

BIOMETANO: ALTERNATIVA SOSTENIBLE DEL GAS NATURAL

*Adriana Alexandra Aparicio Ariza**

Grupo de investigación en Fluidos y Energía GIFE.

Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas

km 2 vía El Refugio, Piedecuesta, Santander, Colombia.

Resumen: Los residuos orgánicos, también llamados biomasa residual, son un problema ambiental que requiere especial atención, debido a que su incorrecta disposición genera gases de efecto invernadero y un bajo nivel de aprovechamiento de su potencial energético, pero esto tiene solución debido al desarrollo de tecnologías para la producción de biocombustibles. Otro problema ambiental que ha encendido las alarmas en las últimas décadas es la utilización indiscriminada de combustibles fósiles que emiten contaminantes a la atmósfera contribuyendo al calentamiento global. El combustible fósil de menor impacto ambiental es el gas natural, pero de acuerdo a la UPME se proyecta una paulatina disminución de las reservas y un aumento de su consumo por parte de la población colombiana, lo que anuncia una posible crisis de abastecimiento. Dados los anteriores panoramas, el biometano resulta ser una alternativa sostenible que en un momento determinado lograría contrarrestar las deficiencias de abastecimiento de gas natural en el país.

Palabras clave: *Biogás, Biometano, Biomasa, Digestión anaerobia, Residuos orgánicos.*

**aaparicio@cdtdegas.com*

Abstract: Organic waste, also called residual biomass, is an environmental problem that require attention because the emission of greenhouse gases due to an incorrect disposition and because the low exploitation of their energetic power. However, those situations is solving by the development of technology for biofuel production. Another environmental problem is the indiscriminate use of fossil fuels that emits pollutants to atmosphere increasing global warming. Natural gas is a fossil fuel that has a low environmental impact, but, according to UPME, natural gas reserves are going to decrease and the population consumption are going to increase through time, so it announce an supplying crisis. Due to those scenes, biomethane is a sustainable choice, which, in a moment, will probably achieve counter the deficiency supplying of natural gas in the country.

Key words: Biogas, Biomethane, Biomass, Anaerobic Digestion, Organic waste.



INTRODUCCIÓN.

Actualmente, el biogás es considerado un biocombustible de primera generación, como el biodiesel y el bioetanol, debido a la madurez de su tecnología de producción e implementación [1]; sin embargo, difiere de ellos con respecto a la materia prima que emplea para su proceso, ya que los biocombustibles de primera generación se abastecen de cultivos propios para este fin, compitiendo con las necesidades de alimentación de las comunidades y afectando la biodiversidad. Por el contrario, el biogás se obtiene principalmente de materia orgánica residual, que lo ha convertido en un foco de atención, no solo para atender las necesidades de la canasta energética, sino como alternativa para la disposición de gran parte de los residuos sólidos orgánicos.

El biometano es un combustible renovable gaseoso, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, en una proporción de alrededor de 65 % a 35 %, [1]; proviene de la refinación del biogás obtenido ya sea por tecnologías térmicas o biológicas, cuya materia prima es la materia orgánica (biomasa). Una composición aproximada del biogás se muestra en la Tabla 1; a pesar de que la mayoría de estos

compuestos son considerados impurezas para efectos de la transformación del biogás en biometano [2], el biogás se emplea comúnmente para la generación de calor, que puede ser útil por ejemplo, en áreas rurales con poco acceso a una fuente de energía fósil. En cambio el biometano, puede llegar a ser intercambiable con el gas natural (teniendo un apropiado tratamiento), siendo utilizado para los mismos fines, principalmente, para el servicio doméstico y como combustible vehicular.

El presente artículo, muestra un panorama general del biogás, las tecnologías necesarias para su obtención y refinación, y la situación actual de Colombia frente a este tipo de biocombustible, con el propósito de identificar de manera general, las oportunidades o mejor dicho, el potencial que tiene el país para transformar sus residuos en formas alternativas de energía, amigables con el ambiente.

