

Tech Note: Transforming waste into energy, Part I

Jiraleiska Hernández, Samuel Villanueva,* Magaly Henríquez
Centro Nacional de Tecnología Química, Caracas, Venezuela.

Abstract

Biomass is any type of organic matter of biological origin that is derived from animals and plants, as a result of the photosynthetic conversion process. It is used as a source for the generation of biofuel. It is obtained from animal droppings, plant residues, industrial waste, wastewater; as well as dry plant material, among others. Waste caused by biomass contains an important calorific value that can be used to partially solve the demand for energy in rural areas, thus reducing deforestation due to the felling of trees, recycling waste from farming, fishing, forestry, livestock and agriculture. of the food industry in general, additionally, is a clean and renewable energy resource. By means of a bibliometric and patentometric analysis of scientific articles and patents obtained through the ScienceDirect and Patent Inspiration platforms for the period from 2009 until the first semester of 2019. Waste from different sources with greater potential for use was identified for the generation of biogas as energy use. The present analysis helps to diversify the energy matrix from which the gas produced by anaerobic decomposition is derived.

Keywords: biogas, organic waste, calorific power, energy.

Nota técnica: Transformando residuos en energía, Parte I

Resumen

La biomasa es cualquier tipo de materia orgánica de origen biológico que se derive de animales y vegetales, como resultado del proceso de conversión fotosintética. Es utilizada como fuente para la generación de biocombustible. Se obtiene a partir de excrementos de animales, residuos vegetales, desechos industriales, aguas residuales; así como también de la materia vegetal seca, entre otros. Los residuos originados por la biomasa contienen un poder calorífico importante que pueden ser aprovechados para resolver parcialmente la demanda de energía en zonas rurales, reduciendo de la deforestación debida a la tala de árboles, permite reciclar los desechos de la actividad agropecuaria, pesquera, forestal, ganadera y de la industria de alimentos en general, adicionalmente, es un recurso energético limpio y renovable. Mediante un análisis bibliométrico y patentométrico de artículos científicos y patentes obtenidos por medio de las plataformas ScienceDirect y Patent Inspiration para el periodo comprendido desde año 2009 hasta el primer semestre del 2019, se identificaron los residuos de diferentes fuentes con mayor potencial de uso para la generación de biogás como aprovechamiento energético. El presente análisis contribuye a diversificar la matriz energética de donde se deriva el gas producido por descomposición anaeróbica.

Palabras clave: biogás, residuos orgánicos, poder calorífico, energía.

Recibido: junio 2019;

Aceptado: julio 2019.

Autor para correspondencia: S. Villanueva e-mail: publicacionespidi.cntq@gmail.com

1. Introducción

En ausencia de oxígeno, la materia orgánica se descompone formando una mezcla de gases conocida como biogás. Este proceso se encuentra ampliamente en la naturaleza y ocurre, por ejemplo, en los páramos o en el fondo de los lagos, en pozos de lodo líquido y en el rumen de los rumiantes, gracias a la acción de una gama de microorganismos [1]. En el informe de Aprovechamiento de Energías Renovables 2013-2018 (SENER), el biogás es definido como, “gas que se produce por la conversión biológica de la biomasa como resultado de su descomposición” [2] es un biocombustible gaseoso, producto de la digestión anaerobia; su composición suele estar entre: 55 y 65 % de metano, 35 y 45 % de dióxido de carbono, 0 y 3 % de nitrógeno y 0 y 1 % de hidrógeno u oxígeno; además, contiene trazas de sulfuro de hidrógeno [3]. Para la obtención de biogás se puede utilizar como materia prima los excrementos animales, la cachaza de la caña de azúcar, residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal. Esta técnica permite resolver parcialmente la demanda de energía en zonas rurales, reduciendo la deforestación debida a la tala de árboles, permite reciclar los desechos de la actividad agropecuaria y, es un recurso energético “limpio” y renovable [4], la Figura 1. muestra los residuos aprovechables como fuente energética según el origen de generación.

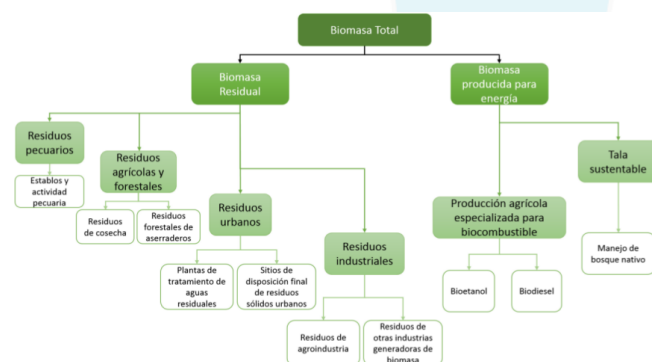


Figura 1: Clasificación de la Biomasa según origen de generación.

