



Fecha de presentación: 28/9/2020

Fecha de aceptación: 30/11/2020

Fecha de publicación: 18/12/2020

¿Cómo citar este artículo?

Morgado León, F. de J., López González L. M., & Pedraza Garciga, J. (septiembre-diciembre, 2020). Revisión sobre las principales tecnologías para la purificación de biogás. Situación actual en Cuba. Revista *Márgenes*, 8(3), 119-139. Recuperado de <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/issue/view/1094>

TÍTULO: REVISIÓN SOBRE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS PARA LA PURIFICACIÓN DE BIOGÁS. SITUACIÓN ACTUAL EN CUBA

TITLE: REVIEW ON THE MAIN TECHNOLOGIES USED FOR BIOGAS PURIFICATION. CURRENT SITUATION IN CUBA

Autores: Ing. Fabiany de Jesús Morgado-León¹, Dra. C. Lisbet Mailin López-González², Dr. C. Julio Pedraza-Garciga³

¹ Ingeniera Química. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí”, Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales, Sancti Spíritus, Cuba. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6394-869x> Correo electrónico: fabiany@uniss.edu.cu

² Ingeniera Química. Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora Titular. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí”, Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales, Sancti Spíritus, Cuba. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2362-5703> Correo electrónico: lisbet@uniss.edu.cu

³ Ingeniero Químico. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí”, Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales, Sancti Spíritus, Cuba. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1780-5297> Correo electrónico: jperdaza@uniss.edu.cu

RESUMEN

La producción de biogás es un proceso sostenible establecido para la generación simultánea de energía renovable y el tratamiento de residuos orgánicos. El creciente interés por su utilización como sustituyente del gas natural o su explotación como combustible para el transporte abre nuevas brechas para el desarrollo de técnicas de purificación. La literatura consultada permite clasificar las tecnologías en cinco

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

categorías: absorción (por vía física o química); adsorción (por balance de presión, temperatura o por balance eléctrico); separación por membranas; métodos biológicos y separación criogénica. El objetivo de esta revisión es realizar una evaluación teórica de las tecnologías existentes para la purificación de biogás, comparando su funcionamiento, ventajas e inconvenientes. Se concluye que la tecnología de absorción física con agua es económicamente viable, aunque reporta una menor eficiencia en comparación con la absorción química; el proceso de separación criogénica logra una alta pureza de CH₄ y un combustible líquido altamente presurizado, mientras que la absorción química con aminas y la separación criogénica aseguran una baja emisión de CH₄. En Cuba se han implementado principalmente tecnologías destinadas a desulfurizar el biogás para su uso en la cocción de alimentos. La absorción de H₂S a partir de óxido de hierro, empleando virutas de acero o la inmersión de estas en agua, son los métodos más generalizados por su sencillez y bajo costo.

Palabras clave: biogás; purificación de biogás; tecnologías.

ABSTRACT

Biogas production is an established sustainable process for simultaneous generation of renewable energy and treatment of organic wastes. The increasing interest of both utilizing biogas as a substitute for natural gas or its exploitation as a transport fuel opened new avenues in the development of biogas upgrading techniques. The consulted literature allowed the technologies to be classified into five categories: absorption (by physical or chemical means); adsorption (by pressure, temperature or electrical balance); membrane separation; biological methods and cryogenic separation. The objective of this review is to carry out a theoretical evaluation of the existing technologies for biogas purification by comparing their performance, advantages and disadvantages. As a conclusion, the technology of physical absorption with water is economically viable although a lower efficiency is evident when compared to chemical absorption. Furthermore, cryogenic separation process achieves high CH₄ purity and

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

highly pressurized liquid fuel, while amine chemical absorption and cryogenic separation ensure low CH₄ emission. In Cuba, technologies have mainly been implemented to desulfurize biogas for cooking food. The absorption of H₂S from iron oxide, using steel shavings or their immersion in water, are the most widespread methods due to their simplicity and low cost.

Keywords: biogas; biogas purification; technologies.

INTRODUCCIÓN

El biogás es producido por la degradación anaerobia de componentes orgánicos y puede ser el sustituto del gas natural y de los combustibles fósiles. Contiene mayormente tres componentes: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂). Sin embargo, otras especies en forma de trazas coexisten, como el sulfuro de hidrógeno (H₂S), hidrógeno (H₂), amoníaco (NH₃), oxígeno (O₂) y monóxido de carbono (CO), (Ullah et al., 2017). Además, el biogás común se encuentra saturado con agua, partículas de polvo, siloxanos, componentes aromáticos y halogenados (Andriani & Wresta, 2014), pero las cantidades de estos componentes son muy bajos comparados con el CH₄ y CO₂ (Rasi, Veijanen & Rintala, 2007).

