

# Producción de biogás en el sector sucroalcoholero de Brasil

Raúl Sabadí-Díaz

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)  
Vía Blanca, No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba  
[raul.sabadi@icidca.azcuba.cu](mailto:raul.sabadi@icidca.azcuba.cu)

## RESUMEN

**Introducción.** Estudio del estado del arte de la mayoría de las fábricas de azúcar y etanol en Brasil, que utilizan las vinazas para fertirriego y no para la producción de biogás y que, en los últimos años, han estado impulsando nuevos proyectos para producir biogás y biometano en el sector sucroalcoholero de ese país; para ello, se ha intercambiado con especialistas y se ha establecido una vigilancia tecnológica.

**Objetivo.** Abordar la evolución de la producción de biogás en Brasil e identificar las tendencias de esos nuevos proyectos.

**Conclusiones.** Existe una clara tendencia hacia la producción de biogás, a partir de vinazas y cachaza; y, de ahí, a la electricidad y el biometano. Se observa el uso de las lagunas anaerobias de flujo ascendente (LAFA) y reactores UASB, como biodigestores para vinazas. Para cachaza, se usan los reactores de mezcla completa. Las regulaciones nacionales y los incentivos son un elemento importante por la factibilidad económica limitada de los proyectos frente a fuentes de energía no renovables tradicionales.

**Palabras clave.** Bioenergía, biogás, Brasil, etanol, biometano.

## ABSTRACT

**Introduction.** Most sugar and ethanol factories in Brazil use vinasses for fertigation and not for biogas production. In recent years new projects have been promoted to produce biogas and biomethane.

**Objetivos.** To mention the evolution of biogas production in Brazil and identify the trends of these new projects.

**Materials and methods.** A state of art study is done with the following key words in Spanish: bioenergy, biogas, Brazil, ethanol, environment, circular bioeconomy, biomethane, technology, UASB, bioenergy park, sugar mill, distillery and combinations of these as the review progresses finding new options. They are also used in English and Portuguese. Information exchange with specialists is carried out. Technological surveillance is established using Google and Google Scholar alerts services to keep an update on the topic.

**Results and discussion.** This article provides an overview of how biogas and biomethane production has evolved in Brazil in the sugar-alcohol sector, identifying uses, the main plants that have been installed, the technologies used and the projects in progress.

**Conclusions.** There is a clear trend towards biogas production, mainly from vinasses and filter mud, and from there towards electricity and biomethane. Upflow anaerobic lagoons (LAFA), covered with geomembranes, and UASB reactors, are used for vinasses. For filter mud, CSTR reactors are used. National regulations and incentives are an important element considering the limited economic feasibility of the projects if compared with traditional nonrenewable energy sources.

**Keywords.** Bioenergy, biogas, Brazil, ethanol, biomethane.

## INTRODUCCIÓN

Utilizar residuos de la industria sucroalcoholera para generar biogás a través de la digestión anaerobia no es nueva, ya se menciona desde el año 1983 (1, reportado en 2). En otros trabajos (3, 4) se aborda el tema. Sin embargo, la inmensa mayoría de las destilerías en Brasil usaban la vinaza para fertirriego y no para producción de biogás, y realmente, aunque aún sigue ocurriendo, en los años más recientes se han visto nuevos proyectos para producir biogás y biometano. En cuanto a generación de portadores de energía, con el concepto de biorrefinería y/o economía circular, también se ha publicado y la experiencia de Brasil es destacada en este aspecto (5). En este trabajo se aborda la evolución de la producción de biogás en Brasil y se identifican las tendencias que se aprecian en esos nuevos proyectos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio del arte del estado de la producción de biogás en el sector sucroalcoholero de Brasil. Se utilizaron las palabras clave en español como: bioenergía, biogás, Brasil, etanol, medioambiente, bioeconomía circular, biometano, tecnología, UASB, parque de bioenergía, central azucarero, destilería y otras combinaciones similares, en la medida en que se avanzó en la revisión y se detectaron nuevas opciones.