Para la formación del biogás, los residuos deben presentar características bioquímicas que permitan el desarrollo y la actividad microbiana del

sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio algunas sales y minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores) [5]. En la Tabla 1 se enuncia la fuente generadora de biomasa, tipo de residuos que produce, la humedad relativa (principal característica física de los procesos bioquímicos) y la clase de biocombustible generado según la biomasa utilizada para su producción [3].

Teniendo en cuenta la idoneidad de las condiciones ambientales, tales como humedad, temperatura y radiación solar; la generación de energía eléctrica y térmica a partir de la biomasa se impone como uno de los recursos renovables con mayor potencial de utilización en la región intertropical (franja ecuatorial de 23° latitud norte hasta los 23° latitud sur). De igual forma, los países Iberoamericanos cuentan con buena disponibilidad de tierra y condiciones climáticas para la producción de cultivos energéticos y aprovechamiento de los residuos orgánicos que permitirán satisfacer la demanda de biocombustibles y el consumo energético [6].

Según informe de Pacual *et al.* [7] la producción total de energía generada en Europa a partir del biogás se incrementó un 54% en el 2008 en comparación con los años 2006 y 2007 (47,5% de incremento entre 2006 y 2007; 4,4% entre 2007 y 2008), obtenidas principalmente de plantas descentralizadas de tratamiento de residuos agropecuarios, residuos municipales y tecnologías centralizadas de co-digestión. Alemania es el país que destaca en la producción de energía mediante biogás a partir del año 2006, básicamente por la gran actividad en la implantación de pequeñas plantas descentralizadas de tratamiento de residuos agropecuarios con producción de energía eléctrica y aprovechamiento de energía térmica mediante cogeneración. No obstante, durante el periodo 2007-2008 se produjo un estancamiento en el crecimiento del biogás agroindustrial en Alemania.

El replantamiento en el modelo energético persigue un equilibrio entre el desarrollo económico, la seguridad energética y la protección de los recursos naturales. Luego, surge la iniciativa de identificar y analizar el desarrollo de las publicaciones de

Tabla 1: Origen de la biomasa según su destino bioenergético.

Fuente generadora de Biomasa	Tipo de residuos	Características Físicas	Biocombustible
Forestales	Ramas, cortezas y raíces.	Sólido HR > 55 %	Biogás Bioetanol
Agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido muy húmedo	Bioetanol
	Estiércol	Sólido muy húmedo	Biogás
	Tallos, hojas, cáscaras, maleza, pastura	Sólido HR < 55 %	Biogás Bioetanol
Industriales	Pulpa y cáscara de frutas	Sólido moderadamente húmedo	Bioetanol
	Aguas de lavado de carnes y vegetales	Líquido	Biogás
Urbanos	Grasas y aceites vegetales	Líquido grasoso	Biodiésel
	Aguas negras	Líquido	Biogás
	Desechos orgánicos	Sólido muy húmedo	Biogás

Fuente: Andrade et al. [3]

patentes y artículos científicos en la transformación de residuos en energía.

2. Definición de términos.

Biomasa. la biomasa es “Cualquier materia orgánica de origen biológico reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético”.

Residuos pecuarios. En la industria ganadera, el estiércol (conocido como residuos pecuarios) es un residuo que se genera en gran cantidad; por lo cual, puede utilizar como alimentación a los digestores para conversión de biogás. La mezcla de estiércol con cultivos energéticos u otros flujos de residuos para la digestión anaerobia es una opción atractiva para aumentar la producción de biogás en un proceso de co-digestión.

Residuos agrícolas y forestales. Son aquellos que se generan a partir de cultivos de leña o hierba, y los producidos en el desarrollo de actividades propias de estos sectores. Ejemplo: paja de cereales, rastrojo de maíz, desperdicio del procesamiento de hortalizas y frutas entre otros. Por su parte, los residuos forestales, en buena parte son el resultado del mantenimiento y mejora de las montañas y masas forestales, cuando se hacen podas, limpiezas, etc. y, por otra, de los residuos resultantes de cortar

los troncos de los árboles para hacer productos de madera.

Residuos urbanos – Fracción orgánica de rellenos sanitarios. Los rellenos sanitarios son una fuente importante de biogás que puede ser utilizado con fines energéticos, como combustible o para la generación de energía eléctrica.

Residuos industriales. Los residuos procedente de diferentes industrias tales como: la cervecera, azucarera, de alimentos y procesamiento de frutas, entre otras; que como resultado de su operación generan una gran cantidad de subproductos o residuos que pueden servir de materia prima para la conversión de biogás. Los residuos de alimentos y aceite de cocina también son incluidos como residuos industriales.

