

2021

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS PARA LA PRODUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS A NIVEL LOCAL Y TERRITORIAL



Centro de Estudios de Energía y
Procesos Industriales
(CEEPI)



Universidad de Sancti Spíritus "José
Martí Pérez" (UNISS)

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVO GENERAL.....	3
3. ALCANCE.....	3
4. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	4
5. DESARROLLO	5
5.1 Fundamentos teóricos.....	5
5.2 Metodologías específica.....	7
Etapa 1: Preparación y organización	7
I. Creación y entrenamiento del grupo gestor.....	7
Etapa II. Análisis situacional y estudios técnicos	8
II. Caracterización e identificación de escenarios para la producción de biogás.	8
III. Estimación de potenciales de biogás.	14
IV. Evaluación de premisas de uso final y portadores energéticos equivalentes.	15
V. Estrategias de implementación por escenario	19
Etapa III. Programación.....	19
VI. Determinar un cronograma general de implementación.....	19
VII. Elaborar un plan de capacitación para actores locales	20
VIII. Describir los resultados esperados del programa	21
IX. Monitoreo y evaluación del programa.....	21
6. CONCLUSIONES.....	21
7. ANEXOS.....	22
ANEXO 1. FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL.....	22
ANEXO 2. AVAL DE COMPROMISO Y CERTIFICACIÓN DE INFORMACIÓN	37
Apéndice 1 Bibliografía de consulta	

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico y social del país, depende en gran medida de resolver el problema energético mediante la utilización de las fuentes renovables de energía, así como la introducción y aplicación de tecnologías eficientes para el uso final de la energía en todos los sectores. En las *Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030*, se establece dentro de los principios rectores y ejes temáticos la necesidad de *“Transformar y desarrollar, acelerada y eficientemente, la matriz energética mediante el incremento de la participación de las fuentes renovables y los otros recursos energéticos nacionales y el empleo de tecnologías de avanzada con el propósito de consolidar la eficiencia y sostenibilidad del sector y, en consecuencia, de la economía nacional”*.

En función de ello, se publica el 28 de noviembre de 2019, *“El Decreto - ley No. 345: Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso Eficiente de la energía”*, que define como sus objetivos:

- La elevación de la participación de las fuentes renovables de energía en la generación de electricidad;
- la sustitución progresiva de los combustibles fósiles;
- la diversificación de la estructura de los combustibles fósiles empleados en la generación de energía eléctrica;
- la elevación de la eficiencia y el ahorro energéticos;
- la estimulación de la inversión, la investigación y la elevación de la eficiencia energética, así como la producción y utilización de energía a partir de fuentes renovables, mediante el establecimiento de incentivos y demás instrumentos que estimulen su desarrollo;
- el desarrollo de la producción de equipos, medios y piezas de repuesto por la industria nacional, para el aprovechamiento de las fuentes renovables y la eficiencia energética; y
- el establecimiento en el sector estatal de un sistema de trabajo, que incluya la planificación de las tareas que posibilite el cumplimiento de los objetivos trazados.

En este *Decreto - ley No. 345* se establece como fuentes renovables de energía en su inciso f) *los residuos agrícolas, pecuarios, industriales y desechos sólidos urbanos para la producción de biogás*. En concordancia con esto en 2020 se elabora y presenta el *“Programa General para el Desarrollo local en el uso del BIOGÁS como fuente energética y de disminución de la Contaminación Ambiental en Sancti Spíritus”* de alcance nacional, elaborado por el grupo provincial de Biogás de Sancti Spíritus, cuya implementación piloto fue realizada en la misma provincia.

En adición, la *Resolución del 123 del MINEM*, complementaria al *Decreto-Ley No. 345* ha indicado que para el desarrollo de las FRE:

- a) las organizaciones superiores de dirección empresarial, los sistemas empresariales de las administraciones provinciales y municipales, así como las entidades presupuestadas, que dan encargadas de la planificación, la inclusión en el plan de la economía, la ejecución,

- b) sostenibilidad y control de las acciones necesarias, destinadas al incremento en la utilización de estas fuentes en las empresas, instalaciones y territorios de su competencia, para lo cual tienen en cuenta como criterio económico principal el costo beneficio país.
- c) el sistema empresarial de las actividades agropecuarias, forestal y el Grupo Azucarero AZCUBA, elabora programas para aprovechar la biomasa forestal y sus residuos para generar electricidad y calor, en función de los resultados de los análisis técnico-económicos.
- d) las empresas encargadas de la recolección de los residuos sólidos urbanos, aplican las tecnologías requeridas que aprovechan estos para su valorización energética; en dependencia de los volúmenes de residuos y de la factibilidad técnica económica de cada escenario.
- e) los sistemas empresariales, las cooperativas del sector agropecuario, la industria alimentaria y otros que generan residuales orgánicos, aplican tecnologías para su aprovechamiento y obtención de biogás, y adquieren los equipos necesarios para el empleo total del biogás producido, tanto para la cocción de alimentos, calentamiento de agua, generación de electricidad u otros usos; sin liberar metano a la atmósfera.

A pesar de ello, y de todas las políticas establecidas respecto a las fuentes renovables de energía, la producción de biogás y su uso final para fines energéticos aún no se tiene en cuenta en las matrices energéticas municipales. El desarrollo de las plantas de producción de biogás a lo largo del país durante las últimas 4 décadas ha sido el resultado de un arduo e intencionado trabajo, en un inicio desde la extinta Comisión de Energía, y después de varias entidades (Instituto de Investigaciones Porcinas, CNIC, algunas universidades, entre otras), destacándose el Movimiento de Usuarios del Biogás (MUB) que tiene una vasta vitrina de resultados. Lo que se puede observar hoy en los campos cubanos, en granjas privadas, de pequeños productores o empresas estatales, es producto de una labor consensuada, larga y profunda de convencimiento, de mostrar tecnologías apropiadas, de conocimiento acumulado y de solución a problemas encontrados a nivel local y regional, con protagonistas en prácticamente todo el territorio nacional, apoyados en una buena parte por la colaboración internacional.

Sin embargo, estudios teóricos sobre el potencial de biogás en el país (Apéndice 1), muestran que existe un incipiente aprovechamiento de los residuales biodegradables, por lo que se impone la elaboración de “Programas para el desarrollo del biogás a escala local”, que logren desarrollar estos procesos a nivel territorial y la utilización eficiente del biogás para la generación de calor (uso tecnológico, doméstico y en instituciones sociales), la generación de electricidad y el uso en medios de transporte; con énfasis en la cocción de alimentos y la sustitución de combustibles fósiles en el sector agroindustrial, teniendo en cuenta los potenciales de residuos existentes, el uso de tecnologías apropiadas y recursos de las industrias locales, la minimización de los recursos importados y la definición correcta de los actores del proceso inversionista; en aras de cerrar ciclo y contribuir al desarrollo socio económico del país.

Insertar la producción de biogás en las prioridades o líneas estratégicas que se definen como parte de la Estrategia de Desarrollo Municipal (EDM), dependerá de establecer políticas locales, programas, proyectos u otras acciones complementarias, y ello, de conjunto con su evaluación, conformarán el ciclo de la planificación continua que conlleve al desarrollo de la temática en el municipio (Figura 1).



Figura 1. Ciclo de planificación continua para la elaboración y ejecución de programas en el marco de la Estrategia de Desarrollo Municipal (EDM) (fuente: Guzón Camporredondo, A., *et. al.*, (2020). Cataurito de herramientas II. La Habana, CEDEL, ISBN 978-959-7226-64-2).

El diseño e implementación de programas de desarrollo es un ejercicio técnico que conlleva un nivel de complejidad, pues la información disponible está casi siempre dispersa, con excepción de la proveniente de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de los municipios, aunque a veces está desactualizada o no se toma en consideración. Por otra parte, lo más frecuente es que las tareas de planeación se realicen sectorialmente, y los programas que se vinculan a las EDM exigen un trabajo en equipo multidimensional, poniendo de acuerdo todos los sectores y entidades implicados a fin de mantener el nivel de integración necesario en las propuestas. En numerosas ocasiones la información no será suficiente, y se volverá imprescindible solicitar adicionalmente *estudios técnicos específicos* que permitan sustentar sólidamente las propuestas de uso de potenciales.

En la formulación de programas se conjugan las decisiones políticas y la factibilidad real de utilización de potenciales locales, para lo que se necesitan capacidades técnicas que no siempre están presentes en el municipio. Elegir los equipos técnicos más adecuados para elaborar las propuestas de programas en dependencia de temas y disponibilidad de personas preparadas para ello será directamente proporcional a resultados rigurosos y útiles para la implementación de la EDM. Con independencia de esto, se ratifica lo forzoso de identificar con qué se cuenta y cuáles son las capacidades que faltan, considerando que la planificación del desarrollo, en particular en un contexto que se encamina a la autonomía municipal, es un proceso continuo y no una actividad que se realiza una vez, por lo que disponer de las capacidades necesarias resulta esencial.

La presente propuesta constituye una herramienta complementaria a la "Guía Metodológica para la elaboración de programas" para el caso específico de los programas de desarrollo del biogás a escala local.

2. OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología para el diseño de programas para la producción y aprovechamiento del biogás a nivel local y territorial.

3. ALCANCE

La Metodología está dirigida a los grupos de desarrollo local y territorial, equipos técnicos asesores y grupos gestores específicos, encargados del diseño, ejecución e implementación de estrategias de desarrollo municipal, políticas públicas locales, programas y proyectos referido al aprovechamiento de la biomasa residual como fuente renovable para la producción de biogás con fines energéticos.

4. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Digestión anaerobia (DA): degradación de la **materia orgánica** en ausencia de O_2 hasta la forma más reducida del carbono: el metano (CH_4), donde además se producen otros gases como el CO_2 , H_2S , H_2 , NH_3 como resultado del metabolismo coordinado y combinado de diferentes grupos de bacterias y archaeas. La eficiencia de la digestión anaerobia de la materia depende en gran medida de la estabilidad de esta población mixta ante cambios ambientales y nutricionales.

Biogás: mezcla de gases que se obtiene durante la digestión anaerobia de materia orgánica cuya proporción de metano (50-70%) le otorga propiedades **combustibles** que puede formar mezclas explosivas con el aire. De esta manera el biogás constituye un portador energético proveniente de **fuentes renovables** como la **biomasa**. Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. El biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5 500 kcal/Nm³ (6,4 kWh/Nm³). Cuando se emplean residuos agrícolas como fuente de carbono, la composición puede variar en los siguientes intervalos: metano (50-80%), dióxido de carbono (30-50%), hidrógeno (0-2%), monóxido de carbono, nitrógeno y oxígeno (0-1%), sulfuro de hidrógeno 100-700 ppm, además de amoníaco en forma de trazas. Cuando se utilizan otros residuos ricos en sulfatos, el sulfuro de hidrógeno puede llegar hasta 30 000 ppm.

Digestato: efluente de los procesos de digestión anaerobia cuya composición depende del sustrato o material orgánico degradado y de las características del proceso pero que en todo caso es un **lodo estabilizado, mineralizado** y con material orgánico remanente y particulado todo lo cual le otorga excelentes **propiedades biofertilizantes**.

Residuos aprovechables para la producción de biogás: Las fuentes de biomasa para la producción de biogás son muy diversas y pueden clasificarse en:

- restos de origen animal: residuos de establos (estiércol, orina, paja de camas), camas de ponedoras, desperdicios de matadero (sangre, vísceras), desperdicios de pesca, restos de lana y cuero.
- residuos de origen humano: basura, heces y orina.
- residuos agroindustriales: tortas de oleaginosas, bagazo, salvado de arroz, desperdicios del procesamiento de hortalizas y frutas, entre otros.
- residuos de cosechas: maloja de caña, malezas, paja, rastrojo de maíz y otros cultivos.
- restos forestales: ramitas, hojas, cortezas y ramas.
- restos de plantas acuáticas: algas marinas y camalotes.

En el caso de las excretas de animales los potenciales de producción de biogás son relativamente bajos comparados con otros tipos de residuos, por lo que, para lograr un mejor balance nutricional dentro del reactor anaerobio, se prefiere la codigestión (mezcla de diferentes residuos y estiércoles), en régimen de temperatura mesofílico o termofílico, cuya ventaja radica en aprovechar la sinergia de

las mezclas. El uso de restos de cosecha en la producción de biogás, aunque parece limitar el aporte de nutrientes de dicho material al suelo, permite acelerar la mineralización de los nutrientes y el residuo del proceso garantiza su retorno al suelo como fertilizante orgánico, así como reutilizar el recurso hídrico.

En general, los residuos más utilizados para la generación de biogás se resumen a continuación:

- **Residuos ganaderos y de granjas:** Purines de cerdo y vaca, estiércoles, gallinaza. En general, su potencial para la producción del biogás no es demasiado alto, debido a su alto contenido en nitrógeno y en algunos casos la dilución que conlleva su manejo. No obstante, por causa de su poder contaminante de suelos y por la abundancia del residuo, sumado a la ausencia de tratamientos eficientes de valorización, los residuos ganaderos constituyen la principal biomasa para la generación de biogás mediante digestión anaerobia.
- **Residuos agrícolas:** Los restos agrícolas procedentes de cultivos de consumo, cultivos energéticos o de generación de materias primas para la industria alimentaria constituyen un sustrato apropiado, en general, para la digestión anaerobia, cuya generación es abundante aunque a veces dispersa.
- **Residuos de la industria alimentaria:** El procesado de las materias primas animales y vegetales para la elaboración de productos alimenticios genera abundantes residuos susceptibles de ser aprovechados para la producción de biogás. Las industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras y similares producen unos residuos con alta carga de materia orgánica, muy adecuados para el aprovechamiento energético.
- **Residuos de matadero:** Constituyen uno de los residuos con mayor potencial para la generación de biogás. Los restos de contenidos estomacales, intestinos, etc., así como los restos de depuración de los efluentes de este tipo de residuos, suponen un sustrato muy adecuado para la digestión anaerobia.
- **Lodos de Depuradora:** Los tratamientos de depuración de aguas residuales generan lodos de difícil tratamiento, muy apropiados para la generación de biogás. De hecho, existen numerosas estaciones depuradoras de aguas residuales municipales que se autoabastecen con el aprovechamiento térmico del biogás generado.
- **Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU):** La FORSU también constituye una fuente de sustratos para la producción de biogás, suponiendo esta operación una fuente de valorización y reducción de los mismos.

5. DESARROLLO

5.1 Fundamentos teóricos

La presente “Metodología” parte de la Guía Metodológica para la elaboración de Programas de Desarrollo Local recogidas en el cataurito de herramientas (Ada Guzón Camporredondo, [et. al.]. La Habana, CEDEL, 2020. ISBN 978-959-7226-64-2); y tiene en cuenta las tres etapas que describe y los 11 pasos que responden a las mismas ([Figura 2](#)).



Figura 2. Etapas y pasos de la Guía Metodológica para la elaboración de Programas de Desarrollo Local recogidas en el cataurito de herramientas (fuente: Guzón Camporredondo, A., et. al., (2020). Cataurito de herramientas II. La Habana, CEDEL, ISBN 978-959-7226-64-2).

Los 11 pasos de esta Guía Metodológica se contextualizaron para obtener la presente **Metodología específica** para el diseño de los programas para la producción y aprovechamiento del biogás a nivel local y territorial, teniendo en cuenta la experiencia de Sancti Spíritus. La metodología específica consta, por tanto, de tres etapas (las descritas en la Guía Metodológica) y a su vez de nueve niveles específicos tal como se describe a continuación:

En la **Etapas 1: Preparación y organización**: se establecen las principales pautas para la elaboración del programa, definiendo un conjunto de aspectos clave del proceso convocado, aprobado y dirigido por el Gobierno Municipal, en específico el algoritmo de la presente metodología recomienda como primer paso la:

- I. Creación y entrenamiento del grupo gestor.

En la **Etapas II. Análisis situacional y estudios técnicos**: Se localizan y caracterizan los potenciales en el territorio, diferenciando lo que corresponde al ámbito local de lo supramunicipal, analizando su uso en la situación actual y los compromisos del municipio con el desarrollo nacional y provincial, así como las posibles prioridades y necesidad de estudios técnicos a realizar. Se consideran necesidades, oportunidades, pertinencia, factibilidad y efectividad, así como limitaciones o barreras, posibles conflictos, vulnerabilidades, entre otros aspectos, y se analizan tendencias a partir de criterios e indicadores económicos, socioculturales y ambientales clave. En específico el algoritmo de la presente metodología recomienda los siguientes pasos:

- II. Caracterización e identificación de escenarios para la producción de biogás.
- IV. Evaluación de premisas de uso final y portadores energéticos equivalentes.
- V. Estrategias de implementación por escenario.

En la **Etapas III. Programación**: Se basa en los resultados del análisis situacional, y se enfoca en la propuesta de aprovechamiento de los potenciales locales para satisfacer las demandas del territorio y

las posibilidades de otros aportes a la economía nacional, definiendo cartera de proyectos necesarios y acciones complementarias para su implementación. Por tanto, dentro de esta etapa el algoritmo de la presente metodología recomienda los siguientes pasos:

- VI. Determinación de un cronograma general de implementación.
- VII. Elaboración de un plan de capacitación para actores locales.
- VIII. Descripción de los resultados esperados del programa.
- IX. Monitoreo y evaluación del programa.

5.2 Metodología específica

Etapa 1: Preparación y organización

I. Creación y entrenamiento del grupo gestor.

Estructura y funcionamiento del grupo: Teniendo en cuenta las particularidades de cada territorio, la estructura de este grupo será flexible y se creará por designación de la máxima autoridad del gobierno. No obstante, se recomienda que lo integren (según las potencialidades y características del territorio), el especialista de la gobernación que se desempeñará como jefe y coordinador del grupo, profesores e investigadores de universidades y/o centros de investigación, el especialista del CITMA, especialistas de FRE de la agricultura, el especialista de FRE de la empresa eléctrica, especialistas de planificación física, especialistas de las empresas de proyectos, especialistas de recursos hidráulicos y actores locales con experiencia en la temática (ej. miembros del MUB).

Funciones generales del grupo: El grupo tendrá como funciones generales el asesoramiento a la gobernadora y su consejo de gobernación en la toma de decisiones relacionadas con el diseño e implementación del Programa para la producción y aprovechamiento del biogás a nivel local y territorial. Se deben aprovechar las potencialidades de los miembros en la toma de decisiones, teniendo en cuenta el poder de convocatoria de los gobiernos, y el conocimiento de los miembros en cada temática (Ej. proceso inversionista, producción de biogás, caracterización de residuales, desempeño ambiental, necesidades del escenario, entre otros). En caso necesario se debe gestionar la contratación del personal especializado para acometer sus funciones específicas.

