

¿Cómo funciona?



Producción de biogás a partir de residuos orgánicos: Aprovechamiento sostenible para generación de energía limpia

Biogas production from organic waste: Sustainable use for clean energy generation

Vanessa Rodríguez-Medina
Wenceslao Bonilla-Blancas*

Tecnológico Nacional de México/ TES de Ecatepec,
Laboratorio de Energías Alternas Renovables,
Posgrado en Eficiencia Energética y Energías
Renovables, Av. Tecnológico S/N, Ecatepec de
Morelos, C.P. 55210, México.

*Autor para la correspondencia:
wcbonilla@tese.edu.mx

Resumen

¿Sabías que los residuos de comida, de la ganadería e incluso las aguas residuales pueden generar energía? El biogás es una fuente de energía renovable producto de la descomposición de residuos orgánicos a través de un proceso llamado digestión anaerobia. El propósito de esta tecnología es la conversión de residuos orgánicos para generar gas combustible, calor o electricidad. En este artículo se explicará cómo funciona este proceso, qué microorganismos participan, qué residuos pueden utilizarse y cómo la basura puede ser parte del cambio para construir un futuro más limpio y autosuficiente a partir de lo que desechamos diariamente.

Palabras clave: Biogás, residuos orgánicos, digestión anaerobia.

Summary

Did you know that food waste, livestock waste, and even wastewater can generate energy? Biogas is a renewable energy source produced by the decomposition of organic waste through a process called anaerobic digestion. The purpose of this technology is to convert organic waste to generate fuel gas, heat, or electricity. This article will explain how this process works, the microorganisms involved, what waste can be used, and how trash can be part of the change to build a cleaner, more self-sufficient future from what we discard daily.

Keywords: Biogas, organic waste, anaerobic digestion.

Introducción

¿Qué pasaría si te dijéramos que encender una estufa o producir electricidad es posible con esa cáscara de plátano que tiraste ayer o incluso con estiércol vacuno? Aunque suene raro, es una realidad que está sucediendo en algunos lugares del mundo y que, en lugar de ver la basura orgánica que desechamos a diario como un problema, podemos verla como una solución energética, que permite generar biogás. En un mundo saturado de contaminación y una cantidad abismal de residuos, una alternativa aplicable se encuentra en estos procesos, donde a partir de la basura que producimos día con día podemos verla desde un ángulo estratégico promoviendo un estilo de vida más responsable en cuanto a los desechos orgánicos.

La digestión anaerobia es un proceso que ocurre en ausencia de oxígeno y es realizado por microorganismos especializados que se alimentan de materia orgánica. Durante el pro-

ceso, los microorganismos son capaces de descomponer la materia orgánica, la cual libera una mezcla de gases que se componen principalmente del 50-70% de metano y del 30-50% de dióxido de carbono, porcentajes que resultan óptimos para poderlo quemar y generar calor o electricidad [1]. Por ello es importante la clasificación de los residuos que comúnmente son utilizados para la producción eficiente de biogás, tomando en consideración que dependiendo del residuo se hace la relación entre kilogramos de residuo y volumen de biogás producido, que se debe a que la cantidad de gas producido directamente está ligada al contenido de materia orgánica degradable en el residuo, la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, el contenido de humedad y la cantidad diaria producida.

1. Estiércol animal (Figura 1)

Origen: vacas, cerdos, aves, ovejas y caballos. El estiércol bovino es uno de los desechos más abundantes en zonas rurales y comunitarias, siendo un desecho disponible y fácil de manejar. Este tipo de residuo contiene una gran cantidad de microorganismos que favorecen el proceso de la digestión anaerobia [5]. Para establecer la relación en cuanto a la producción de estiércol diario se considera como ejemplo 25 kg de estiércol fresco que contienen aproximadamente 80% de agua, es decir, quedan 5 kg de sólidos, de esos sólidos, el ~75% son materia orgánica volátil y 3.75 kg útiles, así que por cada kg de sólidos volátiles produce entre 0.35 y 0.45 m³ de biogás que es equivalente a $3.75 \times 0.4 \approx 1.5 \text{ m}^3$, y así con las demás cantidades. Con un porcentaje de generación de metano del 55-75%.