Cultivos energéticos (Producción agrícola especializada). Los cultivos energéticos (en el contexto de la producción de biogás) son plantas agrícolas cultivadas específicamente para la alimentación en plantas de biogás. Los cultivos energéticos típicos en Europa y América del Norte son el maíz y el sorgo dulce. En el norte de Europa la remolacha azucarera está ganando importancia. La mezcla de estiércol y maíz es una materia prima común para las plantas de biogás en las granjas de Europa.

Maderas. La biomasa proveniente de la madera no se considera adecuada para la producción

anaeróbica de biogás debido a su alto contenido de lignina. Sin embargo, la madera puede ser convertida en metano mediante un proceso de gasificación térmica; el producto obtenido se conoce como gas natural sintético ó gas de síntesis.

Bioenergía. Es la energía renovable basada en la utilización energética de la materia orgánica formada por vía biológica o productos derivados de ésta. La biomasa puede proporcionar energía de forma directa, por combustión, o a través de compuestos derivados tales como alcoholes, ésteres de ácidos grasos procedentes de la hidrólisis de aceites o gases de gasógenos o de digestión anaeróbica.

3. Metodología

La investigación se fundamenta en la búsqueda, almacenamiento, tratamiento y análisis de documentos de patentes y publicaciones científicas en un lapso aproximado de 10 años. Se emplearon las plataformas:

- 1 PatentInspiration®
<<https://patentinspiration.com/>>
para las patentes
- 2 ScienceDirect
<<https://www.sciencedirect.com/>>
para documentos científicos.

Tabla 2: Estrategia de Búsqueda

Plataforma	Estrategia de búsqueda	Resultados
PatentInspiration®	(biogás OR “bio-gas” OR “methane gas” OR biomass) AND (C02F3/28 OR C02F11/04 OR C10L3/00 OR C12P5/02)	2401
ScienceDirect	(biogás OR “bio-gas” OR “methane gas” OR biomass)	24.819

La Tabla 2 describe la ecuación de búsqueda empleada en las bases de datos y los resultados publicados la cantidad de registros obtenidos para durante el periodo 01/01/2009 a la actualidad.

Para las patentes se aplicaron los siguientes filtros: búsqueda en campo título, sin la inclusión de no incluir documentos que tengan vacíos en el título o resumen, y considerando una patente por familia. En el caso de las publicaciones científicas, el filtro fue por tipos de documentos; estados del arte y artículos de investigación.

Los códigos que se observan en la Tabla 2, pertenecen a la Clasificación Internacional de Patentes (IPC) y corresponden a tratamientos biológico de las aguas residuales (C02F3/28), tratamiento aeróbicos de los lodos (C02F11/04), producción de combustibles gaseosos (C10L3/00) y preparación de hidrocarburos cíclicos (C12P5/02) como los principales procesos para la obtención del biogás.

4. Resultados y discusión

4.1. Revisión de Patentes

Las patentes muestran el rendimiento tecnológico de los países, constituyen un indicador de las actividades más cercanas al desarrollo de una determinada tecnología. En tal sentido, se aprovecha la información técnica disponible en estos documentos como fuente de consulta para la identificación y descripción de métodos, procedimientos, tecnologías y procesos orientados al aprovechamiento del biogás y otros energéticos a partir de residuos orgánicos.

Patentes empleando residuos de origen animal

La patente registrada bajo el código CN103923948A [8] describe un método para la co-producción y preparación de etanol, biogás y biodiésel utilizando residuos orgánicos. El proceso inicia con un pretratamiento de la lignocelulosa empleada como materia prima, seguido de una fermentación de azúcar por enzimólisis y fermentación de etanol, adicionando estiércol de ganado y de aves al residuo de enzimólisis, se realiza la fermentación anaeróbica para producir biogás a partir de insectos saprófagos, orgánicos. Las aguas residuales se utilizan para cultivar microalgas, y los insectos y las microalgas para preparar el biodiésel, se adopta un sistema de conversión y utilización de los residuos de los cultivos de orgo dulce,

caña de azúcar, batata morada y otras plantas que contienen azúcar; así como otras fuentes de almidón, grasa y celulosa para la producción de fuentes de energía biológica.

Los residuos ganaderos son, en la mayoría de países, los materiales orgánicos que se generan en mayor cantidad por estar vinculados con el suministro a la población de proteína animal. Su gestión adecuada y aprovechamiento energético genera tres importantes beneficios ambientales, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia de la gestión de los estiércoles mediante sistemas convencionales; eliminación de un residuo con alto potencial contaminante, debido a su contenido en nitrógeno y sustitución del consumo de combustibles fósiles. Adicionalmente contribuyen a la diversificación y garantía del suministro eléctrico, disminución de la dependencia de los combustibles fósiles y fomento del empleo [9].