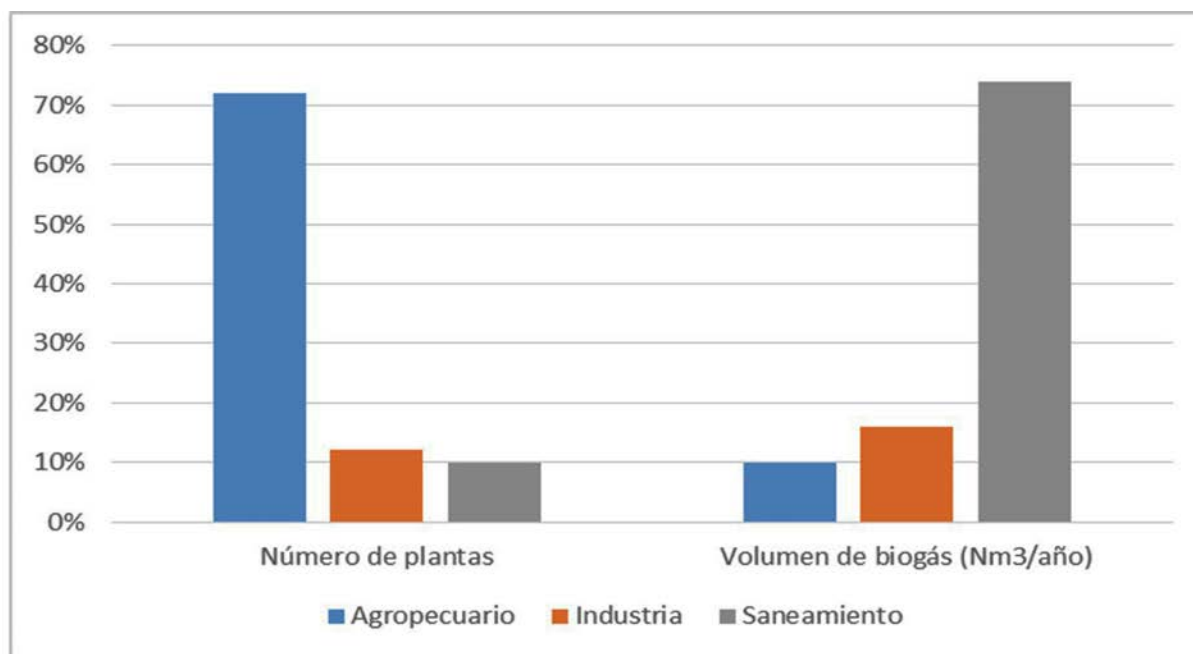
También se utilizaron diferentes combinaciones de vocablos, en idioma portugués e inglés, para formar palabras clave:

- Bioenergia, biogás, Brasil, etanol, meio ambiente, bioeconomia circular, biometano, tecnologia, UASB, parque de bioenergia, usina sucroalcooleira, destilaria,
- Bioenergy, biogas, Brazil, ethanol, environment, circular bioeconomy, biomethane, technology, UASB, bioenergy park, sugar mill, distillery.

Se intercambia con especialistas del tema. Se establece una vigilancia tecnológica usando los servicios de alertas de Google y Google Scholar para mantener una actualización sistemática.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el año 2022 existían en Brasil 936 plantas de biogás (6), que producían 2.357 MM Nm<sup>3</sup>/año y generaban 8 035 617 MWh/año. En el año 2023 se incorporan 338 nuevas plantas de biogás y biometano (6). Actualmente hay 1365 plantas registradas, con Paraná concentrando el 54 % de esa producción (347 plantas), seguido por Minas Gerais (280), Santa Catarina (85) y São Paulo (83). En una publicación realizada entre la Empresa de Pesquisa Energética (EPE) y el Centro Internacional de Energías Renovables (CIBiogás) (7), se muestran las plantas activas y el volumen de biogás producido en el año 2022 (figura 1)