La mejora o purificación del biogás consiste en la remoción de gases no combustibles, considerados contaminantes, tales con CO₂, H₂S y vapor de agua, los cuales reducen el valor calorífico del biogás y hacen poco rentable el proceso de compresión. De esta manera se logra la obtención de un biogás con un alto porcentaje del CH₄, el cual se caracteriza por ser incoloro, inodoro, insípido, además de ser efectivo energicamente para su aplicación como combustible, fuente de calor o electricidad (Sahota et al., 2018).

Con este fin, se han desarrollado una serie de tecnologías de acuerdo al compuesto contaminante que se desee eliminar. Entre las tecnologías que se aplican en la actualidad y que están disponibles en la escala industrial para la purificación de biogás

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



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

se incluyen la absorción (física y química), la adsorción, la separación por membrana, los métodos biológicos y la separación criogénica.

El objetivo principal de este artículo es realizar una evaluación teórica de algunas de las tecnologías de purificación de biogás existentes para ser valoradas en su efectividad.

DESARROLLO

Tecnologías empleadas en la remoción de impurezas presentes en el biogás

En general, la recuperación de CH₄ a través de procesos físico-químicos puede alcanzar el 96% y como es discutido más adelante, el aumento de la temperatura, la alta presión o la adición de sustancias químicas son requeridas para asegurar una bio-metanización eficiente. Existen un gran número de tecnologías disponibles para la remoción del CO₂, H₂S y otros compuestos contenidos en el biogás. Una clasificación más ampliada de estas tecnologías de purificación se muestra en la Figura 1 y se profundiza posteriormente.



Figura 1. Tecnologías actuales para la purificación de biogás

Fuente: Elaboración propia, 2020

Absorción

➤ Absorción física

La limpieza con H₂O es la tecnología más común y bien establecida usada para la remoción de CO₂ y H₂S del biogás. Este es un método fácil y económico que utiliza

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



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

agua presurizada a 10 bar como adsorbente en contra corriente (Cozma et al., 2014), ver Figura 2. El H_2S es removido por debajo de los 5 mg/m^3 (4 ppmv), sin embargo se recomienda una fuerte desulfurización a concentraciones entre $418\text{-}696 \text{ mg/m}^3$ (300-500 ppmv) como paso previo, y así evitar el taponamiento en el sistema de regeneración. Entre las desventajas de esta tecnología está el alto consumo de H_2O para eliminar pequeñas cantidades de H_2S ; al agregar NaOH se mejora el proceso, pero se forman sustancias que no se regeneran y producen problemas de disposición. La limpieza con solvente físicos o depuración física orgánica posee el principio anterior pero en lugar de agua emplea un solvente orgánico. Varios solventes orgánicos como el metanol, el n-metilpirolidona y el dimetil eter de polietilenglycol son usados en la absorción del CO_2 . El solvente más utilizado es el dimetil eter de polietilenglycol (DEPG), comercialmente conocido como Genosorb 1753 (proceso Selexol) o Coastal Chemical AGR. La solubilidad del CO_2 es 5 veces superior en este compuesto que en el H_2O para la misma capacidad de purificación, resultando en una demanda baja de bombeo y de solvente (Chen et al., 2015), aunque requiriendo más energía para su regeneración. Este solvente puede remover CO_2 , H_2S , H_2O , O_2 , N_2 e hidrocarburos halogenados, aunque es recomendada la previa remoción del H_2S para este proceso (Morero, 2015). Se debe tener en cuenta que los costos de solventes orgánicos son significativamente mayores que los del agua.

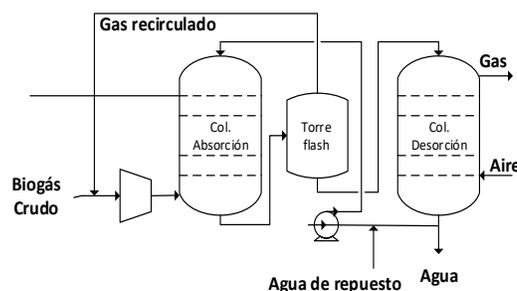


Figura 2. Esquema general de absorción

Fuente: Elaboración propia, 2020

➤ **Absorción química**

Los solventes químicos generalmente emplean soluciones acuosas de sales alcalinas (hidróxido de sodio, potasio y calcio) o soluciones acuosas de aminas (mono, di o tri etanolamina) (Kapdi, Vijay, Rajesh & Prasad, 2005).

La limpieza con solventes inorgánicos es ayudada por agitación y el factor que gobierna la velocidad es la concentración en la solución. La turbulencia en el solvente y el tiempo de contacto entre el biogás y el líquido incrementa la difusión del CO₂ en el solvente. No es una buena opción cuando el biogás opera con altas concentraciones de H₂S o CO₂. Por otro lado, la absorción del H₂S puede tener lugar con soluciones como el FeCl₃, método muy efectivo en reducir altos niveles de H₂S. El proceso se basa en la formación de precipitados insolubles y puede ser agregado directamente al digestor.