Las heces generadas por los animales es una fuente importante de materia orgánica para producir biogás. La patente CN101358209A las emplea como material para preparar biogás bajo tierra, por fermentación anaeróbica. El proceso inicia agregando estiércol líquido o lodo activo a una temperatura de $58^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, el período de degradación de las heces y el lodo se puede acortar; las bacterias dañinas se pueden esterilizar a fondo para garantizar su inocuidad. Por otro lado, los residuos de biogás de post-fermentación y la mezcla de biogás son utilizadas como abono orgánico de alta calidad y el calor residual producido se puede utilizar para el suministro de calor de fermentación o la conservación y de calor para la fábrica [10].

Es importante mencionar que antes de introducir los sustratos al digestor, se requiere en la mayoría de los casos una preparación previa, que consiste básicamente en la trituración del material y su mezclado con agua. El contenido de sólidos dentro del digestor anaeróbico puede variar entre 3 y 10% dependiendo si cuenta con un dispositivo de mezclado en el interior que mantiene una concentración mayor de sólidos [11].

El proceso de digestión anaeróbica proporciona niveles de biogás importantes para la valoración energética pero a su vez, genera fluidos con contenido de nutrientes que pueden ser utilizados para la producción de fertilizantes orgánicos. La

patente CN106518533A proporciona un método para obtener un fertilizante orgánico, preparado a partir de 207-247 partes de excremento de ganado y aves de corral, 188-228 partes de orina de ganado y aves de corral, 95-135 partes de cenizas de plantas, 85-110 partes de hojas de árboles, 85-110 partes de restos de paja, 55-80 partes de un agente de descomposición rápida del material de biogás, 50-65 partes de ácido húmico, 50-75 partes de un agente microbiano y 65-80 partes de desechos vegetales. Se obtiene biogás a partir de un proceso de fermentación. Del proceso de fermentación se produce biogás y el fertilizante obtenido mejora de manera efectiva las características del suelo [12].

Patentes empleando residuos de efluentes industriales

Las industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras y similares producen residuos con elevada carga orgánica, idónea para la generación de biogás. El tratamiento de las aguas residuales generadas en estas industrias permitirá, en muchos casos, auto abastecer su propia demanda energética a partir del aprovechamiento de sus efluentes.

La patente registrada bajo la codificación CN104630282A utiliza biomasa filtrada junto al proceso de tratamiento de aguas residuales de un restaurante; la técnica combina la adsorción y la fermentación para producir metano. La tecnología trata eficazmente los efluentes procedentes de las cadenas alimenticias [13], al mismo tiempo que se cubre la demanda energética requerida por este sector.

Patentes empleando residuos de origen vegetal

La producción de aceite palma genera residuos con elevada carga orgánica, que pueden ser aprovechados no solo para generar biogás sino para producir biofertilizantes. La patente KR20150141405A incluye los siguientes pasos para la producción de fertilizantes orgánicos: secar y pulverizar los materiales de biomasa generados durante el proceso de producción de aceite de palma; separar de la torta de lodo, filtrar el aceite restante y las aguas residuales; convertir las aguas residuales filtradas

en biogás en un reactor anaeróbico; desulfurar y deshidratar el biogás, almacenar el resultado en un tanque de almacenamiento para gas; suministrar una caldera con el biogás almacenado en el tanque y el polvo de biomasa pulverizado, quemar el biogás y el polvo de biomasa; generar vapor en un intercambiador de calor y electricidad mediante la conducción de una turbina de vapor [14].

Patentes empleando residuos de sectores mixtos

En el sector agrícola y pesquero se ubico la patente KR20130086671A con la protección de un método que permite producir biogás a alta velocidad a partir del ensilaje de subproductos agrícolas y pesqueros con estiércol de porcino [15]. La invención consiste en mezclar los subproductos agrícolas y de la pesca; seguido de la fabricación de ensilaje de los subproductos mixtos; y digestión anaeróbica del ensilado mixto con materia porcina. El ensilaje se fabrica mezclando subproducto de pesca con granos de cerveza, a una proporción de 50:50, según el estándar de materia seca.

Manteniendo el enfoque en el sector agroindustrial y agropecuario, se describe una patente de origen Brasileiro (BR102012005977A2) en la que se produce biogás, fertilizante sólido orgánico y agua reutilizable en sistemas agroindustriales. El método consiste en someter los residuos orgánicos líquidos en biodigestores para la producción de metano; el efluente se conduce hasta el reactor químico para la extracción de sales minerales. Seguidamente, es conducido hasta tanques hidropónicos para cultivo de macrófitas que utilizan los nutrientes remanentes como fuente, removiendo las sales y obteniendo agua reutilizable. El decantado del reactor químico y las algas macrófitas cultivadas son conducidas hasta el secador de residuos orgánicos y sometidos a composta físico-química-mecánica para la producción de fertilizantes sólidos orgánicos. Con el proceso planteado obtiene una nueva aplicación y conjugación de los principios y equipamientos conocidos, que genera nuevos resultados con la producción metano y fertilizantes orgánicos sólidos, además de agua potencialmente reutilizable en sistemas agroindustriales [16].