**Figura 1.** Plantas de biogás y volumen producido en 2022 (adaptada de CIBiogás (7)).

Como se observa, la mayor cantidad de plantas de biogás se encuentra en el sector agropecuario, mientras que la mayor producción de biogás está en el de saneamiento y agropecuario, estos números en el sector industrial son bajos. Sin embargo, en este último sector las posibilidades de crecimiento son grandes; entre 2012 y 2022, la producción de biogás se ha multiplicado casi por tres (7). Y una parte importante del crecimiento actual y futuro está en los centrales azucareros y destilerías de etanol. En el año 2022 existían 358 usinas de producción de azúcar y etanol, 21 destilerías de etanol de maíz y se molían 38 MM t de caña (7, 8). Para el año 2033 se estima que se produzcan 33.3 billones de litros de etanol a partir de caña y 12.7 billones de litros a partir del maíz (7, 8), con la correspondiente generación de vinazas, unos 12 litros por cada litro de etanol producido. En un resumen breve, la evolución reciente se manifiesta de la siguiente forma:

- 2017: sólo ocho, de 165 destilerías en Sao Paulo (SP), realizaban la biodigestión anaeróbica, el resto usaban la vinaza como fertirrigación (2).
- 2020 / 2021: se desarrolló tecnología para digestión anaerobia de vinaza más cachaza por Geo Energética, para producir biogás todo el año (9). Se instaló una planta demostrativa de Coopcana en Paraná, de 4MW, con incrementos previstos hasta 10 MW y 16 MW.
- 2030: se espera un incremento del 800 % en la producción de biogás (7). La razón principal es que se estima un incremento del 31 % en la energía que se recupera de la caña, cuando se produce biogás de vinazas y de cachaza (10).

¿Cómo ha sido esta evolución si consideramos las plantas que se han ido instalando? Aquí se explicará este aspecto.

- 1984, 1986: se instalaron plantas del proyecto Methax en dos localidades del estado de Sao Paulo. Se produjo biometano y se adaptaron varios medios de transporte para usarlos como combustible.
- 1986: entro en operación en la Usina São Martinho, en Pradópolis (SP), la primera planta con tecnología UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (11). El equipamiento fue desarrollado y patentado por la empresa, que operó por más de 20 años, con el uso del biogás para secado de levadura.
- Usina Vale do Ivinhema (Adecoagro / Methanum), Mato Grosso do Sul:

- 2010: tecnología propia patentada.
- 2018: se instaló biodigestor de vinaza concentrada
- 2021: proyecto GEF Biogas Brasil aportó equipamiento
- 200.000 Nm<sup>3</sup>/mes de biometano
- Ampliación a 1.100.000 Nm<sup>3</sup>/mes de biometano (225 MM R\$)
- Mayo 2015: se inauguró la planta de etanol celulósico o de segunda generación (2G), que la empresa Raízen (12) montó en la usina Costa Pinto, Piracicaba (SP). Esto permitió producir más etanol con la misma cantidad de caña y, por lo tanto, hubo más vinazas para biogás.
- Agosto 2020: la usina Santa Cruz, de la empresa São Martinho, en Americo Brasiliense (SP), es la primera en ser conectada a la red de distribución de gas natural. La intención de la empresa Gas Brasileiro es distribuir biometano por sus redes de distribución en el futuro.
- Octubre 2020: se inaugura la planta de biogás que Raízen Energia S/A con Geo Energética montaron aladaña al parque de bioenergía Bonfim, Guariba (SP). Es la primera a escala comercial en el mundo en utilizar la conversión de cachaza y vinaza para la generación de electricidad (21 MW, 138 000 MWh/año).
- 2021: inicia operaciones planta de biogás en Usina Cocal, Narandiba (SP). Capacidad de producción de 114.000 m<sup>3</sup>/día, 24 mil m<sup>3</sup> de biometano/día para Gas Brasileiro, 33.000 MWh/año. Se monta con una inversión de 160 MM R\$. En julio de 2024 es seleccionada como “Mejor Planta de Biogás por encima de 1MWe Equivalente” en “The World Biogas Summit 2024”.
- Octubre 2023: Cocal inicia construcción de su segunda planta de biogás, en Paraguaçu Paulista (SP), que será 100 % dedicada a la producción de biometano. Capacidad de 60 mil m<sup>3</sup>/día. Inversión de 216 MM R\$. De conjunto con la empresa de tecnología Geo Biogás & Tech.
- Noviembre 2023: las usinas Barra Grande y San José, del grupo Zilor, fueron certificadas para comercializar etanol con destino a la producción de combustible aéreo renovable (SAF) al recibir el sello ISCC CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation).
- Mayo 2024: se inaugura la planta de etanol 2G que la empresa Raízen montó en el parque de bioenergía Bomfim, Guariba (SP). Es la mayor del mundo, 82 millones de litros por año. El plan de Raízen es montar 20 plantas con 1.6 billones de litros anuales.
- Diciembre 2024: Yara Brasil (12) comenzó a usar biometano, producido en la usina Costa Pinto, en lugar de gas natural, para producir “amoníaco verde” y así llegar al “fertilizante verde”.

