofrece una alternativa sostenible con el medio ambiente en comparación con los combustibles fósiles. La gestión empresarial-industrial se ha consolidado en establecer la parametrización de indicadores de control y la valoración de los factores económicos que participan en la selección de métodos tecnológicamente eficientes para producir biocombustibles. El objetivo principal es proporcionar información sobre la innovación biotecnológica de los procesos de producción de primera generación y segunda generación del bioetanol desde el contexto gerencial. La metodología corresponde a una revisión sistémica de literatura, el nivel de investigación es del tipo exploratorio y descriptivo. Se consideraron publicaciones actualizadas pertenecientes a varias bases de datos, como Scopus, y WoS, hasta el año 2022. Los resultados muestran un escenario definido por avances en el campo de la biotecnología para producir bioetanol primera y segunda generación, en un contexto gerencial. Se concluye que la gestión industrial para la producción de biocombustibles se define por la toma de decisiones basada en la inversión económica y la tendencia en adoptar procesos alternativos que permitan la producción de biocombustibles a partir de material lignocelulósico sobre materias primas alimenticias.

Palabras clave: Bioetanol; gerencia; biocombustible; biomasa lignocelulósica; biorrefinerías.

* Doctor en Gerencia. Master en Gerencia de las Finanzas y Negocios. Ingeniero Agroindustrial. Profesor en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Miembro de la Red Iberoamericana de Investigación en Ingeniería de Proyectos-RIIPRO. E-mail: jesus.melendez@cu.ucsg.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8936-5513> Autor de correspondencia.

Biotechnology and applied management in the production of 1G and 2G bioethanol

Abstract

The production of first-generation and second-generation bioethanol in the current and global context offers a sustainable alternative to the environment compared to fossil fuels. Business-industrial management has been consolidated in establishing the parameterization of control indicators and the estimation of the economic factors that participate in the selection of technologically efficient methods to produce biofuels. The main objective is to provide information on the biotechnological innovation of the first generation and second-generation production methodologies of bioethanol in the managerial context. The methodology is considered a validated design for systemic literature review, the level of research is exploratory and descriptive. Up-to-date publications belonging to various databases, such as Scopus and WoS, were considered up to the year 2022. The results show a scenario defined by advances in the domain of biotechnology to produce first and second-generation bioethanol, in an organizational context. It is concluded that industrial management for the production of biofuels is limited by decision-making based on economic investment and the tendency to adopt alternative processes that allow the production of biofuels from lignocellulosic material on food raw materials.

Keywords: Bioethanol; management; biofuel; lignocellulosic biomass; biorefineries.

Introducción

Existen dos condiciones que determinan el aumento de la disponibilidad de la energía cada día, y están condicionadas al aumento de la población y al crecimiento de los parques industriales (Mohapatra, Ray y Ramachandran, 2019). Ante esta situación, la producción mundial de energía y de bioetanol presenta registros que evidencian un aumento constante, distribuidos en países europeos y de la región latinoamericana, lo que representa para cualquier nación un factor de desarrollo socioeconómico.

Según los datos aportados por Puricelli et al. (2021), el sector del transporte europeo fue responsable de más del 25% de las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la Unión Europea en el año 2017, de las cuales el 53% de estas emisiones provino de los segmentos de turismo y vehículos comerciales ligeros; sin embargo, el consumo de biocombustibles para este sector automotor se ubicó en un cuatro por ciento para el mismo periodo del 2017. Aunque el desarrollo y la

utilización de nuevos recursos energéticos debe fortalecerse aún más si se estima que la tendencia a consumir energía de origen no fósil alcance hasta el 20% del consumo total de energía primaria para el año 2030 (Zou et al., 2016).

Tomar las decisiones gerenciales adecuadas requiere de una gestión integral para lograr la eficiencia de la producción de energía. Para alcanzarlo, el desarrollo industrial se está enfocando en fuentes alternativas de energía de forma planificada que limitarán el uso de petróleo, gas, carbón y madera (Peña y López, 2020; McGookin, Gallachóir y Byrne, 2021) y promover el uso de bioalternativas para reducir los graves problemas de contaminación generados por la industria de petroquímicas, químicas en general y el sector del transporte automotor (Moula, Nyári y Bartel, 2017).

Esta tendencia de consumo de energía afianza aún más el diseño de políticas gubernamentales que promueven la producción, sin obstaculizar el consumo de alimentos y apoyen la adopción de biotecnologías eficientes de producción

(Callegari et al., 2020). En esta dirección los procesos de gestión industrial están actualmente orientados a la producción de biocombustibles como fuente alternativa de energía, y suelen considerar el uso de materias primas que brindan altos rendimientos (Shields y Boopathy, 2011).

Actualmente se han desarrollado innovadores modelos de producción que incorporan fundamentos de economía circular, los cuales establecen los lineamientos que permiten la rentabilidad económica con producción ecoproductiva, al mismo tiempo disminuyendo el impacto ambiental (Lo et al., 2021) y promoviendo acciones sociales.

La propuesta científica se perfila hacia la producción de biocombustibles como el bioetanol a partir de materias primas renovables. El bioetanol, representa una de estas alternativas más interesantes como fuente de energía renovable y ecológica, que se puede producir a partir de biomasa (Kang et al., 2014; De Medeiros et al., 2020). Países como China, consideran estratégico la producción de energías alternativas; según el trabajo presentado por Wu et al. (2021), este país asiático alcanza un cuatro por ciento de la producción mundial y su interés a producir biocombustibles celulósicos está en ascenso.

