

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA DESARROLLAR SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN PARA SU APROVECHAMIENTO EN ZONAS RURALES

STUDY OF FEASIBILITY STUDY TO DEVELOP BIODIGESTION SYSTEMS FOR USE IN RURAL AREAS

Autores: Angelina González-Rosas

<https://orcid.org/0000-0002-5631-0281>

Blanca Andrea Ortega Marín

<https://orcid.org/0000-0002-6821-8239>

Juan Carlos González Islas

<https://orcid.org/0000-0002-2190-0660>

Institución: Universidad Tecnológica de Tulancingo, México

Correo electrónico: agonzalez@utectulancingo.edu.mx

blancaortega@utectulancingo.edu.mx

juanc.gonzalez@utectulancingo.edu.mx

RESUMEN

En el mundo el consumo de energía ha producido diversos problemas ambientales; entre los que se encuentra el calentamiento global que se ha intensificado en los últimos años generando gases de efecto invernadero, ocasionados por el abuso y uso irracional de las energías no renovables; principalmente los combustibles fósiles (gas natural, carbón y petróleo). En América Latina y, particularmente México tiene el compromiso de disminuir los gases de efecto invernadero en 25 % para 2030 y del 50 % para 2050. Asimismo, existe una gran cantidad de población aislada y en situación de marginación; sin acceso a la energía eléctrica y disponer de ella tiene altos costos en infraestructura y en el pago por su consumo. Este proyecto propone utilizar la biomasa residual obtenida de las zonas rurales para generar biogás y energía eléctrica. La metodología incluyó los siguientes pasos: identificar los municipios con alta y muy alta marginación en el estado de Hidalgo, acopiar los datos estadísticos municipales de excretas porcinas, identificar las cantidades de biomasa necesaria producir la energía para los servicios domésticos, describir los municipios en alta y muy alta marginación que pueden beneficiarse a partir de los datos obtenidos. Este proyecto hace posible contribuir la disminución de la contaminación y facilitar el acceso a los servicios para esta población.

Palabras clave: Biodigestión, Energía sostenible, Zona rural.

ABSTRACT

145

The consumption of energy across the world has created diverse environmental issues, among them global warming which has intensified in recent years, generating greenhouse gases provoked by the unreasonable use and even abuse of non-renewable energy sources (mainly fossil fuels such as natural gas, carbon, and petroleum). Latin America and Mexico in particular have made a commitment to lower greenhouse gases by 25 % before 2030 and by 50 % before 2050. Additionally, there exists a large portion of isolated and marginalized populations without access to electric energy, especially considering the facilitation of its use also implies high costs in terms of infrastructure and payment for use of the resource. This project proposes using the residual biomass obtained from rural areas in order to generate biogas and electric energy. The methodology includes the following steps: Identify the municipalities in the state of Hidalgo with either high or very high marginalization, collect statistical data on swine excrement, identify the amounts of biomass necessary to produce energy for domestic services, describe the municipalities in high and very high marginalization that could benefit from the data obtained. This project would make it possible to contribute to the reduction of pollution and to facilitate these services for the population in question.

Keywords: Biodigestion, Rural zone, Sustainable energy.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas que actualmente enfrenta el planeta es el calentamiento global, derivado de tres situaciones: el acelerado incremento poblacional, el abuso en el consumo de los combustibles fósiles y la generación de gases de efecto invernadero (GEI) (Ortiz y Pacheco, 2017).

Anualmente la situación se agrava porque la demanda mundial de petróleo aumenta en alrededor de un millón de barriles más al día en promedio cada año hasta el 2025 (IEA World Energy Outlook, 2018) y el consumo per cápita diario, a nivel mundial, es de 100 millones de barriles de petróleo (BP Statistical Review of World Energy, 2020). Según el PNUMA (2020) por tercer año consecutivo, las emisiones mundiales de GEI incrementaron el máximo histórico (ONU, 2020). En México, se emplean dos tipos de bioenergía: biomasa y biogás para la generación de energía eléctrica utilizándose principalmente el bagazo de caña, sin embargo también se puede utilizar la materia orgánica de las actividades, agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca entre otros (SENER, 2016). México tiene un alto potencial de recursos biomásicos para ser aprovechados como los residuos de la agricultura, de la

ganadería y de la agroindustria, de acuerdo al Balance Nacional de Energía de 2019 indica que la producción de biogás fue de 2.8PJ, de la biomasa fue de 361.17 PJ.

