

## AVANCES Y ESTADO ACTUAL DEL BIOGÁS EN CIENFUEGOS

Por **M. Sc. Omar Gutiérrez Benítez\***, **M. Sc. Inocente Costa Pérez\*\***, **M. Sc. Cira Águila Cabrera\*\*\***, **Evelio Ángel Álvarez López\*\*\*\***, **Ernesto Pentón Martínez\*\*\*\*\***, **M. Sc. Disney Pérez Rodríguez\*\*\*\*\***

\*Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. Delegación de Cubasolar en Cienfuegos, Cuba.

E-mail: omar@gestion.ceac.cu

\*\* Dirección Provincial de Economía y Planificación, Cienfuegos. Delegación de Cubasolar en Cienfuegos, Cuba. E-mail: inocente@depcfg.co.cu\*\*\*Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios de Cienfuegos.

Delegación de Cubasolar en Cienfuegos, Cuba.

E-mail: civil5@enpa.cfg.minag.cu

\*\*\*\*Delegación Territorial del CITMA Cienfuegos. Delegación de Cubasolar en Cienfuegos, Cuba.

E-mail: j.uogi@citmacfg.gob.cu

\*\*\*\*\*Movimiento de Usuarios de Biogás en Cienfuegos. Delegación de Cubasolar en Cienfuegos, Cuba.

E-mail: isabelcml@jagua.cfg.sld.cu

\*\*\*\*\*Movimiento de Usuarios de Biogás en Cienfuegos. Delegación de Cubasolar en Cienfuegos, Cuba.

E-mail: forum@pppcfgos.co.cu

### Resumen

Garantizar el acceso a la energía y combatir el cambio climático son Objetivos de Desarrollo Sostenible. El objetivo de este trabajo fue evaluar los avances de la tecnología del biogás en la provincia de Cienfuegos durante los últimos 10 años. Se utilizó el procedimiento de los ocho pasos para la solución de un problema, complementado con metodologías y herramientas específicas para los estudios ingenieros. El diagnóstico inicial arrojó que la reanimación del programa porcino incrementó la contaminación ambiental. El incremento de capacidad de digestores de biogás para tratar los residuales porcinos, y disminuir los consumos de energía eléctrica y de leña asociados a la producción porcina, fueron las prioridades del trabajo. El plan de medidas requirió de una implementación progresiva. Primero se logró incrementar de forma exponencial la cantidad de biodigestores de biogás, y más recientemente se ejecuta un proyecto demostrativo para la generación eléctrica con biogás a pequeña escala. Aún persisten algunas deficiencias en el diseño de ingeniería y(o) construcción de los biodigestores, y malas prácticas de su operación y mantenimiento. Realizar evaluaciones integrales, optimizar la digestión, desarrollar proyectos demostrativos para la generación de energía eléctrica, incrementar la participación del sector estatal y fortalecer el Movimiento de Usuarios del Biogás son los principales retos. La tecnología ha contribuido a reducir la contaminación ambiental y a reducir la generación de gases de efecto invernadero de la producción porcina; y con ello mitigar el cambio climático. Los impactos energéticos y económicos, ambientales y sociales del uso del biogás en Cienfuegos han sido significativos.

*Palabras clave: Energía, cambio climático, contaminación, biogás, biodigestores.*

---

## ADVANCES AND CURRENT STATUS OF BIOGAS IN CIENFUEGOS

### Abstract

To guarantee access to energy and to combat climate change are Sustainable Development Objectives. The objective of this paper was to evaluate the advances of the biogas technology in the province of Cienfuegos, during the last 10 years. Was used the eight-step procedure for the solution of a problem, complemented with specific methodologies and tools for the engineering studies. The initial diagnostic showed that the re-animation of the pig program increased environmental pollution. The increase of capacity of biogas digesters to treat pig waste, and decrease the consumption of electric energy and firewood associated with pig production