Todos los residuos orgánicos generados por el

hombre pueden ser valorizados y transformados en nuevos materiales útiles. Aquellos generados en nuestros hogares, empresas y agricultura pueden ser dispuestos en un fermentador sellado y sometido por bacterias anaeróbicas para generar biogás y energía por cogeneración.

La patente TW201335078A de la Universidad Nacional de Tecnología Chin-Yi [17] establece a altas temperaturas la condensación de los gases para recuperar el calor residual, luego el dióxido de carbono enfriado se introduce en el cultivador de microalgas como nutriente para la fotosíntesis de las microalgas y generar oxígeno. Las microalgas obtenidas son empleadas como materia prima de biodiésel.

La energía generada a partir de la co-generación está disponible para el funcionamiento de lámparas LED con una longitud de onda específica con la finalidad de promover la fotosíntesis de las microalgas durante la noche. En resumen, el método produce energía y oxígeno a partir de residuos orgánicos, reduce el calor residual y el dióxido de carbono. Después de la fermentación, se obtiene un fertilizante orgánico y una vez recuperado el aceite las microalgas sirven de alimento. La invención comprende un generador de biogás, un co-generador, un depósito de energía, un condensador de gas, un dispositivo de reciclaje de calor y un cultivador de microalgas.

4.2. Revisión de publicaciones científicas

Las publicaciones científicas son documentos que aportan datos experimentales a escala de laboratorio, permiten conocer e identificar los nuevos productos, mejoras de procesos, avances tecnológicos, etc en el área de bioenergéticos desarrollados.

Investigaciones referentes a la producción de biogás a partir de residuos de origen animal

Los residuos procedentes del estiércol animal constituyen el combustible por excelencia para la generación de biogás. La producción del biogás mediante esta fuente no es muy alta, debido a su elevado contenido en nitrógeno y excesiva liquidez para el proceso; no obstante con pretratamientos físico-químicos es posible aumentar el

potencial de producción de biogás. Investigadores chinos evaluaron la cantidad y distribución de la producción de excrementos de ganado (LE) de 14 especies. Los resultados obtenidos permitieron identificar una gran producción de LE procedente del ganado (incluido el ganado de tiro, de carne y vacas lecheras), seguido de las ovejas (incluidas las cabras), aves de corral (pollos de engorde, pollos, patos y gansos), cerdos y otros animales (caballos, burros, mulas, camellos y conejos), durante el periodo 2013–2015. Adicionalmente, se estimó el total anual de residuos de LE para el 2015 arrojando un valor de 141.5 Mt, equivalente a un potencial de biogás de 60,6 mil millones de m^3 (miles de millones se refiere a 1×10^9). El análisis de los escenarios predijo que para el año 2030, el LE anual podría oscilar entre 201,1 y 258,9 Mt, lo que corresponde a un potencial de biogás de 86-111 billones de m^3 [18]. Sin embargo, en la actualidad, el 60% de LE no es recuperado y es abandonado en los criaderos de ganadería a escala comercial, desperdiciando un tremendo potencial de producción de biogás que se podría aprovechar con una fuente de energía. Los resultados del estudio muestran las oportunidades que existen para mejorar el manejo de LE y la crianza de ganado de manera ecológica en el territorio nacional.

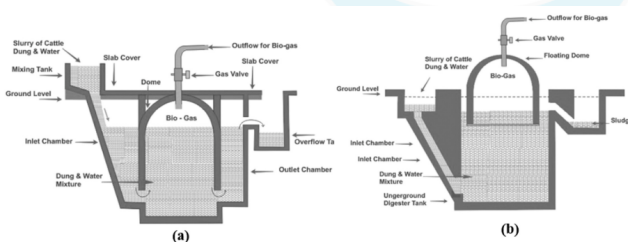


Figura 2: Ilustración esquemática de (a) modelo de reactor de cúpula fija (chino), y (b) modelo de reactor de cúpula flotante (indio).

Estudios realizados por Khalil et al. exponen que Indonesia ha producido una gran cantidad de desechos orgánicos en forma de estiércol animal, contenido de sangre y rumen que podrían proporcionar una enorme cantidad de recursos para la producción de biogás, y posteriormente usarse directamente para cocinar, iluminar y generar electricidad. Además, los subproductos orgánicos

(digeridos) obtenidos del proceso, pueden emplearse para diversos fines agrícolas. Sobre la base reportada por los investigadores, se determinó que el potencial de biogás que puede generarse a partir de desechos animales (incluyendo estiércol, sangre y contenido de rumen) fue de hasta 9.597,4 Mm^3 /año, lo que se traduce en 1.7×10^6 KWh/año de electricidad, aproximadamente [19]. La Figura 2 muestra un modelo de biodigestor de cúpula fija y un modelo de biodigestor de cúpula flotante.