2. Residuos alimentarios (Figura 2)

Origen: cáscaras, frutas en descomposición, sobras de comida, pan duro, verduras en proceso de putrefacción, entre otros. Este tipo de residuos corresponden a la materia orgánica de origen doméstico o comercial, aplicables para biodigestores de pequeña y mediana escala, para zonas urbanas como rurales. Para establecer la relación entre residuo fresco y

la producción equivalente de biogás se toma como ejemplo 120 litros de residuo, con un 80% de agua de esta forma, se consiguen 24 kg de sólido seco por lo que para obtener los sólidos volátiles (SV) se tiene $\approx 75\%$ de sólidos secos que corresponde a 18 kg SV. Con un rendimiento de $0.0067 \text{ m}^3/\text{kg SV}$ es equivalente a $18 \times 0.0067 \approx 0.12 \text{ m}^3$, y así con las demás



Figura 1. Equivalente de biogás por cantidad de estiércol generado.



Figura 2. Equivalente de biogás por residuo fresco.

cantidades. Con un porcentaje de generación de metano del 50-70%.

3. Residuos agrícolas (Figura 3)

Origen: restos de cosechas, bagazo de caña, paja de maíz, tallos, cáscaras de café, etc. La materia orgánica disponible que se puede aprovechar a partir de este tipo de residuos es elevada debido a que son procedentes de las actividades agroindustrial y agrícola. Este tipo de residuos está compuesto de celulosa, hemicelulosa y lignina, tanto la celulosa como la hemicelulosa son componentes de fácil degradación y con ayuda de los microorganismos es más sencillo y rápido el proceso [7].

4. Lodos de plantas de tratamiento (Figura 4)

Origen: sedimentos orgánicos de aguas residuales domésticas o industriales. Este tipo de residuos se generan principalmente en el tratamiento de aguas residuales, en el cual los sólidos y la materia orgánica son separados del agua. Se establece que, a mayor contenido de materia orgánica degradable y mejor digestibilidad, se obtiene un mayor porcentaje de metano reflejando la variabilidad del sustrato y la condición de digestión presente.

5. Residuos de la industria alimentaria (Figura 5)

Origen: desechos de mataderos, restos de pescado, suero de leche, residuos de panaderías, cervecerías, etc. Este tipo de residuos provienen de industrias alimentarias y agroindustriales, siendo residuos con alto contenido de materia orgánica que es fácil de degradar [6]. Los residuos con mayor potencial de biogás por kilogramo son el estiércol vacuno y los residuos de pescado, este tipo de residuos tienen una capacidad alta de producción por lo que se consideran como energéticamente aprovechables.

El utilizar este tipo de residuos nos permite generar energía renovable siendo una estrategia eficaz y sostenible en cuanto a el manejo de los desechos orgánicos, es decir, el aprovechamiento de estos residuos a través de los biodigestores nos da la pauta para que sea un



Figura 3. Equivalente de metano por kg de materia seca con una humedad de 20-60%.



Figura 4. Equivalente de metano por tonelada de lodo seco según su tipo.



Figura 5. Equivalente de metano por kg de residuos frescos no comestibles.

proceso con una reducción significativa en relación al volumen que generamos día con día y que contribuirá a generar una segunda oportunidad de los residuos evitando malas prácticas o hasta la quema de dichos desechos. Además, estos procesos nos facilitan la gestión de estiércol, restos de alimentos, residuos agrícolas, lodos de plantas de tratamiento y residuos industriales como los lodos de la industria papera, residuos de fibras vegetales, entre otros.

¿Cómo lo producimos y en dónde?

