



Fecha de presentación: 3/10/2020 Fecha de aceptación: 18/10/2020 Fecha de publicación: 6/11/2020

¿Cómo citar este artículo?

Romero Romero, O., Caraballosa Granado, K. & Hartmann, M. (mayo-agosto, 2020). Papel de la biomasa en la matriz energética renovable. Estudio de caso en Sancti Spíritus. Revista *Márgenes*, 8(2), 84-104. Recuperado de <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/issue/view/1122>

TÍTULO: PAPEL DE LA BIOMASA EN LA MATRIZ ENERGÉTICA RENOVABLE. ESTUDIO DE CASO EN SANCTI SPÍRITUS

TITLE: THE ROLE OF BIOMASS IN THE RENEWABLE ENERGY MATRIX. A CASE STUDY IN SANCTI SPÍRITUS

Autores: Dr. C. Ing. Osvaldo Romero-Romero¹, Dr. C. Katia Caraballosa-Granado², Dr. Michael Hartmann³

¹ Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. SRH Berlin University of Applied Science. Ernst Reuter Platz 10, 10587, Berlin. Alemania. Colaborador del Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI) de la Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Correo electrónico: osvarom@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1447-3151>

² Doctora en Ciencias de la Información, Profesora Titular. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Sancti Spíritus, Cuba. Correo electrónico: katia@uniss.edu.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8757-0705>

³ Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. SRH Berlin University of Applied Science. Ernst Reuter Platz 10, 10587, Berlin. Alemania. Correo electrónico: michael.hartmann@srh.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8743-0278>

RESUMEN

En la actualidad crece a nivel global el consumo de energía, cuya generación depende mayoritariamente de las energías fósiles. En todo el mundo se implementan políticas y programas para cambiar la actual matriz energética de los países, basadas en combustibles fósiles, por otra con mayoritaria participación de las Fuentes Renovables de Energía (FRE), como parte de una agenda

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

global. En ese sentido, Cuba aspira a lograr el 24% de participación de las FRE en su matriz energética para el 2030.

El presente artículo tiene como objetivo realizar un análisis cuantitativo y cualitativo del papel de la biomasa como recursos energético para una matriz basada en las FRE en Sancti Spíritus.

Para ello se realiza una revisión de la bibliografía publicada en los últimos años sobre la temática en el territorio y extraer información cuantitativa y cualitativa sobre las FRE en la provincia y el papel que desempeñaría la biomasa en una matriz basada en estas fuentes.

Se obtiene como resultados más importantes que existe abundante información teórica que sustentan una posible matriz energética basada 100% en las FRE y donde la biomasa aportaría más del 90% a la vez que contribuiría en la solución de otros problemas del desarrollo socio económico territorial.

Palabras clave: energía de la biomasa; fuentes renovables; matriz energética.

ABSTRACT

Currently, energy consumption is growing globally, its generation depends mainly on fossil fuels. Policies and programs as part of a global agenda are being implemented throughout the world to change the current energy matrix of countries based on fossil fuels for one with a greater use of renewable energy sources (RES). In this sense, Cuba seeks to achieve 24% participation of the RSE in its energy matrix by 2030. The objective of this article is to conduct a quantitative and qualitative analysis of the biomass role as an energy resource for a matrix based on the RES in Sancti Spíritus. Therefore, a review of the bibliography published in recent years on the subject in the territory is carried out for extracting quantitative and qualitative information on both the RES in the province and the role that biomass would play in a matrix based on these sources. The most important results are the following: there is abundant theoretical information that supports a possible energy matrix based 100% on the RES, to which biomass would contribute with more than 90% and at the same time, it would help to solve other problems of the territorial socio-economic development.

Keywords: biomass energy; renewable sources; energy matrix.



INTRODUCCIÓN

La búsqueda continua de la sustentabilidad energética es uno de los principales retos que tiene la humanidad en la actualidad, pero a medida que avanza el tiempo, el hombre de la era moderna va agotando cada vez más los recursos energéticos para la satisfacción de necesidades energéticas entre las cuales se encuentran la iluminación, climatización, refrigeración, transporte, además de la comunicación y el confort en general, por lo que el consumo total aumenta más de 1,5% anual, con excepción del año 2009 y un incremento total del 48% en los últimos 19 años; todo eso mediante una matriz de generación energética que ha mantenido el consumo de fuentes fósiles de energía entre el 84 y el 95% desde 1988 hasta el 2019 Buenas Prácticas de Gestión pública (BP, 2020).

Esta dependencia energética ha acarreado una sobreexplotación de los combustibles fósiles, los cuales son recursos finitos. La sociedad de consumo se extiende cada vez más, utilizando recursos para una mayor calidad de vida, y a esta visible mejora de calidad de vida son llevados los países en vías de desarrollo, sin contar con condiciones que le sean favorables para formar parte de ese modelo, donde la mayor parte de la estructura de oferta energética primaria está basada en petróleo y gas natural. En adición la superpoblación del planeta acelera la excesiva dependencia de los recursos energéticos, especialmente en los países en vías de desarrollo (Lorenzo Brito & Romero Romero, 2016).

La humanidad se enfrenta a una crisis energética mundial y se deben comenzar a buscar soluciones para ponerlas en acción, antes de que se agoten los combustibles fósiles. Sin embargo, el consumo mundial de energía creció en 1,9%, así como el consumo per cápita en 0,2% en el 2019, la extracción mundial de petróleo creció en el 2018 en 2,4% equivalente a 2 millones de barriles por día, lo que acelerará el agotamiento de los recursos fósiles y los daños ambientales derivados de su explotación (BP, 2020).

En este contexto, la Constitución de la República de Cuba, en su artículo 27 dispone que el Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país, y reconoce la estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible, por lo que se requiere entre otras cosas incrementar la eficiencia energética, así como la contribución de las fuentes renovables de energía, con el propósito de elevar su participación en la matriz de generación de energía eléctrica, hasta alcanzar una

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

proporción no menor al 24 por ciento en el año 2030 (Consejo de Estado de la República de Cuba, 2019); en el 2013 la participación era solo del 4,6%.