En la tabla 1 se resume la información que se ha podido compilar en cuanto a tecnologías, capacidad de producción e inversión.

**Tabla 1.** Tecnologías, capacidad de producción e inversión (elaboración propia)

	<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Tipo de biodigestor / tecnología</b>	<b>Volumen (Nm<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Inversión (USD / R\$)</b>
1	1981	Río de Janeiro	Modelo indio modificado	330	
2	1984, 1986	Sao Paulo		6500	
3	1986 -1996	Usina Sao Joao, SP	UASB mesofílico (35-37 °C). Gasómetro 600 Nm <sup>3</sup>	1500	
4	1987	Usina Sao Martinho, SP	UASB termofílico (55-57°C), escala piloto	75	
5	2013 /2018	Usina Ivinhema, MS	UASB (hormigón armado)	6600 / 30 000	2 250 000 / 4 870 000
6	2020	Usina Bonfim, Guariba, SP (Raizen/Geo)	CSTR (?) Motogeneradores		30 000 000 / 153 000 000
7	2021	Usina Narandiba, Presidente Prudente, SP (Cocal/Geo)	Laguna aerobia flujo ascendente (LAFA)	114 000	31 000 000 / 160 000 000
8		Paraná, (Coopcana/ Geo)	Motogeneradores (10 MW)		
9	2021	Jalles Machado, Goiás			
10	2023	Porto do Açú, RJ (Geo / Prumo Logística)			Estudio de factibilidad en ejecución
11	2023	UISA, MT. (UISA / Geo)		10 / 30 MMm <sup>3</sup> / año	45 943 000 / 243 500 000 BNDES: 80 MM

Geo plantea que producir biogás es viable a partir de un millón de toneladas de caña por año, que implica una inversión de entre 15 y 20 millones de R\$. Geo ha invertido 450 millones de R\$ en sus proyectos.

En la tabla 2 se resume la información recopilada en cuanto a sustratos utilizados y usos del biogás.