El alto índice de consumo de los recursos naturales no renovables ha producido un aumento exponencial de la contaminación ambiental, que en la actualidad se mide en toneladas de dióxido de carbono CO₂ a la atmósfera (Vögeli, et al., 2014). La participación estimada de energías renovables en la producción mundial de electricidad en 2018 fue de 73,8 % de electricidad no renovable; 26,2 % de electricidad renovable; 15,8 % energía hidroeléctrica; 5,5 % energía eólica; 2,4 % de energía solar fotovoltaica; 2,2 % de bioenergía; y 0,4 % de energía geotérmica, (REN21, 2020).

La biomasa tradicional es utilizada principalmente para cocinar y como calefacción en zonas rurales de los países en desarrollo, equivale aproximadamente a 8,5 % del total de energía final (Rincón y Silva, 2014). Sin embargo, representa más del 10 % del suministro mundial de energía primaria y es la cuarta fuente más grande del mundo de la energía (después del petróleo, el carbón y el gas natural) (Rincón y Silva, 2014, SENER, 2012). En este sentido la demanda global de biomasa con fines energéticos se estima en 53 EJ (1.265 Mton millones de toneladas equivalentes de petróleo) (Rincón y Silva, 2014, Dávalos, 2012).

El estado de Hidalgo lo integran 84 municipios de los cuales 26 son considerados en situación de marginación de acuerdo con los datos de la Declaratoria de las Zonas de atención prioritaria (SEGOB-DOF, 2020), y dentro de estos se encuentran tres municipios: Huehuetla con clave 13027; Xochiatipan con clave 13078 y Yahualica con clave 13080, todos calificados en Muy Alto Grado de Marginación y Alto Grado de Rezago Social al 2015, con un porcentaje de Población en Pobreza Extrema de 35.69, 44.12 y 39.08 respectivamente (SEGOB-DOF, 2020). Presentan limitaciones económicas, de vías de comunicación y el costo para acceder a fuentes de energía convencional es alto. Estos municipios cuentan con radiación solar y biomasa suficientes para su aprovechamiento y generación de biocombustibles limpios.

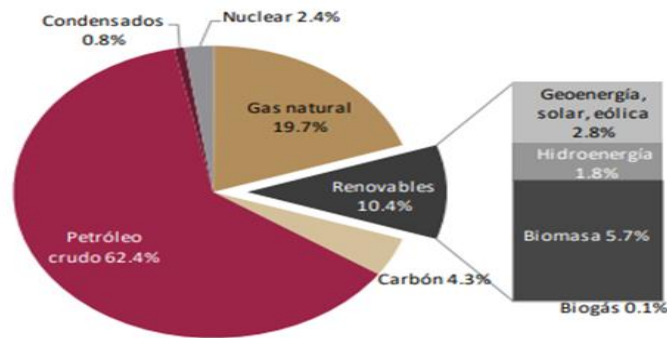
El municipio de Huehuetla se localiza al oriente del territorio hidalguense entre los paralelos 20° 23' y 20° 41' de latitud norte; los meridianos 97° 59' y 98° 11' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 214.84 km² y radiación solar promedio es de 5.7 kWh (INAFED, 2021, Global Solar Atlas-Huehuetla, 2021). Yahualica se ubica a una altura de 660 msnm; sus coordenadas geográficas son 20°57'11 en latitud norte y 98°22'48 en longitud oeste, una extensión territorial de 154.04 Km² (Global Solar Atlas-Yahualica, 2021). Xochicoatlán está a una altura de 1,680 msnm, sus coordenadas

son latitud norte 20°46'36 y 98°40'48, posee un territorio cuya extensión es de 187.25 Km² (Global Solar Atlas-Xochicoatlán, 2021), todos ellos con radiación solar ligeramente superior a los 5 KWh/m².