La política cubana para el desarrollo de las fuentes renovables de energía fue diseñada entre los años 2014 y 2017, en la misma se propone un incremento de 2217 MW con tecnologías basadas en energía solar fotovoltaica, biomasa cañera, eólica, así como hidráulica y biogás (Valdes, 2015; Aguila, 2017).

La política cubana propone una participación del 58% de la biomasa en el incremento total de las FRE; sin embargo en la concepción inicial de la política no se consideró las potencialidades del biogás y aún hoy no están completamente consideradas, sobre todo para disminuir el consumo de combustibles fósiles en la generación de electricidad; mientras tanto solo la biomasa cañera es considerada dentro de la política, sin considerar otras biomásas forestales y las biomásas residuales de la producción de alimentos.

El presente artículo tiene como objetivo analizar desde la literatura científica producida en los últimos 20 años, la posible contribución que podría tener la biomasa como recurso energético a una matriz energética de la provincia de Sancti Spíritus, que teóricamente se basaría mayormente en fuentes renovables de energía y con ese resultado reflexionar con la perspectiva de todo el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente contribución realiza una revisión con carácter descriptivo-exploratorio. El método fundamental empleado en la presente investigación fue la revisión bibliográfica para ello se extrajo información cuantitativa y cualitativa de diferentes fuentes bibliográficas, obtenidas de la producción científica del Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI) de la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS) desde 1994 hasta la fecha. Los documentos consultados incluyen tesis de maestrías defendidas en diferentes programas académicos, tesis de doctorados en diferentes ramas de las ciencias, proyectos científicos realizados por el CEEPI, así como el amplio número de publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales realizadas por los investigadores de ese centro.

Los datos cuantitativos y cualitativos extraídos fueron analizados, en cuanto a sus posibles aportes en el contexto hipotético de una posible matriz energética para la provincia que tenga alta

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

participación de las energías renovables, para finalmente valorar la significación desde una perspectiva teórica que tendría la biomasa como recursos energético en una matriz energética renovable del territorio y a partir de allí proyectar valoraciones de cómo podría ser a nivel de todo el país.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bagazo de caña de azúcar

Desde 1994 y con la creación del primer grupo de trabajo científico sobre energías renovables y eficiencia energética en la UNISS, embrión de lo que pasó a ser el CEEPI tiempo después, se comenzaron los primeros trabajos científicos para el desarrollo de la cogeneración en la industria azucarera cubana de la caña de azúcar, con una mirada en la generación durante todo el año. Así aparecen las primeras publicaciones, el estudio energético de una planta de cogeneración con bagazo, donde se propone una tecnología económicamente viable para elevar los niveles existentes de cogeneración en la industria azucarera, usando bagazo de caña en la empresa Melanio Hernández de Sancti Spíritus (Romero Romero, Pérez de Alejo & Hernández León, 2002).

Como parte de estas investigaciones se trabajó en los análisis económicos financieros asociados a las inversiones, donde se demuestra que la inversión en la tecnología solo será factible si se extiende la generación de electricidad a más de 300 días al año (Romero Romero, Quintero Concepción, Hernández León & Pérez de Alejo Victoria, 2006) Además se estudió que es posible incrementar la producción energética, aunque se produzcan afectaciones en los niveles de producción de azúcar, si se muele la caña integralmente, lo cual se recomienda para maximizar el aprovechamiento energético de la biomasa cañera, si fuera prioridad con relación a la producción de azúcar (Merlos Ramírez, Hernández León & Romero Romero, 2002).

Como parte de estas investigaciones se estudió también la posibilidad de extender la generación de electricidad en la industria cubana de la caña de azúcar a 330 días, para lo cual se propone procesar variedades energéticas de caña de azúcar, producen dos veces más bagazo que las variedades tradicionales, a la par que se disminuyen los consumos internos de la fábrica de azúcar para entregar mayor cantidad de electricidad a la red pública; estos estudios se extendieron también a la otra fábrica de azúcar de la provincia Uruguay. Tanto en Melanio Hernández como en Uruguay se

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

demuestra la factibilidad tecnológica, económica y ambiental de inversiones para potenciar la cogeneración que utilicen bagazo de caña energética después de la zafra azucarera para extender la generación a 330 días al año (Romero Romero, Hernández León & Pérez de Alejo Victoria, 2005; Fumero Pérez & Romero Romero, 2010).

Para incrementar el valor agregado al uso de la caña energética como materia prima a procesar para generar energía después de la zafra, se realizaron investigaciones para extraer, almacenar y procesar el jugo de la caña energética, solo un 30% en peso de la caña, con el objetivo de fermentarlo para producir alcohol, que sería un subproducto de la producción de energía después de la zafra, demostrándose que al fermentar mezclas de jugos de caña energética con mieles se produce un incremento significativo del 5% de alcohol en el fermentado y por tanto aumenta la eficiencia en todo el proceso de producción de alcohol (Obregón Luna, Romero Romero & Hernández León, 2008) aunque se demostró la necesidad de elevarle la concentración de azúcar para su almacenamiento (Obregón Luna, Romero Romero, Abreu Naranjo & Hernández León, 2011). En estudios complementarios se comparó las emisiones que se producirían si generaran 176,6 GWh de energía eléctrica al año en una termoeléctrica con petróleo o con bagazo, lo que demostró que la generación con bagazo disminuiría las emisiones de CO₂ a la atmósfera en más de 3 000 t por cada GWh de electricidad que se genera, aunque aumentarían las emisiones de material particulado (Romero Romero, Barrera Cardoso, Hernández León & Pérez de Alejo Victoria, 2005). Esta investigación se extendió con un análisis de la correlación de las emisiones de partículas con las enfermedades respiratorias con el uso del bagazo como fuente de energía, en el que se demostró la relación directa de las emisiones particuladas de la combustión del bagazo en un incremento de las enfermedades respiratorias y los costos de salud asociado y se proponen medidas para minimizarlas en una inversión para la cogeneración con bagazo (Gil Unday, Hernández León & Llop, 2005).