**Tabla 2.** Sustratos utilizados y usos del biogás (elaboración propia)

	<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Usos</b>	<b>Materia prima</b>
1	1981	Río de Janeiro		Vinaza
2	1984, 1986	Sao Paulo	Combustible automotor	Vinaza
3	1986 -1996	Usina Sao Joao, SP	Combustible en camiones	Vinaza
4	1987	Usina Sao Martinho, SP	Secado de levadura	Vinaza (de jugo + miel)
5	2013 /2018	Usina Ivinhema, MS	Biogás para calentar agua. Biometano para camiones. Electricidad.	Vinaza
6	2020	Usina Bonfim, Guariba, SP (Raízen/Geo)	Generación de electricidad (21 MW)	Vinaza / cachaza
7	2021	Usina Narandiba, Presidente Prudente, SP (Cocal/Geo)	Generación de electricidad y de biometano para red públi- ca (Gas Brasileiro).	Vinaza / cachaza
8		Paraná, (Coopcana/Geo)	Generación de electricidad / 4 MW / 10 MW	Vinaza / cachaza / RAC
9	2021	Jalles Machado, Goiás		
10	2023	Porto do Açu, RJ (Geo / Prumo Logística)	Producción de biometano	
11	2023	UISA, MT. (UISA / Geo)	Generación de electricidad. Producción de biometano.	Vinaza / cachaza / RAC

### Trabajos de I+D+i

En cuanto al desarrollo y la innovación, en el 2011 la Universidad Federal de San Carlos investiga en bioreactores robustos y compactos con bacterias inmovilizadas en biopelículas. Se investiga en pequeña escala el uso de reactores anaerobios de lecho fluidizado (AFBR) (13, 14) con vinazas, con buenos resultados; pero no se ha escalado a nivel industrial debido a que se requiere optimizar parámetros como la velocidad de fluidización y la altura del lecho. Desde su fundación en 2010, el Laboratorio Nacional de Ciencia y Tecnología del Bioetanol (CTBE) desarrolla su biorrefinería virtual (15) en la que incluye las producciones de etanol 2G, biogás y biometano.

ADECOAGRO firma un convenio de cooperación técnica con el Proyecto GEF Biogás Brasil (16), implementado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO) en 2017 y liderado, en el país, por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, para desarrollar una metodología para asegurar la producción constante de biogás a partir de vinaza concentrada, lo cual se logra (17). Entre las 132 patentes registradas internacionalmente entre 2002 y 2020, relativas a esta producción, se considera que 51 son relevantes (2). Brasil domina con el 20 % de ellas, seguido de China y Estados Unidos, ambos con el 18 %.

Se ratifica que los estudios a nivel de planta piloto e industriales son pocos, comparados con los estudios a nivel de laboratorio. La concentración de metano lograda a nivel industrial es menor que lo que indican los resultados a nivel de laboratorio.

### Las políticas e incentivos

Un elemento importante en la producción de biogás y biometano son las políticas públicas y las regulaciones de incentivos, debido a una factibilidad económica a veces baja. En Brasil esto se ha entendido bien y entre las políticas adoptadas se encuentran:

- Decreto 5.163/2004. Generación distribuida,
- Ley 12.187/2009. Política nacional de cambio climático,
- Ley 12.305/2010. Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS),
- Resolución ANP 21/2016. Uso experimental del biometano,
- Ley 13.576/2017. Política Nacional de Biocombustibles (Renovabio), Consejo Nacional de Política Energética. Créditos de Descarbonización (CBios),
- Resolución ANP 734/2018. Producción de biocombustibles,
- Decreto 11.003/2022. Estrategia federal para incentivar uso de biogás y biometano,
- Resolución ANP 906/2022. Especificaciones del biometano,
- Resolución ANP 886/2022. Control de calidad del biometano,
- Resolución ANP 908/2022. Uso de combustibles experimentales.
- Existen otras regulaciones que actúan como incentivos. Entre ellas:
- Plan Nacional de Agroenergía,
- Programa de Agricultura Baja en Carbono,
- Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF),
- Programa de Incentivo a Fuentes Alternativas de Energía (PROINFA),
- Otras políticas de biogás y metano en estados del país.