Funciones específicas:

1. Elaborar el “Programa para el desarrollo local en el uso del biogás como fuente energética y de disminución de la contaminación ambiental”.
2. Coordinar la ejecución de los estudios de potenciales implementables para la generación de biogás y para su aprovechamiento en la provincia.
3. Garantizar la selección de las tecnologías más adecuadas para cada una de las fuentes de generación, definiendo proyectos tipos.
4. Gestionar programas de capacitación a nivel territorial para el desarrollo del programa.
5. Controlar la elaboración de los proyectos ejecutivos, ingeniería de detalle y balance material según fuentes de generación y potencial identificado.
6. Asesorar a las entidades en la obtención de la documentación y los permisos de los organismos reguladores para la ejecución de la inversión.

7. Asesorar y controlar la ejecución del proceso constructivo, de instalación y puesta en explotación de los biodigestores en la provincia.
8. Informar periódicamente a la dirección del gobierno y su consejo de gobernación sobre la marcha del programa.

Funcionamiento del grupo: Durante la etapa inicial de trabajo el grupo deberá reunirse con la frecuencia que acuerden sus integrantes y en el encuentro se controlan los acuerdos y tareas pendientes, cada miembro rinde cuenta sobre el avance de las tareas asignadas y las causas de los incumplimientos. Se definen también las prioridades del trabajo para el encuentro siguiente y se distribuyen las tareas a las comisiones de trabajo que se crean al efecto.

Cada territorio podrá elegir el método de trabajo para el logro de los resultados. Se recomienda el uso de técnicas como la **mesa redonda** pues facilita el trabajo con el sector empresarial para la obtención y **definición de los datos necesarios y certeros**, ya que permite una **dinámica de debate entre un grupo de participantes sin diferencias ni jerarquías** para presentar y desarrollar sus opiniones y puntos de vista sobre determinada materia en beneficio de una población. Su finalidad es exponer **diferentes puntos de vista** (pueden ser divergentes o contradictorios) y tratarlos, formulando preguntas y ofreciendo respuestas después de la exposición de cada participante.

Etapa II. Análisis situacional y estudios técnicos

II. Caracterización e identificación de escenarios para la producción de biogás.

Identificación de posibles escenarios para la producción de biogás

En este paso se deben **identificar las unidades de producción estatal y no estatal del territorio** cuyos procesos generan residuos orgánicos biodegradables. En reunión de intercambio con representantes de estas unidades se pueden definir sus intereses y las obligaciones contractuales para participar en este programa. Será responsabilidad de los gobiernos territoriales la inclusión o no de algunas unidades cuyo vertimiento de residuales ya cuentan con plantas de tratamiento de residuales adecuadas o aquellos cuyos residuos son reutilizados por interés gubernamental, por ejemplo, para alimento animal.

Dentro de los principales escenarios a considerar en los territorios se encuentran:

- Residuales de la industria azucarera y ronera.
- Residuales de la industria láctea.
- Residuales de la industria de conservas de frutas y vegetales.
- Aguas residuales de la industria procesamiento del pescado.
- Aguas residuales de mataderos.
- Aguas residuales del beneficio húmedo del café.
- Residuos pecuarios (excretas de animales)
 - ✓ Residuales porcinos
 - ✓ Residuales de ganado mayor y menor
 - ✓ Residuales del sector avícola (gallinaza)
- Residuos de cosechas (agrícolas y agroindustrial)

Recopilar información y caracterización de residuos

Una vez determinadas las unidades estatales y no estatales donde se generan residuos orgánicos se procede a recopilar información sobre sus características en cada entidad a partir de entrevistas, visitas técnicas y del estudio bibliográfico de cada proceso industrial o de las formas productiva no estatales.

La clasificación de los residuos permite prever las condiciones de tratamiento, de lo cual se deriva la eficiencia de su proceso de conversión energética.

El **contenido de materia orgánica y la carga contaminante** del residual permiten predecir el potencial energético existente y la urgencia desde el punto de vista ambiental para su tratamiento.

Por su parte el **contenido de humedad** es útil para la definición del tipo de pretratamiento y de la tecnología de digestión anaerobia a utilizar. Los residuales diluidos son tratados generalmente en reactores de flujo ascendente, mientras que los de altos contenidos de sólidos utilizan a los de mezcla completa.

Adicionalmente, resulta conveniente conocer la **disponibilidad del residual** en diferentes períodos, de manera que se puedan estimar las variaciones de sus potencialidades en las diferentes épocas del año. Así, por ejemplo, la cachaza (residuo de la producción azucarera) estará disponible durante el período de zafra, mientras que la vinaza durante el período de zafra alcoholera.

Las **formas de disposición** también introducen aspectos relevantes, pues existen residuales como los industriales que se vierten a sistemas de tratamiento y otros como los de cosecha que quedan en el campo y para los cuales habría que disponer elementos de recolección adicionales durante la implementación de la producción de biogás.

Particularidades sobre residuos biodegradables en el contexto cubano

Residuales de la industria azucarera y ronera

La industria azucarera y sus derivados generan grandes volúmenes de aguas residuales fundamentalmente en tiempo de zafra, donde además de las vinazas generadas durante la producción de etanol, se generan residuales del proceso de fabricación de azúcar de caña.

Se ha demostrado que por cada hectolitro de alcohol producido se generan entre 1,75-1,90 m³ de vinaza, y que éstas se caracterizan por una elevada demanda química de oxígeno (DQO) (25-59 g DQO/L). Esto hace que la digestión anaerobia de vinazas sea uno de los procesos elegidos para su tratamiento, debido a su potencial de biogás entre 400-430 m³ por kilogramo de DQO removida. El biogás obtenido de la DA de las vinazas posee un contenido de metano que oscila entre 55-70% en dependencia de la tecnología instalada.

Las aguas residuales de los procesos de fabricación de azúcar contienen una DQO muy variable entre (7-40 g/L), debido a las características del proceso de fabricación y sus fluctuaciones por la disponibilidad de caña para la molienda en estas fábricas.

La cachaza, es un residuo semisólido que constituye el 3.2% de la caña molida. Este residuo contiene en promedio un 22,4% de sólidos volátiles (SV), cuyo potencial teórico de biogás oscila entre 350-560 m³/tSV, lo que en términos de materia fresca (MF) serían 80-120 m³/tMF. Por esta razón, conociendo la cantidad de caña molida por día y la duración de la zafra se puede predecir el potencial de biogás de estos residuos en cada industria azucarera.

Residuales de la industria Láctea

Los efluentes de la industria láctea se caracterizan por su variable y alta carga contaminante debido al contenido de materia orgánica en forma de DQO (50-80 g/L) y constituyen efluentes difíciles de tratar debido a la presencia de aceites y grasas, las variaciones del pH (2-11), las variaciones de temperatura (purgas de aguas de refrigeración), los niveles elevados de nitrógeno y fósforo (productos de la limpieza), y la conductividad elevada dado por el cloruro sódico del salado de quesos). Se ha demostrado que por cada litro de leche procesada se generaran entre 3-10 litros de agua residual, sin embargo debido a diferentes fallas del proceso muchas veces estos valores llegan a superar a 15 litros por litro de leche procesada.

Dado a la variedad de productos lácteos que se procesan el contenido de materia orgánica en las aguas residuales (0,5-2,3 %SV). El potencial teórico de biogás contenido en estas aguas oscila entre 480-500 m³/tSV.

Dentro de estos residuales, el suero de queso es uno de los residuos más importantes de la industria láctea; por cada kilogramo de queso, se producen aproximadamente nueve litros de suero (85-90% del volumen de la leche), siendo el suero un contaminante muy severo que posee una DQO muy variable y alta entre 65 y 140 g/l de DQO. Sin embargo, el suero tiene varios compuestos de interés como la lactosa (4,5-6%), las proteínas (0,6-1,1%), las sales minerales (0,8-1%), el ácido láctico (0,05-0,9 %) y las grasas (0,06-0,5%) que pueden aprovecharse como alimento animal por lo que la valorización energética se recomienda en los casos muy puntuales y previa conciliación con las partes.

Residuales de la industria de conservas de frutas y vegetales

En el caso de las UEB de Conserva de frutas y vegetales se debe tener en cuenta, el tipo de fruta y/o vegetal procesado y la temporada (en días). El procesado de cada tipo de fruta o vegetales determinará el contenido de sólidos volátiles del residuo y la cantidad de este que puede ser aprovechada. Por ejemplo, cuando se procesa mango solo el 30% es digerido anaeróticamente, en el caso de la guayaba, la mayor parte de su residuo es semilla por lo que el potencial metanogénico es despreciable. Aun teniendo en cuenta el solape de las temporadas el potencial de biogás promedio resulta entre 30-41 m³/tMF en aquellas fábricas que procesan mango, guayaba y tomate. Los restos del procesado de tomate contienen en promedio 95,3% SV(%ST), con un potencial de metano de 298 m³/tSV que se traduce en 29,5 m³ de biogás (60% de metano) por tonelada de materia fresca. Los desechos del mango contienen un 95,7 % SV (%ST) pero de estos solo se puede aprovechar el 30%; ellos contienen un potencial de metano de 469 m³/tSV que en términos de biogás resulta de 41 m³/tMF. El procesado de la piña genera residuos que contiene en promedio 93,9% SV (%ST), un potencial de metano de 356 m³/tSV que en términos de biogás resulta en 75 m³/tMF. El procesado de la cebolla genera residuos con un 88,2 %SV (%ST), y contiene un potencial de metano de 400 m³/tSV, es decir, un potencial teórico de biogás de 60,7 m³/tMF, considerando un 60% de metano en el

biogás. El procesado de pimiento y frutabomba tienen en promedio un potencial de biogás de 37 y 65,7 m³/tMF, respectivamente.