A su vez experimentos de campo y el estudio de la bibliografía permitió demostrar que las variedades de caña producen mayor cantidad de biomasa por hectárea por año, comparadas con otros cultivos y los bosques energéticos y específicamente las llamadas variedades de alto contenido energético son las que mayor cantidad de materia seca por hectárea por año producen, con valores entre 50 y 90 t ha⁻¹, lo que significa menor requerimiento de área para producir la biomasa a

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

consumir fuera de zafra. Estas variedades a su vez demostraron la capacidad de crecer en suelos de baja fertilidad y ser más resistentes a enfermedades comunes de las plantaciones cañeras (Montano Perdomo & Vera Méndez, 2009). La producción de variedades energéticas de caña de azúcar podrían ser atractivas para los productores cañeros, ya que el precio estimado a pagar por tonelada sería de 848.00 \$ (Fumero Pérez & Romero Romero, 2010).

Tabla 1. Producción de materia seca planta completa diferentes cultivos

Cultivo	t de MS ha ⁻¹
Caña energética	50 a 90
Caña azucarera	30 a 82
Maíz PC	8,5
Arroz PC	4 a 15
Yuca PC	8 a 32
Eucalipto, ciclo 7 años.	12
Pino	10 a 20

Fuente: Montano Perdomo & Vera Méndez (2009)

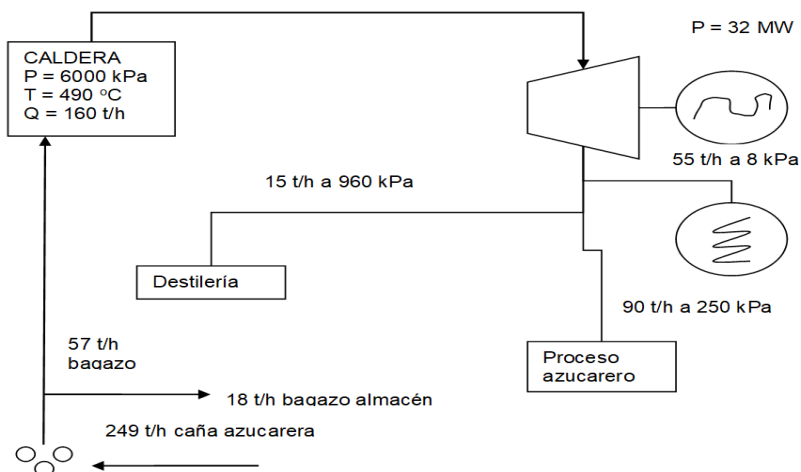


Gráfico 1. Diagrama del sistema energético para generar a alta presión con turbina de extracción condensación propuesto para la fábrica Melanio Hernández.

Fuente: Fumero Pérez & Romero Romero (2010)



La unión de todos los trabajos realizados permitió realizar la propuesta formal de operación y el esquema de cogeneración (Gráfico 1) para la fábrica de azúcar Melanio Hernández (Romero Romero, Hernández León & Pérez de Alejo Victoria, 2005; Fumero Pérez & Romero Romero, 2010).

La operación de la fábrica con esta tecnología se propone realizar en tres períodos:

Zafra azucarera. Se desarrollará en el período de tiempo que normalmente se realiza según las condiciones climáticas de cada región del país. En este período se procesará solamente la caña azucarera.

Zafra energética (No 1) en molienda. Se desarrollará al terminar la zafra azucarera y en la misma se procesará caña energética como materia prima, la que aportará bagazo como combustible y jugo para la producción de alcohol u otros derivados.

Zafra energética (No 2) sin molienda. Se desarrollará al terminar la zafra energética en molienda o en aquellos días en que la operación del TANDEM, durante la zafra azucarera, deba interrumpirse por problemas ajenos a la fábrica; en este período solo se generará energía eléctrica con biomasa almacenada.

Principales fortalezas de la tecnología para utilizar el bagazo como recurso energético todo el año en la industria azucarera de Sancti Spíritus.

- Cuadruplicar la potencia actual de generación eléctrica en Melanio Hernández de 8 a 32 MW con turbinas de extracción – condensación, generar 253 GWh de energía eléctrica en 330 días al año con bagazo, representa cerca del 40% del consumo anual de la provincia y evitaría a su vez la pérdida de otros 4 GWh de electricidad por transmisión.
- Ahorrar cerca de 53 970 t de combustible para la generación de electricidad, 210 g/kWh, considerando *fuel* a los precios del 3 de septiembre del 2008 reportados a 611 USD/t, esto significaría ahorros al país por 33 millones de USD anuales.
- Producir, cosechar y procesar caña energética con los equipos tradicionales de la fábrica de azúcar, demostrado en las pruebas a escala real realizadas en Melanio Hernández.
- Tecnología patentada para fermentar jugo de caña energética y producir alcohol y disminuir el consumo de miel de 400 a 150 kg/Hl de alcohol cuando se muele caña energética.

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

- Se reducen las emisiones de CO2 en más de 3200 t anuales por GWh de electricidad generado comparada con la termoeléctrica del Mariel.
- Posibilita el incremento de la entrega de electricidad al Sistema Electro-energético Nacional (SEN) por acciones paralelas de ahorro de energía en el proceso en cerca de 2 MW de potencia.
- La producción de energía a partir de estas variedades no compite con la producción de alimentos y se dedicará cerca del 28% del área cañera total a caña energética.
- Se incrementará el aprovechamiento energético del bagazo de la caña azucarera de 2.9 a 9.4 MWh por hectárea de caña cosechada, además la caña energética aportará cerca de 33 MWh por hectárea y en total todas las áreas cañeras aportarán cerca de 16 MWh por hectárea.
- Se podrían generar cerca de 298 kWh/tc en la industria azucarera, de los cuales 136 kWh/tc los aportaría la caña azucarera y 162 kWh/tc los aportaría la caña energética.
- Se incrementará el aprovechamiento neto de las instalaciones de la empresa azucarera y su destilería durante todo el año.
- Se prolongaría el tiempo de empleo para la producción industrial a trabajadores fijos de la empresa azucarera, logrando así mayor estabilidad salarial y condiciones de vida.
- Se podrían instalar, con una tecnología similar, en la empresa Uruguay 60 MW de potencia, generar 475 GWh anuales de electricidad, evitar importación de 101000 t de petróleo equivalente a cerca de 62 Millones de USD.