Investigaciones referentes a la producción de biogás a partir de residuos de origen vegetal

En el ámbito de la producción de biogás desde residuos vegetales, Vega [20] evaluó la hidrólisis del bagazo de caña de maíz y aserrín de laurel para la obtención de azúcares fermentables usando las enzimas celulasa producidas por los hongos celulolíticos *Trichoderma atroviride*, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp. Se desarrolló la producción de bioetanol empleando dos técnicas de fermentación, una por sacarificación y fermentación simultánea y otra por fermentación discontinua empleando *Saccharomyces cerevisiae*.

Los cultivos de maíz, caña de azúcar o aceite de palma, usualmente son conocidos como cultivos bioenergéticos porque de sus residuos de cosecha o procesamiento es posible obtener biocombustibles. Sin embargo, existen más cultivos similares, como la soya, la jatropha y el ricino. En México, Debernardi et al. determinaron la energía disponible a partir de biomasa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Muestrearon 25 ingenios azucareros y establecieron que para la cosecha 2013-2014 se molieron 52.246.508 toneladas de caña, la biomasa aprovechable energéticamente provenía del bagazo y las puntas de tallo. Se determinó que el poder calorífico inferior o neto promedio obtenido por tonelada de caña molida representó un total de 57.277.234,6 TJ de energía disponible, equivalentes a 9.870.441,8 barriles de petróleo, de los cuales 6.698.332,1 son utilizados como fuente de energía en las calderas de los propios ingenios del país [21].

El bagacillo de caña, el polvillo de fique y el afrecho de yuca, residuos agroindustriales típicos del departamento de Cauca, se caracterizan por ser biomasa lignocelulósica y al mismo tiempo

residuos agroindustriales, subproducto de origen agrícola de interés para la producción de biodiésel y otros biocombustibles. Muñoz et al evaluaron el aprovechamiento como biocombustible térmico y biorefinería de residuos y sus mezclas a partir de la determinación de sus propiedades térmicas, fisicoquímicas y morfológicas. Se realizaron ensayos exploratorios de pretratamientos y posibles usos, y se concluyó que el polvillo de fique sin mezclarse y la mezcla a partes iguales de bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca son aptas para la producción de biodiésel [22].

Por otro lado, algunas investigaciones relacionadas a la producción de biogás emplean diferentes especies de algas para optimizar el proceso y obtener biomateriales valiosos. Una investigación liderada por Karray *et al* [23], utiliza *Ulva* rígida, una macroalga verde disponible en abundancia en el Mediterráneo, para investigar los efectos de varios inóculos en procesos de digestión anaeróbica. Los resultados revelaron que el mejor inóculo para producir biogás y alimentar un reactor anaeróbico se obtiene mezclando macroalgas descompuestas con lodo anaeróbico y agua, produciendo 408 ml de biogás. El proceso se investigó en un reactor por lotes de secuenciación que llevó a una producción total de biogás de 375 ml con 40% de metano. Se realizaron estudios adicionales de co-digestión en un biorreactor anaeróbico de flujo ascendente utilizando aguas residuales de la industria azucarera como un co-sustrato. Con un 75% de metano se obtuvo un alto rendimiento de producción de biogás de 114 ml/g en función del metano agregado.

La co-digestión propuesta por Karray y colaboradores permitió la recuperación de metano natural y proporcionó una alternativa prometedora a la fermentación microbiana anaeróbica convencional a partir de macroalgas verdes tunecinas.

Investigaciones referentes a la producción de biogás a partir de residuos de origen industrial

Los residuos generados en la industria de alimentos contienen concentraciones importantes de material orgánico que pueden ser valorizados en el proceso de tratamiento. La publicación de Acosta *et al.* [24] ofrece un panorama global de la aplicabilidad

del tratamiento anaeróbico de vinazas de destilerías en reactores UASB para la producción de biogás, con fines energéticos. Emplearon reactores anaerobios de flujo ascendente, o Up Flow Anaerobic Sludge Blanket, conocido por sus siglas en inglés como UASB reactor, siendo los más utilizados para tratar vinazas de destilerías a escala industrial. La desventaja principal de estos reactores es que las aguas residuales no deben contener altos valores de sulfatos ni sólidos suspendidos, dado que disminuye el rendimiento de biogás por inhibición de la bacterias metanogénicas. Las experiencias a escala de laboratorio, piloto e industrial; de los procesos planteados demostraron la factibilidad técnica de producción de biogás a partir de residuales de la industria Sucro-alcoholera cubana, en especial las vinazas de destilería, las cuales poseen altas cargas orgánicas e impactan al medio, si no son tratadas adecuadamente.