were the work priorities. The plan of measures required a progressive implementation. First the number of biogas digesters was increased exponentially, and more recently a demonstration project for small-scale biogas electricity generation was implemented. There are still some deficiencies in the engineering design and/or construction of the biodigesters, and poor operation and maintenance practices. To carry out integral evaluations, to optimize digestion, to develop demonstration projects for the generation of electric energy, to increase the participation of the state sector and strengthen the Biogas Users Movement are the main challenges. The technology has contributed to reduce environmental pollution from pig production and to reduce the generation of greenhouse gases; and with it to mitigate climate change. The energy and economic, environmental, and social impacts of biogas use in Cienfuegos have been significant.

**Keywords:** Energy, climate change, contamination, biogas, biodigesters.

### Introducción

Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos; a la vez que se adopten medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos son Objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [ONU, 2015].

El cambio climático es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y supone una presión adicional para nuestras sociedades y el medioambiente [ONU, 2017]. Los impactos globales del cambio climático son hoy ampliamente reconocidos por la ciencia [IPPC, 2017]. La Estrategia Ambiental Nacional de Cuba 2016-2020 [Citma, 2015] reconoce el impacto del cambio climático como uno de los principales problemas ambientales del país.

Incrementar el empleo de fuentes renovables de energía que contribuya a reducir la generación de gases de efecto invernadero, a mitigar el cambio climático y a promover un desarrollo económico menos intenso en carbono, es un objetivo estratégico del país [PCC, 2017a]. En este contexto la Tarea Vida [Citma, 2017] establece identificar y controlar las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

Asimismo, desarrollar una agricultura sostenible empleando una gestión integrada de ciencia, tecnología y medio ambiente es una de las prioridades de la Política Agroindustrial de Cuba [PCC, 2017b]. Sin embargo, se reconoce que la contaminación ambiental provocada por este sector se ha incrementado [Citma, 2015].

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O derivadas del almacenamiento y el manejo del estiércol de ganado vacuno y porcino, como resultado de la descomposición de las excretas, son significativas. La implementación de proyectos de producción de biogás a partir del manejo del estiércol en biodigestores individuales representa una alternativa viable de reducir los GEI [Sosa, 2007; Valentín y López, 2009; López, 2011; Díaz *et al.*, 2017].

Las estrategias municipales de desarrollo local demandan de conocimientos muy diversos, desde los relativos a los procesos de planificación territorial, hasta saberes relacionados con tecnologías para lograr más eficiencia y menos impactos sobre el medioambiente. Dentro de las tecnologías apropiadas de energía renovable, el biogás resulta una de las mejores opciones, y aplicar esta tecnología constituye una prioridad nacional y un componente básico para el desarrollo local [Cubasolar, 2015].

En estos contextos, la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar) y el Movimiento de Usuarios del Biogás (MUB) en Cienfuegos han apoyado en la provincia el Programa de Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía hasta el 2030 y la Tarea Vida, en particular el Biogás.

El objetivo fue evaluar los avances de la tecnología del biogás en la provincia de Cienfuegos durante los últimos 10 años.

Tabla 1. Ocho pasos en la solución de un problema

Etapas	Pasos	Nombre y breve descripción
Planear	1	Seleccionar y caracterizar un problema: elegir un problema realmente importante, delimitarlo y describirlo, estudiar antecedente e importancia, y cuantificar su magnitud actual
	2	Buscar todas las posibles causas: lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa. Participan los involucrados
	3	Investigar cuáles de las causas son más importantes: recurrir a datos, análisis y conocimiento del problema
	4	Elaborar un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes: para cada acción, detallar en qué consiste, su objetivo y cómo implementarla; responsables, fechas y costos
Hacer	5	Ejecutar las medidas remedio: seguir el plan y empezar a pequeña escala
Verificar	6	Revisar los resultados obtenidos: comparar el problema antes y después
Actuar	7	Prevenir la recurrencia: si las acciones dieron resultado, éstas deben generalizarse y estandarizar su aplicación. Establecer medidas para evitar recurrencia
	8	Conclusión y evaluación de lo hecho: evaluar todo lo hecho anteriormente y documentarlo

Fuente: [Gutiérrez y De La Vara, 2013].