La creciente demanda energética se debe principalmente al crecimiento poblacional y está ocasionando que las reservas de combustibles fósiles se estén agotando más rápidamente de lo previsto, motivo por el cual la energía no llega a todos los seres humanos de la misma manera ni en la cantidad requerida, situación que se acentúa cuando la marginación y nivel de pobreza en la que se encuentra la población es más evidente. La marginación energética tiene que ver con las vías de comunicación para llegar a esas comunidades rurales, la distancia a la que se encuentran es un factor importante que hace más difícil acceder al gas natural y la electricidad. La manera de reducir esta brecha es utilizar la energía del Sol y los residuos orgánicos (Barragán, 2018) para producir los biocombustibles y contribuir a mejorar su calidad de vida.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) la generación mundial de electricidad en 2018 a partir de biocombustibles y desechos por fuente, es de 88,986 GWh; residuos industriales fue de 42,301 GWh; biocombustibles sólidos primarios 421,131 GWh y de residuos municipales de 38,648 GWh. El biogás tuvo la tercera tasa de crecimiento más alta con un 11,5 %, seguido de la solar térmica (10,9 %) y los biocombustibles líquidos (9,7 %).

Según la International Renewable Energy Agency (IRENA) (Lavagne et al., 2015), México se encuentra entre la latitud 23.634501 N y longitud -102.552784 O, considerada una región favorecida en recursos solares, donde se reciben diariamente, en promedio, 5.5 kWh/m², catalogados como de los mejores del mundo (IRENA, 2015). Su situación privilegiada le permite utilizar la radiación solar para obtener energía alterna. Como muestra la Gráfica 1 las energías renovables producen 10.41 % de la producción total de energía en el país, destacando de estas la biomasa, representando más de la mitad de este porcentaje; mientras que la solar, geotérmica y eólica son las de menor producción. La participación de la hidroelectricidad corresponde al 1.8 %, el biogás 0.1 % y la biomasa (leña y bagazo de caña) alcanza 5.7 %, mientras que la energía eólica, solar y la geotérmica participaron con 2.8 %.



Gráfica 1. Producción de energía por tipo de fuente

Fuente: Balance Nacional de Energía 2018.

En relación con los bioenergéticos; la producción de biogás mostró un incremento del 12.9 %, lo que se tradujo en 2.84 PJ, mientras que la biomasa, que se integra por el bagazo de caña y leña, pasó de 367.18 PJ en 2017 a 371.01 PJ en 2018, 1.0 % por encima del año anterior (SENER, 2018).

En el estado de Hidalgo la riqueza en radiación solar alcanza los 5.89 kWh/m², sobrepasando el nivel promedio requerido para tener una factibilidad en los sistemas solares y por consiguiente potencial en la biomasa disponible.

Cabe señalar que la biomasa puede contribuir significativamente al desarrollo sostenible tanto en los países desarrollados y en desarrollo, siempre que los aspectos relacionados con su explotación sean considerados cuidadosamente.

El objetivo del estudio es identificar los municipios de alta y muy alta marginación en el estado de Hidalgo para mejorar sus condiciones de vida a partir de la biomasa ganadera convertida en energía.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología diseñada para este estudio consiste en:

- Acopiar toda la información y datos estadísticos y disponibles relacionados con el objetivo del estudio de las diversas fuentes institucionales, académicas y/o privadas, nacionales e internacionales que aborden el tema (municipales de excretas porcinas).
- Identificar los municipios catalogados en alta y muy alta marginación en el estado de Hidalgo.
- Cuantificar el nivel de biomasa disponible a nivel municipal (para este caso se seleccionó la biomasa porcina).

- Aplicar los cálculos matemáticos para la obtención de los m³ de excretas porcinas, kWh y los requerimientos en kW/h/a de energía eléctrica para el uso doméstico de familias rurales.

La Tabla 1 muestra la producción ganadera que cada uno de los municipios de estudio obtuvieron al 2020 conforme a los resultados del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

Tabla 1. Producción ganadera del estado de Hidalgo y Municipios de estudio en 2020.

Municipio/ Producción Ton	Bovino	Porcino	Ovino	Caprino	Aves	Guajolotes
Hidalgo	59,470.66	21944.07	13525.25	1553.334	104967.562	1487.201
Huehuetla	1,352.35	99.86	8.007	0	57.663	23.459
Xochiatipan	180.664	95.183	3.658	0	19.685	11.401
Yahualica	267.506	69.182	1.938	0	23.364	17.768
Total	1,352.35					

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

En la Tabla 2 se señala los datos de producción de los principales cultivos que generaron los municipios de estudio en 2020 de acuerdo con los datos obtenidos del SIAP (2020), como ejemplo de la posibilidad de utilizar la biomasa agroalimentaria como insumo para generar energía.