Tabla 2. Contribución estimada de generación con bagazo en perspectiva país

Caña procesada	70 Millones de toneladas
Generación por tonelada	298 kWh/tc
Generación total estimada	20 860 GWh
Contribución a la demanda	70% demanda nacional
Potencia estimada	2381 MW
Ahorros estimados por importación	2 677 millones de USD

Fuente: Elaboración propia

Biomasa de Marabú

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

Entre los años 2009 y 2012 se trabajó por investigadores del CEEPI en evaluar el potencial energético de la conversión termoquímica de la biomasa del Marabú en energía, inicialmente se describió esta biomasa, que tiene características adecuadas para su uso como fuente de energía, con un poder calorífico de 19100 kJ kg⁻¹ y 3 a 4% de ceniza con temperatura de fusión de 1460 °C. Se le realizaron experimentos de pirólisis encontrándose dos áreas bien definidas; la zona de descomposición de hemicelulosa y celulosa, y la de la descomposición de lignina, con una pérdida de peso del 60% (Abreu Naranajo & Romero Romero, 2011) (Abreu Naranjo, Foppa Pedretti, Romero Romero & Riva, 2012).

Con estos resultados y posteriores experimentos se propuso una tecnología de torrefacción de la biomasa del Marabú que permitiría generar 19 MW de potencia eléctrica en la provincia de Sancti Spíritus, cuyas especificidades, reportadas por Abreu Naranjo y colaboradores se exponen a continuación (Abreu Naranjo, Foppa Pedretti & Romero Romero, 2012).

El diagrama del sistema tecnológico del proceso de torrefacción de la simulación en American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN) es presentado en la figura 1 sobre la base de un esquema de bloque.

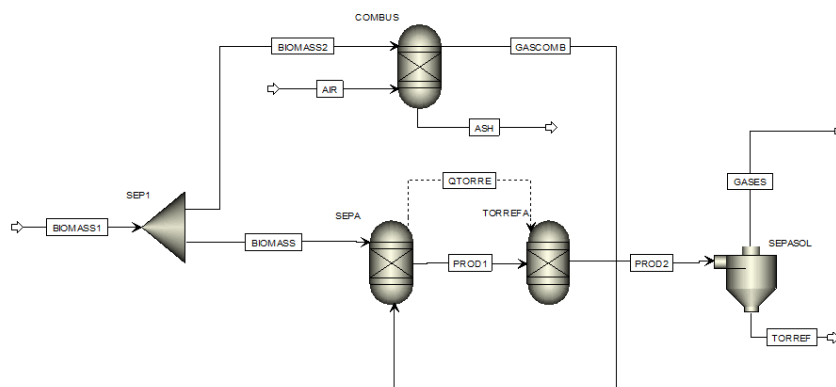


Figura 1. Diagrama de flujo de la simulación en ASPEN para el sistema tecnológico de torrefacción
Fuente: Abreu Naranjo, Foppa Pedretti & Romero Romero (2012)

Balance de materiales y energía del proceso de torrefacción

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

Como se puede apreciar en la figura 2 se propone una tecnología para producir 11054.55 kg h⁻¹ de torrefacto a las condiciones de operación 250(60), para lo que es necesario un flujo másico 13124 kg h⁻¹ de D. Cinérea a una humedad del 19%, del cual un 5.4% es destinado a la unidad de combustión para generar el calor utilizado en el proceso de torrefacción.

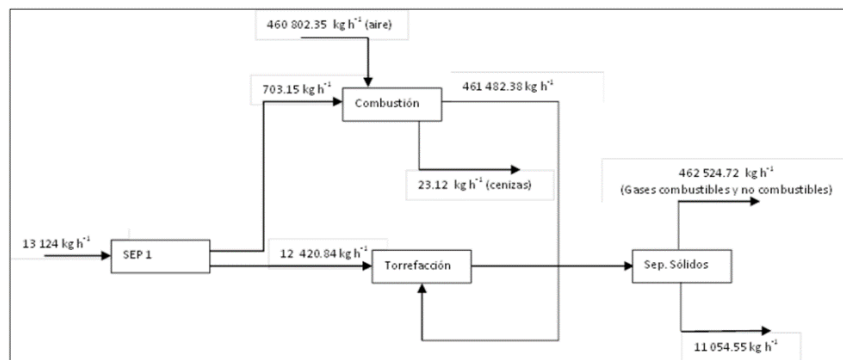


Figura 2. Balance de materiales sistema de torrefacción a 250 oC. Planta para suministrar material torrefacto como combustible a una instalación con una potencia de 19 MWe.

Fuente: Abreu Naranjo, Foppa Pedretti & Romero Romero (2012).

Del estudio se obtiene que con el proceso de torrefacción de 13 t h⁻¹ de Marabú se obtendrían 11 t h⁻¹ de material torrefacto con una eficiencia energética superior al 50%, es decir producir un material de alta densidad energética que ahorra costos de transportación para generar 19 MW de potencia eléctrica por día. Esta tecnología permitiría generar 150 GWh anuales de electricidad, evitando importar 32 044 t de petróleo para esa generación con un valor de 19,6 millones de USD (Lorenzo Brito & Romero Romero, 2016). En una mirada a nivel de país la potencia eléctrica a instalar podría estimarse en los 247 MW, que podría generar el 7% de la demanda de electricidad nacional.

Biogás a partir de biomásas residuales

Desde el año 2004 se comenzaron las investigaciones en el CEEPI relativas a la utilización de diferentes tipos de biomásas para la producción de biogás con fines energéticos, de estos trabajos se han derivado una amplia producción científica que incluye varias decenas de artículos científicos y cinco tesis doctorales defendidas satisfactoriamente.