Aguas residuales de la industria procesamiento del pescado

Para el caso de las aguas residuales del procesamiento del pescado, la cantidad de agua residual y las características de estas van a depender de cada tecnología de procesamiento instalada, pero en general en Cuba el uso del agua en estas industrias se encuentra entre 100-140 m³/d, y el contenido de materia orgánica oscila entre 0,7-1,4 %SV. El potencial teórico de biogás en estas aguas residuales oscila entre 360-600 m³/tMF. En general estas aguas se vierten de manera concentrada pero una pequeña porción (15%) es reutilizado para la alimentación y cultivo de peces, por tanto, para determinar un potencial disponible solo se debe considerar un 80 % del agua residual generada para tratar anaeróbicamente.

Aguas residuales de mataderos

Las aguas de matadero contienen una mezcla de excretas de ganado (porcino y/o vacuno) que se estabulan como mínimo 24-48 horas antes del sacrificio, y todos los residuos del proceso (sangre, vísceras, etc.). Se debe tener en cuenta que para el sacrificio de ganado porcino se requiere por cabeza 250 l de agua/d y para el caso del ganado vacuno unos 900 l de agua /d, de la cual solo se recupera el 85 %, ya que una parte se preserva para la fabricación de pienso animal. Estas aguas contienen en general entre 0,5-2% ST (0.5 % para las aguas de sacrificio de porcino y hasta 2% cuando ocurre sacrificio de ganado mayor), por lo que en dependencia de ello varía también el potencial de biogás entre 20-60 m³/tMF.

Aguas residuales del beneficio húmedo del café

Las aguas residuales del beneficio húmedo del café se generan durante la temporada de cosecha y procesado del grano, que puede durar de 120 a 180 días. Se debe tener en cuenta la cantidad de agua requerida por día que dependerá a su vez de la tecnología instalada, de lo cual se determinará la concentración de materia orgánica generada y el volumen total generado por tonelada de café cerezo. En general este residual contienen en promedio 80% de sólidos volátiles y una DQO que puede oscilar entre 15-18 g/L. en el caso de los residuales en Cuba se ha demostrado un potencial de biogás que oscila entre 0,186-0,346 m³/kg DQO_{removida}.

Residuos pecuarios (excretas de animales)

En general se considera que entre el 2,5 y el 10% del peso vivo del ganado es eliminado en forma de excreta, y que el contenido de sólidos volátiles en la excreta varía en dependencia de varios factores que van desde el tipo de digestión del animal (monogástricos y poligástricos), la dieta, el metabolismo, hasta el manejo final de estas excretas mezcladas o no con las camadas y que incluye la dilución en agua común de lavado y sus aditivos desinfectantes. La cantidad de excreta también depende del estadio de crecimiento del animal y la disponibilidad de esta va a depender de las condiciones de cría. Por ejemplo, la mayoría de los criadores de porcino mantienen un estabulado de 24 horas en corraletas con drenaje de la excreta por gravedad. Esto facilita que toda la excreta sea tratada de manera concentrada con picos en cada horario de fregado.

En el caso del ganado vacuno, equino, ovino y caprino la mayoría de los criadores solo mantienen un estabulado de 8-12 horas (horario nocturno) por lo que solo se podría recuperarse entre 30-50% de la excreta generada por animal por día.

En el caso de las granjas avícolas cuya habilitación (labores de limpieza, saneamiento y eliminación de la excreta y camadas), ocurre cada tres o seis meses, se deberá tener en cuenta que la excreta estará mezclada con la camada (cascarilla de arroz, aserrín, y otras partículas inertes) y que gran parte estará degradada debido al tiempo transcurrido para su tratamiento.

Residuales porcinos: la cantidad de excretas generada por estadio de animal por día se muestra en la [Tabla 1](#). Debido a que la concentración de sólidos totales varía desde 2 hasta 16% y la de sólidos volátiles de 1,7 a 12%, debido a las condiciones antes mencionadas, se recomienda trabajar con el potencial teórico de biogás con base a la materia fresca que puede estar entre 33 y 40 m³ por tonelada de materia fresca. El potencial bioquímico de metano contenido en la excreta porcina es aproximadamente 360 I_N/kgSV con un contenido de metano en el biogás de 60%.

Tabla 1: Cantidad de excreta que generan los cerdos según estadio de crecimiento

Estadio del crecimiento del cerdo	Peso del animal (Peso Promedio (kg))	Cantidad de excreta promedio por día (kg MF/d)
Semental	115-332 (223,5)	11,2
Reproductoras	105-200 (152,5)	7,6
Cochinatas (os) de reemplazo	110-120 (125,0)	6,3
Cebas*	27-97 (62,0)	3,1
Precebas	7,7-26,4 (17,1)	0,9
Crías	3,5-7 (5,25)	0.3

*Algunos productores también consideran el término “lechones” para aquellos cerdos de 30kg. Estos generan 1.5 kgMF de excreta por día

Residuales de ganado mayor: la cantidad de excretas que genera el ganado mayor también dependerá del estadio de crecimiento de estos y de la especie, estos residuos se generan además de forma agrupada, y será necesario tener en cuenta que por ciento del total puede ser aprovechable. La [Tabla 2](#) siguiente detalla el peso promedio de cada animal y el promedio de excreta que genera. En general estos estiércoles contienen entre 2 y 16% ST con un contenido de 1-12% SV. A partir de estos valores, su potencial de biogás oscila entre 25 y 35 m³/tMF aunque algunos autores plantean que puede llegar hasta 45 m³/tMF, sobre todo aquellos cuya dieta es diferenciada con base a piensos. Para el caso de los equinos (cuyo metabolismo digestivo es diferente ya que son herbívoros monogástricos), este potencial de biogás puede llegar a ser hasta 66 m³/tMF, debido a que la materia orgánica en la excreta tiene menor grado de oxidación.

Residuales del sector avícola (gallinaza): este residuo se genera de forma concentrada y su tratamiento dependerá de los momentos de habilitación de las granjas que ocurren poco frecuentes (cada 6 meses). Las gallinas ponedoras excretan entre 0,15-0,18 kg/d y las gallinas de reemplazo excretan entre 0,8-0,15 kg/d. Las UEB avícolas muestran en general un potencial de biogás elevado, cuyo rango está condicionado a la concentración de materia orgánica y a la variable potencial de

biogás informado (60-80 m³/tMF) debido a la difícil biodegradación de este residuo. Condicionado en este caso también a la habilitación de las granjas (una o dos veces al año) que provoca la generación de inhibidores del proceso anaerobio.

Tabla 2: Cantidad de excreta que generan los cerdos según estadio de crecimiento

Estadio del crecimiento del ganado mayor	Peso promedio del animal (kg)	Cantidad de excreta promedio por día (kg MF/d)
Terneros (as)	100	5,0
Añojas	160	8,0
Novillas	290	14,5
Vacas lecheras (o de engorde)	380	19,0
Torete	300	15,0
Toro	380	19,0
Potros	250	12,5
Caballos y yeguas	240	12,0

Residuos de cosechas agrícolas y agroindustrial

Los residuos de cosecha se generan de forma dispersa en un área geográfica que puede ser amplia si es un cultivo intensivo, por lo que en este caso será crucial determinar que porcentaje del residuo puede ser recolectado, teniendo en cuenta además que muchas veces se aprovecha como cobertura vegetal. Por esta razón se recomienda entonces considerar solo un 40% del residuo generado el cual deberá ser aprovechado antes de los siguientes 180 días.

El índice de generación de residuos de cosecha en la producción arrocerca (denominado paja de arroz) es de 4.86 t de paja por ha de arroz sembrado, referido a las industrias arroceras cubanas. El potencial de biogás de esta paja de arroz oscila 270-339 m³/tMF.

La cosecha de otros granos como es el caso del frijol y maíz los índices de generación referido a las toneladas de grano producido son de (1,47 y 0,77 respectivamente), en el caso del sorgo tiene un índice de generación muy similar al maíz (0.778 t/t). El desecho de cosecha de frijol contiene un 92,3 % de ST y un 84 % de SV, y además un potencial teórico de biogás de 453-500 m³/tSV. Los residuos de cosecha del maíz contienen un 90,5% ST y un 85% SV, con un potencial teórico de biogás que oscila entre 500-670 m³/tSV; por su parte el residuo de cosecha del sorgo contiene entre 85-88% SV y un potencial teórico de biogás que oscila entre 380-420 m³/tSV.

Otras informaciones necesarias:

Además de recabar información sobre el manejo de residuos en cada entidad se deben realizar **visitas técnicas y mesas de trabajo** (mesas redondas o paneles) con sus especialistas (de medio ambiente, energéticos, o jefes de producción), con el objetivo de recabar la información siguiente:

- ✓ ¿Cuáles son los Flujos productivo: ¿Qué cantidad de materia prima se procesa por día?; ¿Qué cantidad de producto (s) se obtiene por día?
- ✓ ¿Cuál es el periodo productivo o días de producción al año?

- ✓ ¿Qué residuos generan y a dónde van? ¿Qué sistemas de tratamiento actual tienen? ¿Son aprovechados para alimento animal?
- ✓ ¿Existe alguna caracterización reciente de estos residuos realizada por instituciones acreditadas?
- ✓ ¿Cuál es el gasto de agua por día, qué parte de esta va al residual?

El [Anexo 1](#) debe ser llenado por cada entidad según sus características a la vez que dará fe de lo dispuesto en este anexo mediante un AVAL de Compromiso y Certificación de Información ([Anexo 2](#)). Esta información será confidencial y sólo será utilizada para calcular y estimar el potencial de biogás disponible en cada escenario.