Las alcanolaminas tales como mono, di y metil etanolamina (MEA, DEA y MDEA) y diisoproanolamine (DIPA) son muy usadas en procesos industriales a gran escala que operan con biogás. Usualmente la solubilidad del CO₂ en el agua incrementa con la disminución de la temperatura, pero en la limpieza con aminas la proporción de la reacción entre el CO₂ y la solución de amina incrementa con el aumento de la temperatura, por ende brinda más absorción del CO₂. El gas producto (CH₄) se encuentra desde el tope de la columna. En caso de que el H₂S esté presente en el biogás crudo será absorbido por la solución de amina y se necesitará una elevada temperatura en la regeneración para desorber el H₂S, por lo tanto, se recomienda removerlo previamente.

Adsorción

La adsorción normalmente se lleva a cabo a alta temperatura y presión, y tiene una buena capacidad para remover la humedad.

➤ **Adsorción en superficie sólida o adsorción por balance de presión (PSA)**

En la adsorción por balance de presión o PSA (por sus siglas en inglés), gases como el CO₂ son separados del biogás bajo elevadas presiones usando materiales adsorbentes.

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



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

Luego, la presión es reducida para desorber los gases adsorbidos (Ho, Allinson & Wiley, 2008), Figura 3. En este método, el H₂S es removido previamente usando un filtro de carbón activado pues este gas es considerado tóxico para el proceso y su adsorción es normalmente irreversible (Hullu, Waassen & Van Meel, 2008). Para reducir las pérdidas de CH₄ en el gas a desorber, el sistema debe ser diseñado de forma tal que los gases recirculen al proceso. Los materiales adsorbentes son el corazón de este método, de ellos depende remover CO₂, H₂S, humedad y otras impurezas. Los materiales moleculares tamizantes más comúnmente usados son la zeolita y el carbón activado, sus poros son los responsables de la fácil penetración del CO₂ mientras que el CH₄ es retenido (Zhao & Leonhardt, 2010). Además se pueden emplear silicagel, alúmina o silicatos.

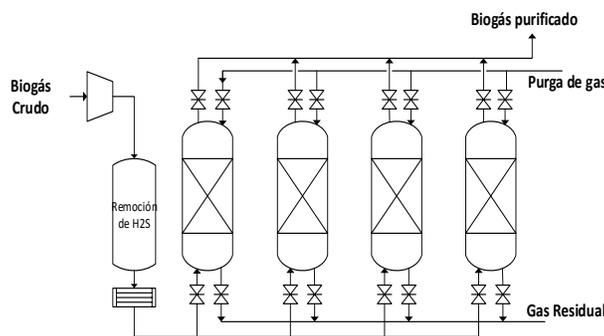


Figura 3. Esquema de adsorción por balance de presión (PSA)

Fuente: Elaboración propia, 2020

➤ **Adsorción por balance de temperatura (TSA)**

En este tipo de adsorción, conocida en inglés por las siglas TSA, la temperatura es incrementada a presión constante, a diferencia del método PSA donde la presión es reducida (Mason et al., 2011). La TSA requiere energía térmica para regenerar el material adsorbente por ende, puede ser una mejor opción si la fuente de energía disponible es barata. Se han identificado materiales adsorbentes muy eficientes como el CCM (*carbon cryogel microspheres*) y CXM (*carbon xerogel microspheres*) para



emplear este método debido a su alta porosidad y estructura estable (Yamamoto, Endo, Ohmori & Nakaiwa, 2004).

➤ **Adsorción por balance eléctrico (ESA)**

En la ESA (por sus siglas en inglés), la regeneración es llevada a cabo por el paso de la electricidad a través del adsorbente saturado y el calor generado facilita la liberación de CO₂ (Moon & Shim, 2006). A pesar de que este proceso tiene la ventaja de reducir el costo de la captura de CO₂ si lo comparamos con la PSA o la TSA, se necesita conductividad eléctrica para el adsorbente utilizado, el carbón activado ha sido desarrollado como un nuevo adsorbente semiconductor con una elevada área superficial y porosidad (An, Feng & Su, 2011).

Separación por membrana

La base de este proceso es la permeabilidad selectiva de los gases a través de membranas. Cuando el biogás se coloca dentro del recipiente, el CO₂ pasa mientras que el CH₄ es retenido. Esto da lugar a un gas rico en CH₄ y con una alta presión en el exterior de las fibras, y a un gas enriquecido con CO₂ a baja presión en el interior de las fibras, ver Figura 4. Esta tecnología puede ser más beneficiosa si el flujo de gas es bajo y el contenido de CO₂ en este es alto (Baker & Lokhandwala, 2008).