La producción de bioetanol toma varias rutas para la producción, la vía de primera generación (1G) se direcciona con procesos unitarios a partir del jugo de caña de azúcar y otros materiales azucarados. Productos como el maíz, la caña de azúcar y la remolacha azucarera, son los principales cultivos agrícolas tradicionales que se emplean en la producción de bioetanol 1G; sin embargo, la producción de estos cultivos, no pueden satisfacer la demanda mundial de la producción de bioetanol debido a que esta producción agrícola se destina principalmente a la entrega como alimentos (Mohanty y Swain, 2019).

En el contexto biotecnológico, la producción de biocombustibles también contempla otros métodos de fabricación, la opción de segunda generación (2G) es una de ellas. La producción desde las biorrefinerías contempla procesamientos a partir de tres

elementos fundamentales constituidos por biomasa de lignocelulosa, hemicelulosa y la lignina, las cuales son la base para la fabricación de biocombustibles (Singh et al., 2022). Las posibles materias primas que provienen del bagazo incluyen la caña de azúcar, el maíz, azúcar y sorgo dulce (Dias et al., 2013; Nuanpeng et al., 2018; Zhang, Wells et al., 2019), todas estas tecnologías están en desarrollo (Buenrostro-Figueroa et al., 2018) y se utilizan en la actualidad solo a pequeña escala.

Finalmente, la integración para la producción y la gestión industrial de las tecnologías comprende el manejo integral de los espacios de suelos que permitan la fabricación de biocombustibles con equilibrio en la producción de alimentos (Vásconez et al., 2021) en escenarios económicos y ambientales positivos (Mendoza et al., 2020), junto con acciones de responsabilidad social empresarial que promuevan el desarrollo sostenible de la organización y sus cadenas de suministros (Cogollo y Ruiz, 2019). Por lo cual, el objetivo principal de esta investigación es proporcionar información actualizada sobre el desarrollo de la innovación biotecnológica de los procesos de producción 1G y 2G de bioetanol desde un contexto gerencial.

1. Metodología

El diseño metodológico incluyó un protocolo validado por Siddaway, Wood y Hedges (2019), para la presentación de Revisiones Sistemáticas de Literatura (RSL), con enfoque cualitativo, y nivel exploratorio-descriptivo. Se adoptaron los procesos de planificación, conducción, organización y presentación de los resultados para cada categoría establecida. Considerando la planificación inicial, se planteó la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los avances biotecnológicos aplicados en la producción de bioetanol 1G y 2G? en un contexto direccionado por la gestión industrial.

La propuesta estableció tres categorías:
i) Innovación: Desarrollo Biotecnológico 1G,

ii) Innovación: Desarrollo Biotecnológico 2G,
iii) Gestión y factibilidad industrial para la producción de bioetanol 1G y 2G. Los criterios para la selección de artículos, comprendió principalmente la selección en bases de *Scopus*, y *WoS*. Se utilizaron estrategias de búsqueda booleana, con secuencia de búsqueda título: ((producción de etanol)) OR ((producción de bioetanol)) OR ((producción de bioetanol 1G)) OR ((producción de bioetanol 2G)) OR ((bioethanol)).

La presentación de los resultados se procesó desde la interpretación, la argumentación, y la triangulación del material revisado, para mostrar los resultados finales para cada categoría de estudio, siguiendo estos pasos: (1) Consulta de revistas científicas, (2) Organización y selección del material investigativo, (3) Interpretación y argumentación, y (4) Presentación de los resultados.

2. Innovación: Desarrollo biotecnológico en la producción 1G

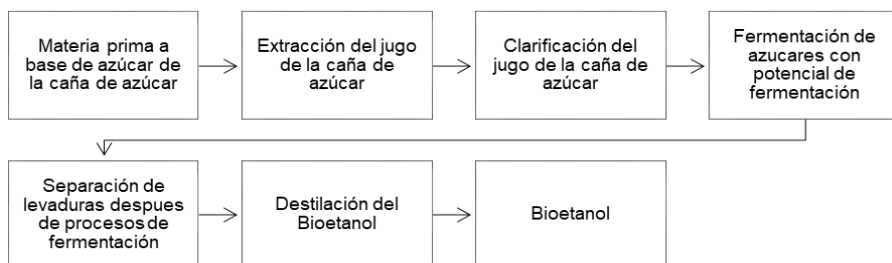
El proceso de la innovación tecnológica y los costos asociados con la producción de biocombustibles se conjugan como factores determinantes para la elección de métodos eficientes y económicamente factibles, en esta operación de generar esta alternativa de combustible. La gestión industrial dentro de este contexto, los avances y nuevos desarrollos en la biotecnología, apuntan hacia nuevos procesos de fabricación de biocombustibles, que involucren los métodos de 1G y 2G.

En el primer nivel se considera la producción de bioetanol 1G como altamente

eficiente en sus rendimientos (Wasiak, 2017), cuando se utiliza materia prima como la caña de azúcar, maíz y azúcar de remolacha. Se debe destacar que la mayor parte del bioetanol producido en el mundo pertenece a la primera generación y se obtiene mediante la fermentación de materias primas comestibles a base de azúcar, generalmente jugo de caña de azúcar, y la melaza (Michailos y Webb, 2019). El método de extracción 1G requiere de un simple paso para producir bioetanol, este involucra a estos materiales y necesitan un proceso de fermentación simple.

En el contexto de alcanzar mayores niveles de producción de bioetanol a partir del proceso de fermentación, los estudios de Zhang, Jin et al. (2019) demostraron a partir de la experimentación con método de congelación-descongelación y selección de choque de estrés, una formación de una levadura tolerante a estas condiciones y que es capaz de producir bioetanol durante la fermentación de glucosa al 35% (p/v) con un rendimiento mayor al 16% en comparación a la cepa original.