En los rellenos sanitarios de cielo abierto, los residuos orgánicos se descomponen de manera natural, liberando metano a la atmósfera sin ningún tipo de control, el cual es un gas con un potencial de calentamiento global mayor que el dióxido de carbono. Una alternativa para controlar la generación de metano es mediante dispositivos llamados biodigestores. Un biodigestor (Figura 6) es un contenedor o depósito, que puede ser de plástico, concreto y acero, o cualquier recipiente grande y resistente que permita generar un ambiente sin oxígeno y una descomposición anaeróbica más rápida, verificada y eficiente, el cual funciona como un sistema cerrado donde se almacenarán todos los residuos orgánicos que generamos a lo largo del día, esto quiere decir que habrá microorganismos anaerobios que descompondrán los residuos y liberarán los gases de nuestro interés. Estos sistemas están hechos para facilitar y acelerar la descomposición de la materia contenida. Podría decirse que es una fábrica viviente de energía, silenciosa y sin humo [2].

Dicho lo anterior, se debe de tomar en cuenta que el funcionamiento del biodigestor es el mismo, no importa si el biodigestor es a pequeña, mediana o grande escala. Los biodigestores se componen de áreas para realizar funciones específicas, lo cual ayuda a que la transformación de los residuos orgánicos sea la correcta y se genere correctamente biogás (Figura 7).

Área 1: Receptor

Es el lugar en donde se recibirá la fracción orgánica de los residuos como son los desechos de origen vegetal, animal, agrícola, etc., también conocida como sustrato. En esta etapa, los residuos se preparan para ser introducidos en el proceso, es importante puntualizar que se debe realizar una correcta selección y separación de materia orgánica (no debe contener plásticos o metales), porque si no la hay, puede afectar el proceso dentro del biodigestor [4].

Área 2: Mezclador

Garantiza una mezcla homogénea del residuo orgánico con el agua antes de entrar a la siguiente área, previene la formación de costras o que se compacte la materia, esto podría dificultar el proceso dentro del biodigestor. Es por ello que se tiene que asegurar que la mezcla contenida tenga una correcta distribución en cuanto a la materia orgánica y los microorganismos que van contenidos en dicha materia, de ello dependerá la descomposición óptima

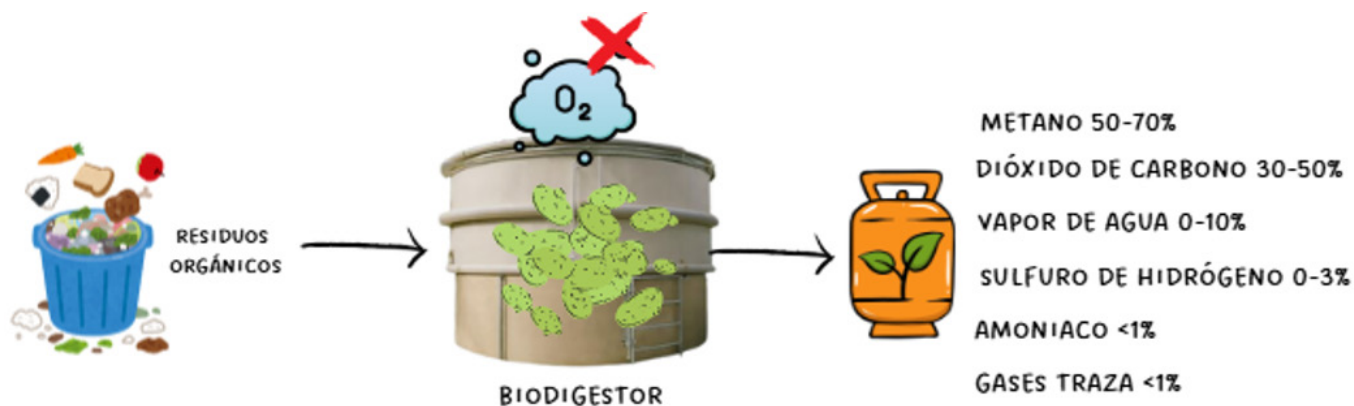


Figura 6. Etapa básica de un biodigestor.