Uno de los primeros trabajos se dirigió al análisis de la producción de biogás a partir del tratamiento de los residuos arroceros, lo que, con excepción de la cáscara de arroz que mostró muy bajo



rendimiento, poseen una composición química adecuada para la producción de biogás, con limitaciones solamente en la relación C/N. El mayor potencial de biogás de 0,52 m³kgSV⁻¹ correspondió a la paja de arroz como mono-sustrato durante un tiempo de digestión de 36 días, con 55% vol de metano bajo condiciones termofílicas. El análisis del uso energético de estos residuos vía biogás demostró que por este concepto se podrían generar una potencia de 10 MWe en la Empresa Sur del Jíbaro, para generar 79 GWh de electricidad anuales y evitar importar 16 685 t de petróleo con un costo estimado en los 10,3 millones de USD (Contreras Velazquez, Pereda Reyes & Romero-Romero, 2012) (Contreras Velazques, Pereda Reyeyz & Romero Romero, 2013) (Jiménez Hernández, Guerra & Noyola, 2015). Posteriormente se demostró la sostenibilidad del uso energéticos de los residuos arroceros combinado métodos de economía ecológica para el análisis de diferentes escenarios y alternativas en el uso del biogás (Bravo Amarante, López Bastida, Romero Romero, Shulz & Güereca, 2019).

La propuesta tecnológica propone el pretratamiento de los residuos arroceros, los que se llevarían a un reactor Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR), el biogás obtenido alimentará un generador con motor estacionario y el digestato que por una separación mecánica permite obtener la fase sólida a utilizar como biofertilizante en la producción arroceros y la fase líquida para ser recirculada al biodigestor y/o utilizada para fertirrigar los campos de arroz (Contreras Velazques, Pereda Reyeyz & Romero Romero, 2013). En la tabla 3 se observan los resultados a esperar con el tratamiento de los residuos del arroz y en la figura 3 se pueden ver las diferentes etapas del proceso.

Otros trabajos estuvieron orientados a la posibilidad de utilizar las vinazas de la destilería del alcohol para la producción de biogás, así como el tratamiento a las mezclas vinaza cachaza para la producción de energía a través de biogás obtenido. Los mismos contribuyeron a analizar la reducción de sulfuros en el proceso de digestión anaerobia (Barrera, et al., 2014), así como los efectos sobre la sostenibilidad de esta alternativa en comparación con el uso de lagunas y fertirriego; para lo cual se analizan diferentes tecnologías de reducción de sulfuros, así como para la conversión energética del biogás en electricidad y calor (Barrera Cardoso, Dewulf, Spanjers, Romero Romero & Domínguez, 2014).



De igual forma se estudió las mezclas óptimas de cachaza y vinaza para la producción de biogás con fines energéticos (López Gonzáles, Pereda Reyes & Romero Romero, 2017), así como el tratamiento con explosión de vapor y por agua caliente de la cachaza para incrementar el rendimiento en biogás por codigestión con vinaza (Lopez Gonzalez, et al., 2015) (López González, Pereda Reyes, & Romero Romero, 2016).

Tabla 3. Contribución estimada del tratamiento anaerobio de los residuos del arroz

Parámetros	Unidad	Valor
Alimentación diaria de biomasa	td-1	401,01
Alimentación diaria de agua	td-1	802,03
Alimentación total diaria	td-1	1203,04
Volumen de alimentación diaria	m3d-1	1203,04
Flujo de materia orgánica diaria al digestor	kgSVd-1	280307,8
Carga orgánica volumétrica máxima	kgSVm-3d-1	4,0
Volumen efectivo mínimo de reactor	m3	69997
Producción diaria de biogás	m3d-1	108675
Producción diaria de energía eléctrica	kWh	242344
Potencia del sistema de generación eléctrica	MW	10
Energía térmica disponible diaria	kWh	360799
Potencia térmica	MW	15

Fuente: Contreras Velazques, Pereda Reyez, & Romero Romero (2013)

**Propuesta tecnológica para aprovechamiento de la paja de arroz
Caso de estudio Empresa agroindustrial de granos “Sur del Jíbaro”**

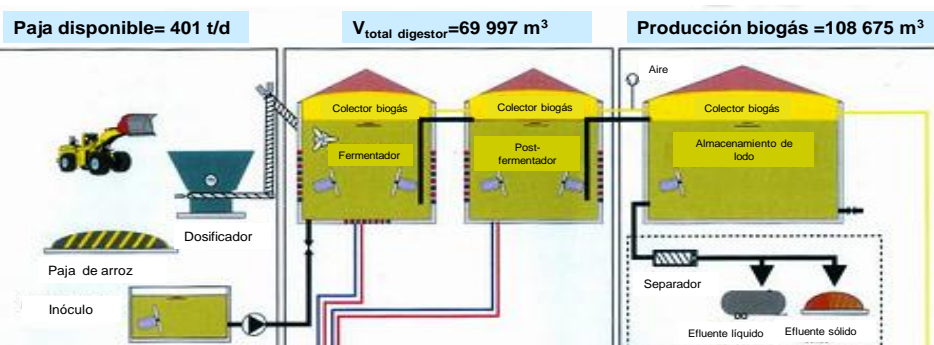


Figura 3. Propuesta tecnológica para el aprovechamiento energético de residuos del arroz

Fuente: Contreras Velazques, Pereda Reytez & Romero Romero (2013)

Los estudios utilizando vinaza de la destilería y cachaza de la fábrica de azúcar “Melanio Hernández” permitirían minimizar los constantes problemas ambientales que estas emisiones provocan y generar 2,5 MW de potencia eléctrica, así como generar 700 kW en cada uno de los centros porcinos Cacahual y Carbó para un potencial total de 1,4 MW de potencia entre ambos centros (Lorenzo Brito & Romero Romero, 2016).

A partir de los resultados obtenidos y de conjunto con el Ministerio de Energía y Minas de Cuba (MINEM) se propuso un programa nacional para el desarrollo del uso de la tecnología del biogás a escala industrial en aquellas plantas de producción que producen grandes cantidades de aguas residuales con alto contenido de DQO, o donde se pueden recolectar los residuos generados por diversos sistemas de producción. El objetivo del programa sería aportar entre el 7 y el 10% de la electricidad a la matriz de energía eléctrica de Cuba a partir del uso de biogás (Romero Romero, et al., 2015). Los detalles del análisis de la tecnología a nivel de país se exponen más adelante.