Los procesos de producción 1G involucran la ausencia de partículas sólidas en la materia prima, lo cual permite a la levadura separarse y reciclarse después de la fermentación y reutilizarse en el siguiente lote de producción. Este proceso industrial involucra el reciclaje de la levadura, reduce el costo de producción del bioetanol y el tiempo de procesamiento de la fermentación (Aro, 2016). La Figura I, muestra de forma esquemática las etapas generales del proceso de producción 1G, tomando como materia prima la caña de azúcar.

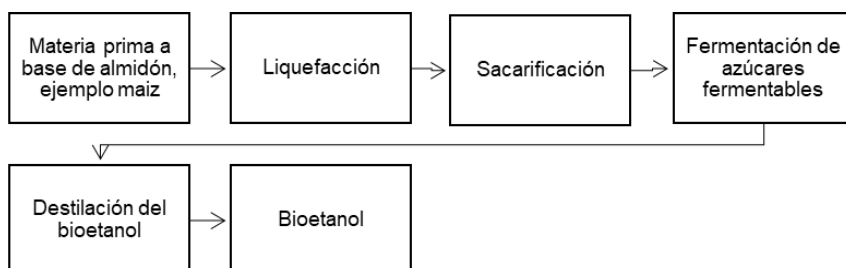


Fuente: Elaboración propia, 2022 adaptado de Aro (2016).

Figura I: Producción de Bioetanol 1G a partir del jugo de la caña de azúcar

Dentro del proceso de producción de bioetanol 1G, también se debe tomar en cuenta las materias primas a base de almidón, presentes en el maíz, el cual va a requerir de etapas adicionales como la licuefacción y sacarificación para completar la hidrólisis (Huang et al., 2020). Según Aro (2016), en el maíz se encuentran dos tipos de procesos de licuefacción comúnmente utilizados. La licuefacción de molienda en seco, es adecuada solo para industrias de pequeña escala, cuyo

objetivo es la producción de bioetanol como producto final; y la licuefacción de molienda en húmedo, es popular para las industrias a gran escala, cuyo objetivo, junto con la producción de bioetanol, es la preparación de coproductos, como el jarabe de maíz, el jarabe de glucosa y el jarabe de dextrosa. La representación esquemática de la producción de bioetanol a partir de biomasa basada en almidones de maíz, se muestra en la Figura II.



Fuente: Elaboración propia, 2022 adaptado de Aro (2016).

Figura II: Producción de Bioetanol 1G a partir del almidón de maíz

El proceso tecnológico revela que varias materias primas se someten a procesos similares de fermentación y recuperación de bioetanol; sin embargo, existen distintos enfoques para obtener diferentes azúcares

fermentables y preparar diversos coproductos. En general, los cultivos utilizados como materia prima para producir el bioetanol, sean directamente del jugo de frutas, como la caña de azúcar o cualquier subproducto

derivado de los procesos de manufactura, tendrán consecuencias alimentarias frente a combustibles de origen fósil, debido a que se reemplaza las materias primas que se destinan al consumo humano para producir energía.

3. Innovación: Desarrollo biotecnológico en la producción 2G

Otra situación importante comprende el uso de material de descarte o residuos agrícolas y depende de la disponibilidad de materias primas y de una infraestructura adecuada para la producción de bioetanol (Duarte et al., 2021). Es dentro de este proceso alternativo que el desarrollo de la producción de bioetanol de 2G, ha alcanzado avances importantes. El proceso de conversión bioquímico, comprende una ruta aún no estandarizada y debe adaptarse a la naturaleza de la materia prima para la producción de bioetanol 2G, generalmente se describe una secuencia formada por el pretratamiento, la fermentación, el proceso de hidrólisis y la separación (Sharma, Larroche y Dussap, 2020).

La reutilización de residuos agroindustriales conocidos como bagazos, *trash*, residuos o productos de descarte, se relaciona estrechamente con la eficiencia de las biorrefinerías (Bhatia, Johri y Ahmad, 2012). Aunque la evidencia revela que la limitación para la producción asociada al bioetanol lignocelulósico es su alto costo de inversión. Actualmente, las lignocelulosas se investigan ampliamente como sustratos renovables para producir biocombustibles, por ejemplo, etanol, metano, hidrógeno y butanol, así como productos químicos como ácido cítrico, ácido láctico y goma xantana (Karimi y Taherzadeh, 2016). Sin embargo, la lignocelulosa como carbohidrato necesita un pretratamiento eficiente que permita el acceso a los azúcares fermentables, que posteriormente podrán fermentarse en bioetanol.

El proceso más detallado de obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico, comprende procesos químicos para la obtención de azúcares aprovechables

para la fermentación y producción del alcohol junto con esquemas formados por métodos de hidrólisis ácidas o alcalinas (Kumar et al., 2009). Estas vías químicas se proponen adecuar a las moléculas de lignina-hemicelulosa-celulosa en materiales apropiados para la hidrólisis. Los pretratamientos se encargan de la eliminación de la envoltura de lignina y hemicelulosa unida alrededor de la celulosa (Nosratpour, Karimi y Sadeghi, 2018).

Otros métodos como la Digestión Anaeróbica (DA), representa otra vía eficiente para la gestión de residuos destinados a la producción de energía desde la biodegradación de las lignocelulosas a partir de microorganismos (Mirmohamadsadeghi et al., 2021)

El estudio de Pinto et al. (2021), ha demostrado otras barreras presentes en las biorrefinerías, conformadas por la lignina soluble e insoluble, la cual puede perjudicar el proceso de hidrólisis enzimática por inhibición, desactivación y adsorción improductiva de las enzimas. Las estrategias para aumentar el rendimiento se han focalizado en la combinación del lavado y la adición de proteína de soja, la cual proporcionó los mayores rendimientos de glucosa, con un incremento de hasta el 50%. El lavado de la biomasa pretratada o el uso de aditivos que bloquean la lignina durante la sacarificación podrían mitigar estos efectos negativos en las biorrefinerías permitiendo obtener mejores rendimientos.