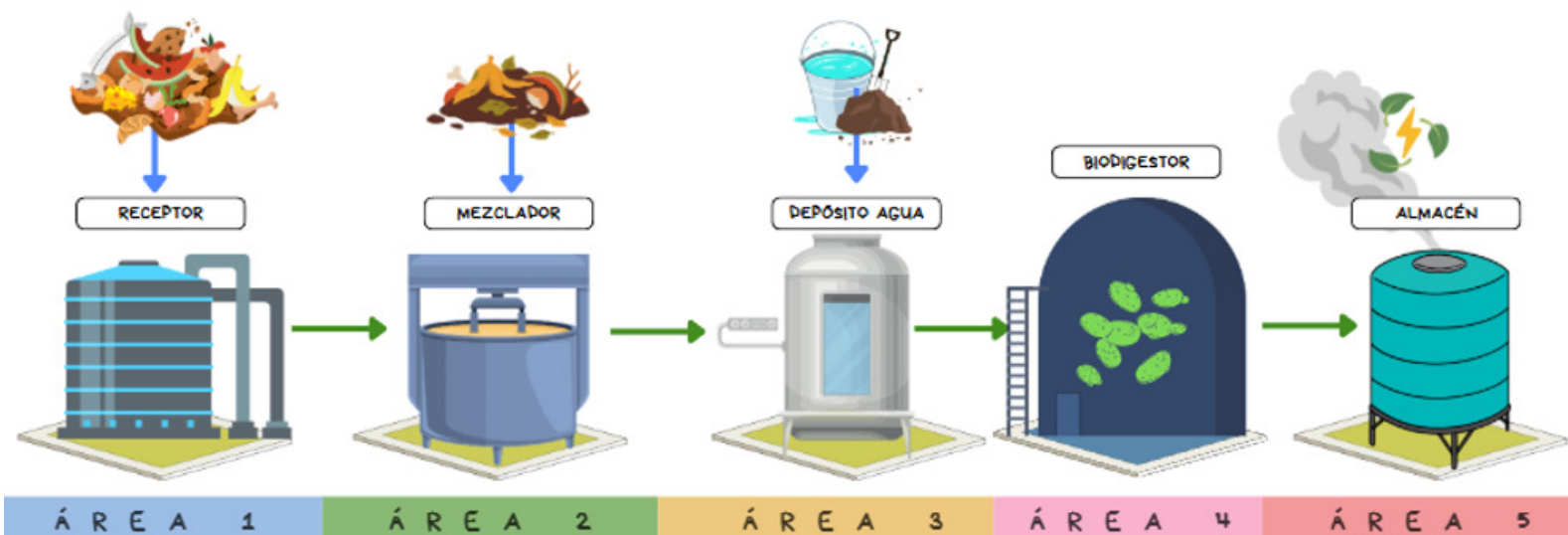


Figura 7. Áreas de proceso de generación de biogás.

de los residuos y la generación de un biogás rico en metano [3].

Área 3: Depósito de agua

Ahora bien, en esta área el agua es un factor esencial que nos ayudará a mantener la consistencia del sustrato en condiciones óptimas que nos faciliten su uso dentro del sistema. Se establece que la cantidad de agua que ingresa al mezclador es en porciones de 1:1 o 1:2 (agua: sustrato), esto dependerá del tipo de residuo y de la escala del biodigestor. El contenido de humedad es importante debido a que favorecerá el proceso de digestión anaerobia, es decir, ayudará a que las arqueas metanogénicas, que son microorganismos unicelulares que viven en ambientes sin oxígeno y producen gas metano como producto de su metabolismo, trabajen de mejor forma y que mantengan un ambiente idóneo para el sistema [3].

Área 4: Biodigestor

Es un equipo hermético que funciona como un proceso digestivo, en este sistema, la materia orgánica tiene contacto con los microorganismos tanto propios como los que se generarán en ausencia de oxígeno. Algunos de los sistemas pueden contar con mezcladores internos que ayudan a mantener en constante movimiento y de forma uniforme toda la materia orgánica contenida. Lo que durante el proceso

se empieza a liberar principalmente metano y dióxido de carbono.

Área 5: Almacén

El biogás que se produjo se puede almacenar en gasómetros, o bien, en la cúpula del biodigestor en la parte superior de este, esto dependerá del diseño del sistema. Desde ahí, el gas será almacenado de forma temporal para ser canalizado para el tipo de uso al que será destinado, es decir, en la cocina, calefacción o electricidad.