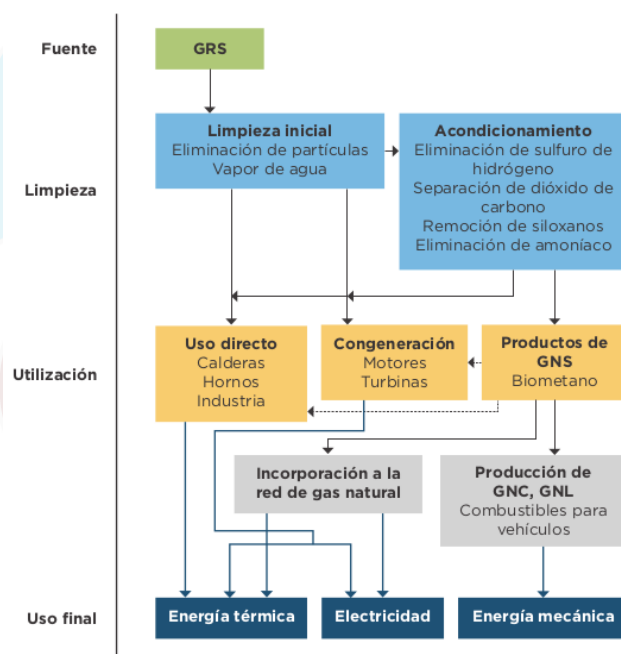


Figura 3: Tratamiento y usos del biogás.

El biogás obtenido de los rellenos sanitarios (GRS) puede utilizarse como fuente de energía térmica, para la generación de electricidad o para la producción de un combustible de alto poder calorífico (ver Figura 3). El uso de GRS para la producción de electricidad es una de las aplicaciones

más beneficiosas, aunque el resultado del proyecto depende de varios factores entre los que hay que considerar aspectos técnicos, económicos, y de gestión, así como redes eléctricas a la demanda a ser suplida. Según el uso que se hará del GRS, se aplican tratamientos primarios que incluyen la remoción de vapor de agua, condensados, material particulado y espuma, o secundarios que remueven sulfuro de hidrógeno, siloxanos, y otros contaminantes como amoníaco, halógenos, e hidrocarburos aromáticos [25].

5. Conclusiones

Las investigaciones realizadas tanto a nivel de las patentes como publicaciones científicas indican que los residuos orgánicos producidos a escala industrial, municipal y doméstica tienen un importante potencial de aprovechamiento en la generación de bioenergía, presentándose como una alternativa que permitirá cumplir con los criterios de sostenibilidad demandados por la sociedad actual y la propia industria. Es necesario impulsar procesos ecoeficientes, “produciendo más con menos” con métodos que involucren fuentes renovables de carbón a partir de residuos agrícolas y biomasa, orienta la valorización de los subproductos, incorporando nuevas materias primas no críticas sin comprometer las generaciones futuras.

La valorización y el empleo de los residuos de biomasa seca y húmeda generados en el sector industrial pueden ser aprovechados para la producción de biogás, para consumo en calefacción o energía eléctrica, así como promover el empleo de biocombustibles en el transporte.

Es posible la valorización energética de los residuos generados en la industria ganadera, agrícola, forestal y de producción de alimentos en general. Análogamente, los residuos urbanos y los efluentes generados por la actividades domésticas pueden utilizarse como fuente de energía térmica, para la generación de electricidad o para la producción de un combustible de alto poder calorífico.

Las industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras y similares producen residuos con alta carga de materia orgánica, muy adecuados para el aprovechamiento energético. El tratamiento de las

aguas residuales de estas industrias son apropiadas para la generación de biogás, lo que permitirá, en muchos casos, auto abastecerse a partir de la energía generada. En el sector de producción de aceite de palma es posible aprovechar los residuos, no solo para generar biogás sino para producir biofertilizantes. El aprovechamiento del biogás es la mejor alternativa de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio porque poseen alto potencial de reducción de gases de efecto invernadero.

Referencias

- [1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Guía sobre el biogás desde la producción hasta el uso. Technical report, Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al Consumidor (BMELV), Alemania, 2010.
- [2] M.G. Ortiz-Gallardo, R. Ortiz-Eleveño, G.M. Gómez-Alvarado, and C.A. Torres-de Loera. Reporte de inteligencia tecnológica: Biocombustibles gaseosos. Reporte técnico, Instituto Mexicano del Petróleo, México.
- [3] C. Andrade, A. Corredor, L. Buitrago, and A. Lache-Muñoz. Procesos bioquímicos utilizados para la producción de bioetanol, biodiésel y biogás y su estado en Colombia. *América Semilleros Formación Investigativa*, 3(1):101–117, 2017.
- [4] S. Lede. Los biocombustibles. Technical report, Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología, 2009.
- [5] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Manual de biogás. Technical report, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Santiago de Chile, Chile, 2011.
- [6] D. Hidalgo, G. Antolín, I. Alvarellos, P. Remor, J. Martín, F. Corona, A. Ureña, D. Díez, G. Sandoval, R.E. Bolaños, I. Salazar, H.G. Jiménez, G. Dávila, J.G. Peña, N. Tancredi, A. Amaya, F.R. Posso, and N.M. Mantilla. Producción de biometano para combustible de