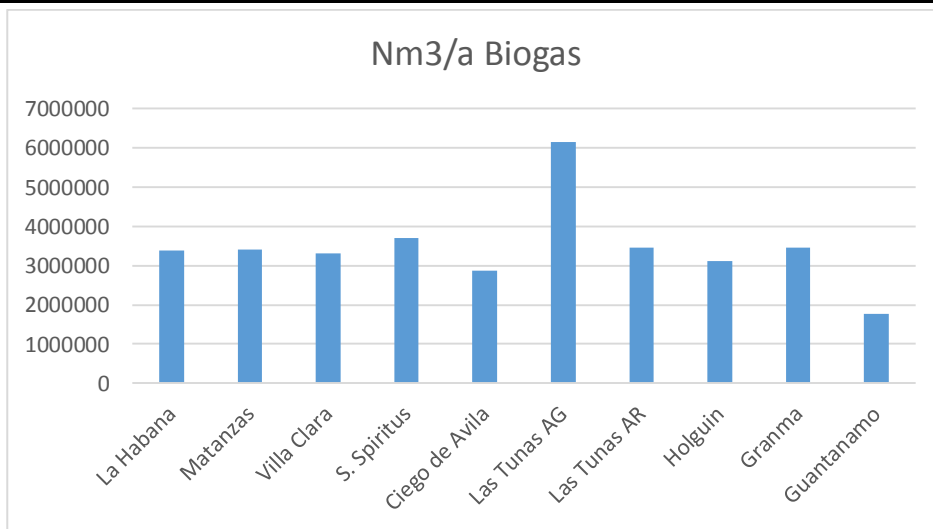


Gráfico 4. Producción de biogás estimada en las destilerías del país.

Fuente: Romero Romero (2015)

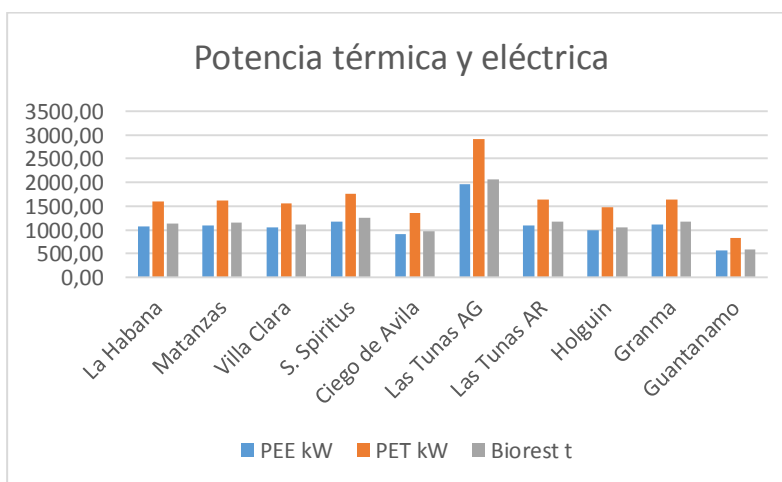


Gráfico 5. Potencia térmica y eléctrica estimada a instalar en las destilerías del país

Fuente: Romero Romero O (2015)



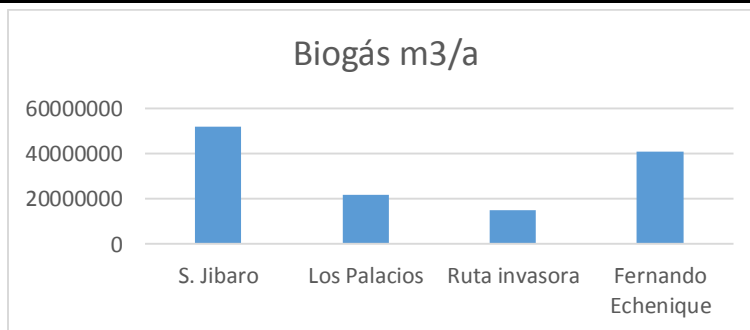


Gráfico 6. Estimación del biogás a producir por digestión de residuos arroceros en Cuba.

Fuente: (Romero Romero O. , 2015)

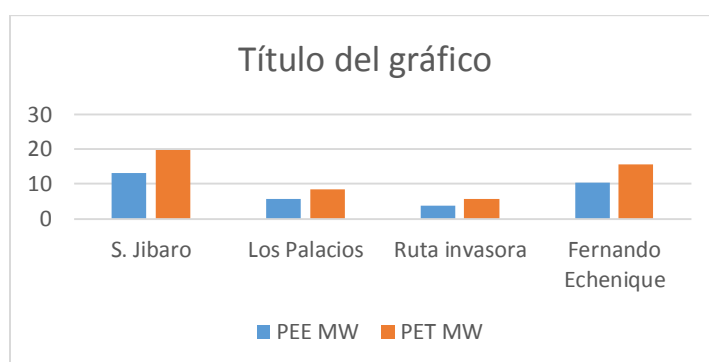


Gráfico 7. Estimación de la potencia energética a instalar en las empresas del arroz de Cuba.

Fuente: Romero Romero (2015)

Estructura previsible de la matriz energética de Sancti Spíritus si se consideran los potenciales de energías renovables identificados con el consumo del 2014

Si se consideran todos los aportes de los potenciales de energías renovables analizados, sumada la solar fotovoltaica e hidráulica instalada en 2014, estos en su conjunto podrían contribuir con 157 473,54 TEP valor que es superior a lo que se demanda en la actualidad de electricidad en el territorio, que según el diagnóstico realizado estaba en un valor de 142548,00 TEP, este resultado indica que podría sustituirse toda la energía eléctrica que se consumía de combustible fósiles por un suministro de energía eléctrica basado 100% en energías renovables (Lorenzo Brito & Romero Romero, 2016).