**Materiales y métodos**

En la estructuración metodológica se tuvo en cuenta el procedimiento de los ocho pasos para la solución de un problema [Gutiérrez y De La Vara, 2013], inspirado en el ciclo de la calidad o ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), complementado con metodologías y herramientas específicas para los estudios ingenieros, bajo el principio de la convergencia metodológica. En la tabla 1 se muestra una síntesis de los mismos.

**Resultados y discusión**

*Pasos 1, 2, 3, 4:*

En un primer momento, a solicitud del Consejo Energético Provincial, en el 2010 Cubasolar y las demás instituciones implicadas realizaron un recorrido por el territorio para diagnosticar la situación y reflexionar sobre la realidad existente. Se constituyó el Grupo Provincial del Biogás y el Movimiento de Usuarios del Biogás.

En un segundo momento se realizó un diagnóstico participativo dirigido al levantamiento, recopilación y análisis de la situación, así como la selección y priorización del problema central. Se constató que la reanimación del programa porcino, en particular en el sector no estatal, ha incrementado los volúmenes de residuales, sin un tratamiento adecuado.

El problema central identificado fue el incremento de la contaminación ambiental. Las excretas y aguas residuales porcinas, aun cuando se dispongan a sistemas de lagunas de oxidación, sufren un proceso de digestión anaeróbica natural, con emisiones de grandes cantidades de gas metano (CH<sub>4</sub>) a la atmósfera, gas de efecto invernadero (GEI) con incidencia directa en el cambio climático. Esta contaminación atmosférica a nivel local, debido a su alto potencial de efecto invernadero y su contribución al cambio climático, tiene un impacto negativo significativo en la calidad ambiental y en la salud humana. Asimismo, las aguas residuales son dispuestas a los cuerpos receptores, y muchas veces son utilizadas con fines de riego agrícola, contaminando las aguas y el suelo.

La otra fuente de contaminación se debe al incremento de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por la quema en las centrales eléctricas de combustible fósil, debido al incremento del consumo de energía eléctrica asociado a la infraestructura porcina. Asimismo, por el consumos de leña para la cocción de alimentos porcinos.

En un tercer momento, utilizando herramientas participativas, se profundizó en las causas y consecuencias del problema central detectado, elaborándose el Árbol de Problemas, mostrado en la figura 1.

En un cuarto momento, atendiendo a las prioridades nacionales y a la problemática declarada en el Árbol de Problemas, se procedió al análisis y selección de los posibles objetivos, utilizando como instrumento metodológico la construcción del Árbol de Objetivos que se muestra en la figura 2.

Se validó que el desarrollo y utilización del biogás como fuente renovable de energía, además de constituir un valioso recurso energético, contribuye a la reducción de la contaminación ambiental y a la mitigación del cambio climático.



Fig. 1. Árbol de Problemas. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 2. Árbol de Objetivos. Fuente: Elaboración propia.

En un quinto momento se efectuó el análisis cualitativo y cuantitativo de las alternativas de solución. En este contexto las alternativas de intervención evaluadas fueron las siguientes:

Alternativa 1: Incrementada la capacidad de biodigestores de biogás para tratar los residuales porcinos.

Alternativa 2: Disminuidos los consumos de energía eléctrica del SEN y de leña asociados a la producción porcina.

Alternativa 3: Incrementada la capacidad de digestores de biogás para tratar los residuales porcinos, y disminuidos los consumo de energía eléctrica del SEN y de leña asociados a la producción porcina. (Alternativa 1 + Alternativa 2).