Existen 3 diferentes tipos de membranas usadas para la purificación de biogás: poliméricas, inorgánicas y mixtas. Aunque las poliméricas son las más comerciales y presentan excelentes propiedades, las investigaciones de estos materiales para la separación de gases se han visto retadas por el límite entre la permeabilidad y la selectividad, siendo más ventajosas las membranas inorgánicas a pesar de su proceso de fabricación riguroso y de continuo control. Se espera entonces, que las membranas mixtas tengan mayores beneficios, pues son un complejo consistente en materiales poliméricos (etapa continua) con partículas inorgánicas (etapa dispersa), combinando las ventajas de ambos materiales, son superadas las limitaciones de cada etapa por separado (Rezaei-DashtArzhandi et al., 2016). Una sola unidad de separación no puede

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



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

proporcionar una buena remoción de CO_2 , por lo que se emplean procesos multietapas que pueden lograr 98% v/v de CH_4 . Este proceso multietapas posee bajos costos de inversión y operación, comparados con procesos de etapas simples (Rezaei et al., 2014).

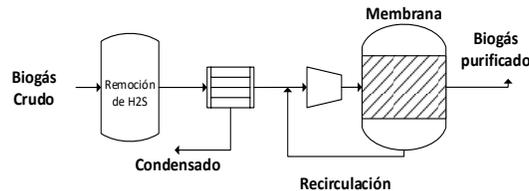


Figura 4. Purificación con membrana

Fuente: Elaboración propia, 2020

Métodos biológicos

Estos métodos, utilizan la capacidad metabólica de algunos microorganismos que degradan sustancias contaminantes, se basan en la oxidación microbológica de H_2S a compuestos de azufre de fácil eliminación, fijando CO_2 simultáneamente como función estequiométrica de la oxidación del sulfuro (Soreanu, 2008). De esta manera se puede lograr un enriquecimiento en CH_4 , al remover CO_2 y eliminar el elemento (H_2S) más corrosivo y limitante para posteriores usos del gas purificado. Las bacterias seleccionadas en los procesos para convertir H_2S a S^0 deben tener las siguientes características: capacidad fiable de convertir H_2S a S^0 , mínima entrada de nutrientes, y fácil separación de S^0 de la biomasa (Syed, Soreanu, Falletta & Béland, 2006). Existe una variedad de bacterias que oxidan el H_2S . Los principales microorganismos estudiados y que se emplean para la desulfuración, corresponden a los géneros *Beggiatoa*, *Xanthomonas Sulfolobus*, *Lectospirillum* y especialmente, *Chlorobium* y *Thiobacillus*, estos microorganismos, necesitan de un soporte donde se puedan llevar a cabo los procesos y vías metabólicas. Para ello, existen sistemas que permiten que los microorganismos seleccionados, que se encuentren inmovilizados o en suspensión,

mineralicen los compuestos a tratar. Los sistemas más utilizados son biofiltros, biofiltros percoladores y los biolavadores.

Separación criogénica

El método criogénico implica la separación de la mezcla de biogás por condensaciones fraccionadas y destilaciones a bajas temperaturas (-170°C) y presiones de (80 bar), ver Figura 5. Está basada en el principio de que varios gases como el CO_2 y el H_2S se licuan bajo diferentes presiones y condiciones de temperatura. Existen dos aproximaciones para la limpieza del gas usando etapas criogénicas: licuefacción de metano o licuefacción de dióxido de carbono. En el caso de la limpieza del biogás, la técnica es más apropiada si se aplica a la licuefacción del metano a partir de una corriente pretratada de la cual se ha removido el CO_2 . Esta tecnología puede ser muy útil si la meta es producir biometano licuado y gas líquido natural. Se recomienda separar previamente el H_2O y el H_2S del biogás crudo para evitar tupiciones de los equipos durante el enfriamiento del H_2O existente. Este fenómeno reduce significativamente la presión de operación del sistema.

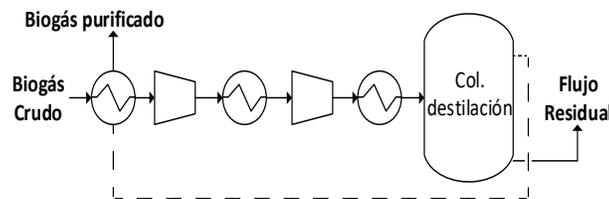


Figura 5: Separación criogénica

Fuente: Elaboración propia, 2020

Análisis comparativo del funcionamiento de algunas de las tecnologías actualmente disponibles para la purificación de biogás. Características, ventajas y desventajas.

La mejor alternativa para la purificación va a depender en gran medida de la calidad requerida en el biogás purificado (que está en función de su uso final), del tipo de

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

tecnología elegida y dinero disponible para la inversión, costos de operación y mantenimiento, y la cercanía de recursos locales para el progreso del proceso como por ejemplo yacimientos de materiales y disponibilidad de agua. Por ello, se ofrecen dos tablas comparativas (Véanse Tabla 1 y 2) que muestran las principales características de algunas de las tecnologías de tratamiento actualmente disponibles para la purificación de biogás para ser valoradas independientemente de criterios ofrecidos, pues no existe una tecnología óptima, si se tienen en consideración todos los parámetros. El criterio de selección del tipo de tecnología no se debe basar solo en los costos económicos, sino que deben considerarse, además, aspectos tecnológicos y de sostenibilidad ambiental.