PANORAMA MUNDIAL

Muchos países han implementado esta tecnología para la transformación de residuos orgánicos, principalmente en Europa, donde los recursos fósiles no son tan abundantes y la

Compuesto	Cantidad aproximada
Metano	40 % - 75 %
Dióxido de Carbono	15 % - 60 %
Vapor de agua	5 % - 10 %
Ácido Sulfhídrico	0,005 % - 2 %
Siloxanos	0 % - 0,02 %
Hidrocarburos halogenados (COV*)	< 0,6 %
Amoniaco	< 1 %
Oxígeno	0 % - 1 %
Monóxido de Carbono	< 0,6 %
Nitrógeno	0 % - 2 %

*Compuestos Orgánicos Volátiles

Tabla 1. Composición del biogás. Adaptado de: [2]

demanda energética es alta. El tamaño de las plantas difiere de un lugar a otro dependiendo del tipo y la disponibilidad de la materia prima (residuos agrícolas, residuos industriales, estiércol, etc.) y de las necesidades energéticas de la región (generación de calor, electricidad, gas vehicular, etc.).

Suecia es el principal exponente de la implementación de biocombustibles en la canasta energética nacional, especialmente en la utilización de biogás vehicular, reduciendo la dependencia a los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero, utilizando el 50% de su producción anual (1,7 TWh) para este fin [3]. Alemania también se ha puesto en la tarea de reducir el consumo de combustibles fósiles y cuenta con plantas de producción de biogás que suplen el 3 % del consumo nacional de energía eléctrica anualmente. China e India cuentan con un gran número de plantas de producción de biogás a pequeña escala, el cual utilizan para cocinar, para iluminarse y en algunos casos, para pequeños motores de combustión. Otros países que también producen biogás a partir de residuos agrícolas son: Francia, Holanda, Austria, e Italia [3].

En Estados Unidos el biogás producido proviene principalmente del tratamiento de aguas residuales y la mayor parte de plantas se encuentran ubicadas en el oriente del país, conformando aproximadamente 2100 plantas en total, de las cuales, si se aprovechara todo su potencial, permitirían suplir las necesidades de alrededor de 3,5 millones de hogares estadounidenses y reducir sustancialmente su cuota anual de gases de efecto invernadero[4].

A pesar de que Brasil ha sido pionero en la utilización de biocombustibles líquidos como el biodiesel o el bioetanol, es Argentina quien lleva la delantera en cuanto a instalación y puesta en marcha de plantas de biogás de mediana capacidad, abasteciendo a 25000 hogares aproximadamente

con energía a partir de la basura [5]. Sin embargo, otros países de Latinoamérica se han dado a la tarea de poner en marcha pequeñas plantas de biogás para el consumo energético de algunas zonas rurales, como es el caso de Brasil, Cuba, Costa Rica y Colombia [6].

PANORAMA NACIONAL

Colombia poco a poco ha venido ganando terreno en la producción de biocombustibles líquidos de primera generación, y comienza a apostarle al desarrollo de proyectos que incentiven el aprovechamiento de los residuos orgánicos para la generación de energía, a través de la producción de biogás. Actualmente, en el país operan algunas plantas de biogás como la que se encuentra en el Jardín Botánico de Bogotá, la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando y el relleno sanitario de la pradera en Medellín [7].

Además, en la web se encuentra un modelo con el cual se puede estimar el índice de generación de metano, teniendo en cuenta información relativa al clima, caracterización de residuos y datos específicos sobre el biogás de sitios representativos de Colombia, permitiendo que el usuario tenga una aproximación de la generación y recuperación de biogás para un relleno sanitario [8]. Este tipo de herramientas contribuyen a que haya un aumento en las iniciativas de convertir en energía lo que se considera como basura, en especial en los rellenos sanitarios que, en muchos lugares del país, están a punto de colapsar

MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS

Como se mencionó anteriormente, el biometano se puede obtener mediante la refinación de los productos gaseosos que resultan del tratamiento térmico y biológico de la biomasa. Dentro de las