Como resultado del análisis se validó que la alternativa 3 era la más adecuada y viable para alcanzar los propósitos en el Árbol de Objetivos

El plan de medidas requirió de su aplicación progresiva, priorizando primero el incremento de la capacidad de di-

gestores a pequeña escala, y luego la generación eléctrica con biogás.

Las principales soluciones fueron las siguientes:

1. Socializar a través del MUB los criterios de diseño, construcción, operación, mantenimiento, y de seguridad de los biodigestores de biogás [Sasse, 1984; Guardado, 2006; Guardado, 2007; Chao *et al.*, 2011; SEMARNAT-SAGARPA, 2010; Sosa *et al.*, 2017].
2. Cálculos de ingeniería básica para el diseño de biodigestores.
3. Elaboración de proyectos ingenieros de biodigestores de distintas capacidades.
4. Mejoras en los biodigestores existentes.
5. Programas de capacitación, asesoramiento técnico y divulgación sobre los conocimientos mínimos de la tecnología.
6. Diseño y habilitación de sistemas de purificación del biogás.

**Paso 5:**

Como resultado de la implementación de las soluciones anteriores se incrementó la cantidad de biodigestores de biogás en Cienfuegos. El inventario de los equipos en funcionamiento al cierre de 2019 en Cienfuegos fue de 219 equipos, con una capacidad media de 15 m<sup>3</sup> de volumen del digestor.

En la figura 3 se muestra la progresión en el crecimiento de la cantidad de biodigestores de biogás durante los últimos 10 años. Como se puede apreciar se logró un crecimiento exponencial hasta el 2016. A partir de esa fecha el crecimiento ha sido menos intensivo debido al reordenamiento de los productores porcinos.

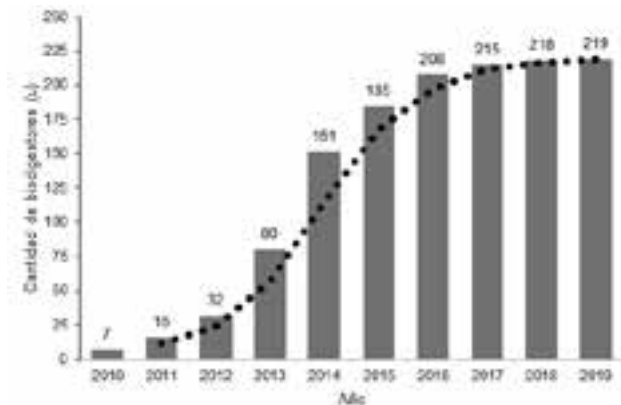


Fig. 3. Progresión en el crecimiento de la cantidad de biodigestores de biogás en Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

Más recientemente se ejecuta un proyecto demostrativo para la generación eléctrica con biogás a pequeña escala para el autoabastecimiento, con financiamiento internacional de la Cuba Cooperación Francia, EDF Francia y de la Plataforma Articulada para el Desarrollo Integral Territorial (Padit). El grupo electrógeno de biogás es de 10 kW. Con ello se logrará disminuir el consumo de energía eléctrica del SEN y de leña asociado a la producción porcina.

**Paso 6:**

Basado en el principio de la mejora continua, se realizan inspecciones periódicas del estado técnico, funcionalidad, condiciones de operación y mantenimiento de los equipos en funcionamiento. El diagnóstico técnico arrojó que aún existen las deficiencias siguientes:

1. En la ingeniería y construcción.
2. Malas prácticas de operación.
3. Fugas, rasgaduras y daños en cubiertas.
4. Falta de limpieza y mantenimiento.
5. Falta de filtros de biogás.
6. Falta de infraestructura para el secado de los lodos y almacenamiento de biol.
7. Falta de caracterización del biogás, lodo y biol.
8. Falta de evaluaciones de eficiencia.
9. Carencias de lagunas secundarias para mejorar la calidad del efluente.
10. Muy poco uso del lodo y del biol como biofertilizantes.