Tabla 2. Cultivos generados en 2020 por los Municipios de estudio

Municipio	Cultivo	Superficie (ha)	
		Sembrada	Cosechada
Huehuetla	Frijol	58.50	58.50
	Maíz grano	5,688.63	5,590.03
Subtotal Mpio.		5,747.13	5,648.53
Xochiatipan	Frijol	648	648
	Maíz grano	5,197.55	4,911.21
Subtotal Mpio.		5,845.55	5,559.21
Yahualica	Frijol	291	291
	Maíz grano	4,500.12	3,863.90
Subtotal Mpio.		4,791.12	4,154.90

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

Como se puede observar son solo dos cultivos cuya producción es muy poca considerando que solo se analiza el aprovechamiento del rastrojo, que sería muy bajo, razón por lo que se estudia el aprovechamiento de los residuos orgánicos disponibles en cada región de estudio, a partir de la información de la Tabla 3.

Ecuaciones matemáticas para cálculo del biogás

Para este estudio se propone dimensionar un biodigestor semicontinuo con cuatro factores importantes a considerar: la carga diaria, la temperatura de trabajo, el tiempo de retención hidráulica y los sólidos totales. Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos debe tener entre 8 % y 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen de 40 a 60 % de sólidos totales.

Para calcular que cantidad de agua que se debe agregar por kilo de excretas frescas, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ S.T. (Carga diluida)} = \frac{(1 \text{ kg (exc)} * \% \text{ S.T. (exc. fresca)})}{(1 \text{ kg (exc. fresca)} + \text{agua (Lt)})} \quad (1)$$

Para tener una aproximación a la dimensión real de un proyecto se necesita saber el volumen de carga diaria, como se detalla en la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen carga diaria} = \frac{\text{Cantidad de estiércol kg/día} * \text{litros de agua kg/estiércol}}{\text{cantidad de estiércol kg/día}} \quad (2)$$

Una vez determinada la carga diaria se procede a obtener el volumen del digestor cuya ecuación es:

$$\text{Volumen del digestor} = \text{TRH} * \text{Volumen de carga diaria} \quad (3)$$

Ecuación para determinar la cantidad de diaria de biogás:

$$\text{Producción diaria de biogás ((m}^3 \text{ biogás)/día)} = \frac{\text{cantidad de estiércol diario (kg de MS estiércol/día)} * \text{equivalente producción de biogás para ese efluente (m}^3 \text{ biogás MS estiércol)}}{\text{estiércol}} \quad (4)$$

Ecuación para la producción de energía eléctrica:

$$\text{Producción diaria de energía eléctrica (kWh/día)} = \frac{\text{cantidad de biogás diaria (m}^3 \text{/día)} * \text{equivalente producción de energía eléctrica (kWh/m}^3 \text{ biogás)}}{\text{biogás}} \quad (5)$$

En la Tabla 3 se presenta la producción de biogás por m³/día/año por tipo de fuente de residuo orgánico (estiércol) tomando como referencia el tipo y peso del animal de acuerdo con la información contenida en el Manual de biogás (Varnero, 2011).

Tabla 3. Producción de biogás por tipo de residuo animal

Estiércol	Disponibilidad Kg/día	Volumen de biogás	
		m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bovino (500 kg)	10.00	0.04	0.400
Porcino (50kg)	2.25	0.06	0.135
Aves (2kg)	0.18	0.08	0.014
Ovino (32kg)	1.50	0.05	0.075
Caprino (50kg)	2.00	0.05	0.100

Equino (450kg)	10.00	0.04	0.400
Conejo (3kg)	0.35	0.06	0.021
Excretas Humanas	0.40	0.06	0.025

Fuente: Varnero Moreno, María Teresa, (2011)

El aprovechamiento del valor energético de los desechos del ganado es uno de los beneficios que actualmente está en auge en muchas partes del mundo. Se considera que los establos son una fuente rica para producción de energía mediante la generación de metano; un gas de efecto invernadero de gran impacto ambiental que está contenido en el biogás y puede transformarse en energía eléctrica o térmica.