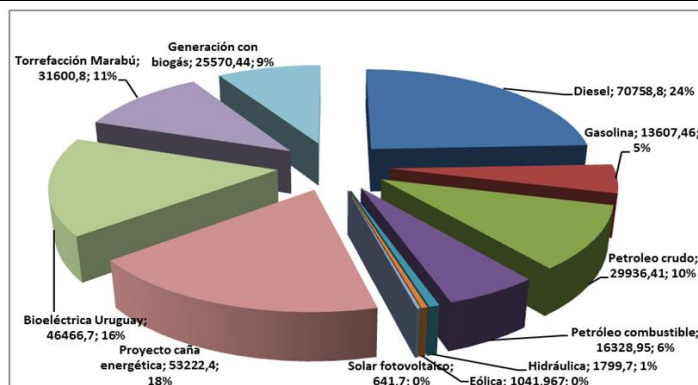


Gráfico 8. Matriz energética de Sancti Spíritus considerando potenciales de FRE en el 2014

Fuente: Lorenzo Brito & Romero Romero (2016)

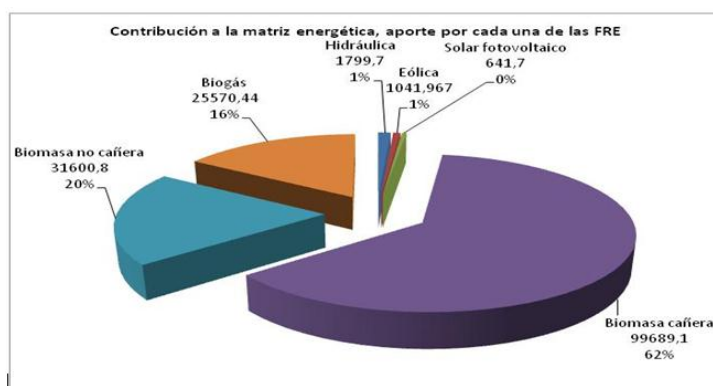


Gráfico 9. Contribución a la matriz energética teórica 2014, aporte por cada una de las FRE

Fuente: Lorenzo Brito & Romero Romero (2016)

En el gráfico 9 se analiza la participación de cada una de las fuentes renovables, donde puede verse que la biomasa cañera, la no cañera y el biogás podrían contribuir en conjunto con el 98% del total; lo que indica que la biomasa en general desempeñará un papel fundamental en cualquier matriz energética basada en fuentes renovables de energías (Lorenzo Brito & Romero Romero, 2016).

Elementos cualitativos analizados que le dan valor adicional a la biomasa como recurso energético renovable

La biomasa como portadora de energía química, a diferencia de la energía solar y del viento se puede almacenar y utilizar en momentos de picos de demanda eléctrica, pero a su vez la operación de una termoeléctrica que utiliza biomasa es similar a las termoeléctricas que utilizan petróleo, esto



permite manejar las termoeléctricas con biomasa para cubrir la demanda básica del sistema, mientras que las termoeléctricas que utilicen biogás pueden reaccionar más rápidamente para seguir los cambios de demanda eléctrica del sistema.

Por otra parte el uso del Marabú como fuente energética permitirá liberar áreas infectadas actualmente con esta variedad de acacia, para ponerlas a disposición de la producción de alimentos o la creación de bosques. Por su parte el biogás permite tratar los residuos agrícolas e industriales para extraer la energía química almacenada, al tiempo que se eliminan los impactos negativos de su deposición actual, adicionalmente el digestato permite aportar nutrientes a los suelos y sustituir fertilizantes sintéticos en la agricultura.

Todo lo anterior da un valor adicional a la biomasa como recurso energético al poderse integrar la producción de energía y alimentos de forma efectiva.

CONCLUSIONES

La revisión de la amplia producción científica del CEEPI sobre la utilización de la biomasa como recurso energético renovable permite estimar, a partir de consideraciones de los consumos del 2014, que es posible alcanzar una matriz energética basada al 100% en las energías renovables, a esa matriz teórica, la biomasa cañera, la no cañera y el biogás contribuirían con un 98% del aporte de las FRE, lo que demuestra la importancia de la biomasa como recursos energético entre todas las fuentes renovables de energía. En una perspectiva nacional, considerando los resultados científicos del CEEPI, la biomasa cañera y no cañera unido al biogás podrían contribuir con cerca del 87% de la demanda de energía eléctrica nacional, ratificando la importancia de esta fuente. Por otra parte, el uso de la biomasa tiene cualitativamente otras ventajas adicionales, como lo constituye el poder cubrir la carga básica del SEN, la posibilidad de integrarse con las producciones agrícolas minimizando el impacto ambiental por sustitución de agroquímicos, la mayor protección de los suelos y la reducción de las emisiones totales de CO².

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

- Abreu Naranjo, R., Foppa Pedretti, E. & Romero Romero, O. (2012). *Utilizzo energetico della biomassa ligno-cellulosica ottenuta da Dichrostachys cinerea in processi di termodecomposizione* (Tesis Doctoral). Ancona, Italia: Università Politecnica delle Marche.
- Abreu Naranjo, R., Foppa-Pedretti, E., Romero-Romero, O. & Riva, G. (Noviembre, 2012). Energy characterization of MARABU. *Biomass and Bioenergy*, 170 - 175.
- Abreu Naranajo, R. & Romero Romero, O. (Junio, 2011). Modelling and determination of the kinetic parameters of the pyrolysis of *Dichrostachys cinerea*. *International Conference for Renewable Energy*, 15 - 20.
- Aguila, M. (2017). Avances en las energías renovables en Cuba. *Intercambio entre Cuba y China sobre Energía Renovable y Uso Eficiente de la Energía*. Beijing, China: Recuperado de <https://cubadebate.cu>
- Barrera Cardoso, E., Dewulf, J., Spanjers, H., Romero Romero, O. & Domínguez, E. R. (2014). *The anaerobic digestion of a very high strength and sulfate rich vinasse: from experiments to modeling and sustainability assessment*. Gante, Bélgica (Tesis de doctorado) UGhent.
- Barrera, E. L., Spanjers, H., Romero, O., Domínguez, Rosa, E. & Dewulf, J. (Julio 2014). Characterization of the sulfate reduction process in the anaerobic digestion of a very high strength and sulfate rich vinasse. *Chemical Engineering Journal*. 383-393.
- Bravo Amarante, E., López Bastida, E., Romero Romero, O., Shulz, R. K. & Patricia Güereca, L. (2019). *Metodología para valorar la sostenibilidad de la gestión de residuos agrícolas con fines energéticos*. Cienfuegos: (Tesis de Doctorado) Universidad de Cienfuegos UCF.
- Buenas Prácticas (BP) Statistical Review of World Energy (2020). Germany.
- Consejo de Estado de la República de Cuba. (2019). *Decreto-Ley No. 345 (GOC-2019-1063-095) Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía*. *Gaceta Oficial de la República*.
- Contreras Velazques, L. M., Pereda Reyez, I. & Romero Romero, O. (2013). *Digestión anaerobia de residuos de la agroindustria arroceras cubana para la producción de biogás*. Santa Clara: (Tesis de Doctorado) Universidad Central de Las Villas (UCLV).
- Contreras Velazquez, L., Pereda-Reyes, I. & Romero-Romero, O. (Enero 2012,). Energetic use of rice residuals by bio-conversion. Study case Cuba. *Dyna Energía y Sostenibilidad*, 20 - 31.
- Fumero Pérez, T. & Romero Romero, O. (2010). *Propuesta Integral para la generación continua de electricidad con bagazo utilizando caña energética como materia prima al terminar la zafra azucarera en la Empresa Melanio Hernández*. Sancti Spíritus, Cuba: (Tesis de Grado) Universidad de Sancti Spíritus (UNISS).