- transporte a partir de residuos de biomasa. Reporte técnico, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2018.
- [7] A. Pascual, B. Ruiz, P. Gómez, X. Flotats, and B. Fernández. Situación y potencial de generación de biogás. estudio técnico per 2011–2020. Reporte técnico, Instituto para la Diversificación y ahorro de la Eneqía, España, 2011.
- [8] Q. Li, S. Liu, W. Li, B. Hao, and Z. Yu. CN103923948A, Co-production method for preparing ethanol, biogas and biodiesel by using organic waste, 2014.
- [9] Agencia Andaluza de la Energía. Estudio básico del biogas. Estudio Técnico 1, Consejería de Economía, Innovación y Ciencia, Sevilla, España, 2011.
- [10] P. Meizhong and Y. Zhang. CN101358209A, Technique for preparing biogas by high-temperature anaerobic zymosis method using animal manure as raw material, 2009.
- [11] B. Weber, M. Rojas-Oropeza, M. Torres-Bernal, and L. Pampillón-González. Producción de biogás en México, Estado actual y perspectivas. Technical Report 5, Red Mexicana de Bioenergía, México, 2012.
- [12] Z. Yuan. CN106518533A, An organic fertilizer adopting livestock and poultry excrement as raw materials and a preparing method thereof, 2017.
- [13] F.E. Zhang, L. Wang, C. Mengjie, D. Fu, L. Dong, and C. Lei. CN104630282A, Biomass coupling treatment technology combining adsorption and fermentation, 2015.
- [14] W. Kim-Seung, Y. Park-Tae, S. Yang-Kwon, and S. Park-Chan. KR20150141405A, Generating and bio-fertilizer producing method using palm bio-mass and bio-gas, 2015.
- [15] H. Kim-Sang and I. Sung-Kyung. KR20130086671A, High rate biogas production method by using agricultural and fishery by-product silage with swine manure, 2013.
- [16] M. Brener-Magnabosco, M.A. Barth-Tucunduva, A.L. Dos-Santos, M.A. Da-Costa, G. Ramos-De-Oliveira, C.E. Zacarkim, L.F. Souza-Gómes, P. Stremel-Dile, and D. Djair-Dos-Santos. BR102012005977A2, Process for the industrial use of liquid organic waste for production of biogas (methane); organic solid fertilizer organomineral and/or source of nutrients for plants and for obtaining reusable water systems in agroindustrial, 2015.
- [17] Y.K. Tseng and Wang T.C. TW201335078A, Method and device of refining biodiesel from cultivated microalgae based on power generated by biogas, 2013.
- [18] W. Bao, Y. Yang, T. Fu, and G.H. Xie. Estimation of livestock excrement and its biogas production potential in china. *Journal of Cleaner Production*, 229:1158–1166, 2019.
- [19] M. Khalil, M.A. Berawi, R. Heryanto, and A. Rizalie. Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105:323–331, 2019.
- [20] M.A. Vega-Marín. *Uso de residuos celulosicos de la agroindustria para la produccion de bioetanol*. PhD thesis, Pontifica Universidad Católica del Ecuador, 2010.
- [21] H. Debernardi-De La Vequia, H. Ortiz-Laurel, and D. Rosas-Calleja. Energía disponible a partir de biomasa de residuos de caña de azúcar (saccharum spp.). *Biomass residues*, 9(7):68–73, 2016.
- [22] D. Muñoz, A. Pantoja, and M. Cuatin. Aprovechamiento de residuos agroindustriales como combustible y biorefinería. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2):10–19, 2014.
- [23] R. Karray, F. Karray, S. Loukil, N. Mhiri, and S. Sayadi. Anaerobic co-digestion of tunisian green macroalgae ulva rigida with sugar industry wastewater for biogas and methane production enhancement. *Waste Management*, 61:171–178, 2017.

- [24] Y.L. Acosta, FfD. López, and M.G. Capote. Producción de bioenergía a partir del tratamiento anaerobio de vinazas de destilerías en reactores uasb. *Revista Centro Azúcar*, 41:78–93, 2014.
- [25] G. Blanco, E. Santalla, V. Córdoba, and A. Levy. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. Technical report, Banco Interamericano de Desarrollo, 2017.