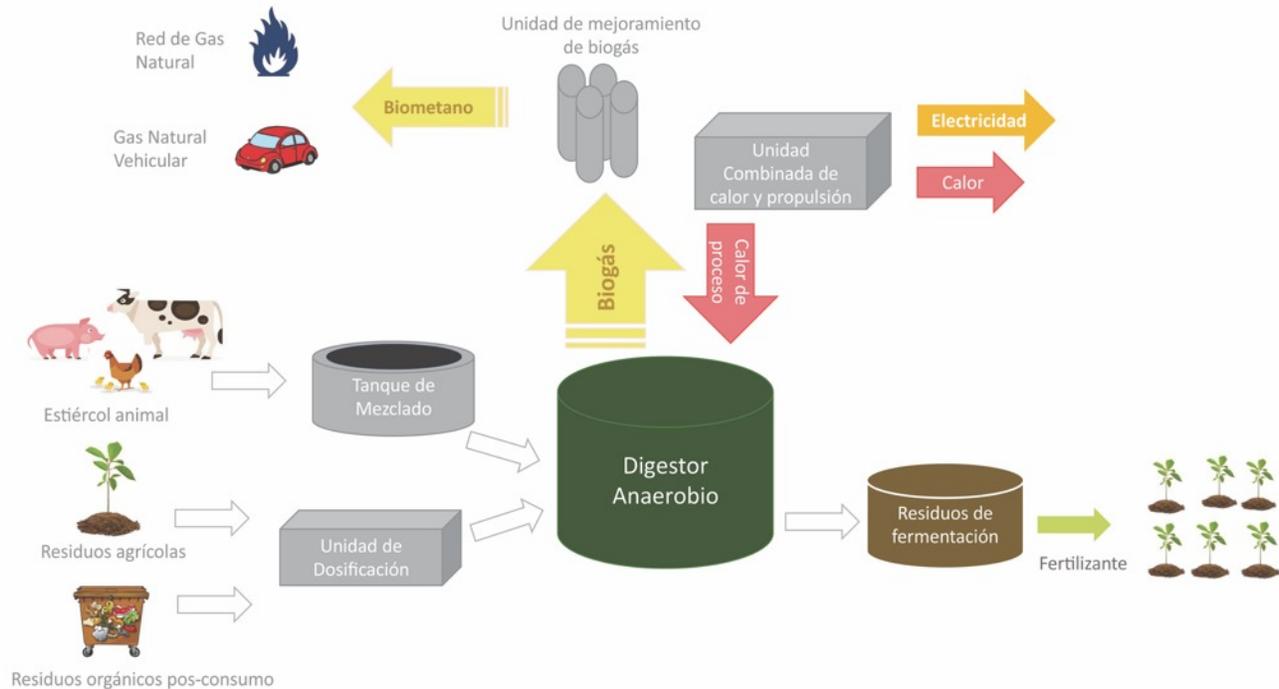


Figura 1. Procesos de DA y sus productos

tecnologías térmicas se destaca la gasificación, con el cual se obtiene un producto gaseoso compuesto principalmente por hidrógeno (H_2), dióxido de carbono (CO_2), y metano (CH_4) [9]; De manera similar, es posible obtener metano como un subproducto del proceso de pirólisis, en el cual el producto principal es un combustible líquido llamado biooil [10]. Por otro lado, la digestión anaerobia (DA) constituye un proceso biológico, que emplea microorganismos para la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y es el principal proceso para la obtención de biogás [11].

A pesar de la amplia investigación relacionada con las tecnologías térmicas y los biocombustibles que se producen a partir de ellas, su implementación continua siendo incipiente en comparación con la digestión anaerobia, que constituye una tecnología madura y de masiva aplicación a nivel internacional. De acuerdo a lo anterior y al propósito del artículo, éste se enfocará en la producción de biogás mediante DA.

La DA se alimenta principalmente de biomasa con un alto contenido de humedad, razón por la cual, se prefieren para esta tecnología los residuos alimenticios pos-consumo, el estiércol animal, las aguas residuales, los residuos agroindustriales, entre otros [11]. La temperatura es uno de los parámetros de operación característicos del proceso, clasificándolo en condiciones psicrófilas ($12\text{ }^{\circ}C$ a $16\text{ }^{\circ}C$), mesófilas ($35\text{ }^{\circ}C$ a $37\text{ }^{\circ}C$) y termófilas ($55\text{ }^{\circ}C$ a $60\text{ }^{\circ}C$) [12]. Por otro lado, el pH ejerce una importante influencia en el proceso, siendo favorable trabajar con pH aproximadamente neutro, entre 6,8 y 7,2 [13]. La Figura 1 muestra de forma general las etapas y los productos de la DA, dentro de los cuales se encuentra el biometano; además que evidencia la versatilidad del proceso en términos de aprovechamiento de todos los productos, ya sea como insumos para la agricultura o como suplementos energéticos.