Por tanto, la elección del tratamiento que permita utilizar productos derivados en la conversión industrial de biomasa lignocelulósica, se podrían centrar en el uso de otros elementos que permitan nuevos procesos alternativos de producción, destacándose el empleo de hongos *Zygomycetes* y *Ascomycetes* filamentosos (Lennartsson, Erlandsson y Taherzadeh, 2014), y otras materias primas como la palma (Pangsang et al., 2019; Rolz, De León y Mendizábal, 2019), los cuales representan alternativas en desarrollo a menor costo.

Sin embargo, otras investigaciones relevantes presentadas por Alherbawi et

al. (2021), sobre el empleo de una segunda generación de biomasa no comestible como la *Jatropha curcas*, se ha convertido en una importante materia prima para biocombustibles por su aceite que pueden transformarse en combustibles líquidos, con alto valor calorífico. Aunque, la producción de bioetanol 2G a partir de otros desechos agrícolas, como la paja de caña de azúcar y el bagazo, se caracteriza por la tendencia a maximizar el retorno de la inversión, desde un proceso industrial que requiere, un pretratamiento costoso y difícil para fraccionar y gestionar la biomasa (Branco, Serafim y Xavier, 2019), si se compara con la producción tradicional de biocombustibles 1G, los cuales conllevan la producción de bioetanol a partir de tratamientos con fermentación desde los jugos del material o biomasa.

Esto significa, que los avances independientes en la producción de etanol 2G se dirigen hacia la aplicación de otros métodos químicos como, hidrólisis química o fermentativa, aplicados al bagazo o *trash* y la paja de la caña de azúcar, para alcanzar la fermentación alcohólica, así como los métodos para separar la lignina para convertirla en energía eléctrica (Zumalacárregui-De Cárdenas et al., 2015).

Estas consideraciones sobre los avances en biotecnológica, repercuten directamente en el costo de la producción de bioetanol lignocelulósico 2G, al compararse con la producción de etanol 1G. Otras limitaciones en la operación de producción de bioetanol 2G, incluyen factores físicos y químicos, como la composición variable de la biomasa y los inhibidores formados durante el tratamiento de pre-sacarificación, que impactan en el producto final. Además, hay estrés osmótico y oxidativo, y la acumulación de bioetanol es desfavorable para los procesos impulsados por enzimas.

Sin embargo, ante estos retos y las dificultades técnicas y económicas, la producción de biocombustibles desde materias primas lignocelulósicas renovables siguen siendo una alternativa de bajo costo, y no compiten con la cadena de alimentos y piensos,

lo que estimula la sostenibilidad (Busić et al., 2018), aunque los procesos de manufactura aún están en vías de aumentar su eficiencia para disminuir sus costos operacionales.

4. Gestión y factibilidad industrial para la producción de bioetanol 1G y 2G

La gestión industrial de la producción de biocombustible tanto 1G como 2G, se desarrolla con acciones planificadas que involucran el procesamiento de información científica relacionada con datos cuantitativos, lo que permitirá el desarrollo de estrategias de producción sustentable.

El impulso del proceso gerencial abarca la adopción de una estructura industrial compuesta por biorrefinerías, inversión de capital y desempeño económico, que son elementos críticos del control industrial. Estas consideraciones están involucradas en los procesos agroindustriales destinados a producir etanol 1G-2G a través de operaciones ambientalmente sustentables.

Además, un entorno gerencial factible para producir etanol debe tener la capacidad deseada, basada en evaluaciones económicas (Joelsson et al., 2016) y financieras que consideren las inversiones de capital y los rendimientos económicos (Rajendran, Rajoli y Taherzadeh, 2016). Según los resultados obtenidos de Ramos-Soto et al. (2020), la gestión integral articulada con sistemas de calidad como la ISO 9001 y la norma de ambiente ISO 14000 en las organizaciones industriales, permiten alcanzar ventajas competitivas dentro del contexto económico y social, evidenciándose en sus resultados.

Esto elementos relacionados con la economía se integran principalmente en los riesgos de inversión y los altos costos de producción, todos ellos aplicados en el diseño de infraestructura industrial y adoptando tecnologías innovadoras. Estos últimos consideran procesos químicos a escala industrial, que podrían estar involucrados en la operación, como sacarificación, fermentación y

destilación. Todos ellos transmiten diferencias tecnológicas y de eficiencia en la obtención de etanol 1G y 2G.

En el contexto global, la gestión industrial-empresarial debe conectarse con los indicadores de la producción global. Según los datos aportados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (OCDE/FAO,

2017), el desarrollo de la producción mundial del bioetanol 1G y 2G en el quinquenio 2022 al 2026, estarán distribuidos alrededor de un 55% de la producción basada en maíz, y 35% en cultivos de azúcar; y los biocombustibles basados en bagazos (residuos) a partir de procesos de producción 2G, se mantendrán con baja participación debido a la falta de inversión en investigación y desarrollo (I+D), (ver Tabla 1).

Tabla 1
Distribución volumétrica de bioetanol por rubro o materia prima

Producción Bioethanol	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Distribución en volumen a partir de Maíz.	74,7	74,5	74,5	74,3	74,2	74,0	73,7
Distribución en volumen a partir de Caña de azúcar.	31,9	32,5	33,3	33,7	34,3	34,9	35,5
Promedio Producción Mundial**	130,7	131,5	132,8	133,7	134,7	135,8	136,7

Nota: ** Promedio Producción mundial en Mml (billones de litros).