El sistema de biodigestión considerado para este estudio consta de: 1 geomembrana de polietileno de alta calidad de 2.20m de ancho; 0.90m profundidad; 3.0m largo, que hace la función de bioreactor, 1 válvula de alivio de presión de PCV, 1 válvula de salida; 2 conexiones de PVC, 1 filtro de biogás, 1 sistema de geotextil de protección de la geomembrana, 1 kit de línea de biogás, 1 tina de alimentación, 1 tina de obtención de biol y tuberías de alimentación y descarga, así como los componentes claves son en PVC hidráulico y sanitario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la información acopiada y disponible para el proyecto -como se detalló en la metodología- hizo posible visualizar el potencial que los recursos naturales inagotables aportan para la generación de energía renovable, como la radiación solar, la velocidad del viento y la biomasa. En esta etapa se identificó que es posible el aprovechamientos de las excretas del ganado ovino, bovino, porcino y del humano, para esta investigación se consideraron las porcinas de los municipios de estudio para generar biogás y transformarla en energía eléctrica.

De acuerdo con la información disponible en el portal del SIAP (2020) se obtuvo la base de información para derivar el potencial de este recurso biomásico para los municipios de Huehuetla, Xochiatipan y Yahualica, considerados de alta y muy alta marginación. Se aplicaron las fórmulas matemáticas antes descritas y se obtuvo que la demanda de biogás para satisfacer los requerimientos para cocinar, contar con iluminación y electricidad básica en una casa rural de hasta 4 habitantes por día es de aproximadamente 24m³/d (ComparadorLuz, 2021, De Buen y Navarrete, 2019). Como resultado de la producción de las excretas porcinas para los municipios de Huehuetla es de 279.6 m³/animal/d, para Xochiatipan la producción de biogás es de 266.5m³/d y Yahualica con 193.7 m³/d, cantidades suficientes para atender estas necesidades.

Con estos datos se advierte que proponer proyectos a las comunidades para allegarles los sistemas de biodigestión es posible ya que la utilidad además de ser inmediata representa una opción con resultados a corto plazo.

Demostrar los costos actuales y ahorro en el corto plazo para evidenciar que se paga solo el biodigestor a partir del uso con dos o 3 familias. La construcción del biodigestor, de acuerdo con los datos al 2021, asciende a 5,500 pesos o bien si se desea adquirir uno de 600 lts, el costo comercial aproximado es de \$10,000 pesos. (Homedepot. (s/f)). Existe también en el mercado el Modelo 8m³ con capacidad de 40kg de excretas equivalente a 20kg de gas Lp y 130lt de biol con un precio aproximado de \$25,900 pesos (Buen Manejo del Campo, 2022).

El avance de la experiencia en el uso de biodigestores en México es aún incipiente y aunque a partir de 2005 se empezaron a construir biodigestores, en la actualidad la gran mayoría están en desuso (Gutierrez, 2018). Los biodigestores en forma de laguna tienen una vida media de 2 a 4 años (en granjas) y su rendimiento es de aproximadamente 0.3m³ biogás/m³ de laguna/día. Sin embargo este sistema al estar en contacto con el medio ambiente genera bacterias y olores de manera permanente. Para el caso de estos sistemas aplicados a las granjas pecuarias y tratamiento de excretas y aguas residuales aunque son de baja inversión, su vida útil es corta (2-4 años) y bajo rendimiento (aproximadamente 0.3m³ biogás/m³ de laguna/día) (Gutierrez, 2018). Esta tecnología no se adaptó a las condiciones del campo mexicano y a la fecha no se dispone de mejoras significativas.

Otro tipo de biodigestores son los tubulares de polietileno conocidos como tipo Taiwán que han resultado eficientes para la generación y autoconsumo de biogás en traspatio según Galindo-Barboza y Domínguez-Araujo (2020).

En la actualidad, diversas empresas en el territorio mexicano comercializan biodigestores tipo bolsa; cuyos tamaños son definidos a partir del número de familias y el costo aproximado es de \$16,000 pesos para 4 personas en el medio rural (Buen Manejo del Campo, 2022).