III. Estimación de potenciales de biogás.

A partir de la información brindada por las entidades se logrará determinar la cantidad de residuos generados expresado en toneladas de materia fresca por día (tMF/d), cuyo rango de valores de deberá coincidir con lo descrito anteriormente. Se determinará así la fracción de estos que puede aprovecharse (expresado en %), para producir biogás, teniendo en cuenta su dispersión y prioridad en el uso final (Ej. alimento animal).

Finalmente, se calcula el potencial disponible de biogás utilizando los factores de conversión descritos anteriormente y según la fórmula general siguiente: $P_{biogás} = \beta * M_{residuo} * Y_{biogás}$

donde:

$P_{biogás}$: potencial disponible de Biogás expresado en m^3 por día (m^3/d)

β : factor que expresa la cantidad de residuo que puede aprovecharse con respecto al total, expresado como tanto por uno.

$M_{residuo}$: cantidad de residuo generado, expresado en toneladas por día (tMF/d)

$Y_{biogás}$: rendimiento teórico del biogás expresado en m^3 por tonelada de materia fresca (MF) (m^3/tMF).

El rango para los rendimientos teórico de biogás obtenido experimentalmente para residuales de Cuba y conciliado con referencias internacionales se desglosa a continuación ([Tabla 3](#)):

Tabla 3. Resumen de los potenciales teóricos de los principales residuos generados en Cuba .

Residuo	Rendimiento de biogás
Vinaza	400-430 $m^3/tDQOr$
Cachaza	333-566 m^3/tSV
Residuales lácteos	480-500 m^3/tSV
Aguas residuales proceso de frutas y vegetales	30-41 m^3/tMF
Aguas residuales proceso Pescado	360-600 m^3/tMF
Aguas de matadero	20-60 m^3/tMF
Aguas residuales beneficio húmedo del café	0.186-0.346 $m^3/kgDQOr$
Estiércol porcino	33-40 m^3/tMF
Estiércol vacuno	25-35 m^3/tMF
Estiércol equino	30 – 40 m^3/tMF

Gallinaza	60-80 m ³ /tMF
Paja de arroz	270-339 m ³ /tMF
Residuos de cosecha de frijol	453-500 m ³ /tSV
Residuos de cosecha de maíz	500-670 m ³ /tSV
Residuos de cosecha de sorgo	380-420 m ³ /tSV

MF: materia fresca; SV: sólido volátil o materia orgánica; DQO: demanda química de oxígeno

IV. Evaluación de premisas de uso final y portadores energéticos equivalentes.

Determinación de los posibles usos del biogás

El biogás, al igual que otros gases como el gas propano licuado (LPG) y el gas natural, tiene una gran variedad de usos, tanto domésticos/sociales como industriales. En Cuba su principal uso ha estado dirigido a la **cocción de alimentos** (para viviendas y comedores), también existen algunas experiencias en el país en el **calentamiento de agua** (en viviendas y procesos industriales como el escaldado en mataderos), **alumbrado, soldadura**, producción de **frío** (refrigeradores a biogás), **generación de calor** (calderas a biogás), **generación de electricidad y calor** (grupos electrógenos con motores a biogás), **secado** térmico (quemadores a biogás) y combustible para **transportación**.

Según el uso final que se proyecte para el biogás producido, se le deben realizar distintos tratamientos con el fin de eliminar los compuestos no deseados (Tabla 3). De esta forma se considera obligatorio para todas las aplicaciones la eliminación del agua contenida en el biogás, mientras que la eliminación del dióxido de carbono es estrictamente necesario para su uso en el transporte y parcialmente necesario para su inyección a calderas de vapor. Por su parte, la desulfuración debe ser aplicada para todas las aplicaciones con tratamientos rigurosos en la cocción de alimentos, el transporte y en la producción de electricidad.

Tabla 3. Tratamientos a realizar al biogás previo a su utilización.

Equipo/Uso final	Eliminación de H ₂ O	Eliminación de CO ₂	Eliminación de H ₂ S
Quemador/Cocción de alimentos	●	○	●● <10ppm ¹
Quemador/Calentamiento agua	●	○	●
Grupo electrógeno/Electricidad	●	○	●● <50-500 ppm ¹
Caldera/vapor, agua caliente	●●	●	● <1000 ppm ¹
Quemador/Secado	●	○	●
Vehículos/transporte	●●	●●	●● <5ppm ²

○: No es necesario, ●: Tratamiento parcial, Tratamiento elevado: ●●. ¹Olumide Wesley et al. (2017),

²IRENA (2018)

Generación de calor. Uso doméstico/social.

Cocción de alimentos

Se pueden usar cocinas domésticas específicamente diseñadas para biogás, o realizar modificaciones a los quemadores de cocinas que usan gas propano (GLP). Esta consiste en la apertura de la válvula dosificadora de gas, para permitir un mayor caudal y modificar las entradas de aire, a modo de lograr una combustión eficiente. Los quemadores industriales tipo anillos concéntricos y con o sin doble aro, demandan mayores presiones de suministro de biogás, y es necesario ampliar hasta 2 mm la boquilla de descarga de biogás.

El consumo de biogás puede variar a razón de 0,33-0,50 m³ por persona-día en viviendas y a razón de 0,15-0,20 m³ por persona-día en comedores (Tabla 4).

Tabla 4. Índices de consumo (IC) de biogás para la cocción de alimentos

Índices de consumo	IC (m ³ /d)	Referencias
Cocción/vivienda	1,50-1,70	(López-Savran and Suárez-Hernández, 2018; Hermida, 2020)
Cocción/persona en 1 vivienda	0,33-0,50	(López-Savran and Suárez-Hernández, 2018; Hermida, 2020)
Cocción/persona en comedores	0,15-0,20	(López-Savran and Suárez-Hernández, 2018; Hermida, 2020)

El Índice de consumo (IC) de biogás en l/h para diferentes equipos de uso doméstico/social e industrial es presentado en la Tabla 5. A partir de estos valores se pueden estimar las demandas para los diferentes escenarios.

Generación de calor. Uso tecnológico.

Calentamiento de agua

Se usan quemadores industriales tipo tubular de un metro de longitud y 1 pulgada de diámetro para el calentamiento a una temperatura de 65°C de aproximadamente 1200 litros de agua para el escaldado (pelado) de porcinos. También se pueden utilizar varios quemadores del tipo de anillos concéntricos.

Generación agua caliente/vapor en calderas

El biogás se puede usar para la generación de agua caliente o vapor en calderas de biogás. Generalmente se utilizan quemadores de combustible duales, los cuales pueden quemar otros gases o aceites combustibles además de biogás (diésel, gas natural, gas GLP). La selección del tamaño de la caldera está en función de la disponibilidad y características del biogás producido, de la calidad y disponibilidad de agua y de las necesidades térmicas de agua caliente o vapor para cualquiera de sus usos.

Secado térmico con biogás

En el secado térmico el biogás se puede quemar y usar el calor directo en hornos o secadores, o generar aire caliente. Se utilizan quemadores de aire forzado, donde el aire de combustión lo suministra un ventilador. La presión de suministro requerida para el quemador es de al menos 15 mbar. Puede ser necesario utilizar un compresor de gas para obtener la presión necesaria de suministro de gas (GIZ, 2013). Ejemplo de este uso es el secado del lodo producido en la planta de biogás, lo que posibilita la reducción del volumen y la higienización del lodo, reduciendo los costos de transporte y disposición.

Tabla 5. Índice de consumo de biogás en diferentes equipos (doméstico/social e industrial).

Equipo	Característica	IC (L/h)	Referencias
Lámpara	100 candelas (aprox. 60 W)	110 a 150	(Guardado, 2007)
Refrigerador	1 m ³ capacidad	50-100	(Guardado, 2007)
Cocina doméstica (1 quemador)	Diámetro quemador 5 cm	150-200	(Guardado, 2007)
Cocina industrial (1 quemador)		1000-3000	(Guardado, 2007)
Olla arrocera		140	(Varnero Moreno, 2011)
Quemador doméstico para calentar agua		2200	(Varnero Moreno, 2011)
Quemador industrial para calentar agua (escaldado cerdo)		40 m ³ /t carne cerdo	(Hermida, 2020)
Motor para biogás	Por HP (caballo de fuerza): Desarrollo de fuerza motriz (bombeo, máquina forrajera, molinos)	0,45-0,54 m ³ /h por HP	(Guardado, 2007)
	Por kWh (generación electricidad)	0,43-0,80 m ³ /kWh	(Varnero Moreno, 2011; Hermida, 2020)
Transporte	Vehículos ligeros	6-8 m ³ /100 km	(Agencia Andaluza de Energía, 2011)
	Vehículos pesados	25-35 m ³ /100 Km	

En Cuba existen pocas experiencias en el uso del secado térmico con biogás, entre ellas están los hornos de embutido que utilizan biogás y en fase de proyecto dos ideas conceptuales para el uso del biogás en el secado de alimento animal (plantas proteicas, harina de yuca) (60-100°C), lo que posibilitaría su conservación y almacenamiento durante el periodo de lluvia. Esta operación también se puede aplicar en el secado controlado a baja temperatura de hojas de tabaco (30°C) por medio de quemadores a biogás para el tiro de aire caliente (también en fase de proyecto).

En todos los casos la valorización del biogás deberá hacerse en comparación al combustible que sustituye (Figura 2).