Fuente: Elaboración propia, 2022 basado en datos de OCDE/FAO (2017).

Otros datos aportados por la OCDE/FAO (2017), estiman que la producción mundial de bioetanol estará sobre los 130,7 Mml (miles

de millones de litros) en el año 2020 a 136,7 Mml en el 2026, mientras que el consumo total podría situarse en 136,9 Mml (ver Tabla 2).

Tabla 2
Indicadores y proyección mundial de bioetanol

Producción Bioetanol	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Promedio Producción Mundial**	130.7	131.5	132.8	133.7	134.7	135.8	136.7
Total consumo	130.8	131.8	133.0	134.0	134.9	136.0	136.9

Nota: ** Promedio Producción mundial en Mml (billones de litros).

Fuente: Elaboración propia, 2022 basado en datos de OCDE/FAO (2017).

Estos resultados proyectados en las Tablas 1 y 2, permiten establecer una realidad basada en el comportamiento de la producción y la demanda mundial de bioetanol, lo que permite establecer una compleja gestión empresarial-industrial para el manejo de los recursos tecnológicos, económicos, y ambientales. Es aquí donde la gestión agroindustrial evalúa los factores involucrados en la compleja producción de bioetanol a escala

industrial con el propósito de generar energía (Alonso et al., 2017), y producir productos subagrícolas, así como complementos para la alimentación animal primaria (Martillo et al., 2020).

En el estudio de Alvira et al. (2010), se determinó que, aunque el bioetanol 2G proporciona ventajas energéticas, económicas y ambientales en comparación con el bioetanol de almidón o azúcar, existen barreras físicas y

químicas para la aplicación de estos procesos. Por lo tanto, ante estas situaciones es allí donde la dirección gerencial debe actuar y establecer planes para la selección de métodos de producción adecuados.

El estudio de Kumar et al. (2020), para el tratamiento de biomásas lignocelulósicas con fines de producción de biocombustibles y otros derivados farmacéuticos, ha evidenciado la necesidad de implementar el desarrollo de técnicas ecológicas y rentables que pueden aplicarse mediante el enfoque de la economía circular. Actualmente, se debe reconocer la presencia de cambios y desarrollos innovadores que buscan aumentar el uso de cultivos no alimentarios o biomasa residual como materia prima; en este sentido, el estudio de Duque et al. (2021), determinó la existencia de nuevas fuentes de biomasa como la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales y ciertos residuos industriales como los del papel, alimentos, y bebidas.

Estos avances en materia de procesamiento no tradicional, representan el reto de la gestión industrial que debe integrar la adopción de nuevas tecnologías para el procesamiento en las organizaciones que deseen implementar la producción de biocombustibles.

Ante esta realidad, la gestión industrial ha demostrado una adaptación a los nuevos retos tecnológicos y se ha enfocado en evaluar los factores clave que inciden en las estrategias que conducen a la toma de decisiones, lo que permite seleccionar las mejores alternativas para producir energía a partir de biocombustibles, manteniendo el desarrollo sustentable en la protección ambiental (Sánchez y Zambrano, 2019; Melendez et al., 2021). Sin embargo, los procesos de fabricación de biocombustibles industriales deben estar respaldados por un sistema de gestión empresarial, que implique el conocimiento de todo el escenario, incluida la selección y operación de métodos eficientes en la fabricación de bioetanol.

Desde la perspectiva gerencial integral, el proceso de gestión para el desarrollo de biocombustibles y energía sustentable, se

plantea el uso de materias primas celulósicas, aunque los costos de producción son elevados en comparación con el proceso de fabricación del etanol 1G. No obstante, la decisión de gestionar biocombustibles 1G o 2G, dependerá de los posibles costos operativos de la cadena de producción, cosecha y entrega de materias primas a las instalaciones industriales, desarrollo de maquinaria y participación de los agricultores interesados (Melendez et al., 2022). Adicionalmente, la gestión deberá seleccionar métodos eficientes que generen altos rendimientos del bioetanol/materia prima utilizada, retorno de la inversión y el período de recuperación de la inversión, como indicadores económicos necesario en las plantas de producción (Mesa et al., 2020).

Otros factores representativos en la gestión y toma de decisiones incluyen el diseño eficiente de plantas o biorrefinerías para la producción de etanol 2G, desde un concepto integral que incluye la evaluación de elementos técnico-económicos, factores ambientales, y la posibilidad de utilizar energías alternativas, que disminuyan el empleo de materias primas que puedan ser utilizadas para el sector de producción de alimentos. Estos factores se agrupan en el desarrollo de modelos de negocio hacia formas híbridas de creación de valor empresarial (Villa, Perdomo-Ortiz y Pedraza, 2021) y modelos circulares, que permitan la creación de producción limpia con la aplicación de nuevas tecnologías de producción amigable con el ambiente, aunque actualmente no existen modelos únicos en esta materia (De Pádua, Pigosso y McAloone, 2018).

En el ámbito internacional la gestión industrial en la producción de biocombustibles, se perfila hacia el alcance de los objetivos organizacionales y procesos administrativos que generen crecimiento financiero, económico, y tecnológico de forma sustentable con el ambiente (Ormaza y Guerrero-Baena, 2021) a este sector industrial. Para completar esta condición, la gerencia debe considerar prácticas que incentiven la participación de los empleados de manera eficiente en los proyectos industriales (Melendez y El

Salous, 2021) y prácticas de responsabilidad social empresarial que garanticen una eco-sostenibilidad (Bom-Camargo, 2021) a partir de la eco-producción de bioenergía.