- Gil Unday, Z., Hernández León, R. A. & Llop, M. (2005). *Estudio del impacto ambiental del uso del bagazo como fuente de energía en centrales azucareros en Cuba. Estudio de caso "Melanio Hernández*. Girona, España: (Tesis Doctoral) Universitat Girona.
- Jiménez Hernández, J., Guerra, G. & Noyola, A. (2015). *Adición de paja de arroz y arcillas residuales a la digestión anaerobia de estiércol porcino. Efecto sobre la comunidad procariota productora de metano*. Habana: (Tesis de doctorado) Universidad de La Habana (UH).
- López González, L. M., Pereda Reyes, I. & Romero Romero, O. (Julio 2017). Anaerobic co-digestion of sugarcane press mud with vinasse on methane yield. *Waste Management* . Recuperado de <https://reserchgate.net>
- López González, L. M., Pereda Reyes, I. & Romero Romero, O. (2016). *Efecto del pre-tratamiento de la cachaza y su codigestión con vinaza en la digestión anaerobia*. Santa Clara, Cuba (Tesis Doctoral) Universidad Central de Las Villas (UCLV).
- Lopez Gonzalez, L. M., Pereda Reyes, I., Romero Romero, O., Budde, J., Heiermann, M. & Vervaeren, H. (Noviembre 2015). Antagonistic Effects on the Methane Yield of Liquid Hot-Water Pretreated Press Mud Fractions Co-digested with Vinasse. *Energy & Fuels*, 7284 - 7289. Recuperado de <https://pubs.acs.org>
- Lorenzo Brito, L. M. & Romero Romero, O. (2016). *Matriz Energética de la Provincia Sancti Spíritus. Consideraciones desde los Potenciales de las Energías Renovables y el Consumo del 2014*. Sancti Spíritus, Cuba: (Tesis de Maestría) Universidad de Sancti Spíritus (UNISS).
- Merlos Ramírez, M., Hernández León, R. A. & Romero Romero, O. (Abril–Junio 2002). Posibilidades energeticas de la molida de caña integral. *Centro Azúcar*, pp. 16 - 23. Recuperado de <https://centroazucar.uclv.edu.cu>
- Montano Perdomo, I. & Vera Méndez, A. (2009). *Factibilidad del uso de la caña de azúcar (sacharum officinarum lin) (energética), como combustible renovable en la empresa azucarera Melanio Hernández*. Cienfuegos, Cuba (Tesis de Maestría) Universidad de Cienfuegos (UCF).
- Obregón Luna, J. d., Romero Romero, O., Abreu Naranjo, R. & Hernández León, R. A. (Mayo 2011) Jugos de caña energética para producir bioetanol (VI): determinación algorítmica del% Brix límite inferior de conservación. *Ingeniería química*. Recuperado de <https://scielo.org.mx>
- Obregón Luna, J. d., Romero Romero, O., Hernández León, R. A. & RA. (Junio 2008). Caracterización fermentativa alcohólica de jugos de caña energética. *Ingeniería química*. Recuperado de <https://dianlet.unirioja.es>
- Romero Romero, O., Barrera Cardoso, E. L., Contreras Velázquez, L. M., López González, L. M., Jiménez Hernández, J. & Bravo Amarante, E. (2015). *Propuesta de programa nacional para el*



desarrollo del biogás en Cuba. Sancti Spíritus, Cuba: Documento de trabajo del CEEPI de la Universidad de Sancti Spíritus (UNISS).

Romero Romero, O., Barrera Cardoso, E. L., Hernández León, R. A. & Pérez de Alejo Victoria, H. (Septiembre 2005). Diagnóstico de las emisiones en un proyecto de cogeneración con bagazo. *Centro Azúcar*, 48 - 54.

Romero Romero, O., Hernández León, R. A. & Pérez de Alejo Victoria, H. (2005). *Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra*. Santa Clara, Cuba: (Tesis de doctorado) Universidad Central de Las Villas (UCLV).

Romero Romero, O., Pérez de Alejo, H. & Hernández León, R. A. (Abril-Junio 2002). Estudio energético para el desarrollo de una planta de cogeneración en la industria azucarera. *Centro Azúcar*, 48 - 55. Recuperado de <https://centroazucar.uclv.edu.cu>

Romero Romero, O., Quintero Concepción, E., Hernández León, R. & Pérez de Alejo Victoria, H. (Abril-Junio 2006). Análisis de costos y factibilidad económica de una inversión para cogenerar en la industria azucarera. *Centro Azúcar*, 52 - 57. Recuperado de <https://centroazucar.uclv.edu.cu>

Valdes, A. (2015). Desarrollo de las Fuentes Renovables de Energía. *Encuentro cubano - alemán para la cooperación en energías renovables* (p. 18). La Habana: MINEM.