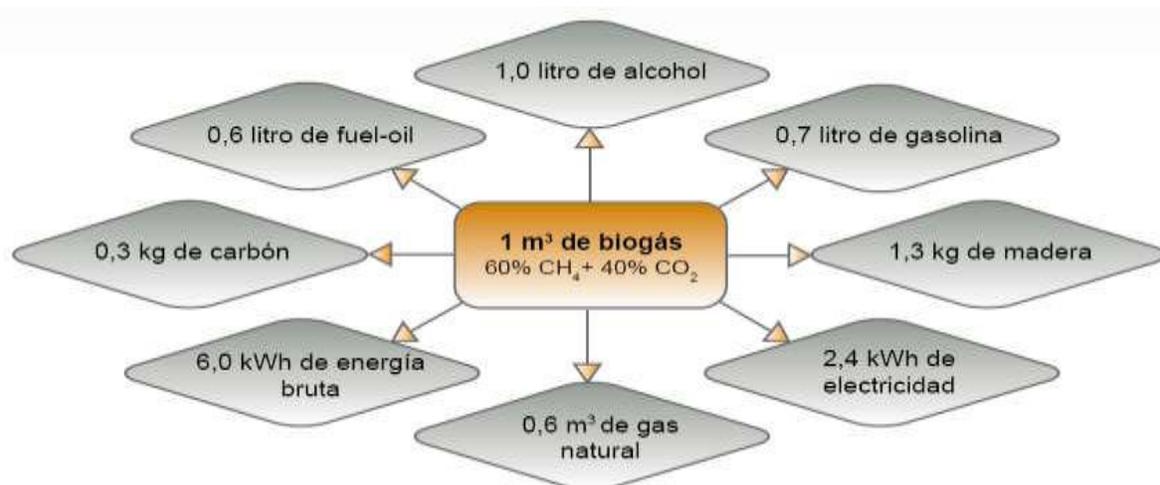


Figura 2. Equivalencia del biogás con otros combustibles (GIZ, 2013).

Generación de electricidad

La forma más eficiente de utilizar el biogás en una central de generación es produciendo cogeneración eléctrica-térmica (CHP), ya que de este modo se logran eficiencias de hasta el 90% de utilización de la energía contenida en el biogás.

Los motores utilizados pueden ser del tipo Gas-Otto o Gas-Diesel. A estos se le incorporan sistemas de recuperación de calor, compuestos por intercambiadores de calor en los sistemas de refrigeración y de eliminación de gases de combustión que reducen la temperatura de los gases de 420°C hasta unos 150°C. De esta forma, parte del calor residual generado por la combustión de biogás, que no es transformado en energía mecánica y posteriormente eléctrica, es recuperado para su uso térmico posterior en otros procesos (secado, agua caliente y vapor de baja temperatura).

Se comercializan en forma modular en distintos tamaños que van desde pocos kW hasta 4 MW, como contenedores integrados que se pueden instalar en cualquier planta de biogás.

Transporte para vehículos

El biogás para transporte debe ser purificado en un alto grado. El resultado de esta purificación es el llamado biometano (95% gas metano), el cual tiene calidad de gas natural. El proceso de purificación es extremadamente costoso por lo que solo es rentable para grandes plantas de biogás. Aunque la eficiencia de energía del biometano usado en vehículos es generalmente baja, (lo cual es común para los combustibles tradicionales), esta opción es prometedora desde que las alternativas para combustibles en el sector de transporte están limitadas. En países como Suecia, Suiza, Alemania o Francia este uso ya ha sido regulado e implementado a escala industrial.

Micro-red de biogás

Una micro-red de gas es un medio de conectar una planta de biogás a una o más instalaciones de utilización y/o almacenamiento de gas a través de tuberías. Esto vale la pena considerarlo en casos

donde no es posible utilizar todo el biogás in situ, y existen demandas de gas disponibles dentro de un radio aceptable. En principio, el procedimiento es similar al de la alimentación de bio-metano en una red de gas natural, la cual es la variante de red de gas más utilizada en países europeos. La diferencia es que los requisitos del procesamiento son menos estrictos, ya que solo se requiere secar y desulfurar el gas.

La presión del gas en la tubería es un factor crucial a ser considerado en el diseño de un sistema de distribución de biogás. Cuando el gas fluye por una tubería generalmente existe una caída de presión debido a las pérdidas por fricción. La caída de presión se incrementa con la velocidad de flujo y la distancia entre la planta de biogás y el punto de uso. Un diseño apropiado de la tubería será aquel que no cause una caída de presión superior a 2-3 cm.

V. Estrategias de implementación por escenario

El biogás tiene un valor comercial como combustible, el cual se puede utilizar para la cocción de alimentos, calentamiento, iluminación, como principales usos domésticos, pero también en la generación de energía eléctrica y/o térmica o su venta directa como gas valorado respecto de su contenido energético para sustituir combustibles fósiles.

Las opciones para el uso del biogás son diversas, estas dependerán del potencial de biogás de la planta, demandas energéticas existentes (gas, electricidad, calor) y de la inversión con la que se cuente. La prioridad será el uso del biogás en el autoconsumo de la vivienda/empresa agropecuaria/industria, pero en caso de existir excedentes se deben valorar su suministro a usuarios cercanos a donde se genera el biogás (Figura 3).

Los precios de la venta de energía eléctrica a la red nacional en Cuba incentivan el uso de la energía eléctrica producida por biogás en autoconsumo, lo cual es una política del país debido a las dificultades que traería la sincronización con la red de varias pequeñas-medianas plantas de biogás y la inestabilidad en su despacho.

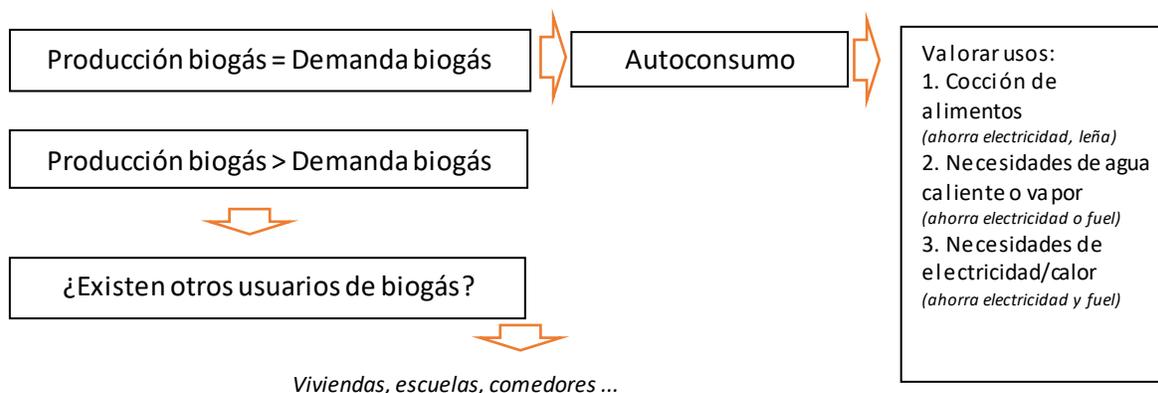


Figura 3. Estrategia de uso final del biogás por escenario (fuente: elaboración propia)

Etapa III. Programación

VI. Determinar un cronograma general de implementación

Establecer un cronograma de implementación es uno de los grandes desafíos en la elaboración del programa y puede variar de un territorio a otro. En un primer momento se deben valorar aquellos

proyectos que ya se encuentran en ejecución o que cuentan con financiamiento asignado para su construcción. Estos proyectos serían los que el programa estaría ejecutando en su primera etapa. En una segunda etapa deben considerarse los proyectos que pueden constituir interés estatal y cuyos financiamientos podrían gestarse a mediano plazo. Finalmente deberán incluirse los proyectos que conlleven a la producción de biogás a gran escala, pues ello requiere montos de inversión que deberán gestarse a largo plazo y que transitan por la existencia de estudios de factibilidad certificados e inclusión de los proyectos en carteras de oportunidades del país.

VII. Elaborar un plan de capacitación para actores locales

Asociado a los elementos técnicos de la implementación de programa es necesario concebir la capacitación del personal desde sus inicios pues habrá territorios con mayor conocimiento que otros y se necesitarán, por tanto, planes de capacitación diferenciados. Los principales temas que han sido identificados se muestran en la [Tabla 6](#). Se deben incluir, entre otros, cursos sobre Buenas Prácticas en la Producción de Biogás con fines energéticos para actores claves, decisores, directores, energéticos, medioambientalistas; cursos en “Operación de plantas de Biogás” para técnicos y operarios, y otros para especialista de alto nivel como “Bioquímica y microbiología de la digestión anaerobia”, “Elementos esenciales para la implementación de la tecnología del biogás”, “Experiencias prácticas de la producción de biogás en el contexto cubano”, “Tratamiento de aguas residuales municipales y RSU”, y “Métodos de purificación del biogás”.

Tabla 6. Plan de capacitación para actores locales

Forma Organizativa de docencia	Título del curso	Dirigido a:
Cursos Taller	Buenas Prácticas en la Producción de Biogás con fines energéticos	Actores claves, decisores, Directores, Energéticos, Medioambientalistas
Capacitación en forma de Curso Taller.	Operación de plantas de Biogás.	Técnico operario
Curso de Posgrado	Bioquímica y microbiología de la digestión anaerobia	Graduados Universitarios afines al perfil
Curso de Posgrado	Elementos esenciales para la implementación de la tecnología del biogás	Graduados Universitarios afines al perfil
Curso de Posgrado	Experiencias prácticas de la producción de biogás en el contexto cubano	Graduados Universitarios afines al perfil
Curso de Posgrado	Tratamiento de aguas residuales municipales y RSU.	Graduados Universitarios afines al perfil
Curso de Posgrado	Purificación biológica de biogás.	Graduados Universitarios afines al perfil

VIII. Describir los resultados esperados del programa

Tomando como base el cronograma de implementación se podrán establecer las metas por año, basado en indicadores como:

- ✓ Porcentaje de aprovechamiento de residuales biodegradables por año.
- ✓ Toneladas de metano por año que se dejan de emitir.
- ✓ Toneladas de bioabonos producidos por año.
- ✓ Número de personas capacitadas por año.
- ✓ Toneladas de combustibles convencionales que se ahorran por año.
- ✓ kWh eléctricos que se ahorran por año por cocción de alimentos.
- ✓ Toneladas de leña que se dejan de utilizar por año.