Finalmente, las consideraciones mundiales establecidas en los principales organismos internacionales y la focalización de la gerencia industrial, se han concentrado en evaluar la necesidad mundial de fuentes alternativas de energía que puedan cubrir la demanda creciente que se proyecta en el mundo. Por lo tanto, las alternativas de combustible sostenibles como el bioetanol representan esta opción energética viable, validadas científicamente desde sus componentes económicos, técnicos y ambientales, para mitigar los problemas globales causados por el calentamiento global, producido por los gases de efecto invernadero y agotamiento de los recursos no renovables.

Conclusiones

La información presentada en esta revisión actualizada, permite comprender la innovación y los avances de la biotecnología aplicada en la producción de biocombustibles 1G y 2G, y la gestión industrial-empresarial necesaria para la toma de decisiones eficiente que conlleven a la producción sustentable.

El escenario global de la producción de bioetanol 1G se mantiene como una alternativa eficiente para la producción de bioetanol por su bajo costo en relación a la producción 2G, la cual requiere una infraestructura industrial o refinería compleja, impactada por una serie de necesidades técnicas, tecnológicas y energéticas.

Las barreras tecnológicas, y la viabilidad económica de los recursos, la toma de decisiones gerenciales para adoptar los métodos más adecuados de producción sostenible de biocombustibles, determinan el tipo generacional para la producción de bioetanol. Es un verdadero desafío mantener proyectos de inversión sostenibles y viables que involucren la producción de biocombustibles 2G en mayor escala en relación a la producción 1G. Se destaca, el desarrollo de

energía sustentable a partir de la incorporación de estrategias de responsabilidad social empresarial que refuercen la implementación de modelos de economía circular.

Finalmente, los procesos de investigación, desarrollo e innovación, se apuntalan hacia la validación de nuevos procedimientos para producir biocombustibles, junto al desarrollo de la gerencia de proyectos que se encarguen de aumentar los niveles de producción de biocombustibles. El modelo de gestión óptimo deberá evaluar la elección de materias primas que no sean fuentes de alimentos y que ofrezcan un valor adicional mediante un mejor equilibrio con el medio ambiente, considerando la eficiencia energética como un objetivo global del desarrollo sostenible.

Esta investigación se limitó a presentar avances en la producción de biocombustibles solo en dos áreas tecnológicas, de primera y segunda generación, no considerando otras generaciones en desarrollo. Sin embargo, la información actualizada presentada permite ampliar futuras investigaciones en el campo de la producción sostenible de energía, con otras materias primas, citándose la producción de biocombustibles de tercera generación (desde micro algas); biocombustibles de cuarta generación, los cuales se centran en modificar genéticamente microorganismos (cianobacterias); métodos combinados de extracción 1G-2G; y otras líneas de investigación, que abarquen la adopción de marcos de referencias relacionados con modelos económicos factibles, de responsabilidad social empresarial y compatible con los objetivos del desarrollo sostenible.

Referencias bibliográficas

Alherbawi, M., AlNouss, A., McKay, G., y Al-Ansari, T. (2021). Optimum sustainable utilisation of the whole fruit of *Jatropha curcas*: An energy, water and food nexus approach.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110605. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110605>
- Alonso, D. M., Hakim, S. H., Zhou, S., Won, W., Hosseinaci, O., Tao, J., Garcia-Negron, V., Motagamwala, A. H., Mellmer, M. A., Huang, K., Houtman, C. J., Labbé, N., Harper, D. P., Maravelias, C. T., Runge, T., y Dumesic, J. A. (2017). Increasing the revenue from lignocellulosic biomass: Maximizing feedstock utilization. *Science Advances*, 3(5), e1603301. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1603301>
- Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., y Negro, M. J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*, 101(13), 4851-4861. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.093>
- Aro, E-M. (2016). From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio*, 45(S-1), 24-31. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0730-0>
- Bhatia, L., Johri, S., y Ahmad, R. (2012). An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste: A review. *AMB Express*, 2(1), 65. <https://doi.org/10.1186/2191-0855-2-65>
- Bom-Camargo, Y. I. (2021). Hacia la responsabilidad social como estrategia de sostenibilidad en la gestión empresarial. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVII(2), 130-146. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i2.35903>
- Branco, R. H. R., Serafim, L. S., y Xavier, A. M. R. B. (2019). Second generation bioethanol production: On the use of pulp and paper industry wastes as feedstock. *Fermentation* 5(1), 4. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010004>
- Buenrostro-Figueroa, J., Tafolla-Arellano, J. C., Flores-Gallegos, A. C., Rodríguez-Herrera, R., De la Garza-Toledo, H., y Aguilar, C. N. (2018). Native yeasts for alternative utilization of overripe mango pulp for ethanol production. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), 173-177. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.04.010>
- Bušić, A., Mardetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Šantek, M. I., Komés, D., Novak, S., y Šantek, B. (2018). Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: A review. *Food Technology and Biotechnology* (56)3, 289-311. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
- Callegari, A., Bolognesi, S., Cecconet, D., y Capodaglio, A. G. (2020). Production technologies, current role, and future prospects of biofuels feedstocks: A state-of-the-art review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(4), 384-436. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1629801>
- Cogollo, J. M., y Ruiz, C. (2019). Prácticas de responsabilidad sostenible de cadenas de suministro: Revisión y propuesta. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(87), 668-683. <https://doi.org/10.37960/revista.v24i87.24661>
- De Medeiros, E. M., Noorman, H., Maciel, R., y Posada, J. A. (2020). Production of ethanol fuel via syngas fermentation: Optimization of economic performance and energy efficiency. *Chemical Engineering Science: X*, 5, 100056. <https://doi.org/10.1016/j.cesx.2020.100056>
- De Pádua, M., Pigosso, D. C. A., y McAlóone, T. C. (2018). Sustainable qualifying criteria for designing circular business models. *Procedia CIRP*, 69,