En cuanto a la forma más accesible de acceder al biodigestor, la construcción del mismo por los beneficiarios es quizá la opción más viable e iniciar con la identificación de sus necesidades a nivel familiar, que aprendan a cuantificar a partir del número de cabezas el potencial de las excretas, el tiempo para su fermentación y el rendimiento aproximado, considerando el o los usos de la energía.

Por otro lado, es posible que se considere la construcción de un biodigestor de mayor capacidad del que se beneficie un mayor número de personas y entre todos cooperen para su construcción y se organicen para la realización de las actividades.

Para alcanzar lo anterior, a nivel institucional, es viable que las universidades que dispongan de carreras relacionadas con las energías renovables, impulsen proyectos con la participación de estudiantes, asesorados por los profesores, en donde capaciten a las personas interesadas, se desarrollen los prototipos/modelos acordes a sus requerimientos y se les dé seguimiento durante el tiempo adecuado para garantizar el funcionamiento óptimo y que las personas aprendan todo lo relacionado con la construcción, funcionamiento y mantenimiento del biodigestor, de tal forma que sean autogestivos.

Por otra parte, relacionar a las autoridades municipales en particular con las localidades en las que las actividades agropecuarias sean representativas y se “ofrezcan”/demanden apoyos para cuidar/mejorar el medio ambiente a partir del uso de alternativas de energías renovables, con apoyo municipal.

En cuanto a los requerimientos de excretas para el biodigestor, con base en la cantidad de estiércol a utilizar se podría:

Cantidad de biogás $m^3 = 0.144m^3$ de biogás por día; al año se tendría $52.53m^3$.

Sabiendo que por m^3 de biogás se puede producir 1.72 kWh (Martínez, 2015), entonces la producción diaria de energía eléctrica (kWh/día) sería de 0.247 kWh/d ($0.144m^3/d$)*1.72 (kWh/ m^3).

Por lo tanto la producción de energía eléctrica anual será de 90.41 kWh.

De acuerdo con la literatura, cada metro³ de biogás totalmente combustionado es suficiente para cubrir estas necesidades: el gas requerido para cocinar de 0.1 - 0.3 m^3 /persona; 1 m^3 de biogás contiene el equivalente a 6 kWh de energía térmica, al convertir el biogás a electricidad se pueden obtener 2 kWh; generar 1.25 kWh/h de electricidad; generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 Watt, y hacer funcionar un refrigerador de 1 m^3 de capacidad durante 1 hora (Romero, 2009, Hilbert, s.f., Guardado, 2016).

En el caso dado de resultar insuficientes las excretas de ganado porcino, se sugiere incluir las de los habitantes para generar la cantidad de biogás necesario para el uso doméstico mencionado. Se incluirían las excretas de personas, perros, gatos y aves disponibles y realizar los estudios para cuantificar el tiempo de procesamiento, la

temperatura necesaria dentro del biodigestor y el poder calorífico que se alcanzaría con las características de la mezcla.

CONCLUSIONES

A dos décadas del uso de biodigestores y siguiendo la experiencia histórica registrada en los estados de Coahuila, Durango, Jalisco, Nuevo León, Guanajuato, Michoacán, Chiapas, Chihuahua, Estado de México, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Sonora y Yucatán por mencionar los más representativos, hay experiencia en el diseño y operación de diversos proyectos utilizando los energías renovables.

Como parte de las acciones derivadas del Protocolo de Kyoto, en México se instalaron, entre 2005-2012, 720 biodigestores (tipo laguna o bolsa) para digerir estiércol en granjas porcinas y lecheras, en 11 estados. Alrededor de 520 biodigestores fueron construidos para generar electricidad de autoconsumo. Sin embargo, al concluir en 2012 el comercio de bonos de carbono; la construcción de estos bajó y, al mismo, tiempo numerosos biodigestores y motogeneradores en granjas están en desuso.

Sin embargo, en la actualidad acceder a los servicios de energía eléctrica y gas en el país continúa siendo un reto y mediante estos sistemas es posible allegar energía a la población considerada de alta y muy alta marginación. En este orden ideas, si en las décadas anteriores la experiencia se realizó en la coyuntura de apoyos internacionales y enfocado a la granjas pecuarias de gran producción de estiércol e ingresos. En la actualidad, puede ser utilizada para los servicios básicos y, al mismo tiempo, contribuir a la disminución de los GEI y sumar en la mejora de las condiciones de vida para esta población.