DE BIOGÁS A BIOMETANO

El biometano es la forma mejorada del biogás, el cual puede ser intercambiable con el gas natural convencional, es decir, tiene los mismos usos finales que el combustible fósil. Para que el biogás llegue a ser biometano, debe someterse a un proceso de refinación o purificación, en el cual se remuevan todos los componentes dañinos, e incluso, los microorganismos patógenos para su uso doméstico.

La refinación de biogás, consiste de forma general en los tratamientos que permitan [2]:

- Un proceso limpio, eliminando las trazas de componentes que puedan dañar de cualquier manera la red de gas natural.
- Un proceso mejorado en el cual la cantidad de CO₂ se remueve para ajustar el poder calorífico y la densidad relativa, con el fin de cumplir con los requisitos de intercambiabilidad (índice de Wobbe).

En la Tabla 2 se resumen las impurezas más comunes del biogás, sus posibles consecuencias en caso tal de no ser eliminadas y la(s)

tecnología(s) que se puede(n) implementar para su remoción [2], y en la Figura 2 se resumen los usos potenciales tanto del biogás como del biometano.

Como el biometano y el gas natural presentan características energéticas similares, la Tabla 3 permite visualizar una comparación general entre estos dos combustibles gaseosos.

DISCUSIÓN

En el siglo XXI el mundo se enfrenta a dos grandes problemáticas: por un lado, la disminución de reservas probadas de combustibles fósiles ha hecho que varios países, que dependían exclusivamente de estos, buscaran otras alternativas energéticas para abastecerse, y por otro lado, el aumento del consumo por parte de la población, ha provocado un aumento en los desechos, que perjudican el ambiente debido a los precarios programas para la correcta disposición de los residuos sólidos. Como se mencionó previamente, países europeos como Alemania, Suecia, Italia, entre otros, han solucionado estos problemas convirtiendo sus residuos orgánicos en