- 799-804. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.014>
- Dias, M. O. S., Junqueira, T. L., Cavalett, O., Pavanello, L. G., Cunha, M. P., Jesus, C. D. F., Maciel, R., y Bonomi, A. (2013). Biorefineries for the production of first and second generation ethanol and electricity from sugarcane. *Applied Energy*, 109, 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.081>
- Duarte, A., Uribe, J. C., Sarache, W., y Calderón, A. (2021). Economic, environmental, and social assessment of bioethanol production using multiple coffee crop residues. *Energy*, 216, 119170. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119170>
- Duque, A., Álvarez, C., Doménech, P., Manzanares, P., y Moreno, A. D. (2021). Advanced bioethanol production: From novel raw materials to integrated biorefineries. *Processes*, 9(2), 206. <https://doi.org/10.3390/pr9020206>
- Huang, J., Khan, M. T., Perecin, D., Coelho, S. T., y Zhang, M. (2020). Sugarcane for bioethanol production: Potential of bagasse in Chinese perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110296>
- Joelsson, E., Erdei, B., Galbe, M., y Wallberg, O. (2016). Techno-economic evaluation of integrated first- and second-generation ethanol production from grain and straw. *Biotechnology for Biofuels*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0423-8>
- Kang, Q., Appels, L., Tan, T., y Dewil, R. (2014). Bioethanol from lignocellulosic biomass: Current findings determine research priorities. *Scientific World Journal*, 2014, 298153. <https://doi.org/10.1155/2014/298153>
- Karimi, K., y Taherzadeh, M. J. (2016). A critical review of analytical methods in pretreatment of lignocelluloses: Composition, imaging, and crystallinity. *Bioresource Technology*, 200, 1008-1018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.022>
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., y Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(8), 3713-3729. <https://doi.org/10.1021/ie801542g>
- Kumar, V. K., Chandel, A. K., Kumar, S. P. J., Sharma, S., Sevda, S., Ingle, A. P., y Pant, D. (2020). Circular economy aspects of lignin: Towards a lignocellulose biorefinery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109977. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109977>
- Lennartsson, P. R., Erlandsson, P., y Taherzadeh, M. J. (2014). Integration of the first and second generation bioethanol processes and the importance of by-products. *Bioresource Technology*, 165, 3-8. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.127>
- Lo, S. L. Y., How, B. S., Leong, W. D., Teng, S. Y., Rhamdhani, M. A., y Sunarso, J. (2021). Techno-economic analysis for biomass supply chain: A state-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110164. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110164>
- Martillo, J. A., Martínez, A., Lesme, R., y Silva, E. E. (2021). The corn cob gasification-based renewable energy recovery in the life cycle environmental performance of seed-corn supply chain: An Ecuadorian case study. *Renewable Energy*, 163, 1523-1535. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.053>

- McGookin, C., Gallachóir, B. Ó., y Byrne, E. (2021). Participatory methods in energy system modelling and planning – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111504. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111504>
- Melendez, J. R., Mátyás, B., Hena, S., Lowy, D. A., y El Salous, A. (2022). Perspectives in the production of bioethanol: A review of sustainable methods, technologies, and bioprocesses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112260>
- Melendez, J. R., Velasquez-Rivera, J., El Salous, A., y Peñalver, A. (2021). Gestión para la Producción de biocombustibles 2G: Revisión del escenario tecnológico y económico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 78-91. <https://doi.org/10.52080/rvg93.07>
- Melendez, J. R., y El Salous, A. (2021). Factores críticos de éxito y su impacto en la Gestión de Proyectos empresariales: Una revisión integral. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVII(4), 228-242. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i4.37252>
- Mendoza, B., Béjar, J., Luna, D., Osorio, M., Jimenez, M., y Melendez, J. R. (2020). Differences in the ratio of soil microbial biomass carbon (MBC) and soil organic carbon (SOC) at various altitudes of Hyperalic Alisol in the Amazon region of Ecuador. *F1000Research*, 9. <https://doi.org/10.12688/f1000research.22922.1>
- Mesa, L., Martínez, Y., De Armas, A. C., y González, E. (2020). Ethanol production from sugarcane straw using different configurations of fermentation and techno-economical evaluation of the best schemes. *Renewable Energy*, 156, 377-388. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.091>
- Michailos, S. E., y Webb, C. (2019). Biorefinery approach for ethanol production from bagasse. In C. R. Ramesh y S. Ramachandran (Eds.), *Bioethanol Production from Food Crops: Sustainable Sources, Interventions and Challenges comprehensively covers the global scenario of ethanol production* (pp. 319-342). Academic Press <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00016-3>
- Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., Azarbaijani, R., Parsa, L., Angelidaki, I., Nizami, A-S., Bhat, R., Dashora, K., Kumar, V., Aghbashlo, M., Kumar, V., y Tabatabaei, M. (2021). Pretreatment of lignocelluloses for enhanced biogas production: A review on influencing mechanisms and the importance of microbial diversity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110173>
- Mohanty, S. K., y Swain, M. R. (2019). Bioethanol production from corn and wheat: Food, fuel, and future. In C. R. Ramesh y S. Ramachandran (Eds.), *Bioethanol Production from Food Crops: Sustainable Sources, Interventions and Challenges comprehensively covers the global scenario of ethanol production* (pp. 45–59). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00003-5>
- Mohapatra, S., Ray, R. C., y Ramachandran, S. (2019). Bioethanol from biorenewable feedstocks: Technology, economics, and challenges. In C. R. Ramesh y S. Ramachandran (Eds.), *Bioethanol Production from Food Crops: Sustainable Sources, Interventions and Challenges comprehensively covers the global scenario of ethanol production* (pp. 3-27). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00001-1>