Los costos económicos es uno de los factores cruciales para determinar la opción más óptima de purificación aunque, no siempre la opción más barata es la mejor. Tecnologías como la de absorción física con agua son económicamente viables mientras que las tecnologías de separación criogénica y la absorción química proveen de una mayor eficiencia aunque con ascendentes inversiones (Bauer, Persson, Hulteberg & Tamm, 2013). Sin embargo, la separación criogénica es económicamente efectiva en términos de costos de mantenimiento para aplicaciones a grandes escalas. En el caso de la separación por membrana el costo de inversión es alto pero los costos operacionales son relativamente bajos (Vrbová & Karel, 2017).

El uso final del biogás es un parámetro importante a tener en cuenta. En la utilización del biogás como combustible para vehículos, es necesaria una alta concentración de CH₄, por lo que procesos como el de absorción química y separación criogénica garantizan una alta pureza de CH₄, mientras que tecnologías como la de absorción física con agua y la separación con membranas ofrecen una ventaja en la remoción de O₂ y N₂, además de la remoción de CO₂ (Bauer et al., 2013). La separación criogénica manifiesta su superioridad sobre otras tecnologías, ya que produce un combustible líquido altamente presurizado, por lo tanto asegura la ausencia de energía para la

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

compresión para convertirlo en un combustible viable para vehículos (Collet et al., 2017).

En la práctica, el consumo energético y la emisión de CH₄ son aspectos vitales para definir la sostenibilidad medioambiental. Procesos absortivos, como los que emplean agua, solventes orgánicos y aminas, requieren de más energía que los procesos de separación de membrana y los de adsorción por balance de presión (Sun et al., 2015). La absorción química con aminas y la separación criogénica prometen una baja emisión de CH₄, sin embargo valores bajos también pueden ser alcanzados incrementado las columnas en los procesos de adsorción por balance de presión (Sun et al., 2015). La demanda eléctrica es elevada en la separación criogénica si se compara con la empleada en la adsorción por balance de presión, esta tecnología puede ser propuesta como un proceso ambientalmente sostenible.

Particularidades del contexto cubano

De acuerdo a datos reportados por la Oficina Nacional para el Control y Uso Racional de la Energía (ONURE, 2020), Cuba cuenta con un estimado de 3000 biodigestores de pequeña escala (<100 m³) donde se producen aproximadamente 674 000 m³/día de biogás, ahorrando 369 000 ton de combustible y evitando la emisión de 1 270 000 ton de CO₂. El país cuenta además con 75 plantas de biogás de mediana (> 100 m³) y gran escala (>1000 m³) para la producción de biogás y 5 más en fase constructiva. Se estima un potencial para llegar a 7800 biodigestores. Por lo general, estas instalaciones se conjugan con un sistema de purificación pues de otra manera el biogás obtenido presentaría gran cantidad de contaminantes, bajo valor calórico y provocaría afectaciones al equipamiento y la salud humana.

En las condiciones del campesinado cubano, las principales tecnologías implementadas en la actualidad son las plantas de biogás de cúpula fija o modelo chino (8-90 m³ de capacidad) y el biodigestor tubular de policloruro de vinilo (principalmente 10 m³ de capacidad) (Suárez et al., 2018); para granjas porcinas y empresas estatales, donde se

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

necesitan capacidades superiores, existen experiencias positivas con la instalación del biodigestor híbrido cubano (hasta 700 m³) (Hermida et al., 2020), donde es necesario volúmenes mayores de 700 m³ se emplean dos biodigestores en serie. También la tecnología de lagunas tapadas, incorporando agitación mecánica, está representada en el país con el funcionamiento de una laguna tapada de geomembrana sintética de alta densidad, con volumen de 4500 m³, mientras que otras dos de 2500 m³ y 1850 m³ están en construcción con fecha de terminación en el 2021 (Aqualimpia, 2020).

El biogás producido se usa principalmente en la cocción de alimentos, para lo cual solo se necesita la desulfurización a valores inferiores de 10 ppm. Otros usos que se han ido implementando en los últimos años son en la refrigeración, alumbrado, generación de electricidad y riego. Para la generación de electricidad se debe reducir el contenido de H₂S a menos de 500 ppm, dependiendo del tipo de motor (Awe et al., 2017).

Los métodos más popularizados son la absorción de H₂S a partir de óxido de hierro, empleando virutas de acero provenientes de los trabajos de tornería o fresado (Díaz, 2009), filtros con limallas de hierro sumergidas en agua, filtros con solución alcalina de Ca(OH)₂ (absorción química), o una combinación de ambos (López & Suárez, 2018), y filtros de carbón de marabú (adsorción) (Hermida, 2020). El método reportado por (Díaz, 2009) arrojó resultados negativos a largo plazo promoviendo la corrosión y roturas en compresores y tanques. Se recomienda un pretratamiento de las virutas para su conversión a Fe₂O₃, consistente en un proceso de lavado con detergente, inmersión en solución de HCl (5%), secado natural e inmersión en NaOH (5%) durante 5 a 10 minutos. López & Suárez (2018) redujeron hasta un 48% el contenido promedio de H₂S, recomendando realizar el lavado de las limallas cada 25 días y su reposición cada 6 meses.