IX. Monitoreo y evaluación del programa

En el diseño del Sistema de Monitoreo y Evaluación del programa se definirán básicamente los siguientes elementos:

- Indicadores de resultado para cada proyecto y acción prevista.
- Indicadores de efecto asociado a los objetivos y metas de la(s) política(s) a las que responde el programa.
- Fuentes de información / datos.
- Línea base de cada indicador.
- Fuentes de verificación.
- Responsables de las acciones de Monitoreo y Evaluación.
- Recursos necesarios.
- Cronograma (frecuencia) de las acciones de Monitoreo y Evaluación.

6. CONCLUSIONES

Esta metodología específica propone un algoritmo a seguir para el diseño de **programas para la producción y aprovechamiento del biogás a nivel local y territorial**, teniendo en cuenta los escenarios existentes en cada caso. La misma consta de tres etapas que fueron establecidas en la Guía Metodológica para la elaboración de programas de desarrollo local en general, siendo adaptada a la producción de biogás a través de nueve niveles específicos. En ella se utiliza la experiencia de la provincia de Sancti Spíritus en la elaboración del *“Programa General para el Desarrollo local en el uso del BIOGÁS como fuente energética y de disminución de la Contaminación Ambiental”*. En su confección se tuvieron en cuenta índices estandarizados para las condiciones de Cuba, así como resultados y experiencias en la temática del biogás en el país.

7. ANEXOS

ANEXO 1. FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL

Unidades de la industria azucarera y sus derivados

Se solicita la cantidad total de residuales por día que genera cada entidad. Se debe trabajar con los volúmenes promedios de operación de las tres últimas zafras.

Es necesario anexar una caracterización reciente residual que se describa, realizada por laboratorios certificados para estos fines. La siguiente tabla debe completarse para cada unidad de producción porcina:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Cantidad total de agua residual (m ³ / día)	Cantidad de vinazas (m ³ / día)	Cantidad total de cachaza (ton/día)	Tiempo de operación (días/año)

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Unidades de la Industria Láctea

Se solicita la cantidad total (m³) de agua residual por día que se genera en cada entidad o Unidad de Base Productiva. Se debe trabajar con los volúmenes promedios de operación del último año.

Es necesario anexas una caracterización reciente del residual que se describa, realizada por laboratorios certificados para estos fines.

La siguiente tabla debe completarse para cada entidad:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Cantidad total de agua residual (m ³ / día)	Cantidad de leche procesada (L/día)

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Unidades de la Industria Conservas

Se solicita la cantidad total (m³) de agua residual por día que se genera en cada entidad o Unidad de Base Productiva. Se debe trabajar con los volúmenes promedios de operación del último año.

Es necesario anexar una caracterización reciente del residual que se describa, realizada por laboratorios certificados para estos fines.

La siguiente tabla debe completarse para cada entidad:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Nombre de Fruta o vegetal procesado	Cantidad total de agua residual (m ³ / día)	Cantidad total de residuo generado (ton/día) (si se conoce)	Cantidad de residuo que se reutiliza (ton/día)	Tiempo de operación (días/año)

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Unidades de la Industria Pesquera

Se solicita la cantidad total (m³) de agua residual por día que se genera en cada entidad o Unidad de Base Productiva. Se debe trabajar con los volúmenes promedios de operación del último año.

Es necesario anexar una caracterización reciente del residual que se describa, realizada por laboratorios certificados para estos fines.

La siguiente tabla debe completarse para cada entidad:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Tipo de producto	Cantidad de pescado procesado (ton/día)	Volumen (m3) agua utilizada/ton pescado	Cantidad total de residuo generado (ton/día) (si se conoce)	Cantidad de residuo que se reutiliza (ton/día)	Cantida de residuos a disponer sin reuso (ton/día)	Descripción del residual

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Unidades de la Industria de Cárnicos

Se solicita la cantidad total (m³) de agua residual por día que se genera en cada entidad o Unidad de Base Productiva. Se debe trabajar con los volúmenes promedios de operación del último año.

Es necesario anexar una caracterización reciente del residual que se describa, realizada por laboratorios certificados para estos fines.

La siguiente tabla debe completarse para cada entidad:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	No. de animales sacrificado por día (especificar tipo de animal: vacuno, porcino, caprino etc.	Cantidad de cabezas para sacrificio por día	Cantidad de L agua matadero m ³	Cantd. d L de agua en estabulado m ³	Excreta por animal kg	Cantd. De liq / tn excreta	Cantd de agua /cabeza	m3 de residual generado por cabeza	Cantidad de productos (ton/día)	Descripción del residual

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

UNIDAD PECUARIA DE GANADO MAYOR ESTABULADO O SEMI-ESTABULADO, estatal y privada.

El número de cabezas debe informarse separado según la clasificación de la etapa de crecimiento, ya que de este depende el volumen de excreta generado por animal, en dependencia del peso promedio por animal y del tiempo de estabulado (que representa la excreta disponible). La siguiente tabla debe completarse para cada unidad de GANADO MAYOR:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Clasif. / etapa de crecimiento	Número de cabezas	Peso promedio (kg)	Tiempo de estabulación (horas)
			Terneros (as)			
			Añojas			
			Novillas			
			Vacas lecheras (o de engorde)			
			Torete			
			Toro			
			Potros			
			Caballos y yeguas			
			Total			

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

UNIDAD DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA, estatal y privada.

El número de cabezas debe informarse separado según la clasificación de la etapa de crecimiento, ya que de este depende el volumen de excreta generado por ave, por día, en dependencia del peso promedio de cada ave. La siguiente tabla debe completarse para cada unidad de PRODUCCIÓN AVÍCOLA:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Clasif. / etapa de crecimiento	Número de cabezas	Peso promedio (kg)
			Gallinas ponedoras		
			Gallinas de reemplazo		
			Pollo de cebas		
			Total		

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

UNIDAD DE PRODUCCIÓN PORCINA, estatal y privada.

El número de cabezas debe informarse por separado según la clasificación de la etapa de crecimiento, ya que de este depende el volumen de excreta generado por animal, por día, en dependencia del peso promedio por animal.

La siguiente tabla debe completarse para cada unidad de producción porcina:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Clasif. / etapa de crecimiento	Número de cabezas	Peso promedio (kg)
			Reproductoras		
			Semental		
			Cochinatos		
			Cochinatas		
			Cebas		
			Lechones (as)		
			Precebas		
			Crías		
			Total		

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

UNIDAD PECUARIA DE GANADO MENOR (OVINOS Y/O CAPRINOS) ESTABULADO O SEMI-ESTABULADO, estatal y privada.

El número de cabezas debe informarse separado según la clasificación del estadio de crecimiento, ya que de este depende el volumen de excreta generado por animal, en dependencia del peso promedio por animal y del tiempo de estabulado (que representa la excreta disponible). La siguiente tabla debe completarse para cada unidad de GANADO MENOR:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Clasif. /etapa de crecimiento	Número de cabezas	Peso promedio (kg)	Tiempo de estabulación (horas)
			Reproductoras			
			Sementales			
			Crías			
			Total			

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

UNIDAD DE PRODUCCIÓN CUNÍCULA, estatal y privada.

El número de cabezas debe informarse separado según la clasificación de la etapa de crecimiento, ya que de este depende el volumen de excreta generado por conejo, por día, en dependencia del peso promedio de cada conejo. La siguiente tabla debe completarse para cada unidad de PRODUCCIÓN CUNÍCULA.

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Clasif. / etapa de crecimiento	Número de cabezas	Peso promedio (kg)	
			Reproductoras			
			Sementales			
			Crías			
			Total			
				Reproductoras		
				Sementales		
				Crías		
				Total		

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

UNIDAD DE BASE PRODUCTIVA AGROINDUSTRIAL, estatal y privada.

El número de hectáreas sembradas del cultivo y la producción total de este por campaña es necesario para determinar el potencial de biomasa residual generada y disponible en cada época y lugar. La siguiente tabla debe completarse para cada unidad de PRODUCCIÓN y cada residuo:

Unidades de Producción Arroceras, estatales y privadas

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Hectáreas de arroz sembrado (ha)	Producción de arroz (t/año)	Residuo de cosecha (t/ha)	Época de campaña Ejemplo: (enero - marzo)

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Unidades de Producción de Granos (Maíz, Frijol, Sorgo, Soja, Café y otros), estatales y privadas

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Nombre del cultivo o grano	Hectáreas sembradas (ha)	Producción por campaña (t) Expresar un rango (min-max)	Época de campaña Ejemplo: (enero - marzo)	Tiempo de cosecha de la biomasa disponible (d)	Gasto de Agua (m3/d)	DQO min-max (g/L) o (Kg/m3)	tSV/tMF

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Unidades de Producción de Cultivos Varios (Plátano, yuca, malanga, boniato y otros), estatales y privadas

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Nombre del cultivo	Hectáreas sembradas (ha)	Producción total por campaña (t)	Residuo de cosecha (t/ha)	Época de campaña Ejemplo: (enero - marzo)

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Unidades de bebidas y licores

Se solicita la cantidad total (m^3) de agua residual por día que se genera en cada entidad o Unidad de Base Productiva. Se debe trabajar con los volúmenes promedios de operación del último año.