### Las noticias más recientes relacionadas con este tema

- 26/4/2024. Mitsui Gase Energia y Geo bio\_gas&carbon, perteneciente al grupo Geo Biogás anunciaron recientemente la creación de GeoMit (18), una empresa conjunta para construir y operar plantas de biometano a partir de caña de azúcar y residuos agroindustriales.
- 28/6/2024. Copersucar y Geo Biogás & Carbon anuncian un proyecto conjunto para desarrollar tecnología de producción de combustible de aviación sostenible (SAF) a partir de biogás en Brasil (19). La planta piloto comienza a operar en el 2025.
- 20/9/2024. Biogás crece un 800 % en Brasil, pero la producción no supera el 1.5 % del potencial del país (20). El sector está subutilizado en la transición energética. Cuestiones regulatorias y de infraestructura son algunos de los obstáculos para el desarrollo del sector en el país.
- 22/10/2024. En un esfuerzo por liderar la transición hacia una aviación más sostenible, Brasil ha dado un paso clave al firmar una asociación estratégica con Alemania (GIZ) para desarrollar la primera planta de producción de Combustible de Aviación Sostenible (SAF) a partir de biogás (21). Este proyecto es encabezado por la empresa Geo Biogás & Carbon.
- 11/7/2024. Usina anuncia expansão de produção de biogás e biometano em MS (22). Serão investidos R\$ 225 milhões; até o final de 2027 serão construídos dois novos biodigestores.
- 27/1/2025. Conocida por ser una de las pioneras del etanol de segunda generación (E2G), GranBio lanza este lunes su nueva iniciativa para el complejo industrial de São Miguel dos Campos (AL) (23). El presidente de la empresa, Bernardo Gradin, confirmó el plan de invertir R\$ 1.5 mil millones hasta 2028 en un complejo de biorrefinerías integradas para biocombustibles sostenibles. El objetivo es producir etanol, biometano y biofertilizantes bajos en carbono.

- 10/1/2025. Los vertederos en Brasil están atrayendo un creciente interés por parte de las empresas que buscan invertir en proyectos asociados a la producción de biogás y biometano (24). Para 2029, los vertederos atraerían inversiones de hasta 8.000 millones de reales (US\$ 1.300 millones) de grandes compañías que ya operan en el sector, como Solví, Orizon, Vital, Marquise, Estre y Veolia, según la asociación de empresas de residuos y medio ambiente Abrema.
- 6/1/2025. Petrobras lanzó este lunes (6) el primer llamado a propuestas para la adquisición de biometano (25). La empresa informó que la iniciativa está alineada con los objetivos de la compañía de descarbonizar las operaciones y operar con un portafolio robusto y competitivo de oferta de gas con productos de menor huella de carbono. La iniciativa prevé la recepción de ofertas para contratos con entregas a partir de 2026, plazos contractuales de hasta 11 años y recepción en diferentes puntos de entrega, como refinerías, centrales termoeléctricas, en la red de transporte y en la red de distribución. El proceso también busca relevar las condiciones comerciales que ofrece el mercado debido a la descarbonización creada por la Ley 14.993/2024, conocida como Ley de Combustibles del Futuro.
- 16/1/2025. El Gobierno de Goiás aprobó la Ley No. 23.168/2024, que otorga beneficios fiscales a las empresas productoras de biogás y biometano (26). Los productores podrán recibir créditos ICMS de hasta el 85 % en transacciones nacionales y el 90 % en transacciones interestatales, reduciendo los impuestos que pagan actualmente. El decreto que reglamentará la ley está siendo analizado por el Ministerio de Economía, y su publicación está prevista para febrero de este año.
- 21/1/2025. El diputado estadual Roberto Cidade (UB), presidente de la Asamblea Legislativa de Amazonas (Aleam), destacó la importancia de la Ley Ordinaria No. 7.096/2024, de su autoría, como un marco en la promoción de la sostenibilidad y el desarrollo económico en el estado (27). A pocos meses de la COP 30, la legislación incentiva el uso de biogás y biometano, priorizando la gestión sostenible de residuos y la innovación tecnológica. La Ley No. 7.096/2024 establece directrices para la integración del biogás y el biometano a la matriz energética de Amazonas. Según Roberto Cidade, la propuesta es un avance en el aprovechamiento de residuos sólidos de origen industrial, doméstico, hospitalario, comercial y agrícola, contribuyendo a la reducción de los impactos ambientales.