No se tiene una estadística clara en el país de las plantas de biogás que purifican y los métodos utilizados. A pesar de ello, existen experiencias en la construcción de

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

biodigestores, la purificación y el uso del biogás en el marco del proyecto internacional BIOMAS-CUBA en la provincia de Sancti Spíritus, las cuales se abordan a continuación. En comunicación personal con López, 2020 y Savran, 2020, especialistas del proyecto BIOMAS-CUBA se plantea que un total de 93 biodigestores fueron apoyados por dicho proyecto entre 2009-2017, de los biodigestores instalados todos desulfurizan el biogás, ya sea por un filtro simple, dos filtros en serie (limallas sumergidas en agua) o una combinación de este último con un filtro con solución alcalina (Figura 6 a y b). Se busca garantizar la superficie de contacto y el tiempo de circulación del biogás para una adecuada remoción de H_2S . Las mayores dificultades con la implementación han sido: No se conoce el % de remoción de H_2S en los filtros instalados, el cambio del material absorbente/adsorbente se realiza cuando el olor a “huevo podrido” denota la presencia de H_2S , además muchos usuarios no prestan atención al tema y la escasez de materiales y accesorios son un problema en la construcción de los filtros.



Figura 6. Filtro con limallas de hierro sumergidas en agua (a) y Filtro con solución alcalina seguido de filtros en serie con limallas sumergidas en agua (b).

Fuente: Imagen tomada por el autor, 2020

Para plantas de biogás de mediana y gran escala donde el destino es la generación de electricidad, se han importado filtros con pellets de hierro, los cuales son suministrados por el mismo proveedor del grupo electrógeno.

La tecnología de desulfuración biológica ha sido implementada en la planta de biogás de la UEB Derivados “Heriberto Duquesne”, provincia de Villa Clara. El proceso consiste en una columna de lavado, donde el H_2S es absorbido por una fase acuosa

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

alcalina, que en este caso es el propio efluente del reactor de biogás y una etapa biológica donde se logra la conversión del H_2S a azufre elemental por bacterias sulfoxidantes cultivadas en presencia de O_2 . Es un método con bajos costos de aplicación y factible (Lorenzo, 2015).

Es opinión de los autores de esta publicación que el tema de purificación del biogás necesita de un mayor apoyo por parte de las universidades y de los proyectos involucrados en el desarrollo del biogás. Se necesitan evaluar los diseños propuestos, posibilitar la compra de accesorios y material de reposición y brindar más información sobre el tema.

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 1. Principales características de las tecnologías de tratamientos para la purificación de biogás (Morero, Gropelli & Campanella, 2010), (Vrbová & Karel, 2017), (Singhal, Agarwal, Arora, Sharma & Singhal, 2017). *NR: no reportados

Tecnologías	Absorbente/ Adsorbente	Pureza CH ₄ (%)	Pérdidas CH ₄ (%)	Cons. Energía(kW h/Nm ³)	Diseño	Operación	Costo de inversión	Costo de operación
Absorción física	Agua	95-98	<2;medio	0,2-0,5	Muy sencillo	Muy sencilla	Bajo	Bajo
	Solventes orgánicos	93-98	<4;alto	0,10-0,33	Sencillo	Sencilla	Medio	Medio
Absorción química					Muy sencillo	Sencilla	Bajo	Bajo
	Aminas	>98	<0,5;bajo	0,05-0,18			Alta	
Adsorción (PSA)	Tamices moleculares	>96-98	<3;medio	0,16-0,43	Sencillo	Sencilla	Alto, dependiente del número de columnas	
Sep. por membrana		90-99	<5;alto	0,18-0,35	Normal	Normal	Alto	Medio
Métodos biológicos		NR	NR	NR	Sencillo	Sencilla	Medio	Medio
Sep. criogénica		99	<0,1;más bajo	0,18-0,25	Normal	Normal	Alto	Alto

Fuente: Elaboración propia, 2020



ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las diversas tecnologías disponibles para la purificación de biogás (Kadam & Panwar, 2017), (Masebinu, Aboyade & Muzenda, 2014), (Niesner, Jecha & Stehlik, 2013).