- Moula, M. M. E., Nyári, J., y Bartel, A. (2017). Public acceptance of biofuels in the transport sector in Finland. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 434-441. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.07.008>
- Nosrtpour, M. J., Karimi, K., y Sadeghi, M. (2018). Improvement of ethanol and biogas production from sugarcane bagasse using sodium alkaline pretreatments. *Journal of Environmental Management*, 226, 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.058>
- Nuanpeng, S., Thanonkeo, S., Klanrit, P., y Thanonkeo, P. (2018). Ethanol production from sweet sorghum by *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 immobilized on alginate-loofah matrices. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(S-1), 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.011>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - OCDE/FAO (2017). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026*. OECD, Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-13-es
- Ormaza, M. G., y Guerrero-Baena, M. D. (2021). Gestión de calidad y crecimiento empresarial: Análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 318-333. <https://doi.org/10.52080/rvg93.22>
- Pangsang, N., Rattanapan, U., Thanapimmetha, A., Srinopphakhun, P., Liu, C-G., Zhao, X-Q., Bai, F-W., y Sakdaronnarong, C. (2019). Chemical-free fractionation of palm empty fruit bunch and palm fiber by hot-compressed water technique for ethanol production. *Energy Reports*, 5, 337-348. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.02.008>
- Peña, S. E., y López, J. E. (2020). Desarrollo sostenible y oportunidad de aprendizaje de las biorrefinerías: Una alternativa de la biomasa. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVI(E-2), 401-413. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i0.34135>
- Pinto, A. S. S., Brondi, M. G., De Freitas, J. V., Furlan, F. F., Ribeiro, M. P. A., Giordano, R. C., y Farinas, C. S. (2021). Mitigating the negative impact of soluble and insoluble lignin in biorefineries. *Renewable Energy*, 173, 1017-1026. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.137>
- Puricelli, S., Cardellini, G., Casadei, S., Faedo, D., Van den Oever, A. E. M., y Grosso, M. (2021). A review on biofuels for light-duty vehicles in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110398. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110398>
- Rajendran, K., Rajoli, S., y Taherzadeh, M. J. (2016). Techno-economic analysis of integrating first and second-generation ethanol production using filamentous fungi: An industrial case study. *Energies*, 9(5), 359. <https://doi.org/10.3390/en9050359>
- Ramos-Soto, A. L., Londoño, D. C., Sepulveda-Aguirre, J., y Martínez-Jiménez, R. (2020). Gestión integral e integrada: Experiencia de las empresas en México. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVI(3), 31-44. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i3.33229>
- Rolz, C., De León, R., y Mendizábal, A. L. (2019). Co-production of ethanol and biodiesel from sweet sorghum juice in two consecutive fermentation steps. *Electronic Journal of Biotechnology*, 41, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.05.002>
- Sánchez, V. H., y Zambrano, J. L. (2019).

- Adoption and impact of agricultural technologies developed in Ecuador. *La Granja*, 30(2), 27-36. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.03>
- Sharma, B., Larroche, C., y Dussap, C-G. (2020). Comprehensive assessment of 2G bioethanol production. *Bioresource Technology*, 313, 123630. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123630>
- Shields, S., y Boopathy, R. (2011). Ethanol production from lignocellulosic biomass of energy cane. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(1), 142-146. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.10.006>
- Siddaway, A. P., Wood, A. M., y Hedges, L. V. (2019). How to do a systematic review: A best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. *Annual Review of Psychology*, 70, 747-770. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>
- Singh, N., Singhanian, R. R., Nigam, P. S., Dong, C-D., Kumar, A., y Puri, M. (2022). Global status of lignocellulosic biorefinery: Challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, 344(Part-B), 126415. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126415>
- Vásconez, G. H., Caicedo, L. A., Véliz, D. V., y Sánchez, F. D. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales (Vé)*, XXVII, 417-431. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36528>
- Villa, L. E., Perdomo-Ortiz, J., y Pedraza, C. E. (2021). Responsabilidad social empresarial en empresas de la industria colombiana: Una aproximación comprensiva. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(95), 918-942. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.95.29>
- Wasiak, A. L. (2017). Effect of biofuel production on sustainability of agriculture. *Procedia Engineering*, 182, 739-746. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.192>
- Wu, B., Wang, Y-W., Dai, Y-H., Song, C., Zhu, Q-L., Qin, H., Tan, F-R., Chen, H-C., Dai, L-C., Hu, G-Q., y He, M-X. (2021). Current status and future prospective of bio-ethanol industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111079. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111079>
- Zhang, K., Wells, P., Liang, Y., Love, J., Parker, D. A., y Botella, C. (2019a). Effect of diluted hydrolysate as yeast propagation medium on ethanol production. *Bioresource Technology*, 271, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.080>
- Zhang, Q., Jin, Y-L., Fang, Y., y Zhao, H. (2019b). Adaptive evolution and selection of stress-resistant *Saccharomyces cerevisiae* for very high-gravity bioethanol fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology*, 41, 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.06.003>
- Zou, C., Zhao, Q., Zhang, G., y Xiong, B. (2016). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2016.02.001>
- Zumalacárregui-De Cárdenas, L. M., Pérez-Ones, O., Rodríguez-Ramos, P. A., Zumalacárregui-De Cárdenas, B. M., y Lombardi, G. (2015). Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3), 407-418. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.001>