## CONCLUSIONES

1. A pesar de que aún la penetración es baja en la industria sucro alcoholera, hay una clara tendencia a la producción de biogás y de ahí a la electricidad y el biometano.
2. También parece una tendencia usar las lagunas anaerobias de flujo ascendente y reactores UASB para vinazas. Y se usan reactores de mezcla completa para cachaza, que se mezcla con vinazas.
3. En purificación se usa un sistema biológico denominado THIOPAQ de la empresa PAQUES. También se reportan tamices moleculares.
4. El etanol 2G se comienza a integrar en la producción de biogás / biometano. RAÍZEN es líder, pero es una tecnología aún por demostrar económicamente.
5. Brasil está financiando el desarrollo de otras líneas como el hidrógeno, el SAF, los vehículos híbridos (de biocombustibles y electricidad).
6. Las regulaciones nacionales y los incentivos son un elemento importante a partir de una factibilidad comprometida.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló con el auspicio del proyecto nacional PN 3602 LH 002-059 (ICIDCA: 613), “Parques bio-energéticos en la agroindustria cubana de la caña de azúcar: una propuesta de modelo”, del Programa 02 “Desarrollo de la Agroindustria de la Caña de Azúcar” (DACA).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cho, Y.K. (1983). Performance of a Two-Stage Methane Digester for Alcohol Stillage Derived from Sugarcane Molasses. *Biotechnol. Lett.* 1983, 5, 555–560.
2. De Carvalho, J.C. *et al.* (2023). Biomethane Production from Sugarcane Vinasse in a Circular Economy: Developments and Innovations. *Fermentation* 2023, 9, 349. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040349>
3. Díaz de los Ríos, M. (2019). Biogás de subproductos de la caña de azúcar. En *Resultados de los institutos cubanos de investigación, desarrollo e innovación en las tecnologías sobre azúcar y derivados* (pp. 470-478): ICIDCA, La Habana, Cuba.
4. Ospina León, L. J., Manotas-Duque, D., Ramírez Malule, H. D. (2022). Desafíos y oportunidades de la vinaza de caña de azúcar. Un análisis bibliométrico. *Ingeniería y Competitividad*, 25(1). doi:10.25100/iyc. v25i1.12144.
5. Sabadí Díaz, R. (2023). Diversificación de la industria azucarera y bioeconomía circular: las rutas de la energía. *Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 57 (1), enero-abril 2023. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2023/03/articulo-2-1.pdf>.
6. Marques, C. (2024). Biogás crece un 800 % en Brasil, pero la producción no supera el 1.5 % del potencial del país. *Carbono.News*. <https://www.carbono.news/energia/biogas-crece-un-800-en-brasil-pero-la-produccion-no-supera-el-1-5-del-potencial-del-pais/>. Consultado 24/5/2024.
7. CIBiogas, EPE (2023). Panorama do biometano. Sector sucroenergético. Consultado 24/5/2024. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-781/Panorama%20de%20Biometano.pdf>.
8. DICYT (2023). En Brasil pretenden mapear el potencial de producción de hidrógeno en el sector de azúcar y alcohol. <https://www.dicyt.com/noticias/en-brasil-pretenden-mapear-el-potencial-de-produccion-de-hidrogeno-en-el-sector-de-azucar-y-alcohol>. Consultado diciembre 2024.
9. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202027%20aprovado%20OFICIAL.pdf>.
10. Raízen. Sitio web institucional. <https://www.Raizen.com.br/es>. Consultado enero 2025.
11. Gomes de Barros, V.; Duda, R. M.; Alves de Oliveira, R. Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. (2016). *Brazilian Journal of Microbiology*. Vol. 47, 3. Páginas 628-639 (Julio - septiembre) <https://www.elsevier.es/en-revista-brazilian-journal-microbiology-490-pdf-S1517838216302842>.
12. EIXOS (2024). Yara inicia produção de amônia renovável e planeja fábrica 100 % a biometano. <https://eixos.com.br/gas-natural/biogas/yara-inicia-producao-de-amonia-renovavel-e-planeja-fabrica-100-a-biometano/> . Consultado enero 2025.
13. Siqueira, R. G., *et al.* (2020). Anaerobic digestion of vinasse in fluidized bed reactors: Process optimization and microbial community analysis. *Bioresource Technology*. DOI: [10.1016/j.biortech.2020.123176](<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123176>). Consultado enero 2025.
14. Ramos, L. *et al.* (2021). Anaerobic digestion of vinasse in fluidized bed reactors: Process robustness between two-stage thermophilic-thermophilic and thermophilic-mesophilic systems.