Tecnologías	Características	Ventajas	Desventajas
Absorción física	Con agua	Alta eficiencia de purificación >98% -No requiere químicos -Remueve CO ₂ y H ₂ S -Es posible regenerar el agua	Eliminación previa de H ₂ S (corrosión) -Requiere altas cantidades de agua fresca -Taponamiento por crecimiento bacteriano -Alta potencia para bombeo y recirculación -Genera mucha agua residual
	Con solvente orgánicos	-Remueve (H ₂ S, NH ₃ , HCN y H ₂ O)	-Para aplicaciones a bajas escalas -Solventes costosos y difíciles de manejar -Requiere energía y eliminación previa de H ₂ S para regenerar el solvente
Absorción química	Para remover principalmente CO ₂ , H ₂ S y vapor de agua	-Alta eficiencia y selectividad de CO ₂ en dependencia del químico -Solvente fácil de regenerar -Más rápido que absorción física con agua	-Residuos químicos pueden requerir tratamientos -Problemas de corrosión
	Con Aminas	-Alta pureza y bajas pérdidas de CH ₄ -Posible remoción completa de H ₂ S -Puede operar a baja presión -Solvente fácil de regenerar	-Precipitan sales -Posible contaminación biológica, formación de espumas y problemas de corrosión -Requiere calor externo para regeneración
Adsorción (superficie sólida)	Remueve impurezas simultánea o selectivamente	-Eficiencia superior al 98%, dependiendo del adsorbente	-Alta caída de presión -Requiere calor
Por balance	Con tamices	-No empleo de agua o químicos	-Eliminación previa de H ₂ S y H ₂ O

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

de presión	moleculares	-No contaminación microbiana ni agua residual -Remoción parcial de N ₂ y O ₂ -Baja demanda de energía	-Control excesivo -Necesita de 3-4 corrientes en paralelo -Instalación compleja
Separación por membranas	Para alta purificación de CH ₄	-No empleo de agua o químicos -Requiere de pequeños espacios -Rápida instalación y mantenimiento fácil -Proceso ambientalmente amigable	-Eliminación previa de H ₂ S, H ₂ O, trazas de aceite y aerosoles -Alta presión, energía y multi-etapas para lograr 98% v/v de CH ₄ . -Inestable a largos términos
Métodos biológicos	Emplea microorganismos	-Remueve hasta 99% de H ₂ S -Bajos requerimientos químicos y energéticos -Equipamiento sencillo -No contaminantes secundarios	-Procedimiento lento
Separación criogénica	La más alta pureza de CH ₄	-No emplea químicos -Requiere poca energía -Recuperación de componentes puros en forma líquida. Fácil transporte.	-Altos requerimientos de energía -Baja remoción de CO ₂

Fuente: Elaboración propia, 2020

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CONCLUSIONES

A partir de las cinco tecnologías expuestas en este artículo se concluye que cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas y poseen una factibilidad técnica y económica demostrada. El criterio de selección del tipo de tecnología debe basarse tanto en parámetros económicos como en aspectos tecnológicos y de sostenibilidad ambiental. La absorción física con agua representa uno de los métodos más populares aunque menos eficiente. En Cuba, el método más generalizado debido a sencillez y costos, es la absorción a partir de óxido de hierro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- An, H., Feng, B. & Su, S. (2011). CO₂ capture by electrothermal swing adsorption with activated carbon fibre materials. *Int J Greenh Gas Control*, 5.
- Andriani, D. & Wresta, A. (2014). A review on optimization production and upgrading biogas through CO₂ removal using various techniques. *Appl Biochem Biotechnol*, 172.
- Aqualimpia. (2020). *Proyectos de capacitación y construcción de biodigestores en Cuba* [Online]. Available: <http://www.aqualimpia.com/indio-hatuey/>
- Awe, O. W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D. P. & Iycko, N. (2017). A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. *Waste and Biomass Valorization*, 8, 267-283.
- Baker, R. & Iokhandwala, K. (2008). Natural gas processing with membranes: an overview. *Ind Eng Chem Res*, 47.
- Bauer, F., Persson, T., Hultberg, C. & Tamm, D. 2013. Biogas upgrading – technology overview, comparison and perspectives for the future. *Biofuels Bioprod. Biorefin*, 7.
- Collet, P., Flottes, E., Favre, A., Raynal, L., Pierre, H., Capela, S. & Peregrina, C. 2017. Technoeconomic and life cycle assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology. *TApl. Energy*, 192.
- Cozma, P., Wukovi, W., Friedl, A. & Gavrilescu, M. (2014). Modeling and simulation of high pressure water scrubbing technology applied for biogas upgrading. *Clean Technol Environ Policy*, 17.
- Chen, X., Vinh-Thang, H., Ramirez, A., Rodrigue, D. & Kaliaguine, S. (2015). Membrane gas separation technologies for biogas upgrading. *RSC Adv*, 31.
- Díaz, M. P. (2009). Consideraciones tecnológicas que facilitan la obtención de biogás, para su aplicación en la agricultura y la industria, además de la cocción de alimentos.
- Hermida, O. G. (30 de noviembre 2020). RE: comunicación personal.