**Paso 7:**

Se trabaja en el fortalecimiento del Movimiento de Usuarios del Biogás (MUB), para con el empleo de la ciencia y la técnica generalizar las buenas prácticas y contribuir al conocimiento y promoción de una cultura integral para el desarrollo sostenible en el uso del biogás. Asimismo, incrementar la interrelación y colaboración entre los principales actores, contribuyendo de manera decisiva a la necesaria cultura popular, en aras del desarrollo del biogás.

Se continúa trabajando en las prioridades siguientes:

- Realizar evaluaciones integrales en los biodigestores.
- Optimizar la digestión.
- Generalizar el tratamiento secundario para los efluentes (Lagunas).
- Generalizar los filtros de biogás.
- Generar energía eléctrica con biogás.
- Potenciar la participación del sector estatal en el aprovechamiento del Biogás (Centros Porcinos y Empresa Agropecuarias).

**Paso 8:**

- Los biodigestores de biogás a pequeña escala han demostrado ser una tecnología apropiada.
- La tecnología ha contribuido a reducir la contaminación ambiental de la producción porcina y a reducir la generación de gases de efecto invernadero; y con ello a mitigar el cambio climático.
- Los impactos energéticos y económicos, ambientales, y sociales del uso del biogás en Cienfuegos han sido significativos. Los datos que se refieren a continuación fueron estimados sobre la base de los biodigestores en funcionamiento en 2019.

**Impactos energéticos y económicos:**

- Potencia instalada equivalente a 264,8 kW.
- Producción de biogás de 399 675 m<sup>3</sup>/año.

- Aporte energético de 199,8 teq/año de combustible fósil dejadas de consumir.

*Impactos ambientales:*

- 8952 t/año de excretas tratadas.
- 601,4 teq/año de CO<sub>2</sub> dejadas de emitir.

*Impactos sociales:*

- Mayor empoderamiento de la tecnología e incremento del sentido de su pertenencia.
- Mejoras en los servicios de energización de los productores y sus familias.
- Mejoras en la calidad de vida de los usuarios, en particular, la mujer.

**Conclusiones**

El trabajo sostenido de la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar) y del Movimiento de Usuarios del Biogás (MUB) en Cienfuegos ha permitido un crecimiento significativo de la cantidad de biodigestores en la provincia de Cienfuegos durante los últimos 10 años.

Persisten algunas deficiencias en el diseño de ingeniería y(o) construcción de los biodigestores, y malas prácticas de operación y mantenimiento, entre otras.

Necesidad de realizar evaluaciones integrales, optimizar la digestión, desarrollar proyectos demostrativos para la generación de energía eléctrica, incrementar la participación del sector estatal y fortalecer el Movimiento de Usuarios del Biogás son los principales propósitos.

La tecnología ha contribuido a reducir la contaminación ambiental y a reducir la generación de gases de efecto invernadero de la producción porcina; y con ello a mitigar el cambio climático. Los impactos energéticos y económicos, ambientales, y sociales del uso del biogás en Cienfuegos han sido significativos.

**Bibliografía**

CAMACHO, H.; L. CÁMARA, R. CASCANTE Y H. SAINZ (2001). *El Enfoque del marco lógico: 10 casos prácticos. Cuaderno para la identificación y diseño de proyectos de desarrollo*. 234 pp. ISBN: 84-87082-17-3.

CITMA (2015). *Estrategia Ambiental Nacional 2016-2020*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana, Cuba. Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2727/1/Estrategia%20Ambiental%20Nacional%202016-2020.pdf>. Consultado el 02-06-2016.

CITMA (2017). *Plan de Estado Cubano para el Enfrentamiento al Cambio Climático*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana, Cuba. Disponible en: <http://www.contraloria.gob.cu/documentos/noticias/FO-LLETO%20TAREA%20VIDA.PDF>. Consultado el 26-04-2017.