Es necesario anexar una caracterización reciente del residual que se describa, realizada por laboratorios certificados para estos fines.

La siguiente tabla debe completarse para cada entidad:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas (GPS)	Cantidad total de agua residual (m^3 / día)	Cantidad de producto (L/día)	Tipo de producto

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Aguas albañales y excretas humanas

Es necesario anexar una caracterización reciente del residual, realizada por laboratorios certificados para estos fines.

La siguiente tabla debe completarse para cada vertedero:

Municipio	Nombre del vertedero	Coordenadas geográficas de los vertederos	Cantidad total de excretas recolectados por vertedero (ton/día)

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

Residuos Sólidos Urbanos

Se solicita la cantidad de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) recolectados por día y la cantidad de ellos que recibe tratamiento. Se debe trabajar con los volúmenes promedios de colecta en los vertederos en el último año.

Es necesario anexar una caracterización reciente del residual que se describa, realizada por laboratorios certificados para estos fines.

La siguiente tabla debe completarse para cada entidad:

Municipio	Nombre de Entidad	Coordenadas geográficas de los vertederos de RSU	Cantidad total de RSU colectados (ton/día)	Cantidad de RSU con tratamiento (ton/día)	Tipo de tratamiento (si tiene)

Realizado por: Nombre _____, Teléfonos _____, Correo _____

ANEXO 2. AVAL DE COMPROMISO Y CERTIFICACIÓN DE INFORMACIÓN

Fecha

AVAL de Compromiso y Certificación de Información

Empresa:

Organismo al que pertenece, Provincia

Por medio de la **ratificamos nuestro compromiso** de participar en el PROGRAMA GENERAL PARA EL DESARROLLO LOCAL EN EL USO DEL BIOGAS COMO FUENTE ENERGÉTICA Y DE DISMINUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

En este sentido, **certificamos la información** brindada a los miembros de grupo de implementación del programa, relacionados con los residuos generados en las bases productivas (especificar tipo de residuo). La información fue brindada por: (Nombre y Apellidos del responsable de realizar la FICHA) en el documento que se adjunta (Anexo 1).

Para que así conste, firma la presente

(Nombre, firma y cuño)

Director General

APÉNDICE 1: BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Antonopoulou, G. and Lyberatos, G. (2012). *Effect of Pretreatment of Sweet Sorghum Biomass on Methane Generation*. *Waste Biomass Valor*. Doi: 10.1007/s12649-012-9183-x.
- Bravo Amarante, E. (2019). *Metodología para valorar la sostenibilidad de la gestión de residuos agrícolas con fines energéticos*. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.
- Colectivo de Autores (2011). *Cataurito de herramientas para el desarrollo local*. La Habana: Editorial Caminos.
- Colectivo de autores, (2018). *ATLAS DE BIOENERGÍA. CUBA SECTOR AGROPECUARIO Y FORESTAL*
- Contreras, L. M. (2013). *Digestión anaerobia de residuos de la agroindustria arroceras cubana para la producción de biogás*. Tesis Doctoral, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- GIZ, 2010. *Guía sobre el Biogás: Desde la producción hasta el uso*. Publicado por Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) con el apoyo del Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al Consumidor en base a una decisión del Parlamento de la República Federal Alemana.
- Guardado Chacón, JA, (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. Editorial CUBASOLAR. ISBN 959-7113-33-3.
- Guardia Puebla, Y; Rodríguez Pérez, S; Jiménez Hernández, J; Sánchez Girón, V. (2014). *Performance of a UASB reactor treating coffee wet wastewater*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 23, núm. 2, pp. 50-56. ISSN -1010-2760.
- Guardia-Puebla, Yans; Jiménez-Hernández, Janet; Pacheco-Gamboa, Raúl; Rodríguez-Pérez, Suyén; Sánchez-Girón, Víctor. (2016). *Multiple responses optimization on the anaerobic co-digestion of coffee wastewater with manures*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25, (3) pp. 54-64. ISSN-1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- Guzón Camporredondo, A., et. al., (2020). *Cataurito de herramientas II*. La Habana, CEDEL, ISBN 978-959-7226-64-2).
- Jiménez, Janet; Guardia-Puebla, Yans; Cisneros-Ortiz, Margarita E.; Morgan-Sagastume, Juan M.; Guerra-Rivera, Gilda; Noyola, Adalberto (2015). *Optimization of the specific methanogenic activity from anaerobic co-digestion of manure and straw, using industrial clay residues as inorganic additive*. *Chemical Engineer Journal*, 259, 703-714. DOI: 10.1016/j.cej.2014.08.031.
- Jiménez, Janet; Guerra-Rivera, Gilda; Romero-Romero, Osvaldo; Cisneros-Ortiz, Margarita E.; Morgan-Sagastume, Juan M.; Noyola, Adalberto (2014). *Methanogenic activity optimization using the response surface methodology, during the anaerobic co-digestion of agriculture and industrial wastes*. *Microbial community diversity*. *Biomass and Bioenergy*, 71, 84-97. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.10.023
- Jiménez-Hernández, Janet; Guerra-Rivera, Gilda; Cisneros-Ortiz, Margarita E.; Morgan-Sagastume, Juan M.; Noyola, Adalberto; Theuerl, Susanne; Klocke, Michael. (2014). *Caracterización microbológica y molecular de la comunidad anaerobia durante la co-fermentación de residuos agropecuarios con adición de minerales arcillosos para la obtención de metano*. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, Vol. 45, No. 1, 37-44.
- Jiménez-Hernández, Janet; López-Dávila, Edelbis; Guerra-Rivera, Gilda; Dewulf, Jo; Romero-Romero, Osvaldo (2014). *Adición de arcillas residuales industriales para estimular la producción de metano durante la co-digestión anaerobia de residuos porcinos y paja de arroz*. *Revista CENIC Ciencia Químicas*, Vol. 45, No. 1.
- López González L. (2016). *Análisis de alternativas de producción más limpia (PML) para la producción de biogás con fines energéticos en una empresa azucarera diversificada (Tesis de Doctorado)*. La Habana: Editorial Universitaria, 2016.
- Manual de Biogás*. Colectivo de autores. Santiago de Chile (2011).
- Martínez Hernández, C. M; Oechsner, H; Bruléll, M; Marañón Maison, E. (2014). *Estudio de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de residuos orgánicos a utilizar en la producción de biogás en Cuba*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 23, No. 2, pp. 63-69. ISSN -1010-2760.

- Obaya-Abreu, M. C., Valdés-Jiménez, E., Valencia-Rodríguez, R., León-Pérez, O. L., Morales-Carmouse, M., Pérez-Bonachea, O., Díaz-Llanes, S. y Valdivia-Roja, O. (2004). Tratamiento combinado de las vinazas de destilería y residuales azucareros en reactores UASB *Tecnología del Agua* 249: 78-85.
- Pagés-Díaz, J., Pereda-Reyes, I., Taherzadeh, M.J., Sárvári-Horváth, I., Lundin, M. 2014. Anaerobic co-digestion of solid slaughterhouse wastes with agro-residues: Synergistic and antagonistic interactions determined in batch digestion assays. *Chem Eng J*, 245(0), 89-98.
- Pagés Díaz, J., Pereda Reyes, I., Lundin, M., Sárvári Horváth, I. 2011. Co-digestion of different waste mixtures from agro-industrial activities: Kinetic evaluation and synergetic effects. *Bioresource Technol*, 102(23), 10834-10840.
- Pereda, I. 2007. Potencialidad de los residuos mineros como estimulantes del proceso de digestión anaerobia. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. CUJAE. Ciudad de La Habana. Cuba.
- Pereda, I., Irusta, R., Montalvo, S. y del Valle, J. L. (2006). Solid mining residues from Ni extraction applied as nutrients supplier to anaerobic process: optimal dose approach through Taguchi's methodology. *Water Science and Technology* 54(9): 209-219.
- Romero, O. Barrera, E. Lopez, L. Abreu, R. Contreras, L.M. Obregon, L. Jimenez, J. Bravo, E. y Lorenzo, L.M. (2016). Renewable energy matrix based in the biomass: Proposal of territorial potential from the University of Sancti Spiritus. *Journal of fundamentals of renewable energy and applications. World bioenergy congress and expo*. DOI: 10.4172/2090-4541.C1.009
- Sosa, R., Sánchez, E., Montalvo, S., Chao, R. y Sáez, Y. (2005). Gas production in tubular biodigesters. Effect of dimensions at 25 days of hydraulic retention time. *Revista Computadorizada de Producción Porcina* 12(3): 219-222.
- Suárez-Hernández, J., Roberto Sosa-Cáceres, Yeny Martínez-Labrada, Alfredo Curbelo Alonso, Tania Figueredo-Rodríguez and Luis Cepero-Casas. (2018). Evaluation of the biogas production potential in Cuba. *Pastos y Forrajes*, Vol. 41, No. 2, April-June, 79-85.
- VDI Guideline [Lineamiento VDI] (2006): Fermentation of organic materials – Characteristics of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests [Fermentación de materiales orgánicos - Características del sustrato, muestreo, recolección de datos sobre materiales, pruebas de fermentación]. VDI 4630, abril 2006, Beuth Verlag Gmb.