A partir de los diversos estudios realizados durante estas décadas, retomar los sistemas más viables y estableciendo una estrategia con la participación de la población beneficiaria, identificar sus requerimientos domésticos y productivos y analizar, entre las opciones de uso de la energía inagotable, que aporten soluciones a mediano y largo plazo tanto en el disfrute de estos servicios que son un derecho humano; como apoyándose con fertilizantes y biogás que, a largo plazo mejorarán su producción agrícola, incrementarla y/o realizar algunas actividades para tener ingresos económicos adicionales. Como puede verse, estas opciones presuponen integrar una visión de largo plazo; donde ellos mismos sean capacitados en la construcción de los sistemas, operación y mantenimiento del biodigestor y sean autosuficientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRAGÁN ESCANDÓN, E.A. (2018). El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca. Ecuador, Tesis Doctoral, Universidad de Jaén, España. Disponible en: <https://ruja.ujaen.es/jspui/bitstream/10953/936/6/TESIS%20DOCTORAL%20%28AB%29.pdf>. Visitado el 12 de julio de 2021.
- BUEN MANEJO DEL CAMPO. (2022). Biodigestor Modelo 8, ficha Técnica de sistema Bio. Sistema Biobolsa, calle Puebla No. 124, Col. Roma Norte, México. Disponible en: https://sistema.bio/wp-content/uploads/2021.02_MEXICO_CATALOGO_LQ.pdf. Visitado 11 de julio de 2021.
- BP. (2020). STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY, 69th edition. Disponible en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>. Visitado el 1 de octubre de 2021.
- COMPARADORLUZ. (2021). Consumo medio de luz y gas en una casa: ¿Cuánto es y cómo se calcula? Disponible en: <https://comparadorluz.com/faq/consumo-medio-casa#:~:text=Esta%20cifra%20var%C3%ADa%20dependiendo%20del,hasta%20os%203.754%20kWh%2Fa%C3%B1o>. Visitado el 7 de julio de 2021.
- DÁVALOS, V. (2012). Matriz Energética en América Latina y el Caribe, Situación Actual y Perspectivas de las Energía Renovables, OLADE, La Habana, pp. 201. Disponible en: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0433a.pdf>. Visitado el 12 de julio de 2021.
- DE BUEN, ODÓN, NAVARRETE, JUAN IGNACIO. (2019). Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2018 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas. SENER, Cuadernos de la CONUEE Número 2 /Nuevo Ciclo, Febrero de 2019. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/439598/cuaderno2nvciclo_1.pdf. Visitado 21 de julio de 2021.
- GALINDO-BARBOZA, ALBERTO JORGE, ...[et al.] (2020). Mitigación y adaptación al cambio climático mediante la implementación de modelos integrados para el manejo y aprovechamiento de los residuos pecuarios. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 11, suppl.2, pp.107-125. Disponible en: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4697> <https://cienciaspecuarias.inifap.gobmx/index.php/Pecuarias/article/view/4697>. Visitado el 6 de agosto de 2022.

- GLOBAL SOLAR ATLAS. (2021). Huehuetla. Disponible en: <https://bit.ly/3tie36u>
Visitado el 27 de agosto de 2021.
- GLOBAL SOLAR ATLAS. (2021). Xochiatipan. Disponible en <https://bit.ly/3wyc8n>.
Visitado el 27 de agosto de 2021.
- GUARDADO CHACÓN JOSÉ A. (2016). Biogás para familia campesina. Tierra Viva. Cuba Solar. Disponible en: <https://cerai.org/wordpress/wp-content/uploads/2016/01/BIOGAS-PARA-LA-FAMILIA-CAMPESINA-version-web.pdf>. Visitado el 18 agosto de 2021.
- GUTIERREZ, JUAN PABLO. (2018). Situación actual y escenarios para el desarrollo del biogás en México hacia 2024 y 2030, REMBIO y Red Temática de Bioenergía de Conacyt, Disponible en: <http://rembio.org.mx/newsite/wp-content/uploads/2020/11/Situacion-actual-y-escenarios-para-el-desarrollo-del-biogas-en-Mexico.pdf>. Visitado el 1 de agosto de 2022.
- HILBERT JORGE A. (s-f.). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería rural. INTA-Castelar, pp. 36. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf. Visitado el 15 de agosto de 2021.
- HOMEDEPOT. (s/f). Biodigestor 600 lts Aquaplas. Disponible en: https://www.homedepot.com.mx/plomeria/tinacos-y-cisternas/cisternas/biodigestor-autolimpiable-1300-lts-rotoplas-103593?gclid=EAlalQobChMIjNSXvqew-QIVnRatBh05jwIIEAAYASAAEgLpovD_BwE&gclsrc=aw.ds. Visitado el 5 de agosto de 2022.
- INAFED. (2021). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/index.html>. Visitado el 23 agosto de 2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). (2018). World Energy Outlook 2018. Perspectivas energéticas mundiales. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>. Visitado: septiembre 2021.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. (IRENA) (2015). Renewable Energy Prospects: México, REmap 2030. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_Mexico_report_2015.pdf?la=en&hash=8A259915297B04B0D50A422EDF48AD87007B56B1. Visitado el 2 de agosto de 2021.