CUBASOLAR (2015). *Tecnologías apropiadas de energía renovable para proyectos municipales*. La Habana: Ed. Cubasolar, 104 pp. ISBN 978-959-7113-46-1

CHAO, R.; Y. DÍAZ, R. SOSA Y A. A. PÉREZ (2011). «Diseño y evaluación de un biodigestor tipo Túnel». *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, Volumen 18 (2), pp. 150-156. ISSN 1026-9053.

DÍAZ, Y. M.; J. L. DE LA FUENTE, S. GONZÁLEZ Y M. T. CRUZ (2017). «Tratamiento de aguas residuales y utilización del biogás como fuente renovable de energía». *Boletín Técnico Porcino*. Volumen 35, pp. 5-7. ISSN 2077-4745.

GUARDADO, J. A. (2006). *Tecnología del biogás. Manual del usuario*. La Habana: Ed. Cubasolar, Cuba. 22 pp. ISBN 959-7113-27-9.

GUARDADO, J. A. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. La Habana: Ed. Cubasolar, Cuba. 70 pp. ISBN 959-7113-33-3.

GUTIÉRREZ H. Y R. DE LA VARA (2013). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. McGraw Hill Interamericana, ISBN 978-970-10-6912-7. México D.F.

IPCC (2017). *Quinto Informe de Evaluación [Online]*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Disponible en: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf). Consultado el 3-03-2017.

LÓPEZ, R. (2011). «Análisis del potencial de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) relacionado con los efluentes líquidos de los establecimientos tamberos y porcinos. Construcción de capacidades y asistencia técnica para promover la participación de Paraguay en el mercado de carbono». Secretaría del Ambiente de Paraguay, Asunción. Disponible en: <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/224891468098677077/pdf/653740WPoP1061000Final-290702011pdf.pdf>. Consultado el 29-09-2013.

ONU (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development A/RES/70/1*. United Nations Organization, 2015. Disponible en: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E). Consultado el 23-01-2018.

ONU (2017). *Cambio Climático*. Organización de las Naciones Unidas (ONU). Disponible en: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>. Consultado el 3-03-2017.

PCC (2017a). *Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista y Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030*. Documentos del 7mo. Congreso del Partido. Disponible en: <http://www.granma.cu/file/pdf/gaceta/%C3%BAltimo%20PDF%2032.pdf>. Consultado el 21-09-2017.

PCC (2017b). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2030*. Documentos del 7mo. Congreso del Partido. Disponible en: <http://www.granma.cu/file/pdf/gaceta/%C3%BAltimo%20PDF%2032.pdf>. Consultado el 21-09-2017.

SASSE, L. (1984). *La planta de biogás: Bosquejo y detalles de plantas sencillas*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn. 86 pp. ISBN 3-528-02010-5

SEMARNAT-SAGARPA (2010). *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001057.pdf>. Consultado el 14-05-2012.

SOSA, R. (2007). «Fundamentación del uso de los biodigestores tubulares en el tratamiento de aguas residuales en pequeñas producciones porcinas». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Agraria de La Habana, pp.111.

SOSA, R.; Y. M. DÍAZ, M. T. CRUZ, J. L. DE LA FUENTE, P.L. DOMÍNGUEZ, I. CABRERA, R. BRUNELYS Y N. ESPINOSA (2017). *Programa de implementación de biodigestores como sistemas de tratamiento de aguas residuales y la obtención de energía, biogás y fertilizante orgánico en la producción porcina cubana. Revista*

*Computadorizada de Producción Porcina*, Volumen 24 (1), pp. 58-68. ISSN 1026-9053.

VALENTÍN, P. y C. LÓPEZ (2009). *Notas sobre emisiones de gases de invernadero asociadas a proyecto de manejo del estiércol del ganado porcino utilizando biodigestores tubulares de polietileno*. Equipo Técnico de Gases de Invernadero. CECONT/INSMET. La Habana. Cuba. Inédito.

Recibido: 1ro de agosto 2020.

Aceptado: 20 de agosto de 2020.