Por lo que a partir de estas áreas de trabajo se generará un gas combustible útil, es decir, un recurso energético renovable que proviene de la transformación de residuos de materia orgánica cuya utilidad abarca usos simples como la preparación de alimentos o que puede ser transportado e inyectado a la red para transformarla en energía eléctrica. La generación de biogás en un biodigestor no es inmediata, es decir, la generación comienza a partir del día 7 al 21, que son los días posteriores a la primera carga de la materia orgánica, periodo en el cual los microorganismos empezarán a descomponer la materia orgánica. Posterior a la descomposición activa de la materia, se produce de forma estable para mantener continua la generación.

¿Qué microorganismos trabajan silenciosamente para hacerlo posible?

Dentro del proceso de generación del biogás hay microorganismos invisibles al ojo humano, que son fundamentales para la generación de este recurso energético renovable [4]. Estos microorganismos anaerobios son comunidades especializadas que trabajan conjuntas para descomponer la materia orgánica contenida en el biodigestor en ausencia de oxígeno, siendo un proceso de forma natural en condiciones controladas dentro del sistema (Figura 8).

El proceso se lleva a cabo a partir de etapas de descomposición de la materia, estas etapas son procesos metabólicos independientes, pero a la vez dependientes uno del otro, donde diferentes tipos de microorganismos trabajan de forma secuencial y conjuntas para descomponer los residuos orgánicos de la forma compleja a la más simple, para poder producir el biogás. Es más sencillo entender cada etapa si se tiene un conocimiento previo acerca de las bacterias que trabajan en cada una de ellas (Figura 9).

1. Bacterias Hidrolíticas

Son un conjunto de bacterias cuya finalidad es romper los enlaces complejos de compuestos orgánicos presentes en la materia orgánica, tales como proteínas, celulosa, lignina y lípidos, convirtiéndolos en moléculas más simples y solubles, es decir, moléculas como

aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol, los cuales pasan al siguiente grupo de bacterias. Este proceso se llama hidrólisis y es la etapa fundamental en el proceso anaerobio, así la materia orgánica es preparada para que las bacterias de la etapa siguiente puedan realizar su funcionamiento y aprovecharla de forma eficiente. En este proceso participan principalmente las bacterias *Clostridium* y *Bacteroides* (ver Figura 8, a). Sin esta etapa, las moléculas serían demasiado grandes para que las otras bacterias puedan aprovecharlas.

2. Bacterias Acidogénicas

Son un conjunto de bacterias que se encargan de convertir azúcares, aminoácidos y lípidos en ácidos orgánicos, alcoholes y cetonas, acetato, CO_2 y H_2 , siendo *Lactobacillus* (ver Figura 8, b) el microorganismo que se encuentra principalmente dentro del funcionamiento del proceso, aunque *Escherichia coli*, también lo hace. Estas bacterias fermentan los nutrientes y generan las materias primas que las siguientes bacterias usarán para producir metano. Este proceso se llama acidogénesis, es la etapa en donde los monómeros simples generados en la hidrólisis se transforman en ácidos grasos mediante una reacción biológica, siendo un paso fundamental para la obtención de compuestos útiles como ácido acético, propiónico y butírico.