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Hermida, O. G., Barrera, E. L. C., Alba, Y., López, L. G., Pedraza, J. G. & Álvarez-Guerra, M. A. P. (2020). Impacto de la producción de biogás en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos. *Universidad y Sociedad*, 12, 254-262.
- Ho, M. T., Allinson, G. & Wiley, D. E. (2008). Reducing the cost of CO₂ capture from flue gases using pressure swing adsorption. *Ind Eng Chem*, 47.
- Hullu, J., Waassen, J. & Van Meel, P. (2008). Comparing different biogas upgrading techniques. *Eindhoven Univ Technol*, 56.
- Kadam, R. & Panwar, N. L. (2017). Recent advancement in biogas enrichment and its applications. *Renew. Sust. Energ. Rev*, 73.
- Kapdi, S. S., Vijay, V. K., Rajesh, S. K. & Prasad, R. (2005). Biogas scrubbing, compression and storage: Perspective and prospectus in indian context. *Renewable Energy*, 30.
- López, A. S. (comunicación personal, 3 de diciembre 2020)
- López, A. S. & Suárez, J. H. (2018). Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 41, 73-79.
- Lorenzo, Y. A. (2015). Nueva tecnología de producción en etanol y biogás de menor costo e impacto ambiental negativo para la UEB Derivados Heriberto Duquesne (Tesis doctoral). Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echaverría", La Habana, Cuba.
- Masebinu, S. O., Aboyade, A. & Muzenda, E. (2014). Enrichment of biogas for use as vehicular fuel: a review of the upgrading techniques. *Int. J. Res. Chem. Metall. Civil Eng.* 1.
- Mason, J. A., Sumida, K., Herm, Z. R., Krishna, R. & Long, J. R. (2011). Evaluating metal-organic frameworks for post-combustion carbon dioxide capture via temperature swing adsorption. *Energy Environ Sci*, 4.
- Moon, S. H. & Shim, J. W. (2006). A novel process for CO₂/CH₄ gas separation on activated carbon fibers-electric swing adsorption. *J Colloid Interface Sci*, 298.
- Morero, B. (2015). Purificación de biogás con tecnologías de producción limpias (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- Morero, B., Gropelli, E. & Campanella, E. (2010). Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás. *Ciencia y Tecnología*, 10, (15).
- Niesner, J., Jecha, D. & Stehlik, P. (2013). Biogas upgrading techniques: state of art review in European region. *Chem. Eng. Trans*, 35.
- Oficina Nacional para el Control y Uso Racional de la Energía (ONURE, 2020). *Noticiero Nacional de la Televisión Cubana*. In: Moreno, E. (ed.). La Habana, Cuba: Instituto Cubano de Radio y Televisión.
- Rasi, S., Veijanen, A. & Rintala, J. (2007). Trace compounds of biogas from different biogas production plants. *Energy*, 32.

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



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

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Rezaei-Dashtarzhandi, M., Ismail, A. F., Ghanbari, M., Bakeri, G., Hashemifard, S. A. & Matsuura, T. (2016). An investigation of temperature effects on the properties and CO₂ absorption performance of porous PVDF/montmorillonite mixed matrix membranes. *J Nat Gas Sci Eng*, 31.
- Rezaei, M., Ismail, A. F., Hashemifard, S. A., Bakeri, G. & Matsuura, T. (2014). Experimental study on the performance and long-term stability of PVDF/montmorillonite hollow fiber mixed matrix membranes for CO₂ separation process. *Int J Greenh Gas Control*, 26.
- Sahota, S., Vijay, V. K., Subbarao, P. M. V., Chandra, R., Ghosh, P., Shah, G., Kapoor, R., Vijay, V., Koutu, V. & Thakur, I. S. (2018). Characterization of leaf waste based biochar for cost effective hydrogen sulphide removal from biogas. *Bioresour Technol*, 250.
- Savran, V. (comunicación personal, 3 de diciembre 2020)
- Singhal, S., Agarwal, S., Arora, S., Sharma, P. & Singhal, N. (2017). Upgrading techniques for transformation of biogas to bio-CNG: a review. *Int. J. Energy Res*.
- Soreanu, G. (2008). Laboratory pilot scale study for H₂S removal from biogas in an anoxic biotrickling filter. *Water Sci. Technol.*, 57.
- Suárez, J. H., Sosa, R. C., Martínez, Y. L., Curbelo, A. A., Figueredo, T. R. & Cepero, L. C. (2018). Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 41, 85-92.
- Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z. & Yu, X. (2015). Selection of appropriate biogas upgrading technology – a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renew Sustain Energy Rev*, 51.
- Syed, M., Soreanu, G., Falletta, P. & Béland, M. (2006). Removal of hydrogen sulfide from gas streams using biological processes - a review. *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada*, 48.
- Ullah, I. K., Hafiz, M. D. O., Hashima, H., Matsuura, T., Ismail, A. F., Rezaei-Dashtarzhandi, M. & Wan, I. A. (2017). Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management*, 150.
- Vrbová, V. & Karel, C. (2017). Upgrading biogas to biomethane using membrane separation. *Energy Fuel*, 31.
- Yamamoto, T., Endo, A., Ohmori, T. & Nakaiwa, M. (2004). Porous properties of carbon gel microspheres as adsorbents for gas separation. *Carbon N Y* 42.
- Zhao, Q. & Leonhardt, E. (2010). Purification technologies for biogas generated by anaerobic digestion. *CSANR Res*, 1.