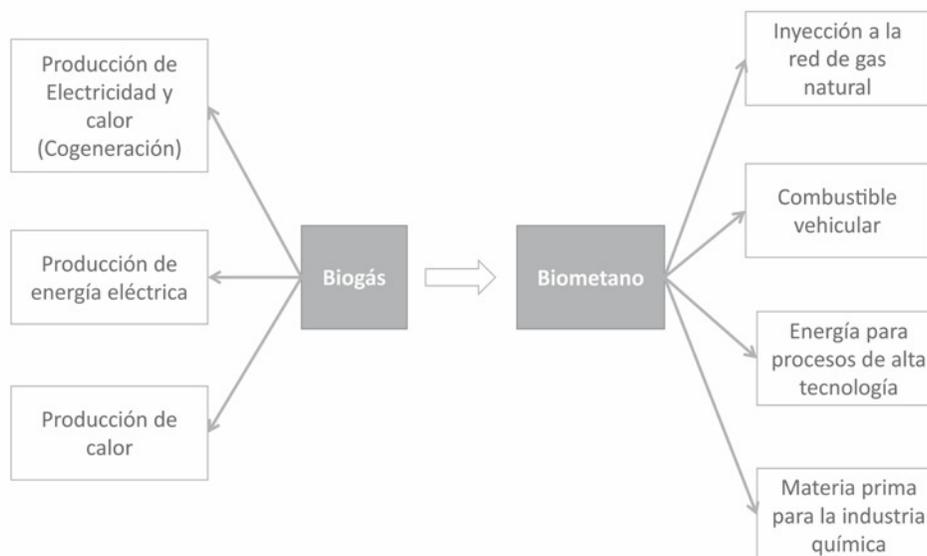


Figura 2. Usos potenciales del biogás y el biometano

Impureza	Posible impacto	Tratamiento
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión de tanques de almacenamiento, compresores y motores debido a la reacción con H₂S, NH₃ y CO₂ para la formación de ácidos. • Acumulación de agua en tuberías. • Condensación y/o congelación debido a altas presiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Separación física: Condensación • Separación química: Técnicas de absorción y absorción mediante sustancias químicas.
Polvo	Obstrucción debido a la deposición (Transformación de gas en sólido) en tanques de almacenamiento de gas y compresores.	Las técnicas de secado incluso favorecen la remoción de polvo
H₂S	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión en tanques de almacenamiento de gas, en compresores y en motores. • Concentraciones tóxicas de H₂S remanentes en el biogás. • Formación de SO₂ y SO₃ debido a la combustión, los cuales son más tóxicos que el H₂S y pueden causar corrosión al contacto con el agua. 	<p>Remoción durante el proceso de digestión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosificación de aire (oxígeno) al sistema de biogás para oxidar el H₂S en azufre elemental • Adición de cloruro de hierro en el digestor para formar partículas precipitadas de FeS <p>Remoción después del proceso de digestión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adsorción usando óxido o hidróxido de hierro • Absorción con líquidos • Separación por membranas • Filtros biológicos • Adsorción mediante carbón activado
CO₂	Disminuye el poder calorífico	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción física y química de CO₂ • Adsorción por oscilación de presión • Adsorción por oscilación al vacío • Separación por membranas • Separación criogénica • Enriquecimiento biológico de metano
Siloxanos	Formación de SiO ₂ y micro cristales de cuarzo debido a la combustión	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción con solventes orgánicos • Adsorción en ácido fuerte • Adsorción en base fuerte • Adsorción con Silicagel • Adsorción con Carbón Activado • Separación criogénica
Hidrocarburos	Corrosión de motores debido a la combustión	Remoción mediante carbón activado
NH₃	Corrosión cuando se disuelve en agua	El método más práctico y menos costoso es mediante carbón activado.
O₂ / Aire	Peligro de explosión debido a la mezcla de altas concentraciones de oxígeno en el biogás.	<ul style="list-style-type: none"> • Remoción mediante membranas • Adsorción por oscilación de presión a baja temperatura <p>Los anteriores métodos son costosos, razón por la cual, se recomienda prevenir cualquier introducción de aire al digestor mediante un monitoreo cuidadoso.</p>
Cl⁻, F⁻	Corrosión en motores de combustión.	

Tabla 2. Impurezas del biogás, su posible impacto y tecnologías disponibles para su tratamiento

biogás, el cual, es utilizado directamente o mejorado, para que el biometano resultante sea inyectado a la red de gas natural o usado como combustible vehicular.

Haciendo un balance general, en toda América aún no se cuenta con este uso masivo del biogás, ni con la cultura de disponer correctamente los residuos (salvo en contadas regiones del continente), pero si se han comenzado a desarrollar proyectos a pequeña escala que permita que poblaciones necesitadas de energía, se vean beneficiadas con este proceso biológico de conversión de biomasa. Según un estudio realizado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) [14], en Estados Unidos, el potencial de metano a partir de fuentes orgánicas y rellenos sanitarios, se estima en 7,9 millones de toneladas por año lo que podría reemplazar en un 61 % el gas natural (5 % en energía eléctrica y 56 % en el sector transporte); es más, si Estados Unidos se diera a la tarea de incrementar el uso de combustibles bajos en carbono (biometano y/o gas natural), las emisiones de CO₂ no incrementarían sustancialmente cada año, sino que

su aumento sería tan solo del 0,2 % anual en una proyección al año 2040 realizada por EIA [15].

Si nos centramos en Colombia, la situación es la siguiente: actualmente no hay una regulación que permita el uso de biometano como sustituto del gas natural. De momento, solo existe regulación expedida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que controla principalmente el régimen de precios, la regulación de redes y la calidad del servicio y el producto, para los gases combustibles de la primera, segunda y tercer familia (gases manufacturados, gas natural y GLP, respectivamente, según clasificación de la Norma Técnica Colombiana NTC-3527) [16]. Esta constituye la principal barrera para la introducción del tercer biocombustible en la canasta energética del país (después del biodiesel y el bioetanol, que ya tienen su propio mercado).

Empresas como EPM S.A. (Empresas Públicas de Medellín) y Gas Natural en Bogotá, han manifestado su iniciativa para tratar y comercializar biogás de rellenos sanitarios; ante

GAS NATURAL	BIOMETANO
Combustible de origen fósil (no renovable)	Combustible de origen renovable
Toma millones de años la descomposición de la materia orgánica para la producción de gas natural	La producción del biogás se realiza con materia orgánica "fresca", como los residuos agrícolas, que se descomponen rápidamente.
La producción de gas natural depende únicamente de las reservas naturales, las cuales varían de un país a otro.	Dada la materia prima necesaria para la obtención de biogás, este se produce en cualquier parte del mundo.
Interviene drásticamente en el ambiente, mediante la perforación de los suelos y la destrucción de los hábitats.	Su producción no afecta el ambiente, ni representa un gran riesgo de polución o pérdida de biodiversidad
La combustión del gas natural incrementa las emisiones de CO ₂ .	El Biometano también emite CO ₂ a la atmosfera, pero estas emisiones corresponden a las mismas que tendría la materia orgánica en descomposición.