- LAVAGNE D'ORTIGUE, O.; WHITEMAN, A. y ELSAYED. S. (2015). Renewable Energy Capacity Statistics 2015, International Renewable Energy Agency IRENA.
- MARTÍNEZ LOZANO, MIGUEL (2015). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *Revista Electrónica Nova Scientia*. Vol. 7, No. 15 (3), pp. 96–115. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2033/203342741007.pdf>. Visitado el 29 de julio de 2021.
- ORTIZ GALLARDO, M.G. y PACHECO ROMÁN, F.J. (2017). Biocombustibles Sólidos, Reporte de Inteligencia tecnológica, Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética, México.
- ONU (2020). Las emisiones de CO₂ rompen otro récord: un calentamiento global catastrófico amenaza el planeta. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485312>. Visitado el 30 de agosto de 2021.
- PNUMA. (2020). Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34438/EGR20ESS.pdf?sequence=35>. Visitado el 30 de agosto 2021.
- REN21. (2020). Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century Renewables, Paris, France, pp 8, 41.
- RINCÓN MARTÍNEZ, J.M. y SILVA LORA, E.E. (2014). Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad. Colombia: Editorial Red Iberoamericana. Disponible en: <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/ebp01.pdf>. Visitado el 6 de agosto de 2022.
- ROMERO CHACÓN, JORGE ARTURO. (2009). Soluciones energéticas para la vida cotidiana. Escuela de Energía Eléctrica, Universidad de Costa Rica. Disponible en: <http://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/boletines/grupo02/numero-2/boletin8.html>. Visitado 7 de julio de 2021.
- SECRETARIA DE ENERGÍA (SENER). (2012). Prospectiva de energías renovables 2012-2026. Disponible en: http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PER_2012-2026.pdf Visitado el 20 de agosto 2021.
- SECRETARIA DE ENERGÍA. (SENER). (2016). Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2016-2030.pdf. Visitado el 3 agosto 2021.

SECRETARIA DE ENERGÍA-FONDO DE SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA-IMP.

(2016). Reporte de inteligencia tecnológica. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329908/Reporte_Inteligencia_Tecnologica_BIOGAS_Final.pdf. Visitado el 3 de agosto de 2022.

SECRETARIA DE ENERGÍA (SENER). (2018). Balance Nacional de energía, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/528054/Balance_Nacional_de_Energ_a_2018.pdf. Visitado el 27 de agosto de 2021.

SECRETARIA DE ENERGÍA (SENER) (2019). Balance Nacional de Energía. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. México. p. 30. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/618408/20210218_BNE.pdf. Visitado: 27 de julio de 2021.

SEGOB-DOF (2020). Decreto de la Declaratoria de las Zonas de Atención Prioritaria para el año 2021, Secretaria de Gobernación. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5547481&fecha=28/12/2018 Visitado: 20 de agosto de 2021.

SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP) (2020). Producción anual ganadera al 2020, Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>, http://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/. Visitado: 4 de agosto 2021.

VARNERO MORENO, María Teresa (2011). Manual de Biogás, FAO, Santiago de Chile, p. 119.

VÖGELI, Y. ...et al. (2014). Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies, the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and the Swiss National Centre of Competence in Research (NCCR) North-South, *Eawag Acuatic Reseach*, DOI:10.13140/2.1.2663.1045.