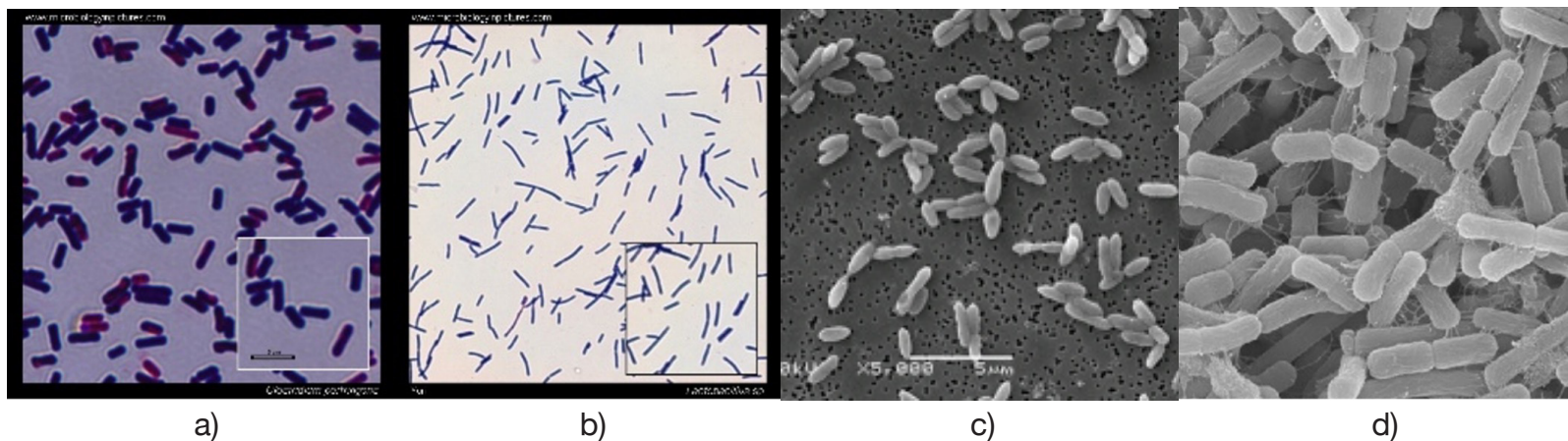


Figura 8. Morfología de las bacterias presentes en las etapas del proceso anaerobio: a) Bacteria hidrolítica (*Clostridium*), b) Bacteria acidogénica (*Lactobacillus*), c) Bacteria acetogénica (*Syntrophobacter*) y d) Arquea metanogénica (*Methanobacterium*). Tomado de: www.microbiologyinpictures.co

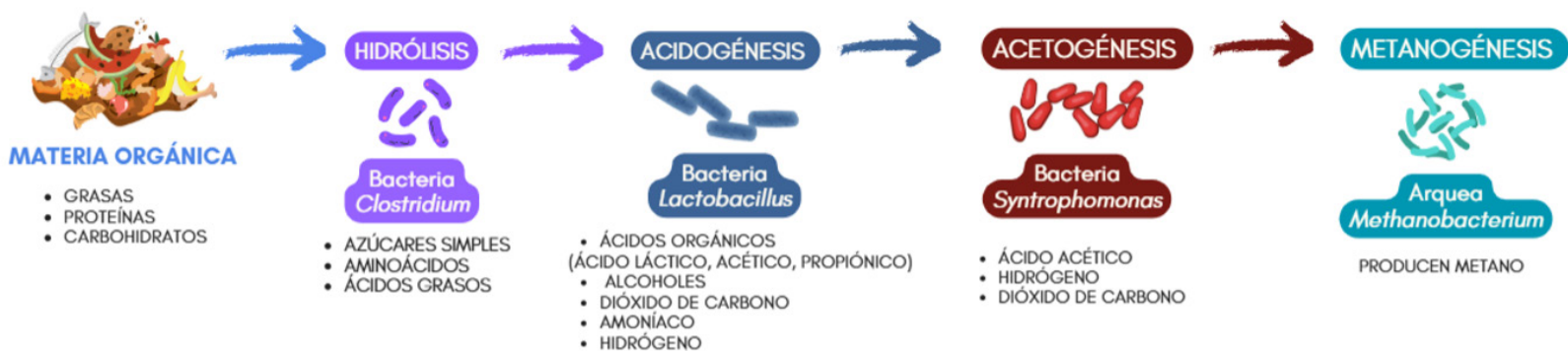


Figura 9. Microorganismos que participan en cada etapa durante la producción de biogás.

3. Bacterias Acetogénicas

Son un conjunto de bacterias que se desarrollan como productoras de H_2 junto a otras bacterias consumidoras especializadas en la oxidación de propionato y en oxidar ácidos grasos de 4 a 8 átomos de carbono, *Syntrophobacter wolinii* y *Syntrophomonas wolfei* (ver Figura 8, c) respectivamente, convirtiendo el propiónico butírico y algunos alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono compuestos que sirven como alimento para los productores de metano. Preparan los compuestos en su forma más simple y digerible para los organismos que producen metano. Sin ellos, no habría metanogénesis eficiente. Este proceso se llama acetogénesis siendo un proceso por el cual las bacterias anaeróbicas producen acetato a partir de diversas fuentes de energía como lo son el hidrógeno y el dióxido de carbono, es decir, es una reacción biológica en la que los ácidos grasos volátiles se convierten en ácido acético, dióxido de carbono e hidrogeno.