- Journal of Cleaner Production. Junio 2021. DOI:[10.1016/j.jclepro.2021.128066](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128066). [https://www.researchgate.net/publication/352683822\\_Anaerobic\\_digestion\\_of\\_vinasse\\_in\\_fluidized\\_bed\\_reactors\\_Process\\_robustness\\_between\\_two-stage\\_thermophilic-thermophilic\\_and\\_thermophilic-mesophilic\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/352683822_Anaerobic_digestion_of_vinasse_in_fluidized_bed_reactors_Process_robustness_between_two-stage_thermophilic-thermophilic_and_thermophilic-mesophilic_systems). Consultado enero 2025.
15. Junqueira, T.L. *et. al.* (2013). Virtual sugarcane biorefinery: computational tool to assess different technologies/routes in sugarcane production and processing. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 28, 2013. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20193249838> . Consultado enero 2025.
  16. ADECOAGRO. Biogás y biometano. <https://sustainability.adecoagro.com/planeta/eficiencia-energetica/biogas-y-biometano/>. Consultado enero 2025.
  17. ADECOAGRO. (2023). Reporte integrado. <https://sustainability.adecoagro.com/wp-content/uploads/2024/08/Adecoagro-Reporte-Integrado-2023.pdf>. Consultado enero 2025.
  18. <https://h2businessnews.com/mitsui-y-geo-exploran-el-potencial-del-biometano-en-la-agroindustria-de-brasil/>. Consultado enero 2025.
  19. <https://energiaebiogas.com.br/copersucar-e-geo-anunciam-parceria-para-producao-de-saf>. Consultado enero 2025.
  20. <https://www.carbono.news/energia/biogas-crece-un-800-en-brasil-pero-la-produccion-no-supera-el-1-5-del-potencial-del-pais/>. Consultado enero 2025.
  21. <https://www.bioeconomia.info/2024/10/22/cooperacion-entre-brasil-y-alemania-busca-despegar-la-tecnologia-para-convertir-biogas-en-combustible-para-jets/>. Consultado enero 2025.
  22. <https://www.campograndenews.com.br/economia/usina-anuncia-expansao-de-producao-de-biogas-e-biometano-em-ms>. Consultado enero 2025.
  23. <https://www.novacana.com/noticias/granbio-anuncia-investimento-r-1-5-bilhao-biorrefinaria-integrada-oxygen-270125>. Consultado febrero 2025.
  24. <https://www.bnamericas.com/es/entrevistas/combustibles-del-futuro-los-vertederos-de-brasil-atraeran-inversiones-en-biogas-y-biometano>. Consultado febrero 2025.
  25. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/meio-ambiente/noticia/2025-01/petrobras-lanca-primeira-chamada-publica-para-aquisicao-de-biometano>. Consultado febrero 2025.
  26. <https://tratamentodeagua.com.br/goias-biogas-biometano/>. Consultado febrero 2025.
  27. <https://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=6337>. Consultado febrero 2025.