Tabla 3. Ventajas del biometano frente al gas natural

esto, la CREG expone que no se cuentan con los estándares internacionales necesarios para que el biometano sea comercializado e inyectado a la red de gas natural, lo que significa un gran riesgo, tanto para la integridad de los sistemas de transporte y distribución, como para los equipos de los usuarios finales; incluso es un riesgo para la salud, debido a la exposición de contaminantes y microorganismos patógenos, contenidos en el biocombustible.

Pero entonces, ¿cómo logran algunos países europeos, como Alemania y Suecia, inyectar biometano en la red de gas natural y en los vehículos? ¿Será realmente que faltan estándares internacionales? Quizá nuestra economía depende tanto de la industria petrolera que los biocombustibles y el ambiente están en un segundo plano. Además, el gobierno solo brinda subsidio para impulsar la comercialización del gas natural; este es otro tema importante a tener en cuenta cuando la regulación del biocombustible gaseoso sea establecida.

Por otro lado, analizando el potencial del país en materias primas, Colombia por ser de naturaleza agrícola, tiene la ventaja de producir grandes cantidades de residuos orgánicos provenientes de la agricultura. De acuerdo al Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia [17], la cantidad de biomasa residual en el 2010 era de aproximadamente 177 millones de toneladas al año, lo que corresponde a un potencial energético de 450 mil TJ. Adicionalmente, los rellenos sanitarios están colapsando debido a la gran cantidad de residuos sólidos que se desechan sin ningún tipo de separación, porque lamentablemente, en Colombia, aún no existe la cultura del reciclaje; de los 11 millones de toneladas anuales de residuos que se producen, 9 millones de toneladas que podrían aprovecharse, se están convirtiendo literalmente en basura y en un problema ambiental [18].

Finalmente, es importante resaltar el hecho de que, si bien este es un proceso lento en el cual poco a poco se va trabajando en la inclusión de fuentes alternativas de energía, Colombia va por buen camino. Sin embargo, falta mayor atención por parte de los entes gubernamentales para promover proyectos y/o investigaciones que permitan avanzar de forma clara en la estipulación de parámetros de calidad del biogás; esto puede deberse al protagonismo que se le ha dado al gas natural en las últimas décadas. No obstante, queda la siguiente inquietud: si las reservas actuales de gas natural en el país sugieren la necesidad de realizar inversiones para la importación del mismo a partir de los próximos años, ¿no sería bueno también invertir parte de ese capital en promover el tratamiento masivo de los residuos orgánicos, y la depuración de biogás resultante, así como adaptar legislaciones europeas de acuerdo a las necesidades y requerimientos del país en materia de calidad de biogás? De esta manera, sería posible aportar a la solución tanto del problema de las basuras como el del abastecimiento energético.

CONCLUSIONES

- El biometano resulta luego de una depuración del biogás donde se retiran las impurezas, y presenta las mismas características del gas natural. Además, tiene ventajas importantes como: ser de origen renovable, posibilidad de ser producido en cualquier parte del mundo y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros.
- Actualmente, Europa lleva la delantera en la utilización de biometano como combustible (doméstico y vehicular), aunque en América, algunos países adelantan proyectos para el aprovechamiento del potencial energético de los rellenos sanitarios.

- En Colombia, el potencial energético de la biomasa residual asciende los 450 mil TJ/año, cifra importante que permite plantear la posibilidad de aprovechar los residuos de la agricultura y de los rellenos sanitarios, para la transformación de energía mediante la producción de biocombustibles gaseosos.
- Hasta el momento no se cuenta con una regulación que permita la inyección de biogás (o biometano) en la red nacional o la comercialización para uso vehicular, ya que según la CREG no se cuenta con estándares internacionales y esto representa un alto riesgo para equipos y usuarios finales.
- Se hace necesaria la inversión tanto de tiempo y recursos económicos por parte de entes gubernamentales, para impulsar la producción de un tercer biocombustible, que facilite la utilización del mismo en zonas no interconectadas a la red o garantice el abastecimiento en los próximos años, donde las reservas de gas natural comiencen a escasear.
- El biometano para Colombia representa una alternativa sostenible para el futuro, ya que aportaría a la solución de problemas relacionados con la disposición de los residuos orgánicos y respaldar un posible desabastecimiento de gas natural debido al agotamiento de las reservas actuales del combustible fósil.