4. Arqueas Metanogénicas

Son un conjunto de microorganismos que transforman el ácido acético, el hidrógeno y el CO_2 en metano (CH_4), el gas que se aprovecha como energía. En este proceso participan las arqueas *Methanobacterium*, *Methanosaeta* y *Methanosarcina* (ver Figura 8, d). Son las más importantes del proceso, porque sin ellas no habría producción de gas. Este proceso se llama metanogénesis, mediante el cual las arqueas convierten diversos sustratos en metano, es decir, los acetatos se convierten en metano y

dióxido de carbono, mientras que el hidrógeno se consume.

Cada grupo de microorganismos necesita del otro para sobrevivir, es decir, dependerán el uno del otro para mantenerse activos y en equilibrio dentro del proceso de la digestión anaerobia. Las arqueas metanogénicas consumen hidrógeno, lo que permite que las bacterias acetogénicas sigan realizando su tarea correspondiente, así las bacterias acidogénicas generarán compuestos que otras bacterias no podrían fabricar por sí solas.

Perspectivas

El biogás es una de las energías renovables más prometedoras para enfrentar los desafíos energéticos actuales, pero sobre todo para introducir una cultura en cuanto al manejo de los desechos que generamos a diario. Para este tipo de procesos, el área más importante es el avance que se ha tenido en los últimos años, es la mezcla de distintos tipos de residuos orgánicos, esto abre un panorama amplio en cuanto al equivalente de biogás que se produce y el porcentaje eficiente de metano. Para impulsar el biogás como una energía limpia y renovable, es esencial enseñar como aprovechar los residuos que ayuden a motivar a las siguientes generaciones a navegar en todo este universo de información energética, innovar en las tecnologías sustentables y causar un impacto en la cultura del uso de residuos orgánicos.

Conclusión

Cada sobra de comida, cáscara de fruta,

tallos, estiércol animal, sedimentos orgánicos, hasta desechos de mataderos tienen un potencial enorme para generar energía que normalmente no se aprovecha adecuadamente y que solo la consideramos como basura. El biogás nos demuestra lo contrario: lo que tiramos también tiene valor, a través de la acción silenciosa de microorganismos. La materia orgánica puede convertirse en energía mediante una acción constante y natural de los microorganismos anaerobios. Aprovechar el biogás es, en esencia, cambiar la forma en la que vemos los residuos que generamos, es pensar en nuestro futuro, es entender como los residuos orgánicos que cada persona, hogar, comunidad, estado o país generan a diario tienen un valor agregado, y que solo debemos saber cómo aprovecharlos. Tu basura tiene poder, tú también al decidir qué hacer con ella, lo que tiramos puede encender el futuro. **iBIO**

ración internacional GIZ. <https://www.giz.de/en/world-wide/33989.html>

[7] Murphy, J. (2021). Biogás procedente de la digestión de cultivos. *IEA Bioenergy*. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2011/10/Update_Energy_crop_2011.pdf

Referencias

[1] Casanovas, G. (2022). *Guía teórico práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Instituto Nacional de Ecología y cambio climático INECC. <https://openknowledge.fao.org/items/cb02c0a4-9866-4f73-8e73-e7aad13967d7>

[2] Varnero, M. T. (2011). *Manual de Biogás*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>

[3] Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., & Zurbrugg, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Eawag. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%202nd%20Revised%20Edition.pdf

[4] SENER. (2020). *Diagnóstico del potencial de biogás en México*. Datos sobre residuos disponibles por sector para biodigestores en México. <https://www.cnbiogas.mx>

[5] López, J. P. (2019). Producción de biogás a partir de estiércol ovino en zonas áridas. *Agro Productividad*, 12(4). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1201>

[6] Zurita, A. (2020). *Biogás urbano: oportunidades con residuos de animales*. Sociedad alemana para la coope-