REFERENCIAS

[1]. Naik SN, Goud VV, Rout PK, Dalai AK. *Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. Renew Sustain Energy Rev.* 2010;14(2):578-597.

- [2]. Ryckebosch E, Drouillon M, Vervaeren H. *Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass Bioenergy.* 2011;35(5):1633-1645.
- [3]. Rasmussen P, Mathiasson A. *IGU Biogas Report 2015. International Gas Union; 2015:20. Disponible en: http://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field_file/IGU%20Biogas%20Report%202015.pdf. Accedido Noviembre 25, 2015.*
- [4]. *American Biogas Council. Current and Potential Biogas Production. Disponible en: <https://www.americanbiogascouncil.org/pdf/abcbiogas101handout.pdf>. Accedido Noviembre 26, 2015.*
- [5]. *La Nación. El biogás, la alternativa ecológica argentina. Disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1763929-el-biogas-la-alternativa-ecologica-argentina>. Publicado Enero 29, 2015. Accedido Noviembre 26, 2015.*
- [6]. *Alzate C. Biodigestión, energía limpia a partir de desechos sucios. El Tiempo. Disponible: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13329458>. Publicado Febrero 1, 2014.*
- [7]. *Twenergy. Colombia apuesta por los biodigestores para generar biogás en las áreas rurales. Disponible en: <http://twenergy.com/a/colombia-apuesta-por-los-biodigestores-para-generar-biogas-en-las-areas-rurales-1165>. Publicado Octubre 4, 2015.*
- [8]. *SCS Engineers. Modelo Colombiano de Biogás | LMOP | US EPA. EPA-United States Environmental Protection Agency. Disponible en: <http://www3.epa.gov/lmop/international/colombia.html>. Publicado 2010. Accedido Noviembre 29, 2015.*
- [9]. *McKendry P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Bioresour Technol.* 2002;83(1):55-63.
- [10]. *Balat M, Balat M, K?rtay E, Balat H. Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. Energy Convers Manag.* 2009;50(12):3147-3157.
- [11]. *Iqbal SA, Rahaman S, Rahman M, Yousuf A. Anaerobic Digestion of Kitchen Waste to Produce Biogas. Procedia Eng.* 2014;90:657-662.
- [12]. *Molino A, Nanna F, Ding Y, Bikson B, Braccio G. Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. Fuel.* 2013;103:1003-1009..

- [13]. Cioabla A, Ionel I, Dumitrel G-A, Popescu F. *Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues*. *Biotechnol Biofuels*. 2012;5(1):39.
- [14]. NREL (National Renewable Energy Laboratory). *Biogas Potential in the United States*. *Energy Analysis*; 2013:4. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60178.pdf>. Accedido Noviembre 26, 2015.
- [15]. Conti J, Holtberg P, Diefenderfer J, Napolitano S, Schaal M, Turnure J, Westfall L. *Annual Energy Outlook 2015 with Projections to 2040*. *Energy Information Administration (EIA)*; 2015:154. Disponible en: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383%202015%29.pdf>.
- [16]. CREG. *Resolución N° 135 de 2012 - Por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás*. 2012. Disponible en: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/6e48d2a9e2da32de05257ae20078b5aa/\\$FILE/Creg135-2012.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/6e48d2a9e2da32de05257ae20078b5aa/$FILE/Creg135-2012.pdf).
- [17]. Escalante Hernández H. *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. UPME-IDEAM-Colciencias-UIS. 2010. Disponible en: http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf.
- [18]. ICONTEC Internacional. *Estrategia de residuos sólidos para Colombia*. Disponible en: <http://icontec.org/index.php/ho/noticias-destacadas/1418-estrategia-de-residuos-solidos-para-colombia>. Publicado 2014. Accedido Noviembre 29, 2015.