



# Biocombustibles gaseosos mediante digestión anaerobia, una alternativa para la demanda energética

Luis H. Álvarez\*  
ORCID: 0000-0003-1809-9304



<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.125-1>

\* Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, México.  
Contacto: luis.alvarez@itson.edu.mx



Las Naciones Unidas indican que la población mundial sin acceso a electricidad disminuyó de 1,200 millones en 2010, a cerca de 750 millones en 2019. En parte, esto fue posible por el establecimiento de sistemas eléctricos descentralizados basados en energías renovables. Aun con este avance, aproximadamente 81% de la energía mundial y 66% de la energía eléctrica provienen de combustibles fósiles: carbón (27%), petróleo (31%) y gas natural (23%) (IEA, 2021), los cuales, al ser quemados, originan emisiones dañinas en forma de gases de efecto de invernadero: dióxido de carbono.

Las energías renovables se caracterizan por expulsar menos emisiones contaminantes que las de origen fósil. Las fuentes actualmente utilizadas de energía renovable son la solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica, oceánica y bioenergía (Alrikabi, 2014). La bioenergía se destaca por utilizar restos orgánicos de origen vegetal o animal en la producir biocarbón, electricidad, metano, hidrógeno, etanol y diésel (Lee *et al.*, 2019).

## GENERALIDADES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

El hidrógeno y metano se originan biológicamente mediante el metabolismo de microorganismos que degradan materia orgánica durante el proceso de digestión anaerobia. Este proceso consta de cuatro etapas que se muestran en la figura 1 y son: 1) hidrólisis, 2) acidogénesis, 3) acetogénesis y 4) metanogénesis, en donde la materia orgánica se convierte en biogás que puede contener entre 55-75% de metano, 30-45% de dióxido de carbono y cantidades traza de otros gases: ácido sulfhídrico e hidrógeno (Aransiola *et al.*, 2023). El metano es uno de los resultados de la digestión completa de la materia orgánica; en cambio, el hidrógeno es un intermediario que se obtiene durante la etapa acetogénica, por lo que su obtención final requiere que se inhiba la etapa 4 de metanogénesis, de esta manera no es utilizado como sustrato (Ali Shah, 2014).

Diferentes sustratos con alto contenido de materia orgánica, aguas residuales y desechos sólidos pecuarios, agrícolas y alimentarios, pueden someterse a digestión anaerobia. El metano resultante puede colectarse y usarse directamente como combustible en cocinas, generar calor o electricidad. La digestión anaerobia permite tratar concentraciones altas de materia orgánica, sin embargo es necesario controlar y tener condiciones óptimas de pH, temperatura, alcalinidad y estar libre de compuestos tóxicos para alcanzar eficiencias altas de degradación.



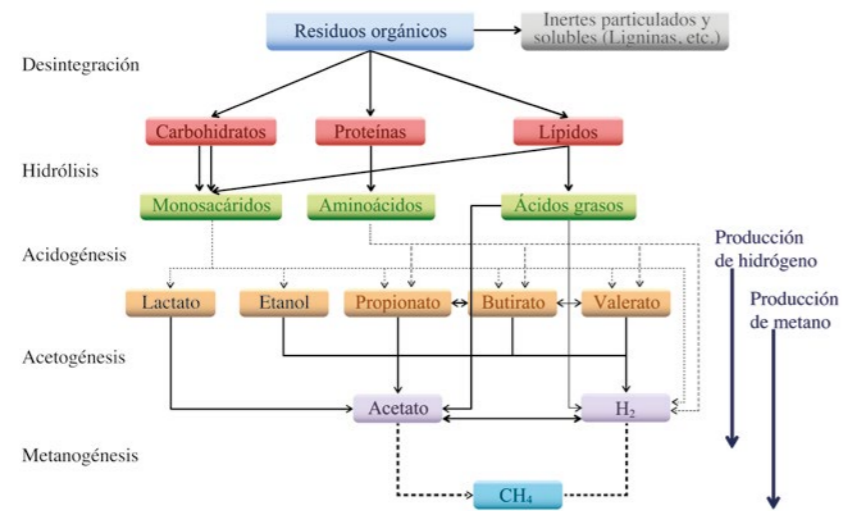


Figura 1. Etapas de la digestión anaerobia. La digestión completa permite la obtención de metano; al inhibir la metanogénesis, uno de los resultados será hidrógeno (adaptado de Álvarez *et al.*, 2019).

### PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

El hidrógeno es considerado el combustible del futuro porque es amigable con el ambiente, debido a que es un compuesto libre de carbono y el saldo final de su ignición es agua. Energéticamente está por encima (141 MJ/kg) de la gasolina (48 MJ/kg) y del metano (55 MJ/kg). Además, es una materia prima en diversos procesos industriales como síntesis de amoníaco, aceite comestible y lutita. La producción biológica de hidrógeno por digestión anaerobia ha sido estudiada utilizando cultivos microbianos puros, mixtos y en una diversidad de sustratos orgánicos (Ghimire *et al.*, 2015). Una reacción química que la representa a partir de glucosa es la siguiente:



en donde teóricamente se pueden obtener cuatro moles de hidrógeno por cada mol de glucosa, con el resultante de dos moles de ácido acético. Sin embargo, una limitante observada en la práctica son los bajos rendimientos alcanzados, que van de 1.2 a 3.9 moles de hidrógeno por mol de glucosa, que está en función a los microorganismos y condiciones de operación utilizadas en los biorreactores, lo que ha impedido el establecimiento de esta tecnología a escala industrial.

Aun así, la manufactura biológica de hidrógeno tiene el potencial de convertirse en una tecnología de costo competitivo debido a que su materia prima pueden ser desperdicios. Algunos de los sustratos (residuos orgánicos) utilizados para conseguirlo vía digestión anaerobia son estiércol de ganado, lodo y aguas residuales, paja de arroz y trigo, desechos de alimentos y suero

de leche. Estos sustratos se caracterizan por ser de difícil degradación mediante esta técnica, por lo que son sometidos a pre-tratamientos ácidos, alcalinos, térmicos, mecánicos o enzimáticos con el objetivo de promover su desintegración y la consecuente liberación de compuestos fermentables.

Además, en la mejora de la eficiencia de conversión de los sustratos es importante considerar el diseño y configuración de los biorreactores, mantener el control de los parámetros críticos del proceso: pH, temperatura y presión parcial. Actualmente el hidrógeno se obtiene principalmente por procesos termoquímicos y electrolíticos, aún no existe la industrialización por fermentación mediante digestión anaerobia. Sin embargo, esta biotecnología se encuentra en etapas de investigación y desarrollo, con plantas piloto en operación y con un futuro promisorio.

### PRODUCCIÓN DE METANO

A diferencia de la de hidrógeno que se encuentra en desarrollo, la generación de metano por digestión anaerobia es ampliamente aplicada a nivel mundial. La industria del biogás ha tenido un crecimiento importante en los últimos años, incrementándose 4% de 2010 a 2018, lo que representa una producción mundial de 3.5 Mtoe, pero con un potencial de 700 Mtoe (IEA, 2020). La obtención de metano a partir de residuos contribuye no sólo a satisfacer la demanda energética, sino también a apoyar diversos aspectos ambientales: mitigación del cambio climático, prevención y tratamiento de la contaminación. Los desechos orgánicos utilizados en su producción son prácticamente los mismos que en el hidrógeno. Una vez generado, es combustible para el transporte y se emplea en la obtención de electricidad y calor (figura 2).

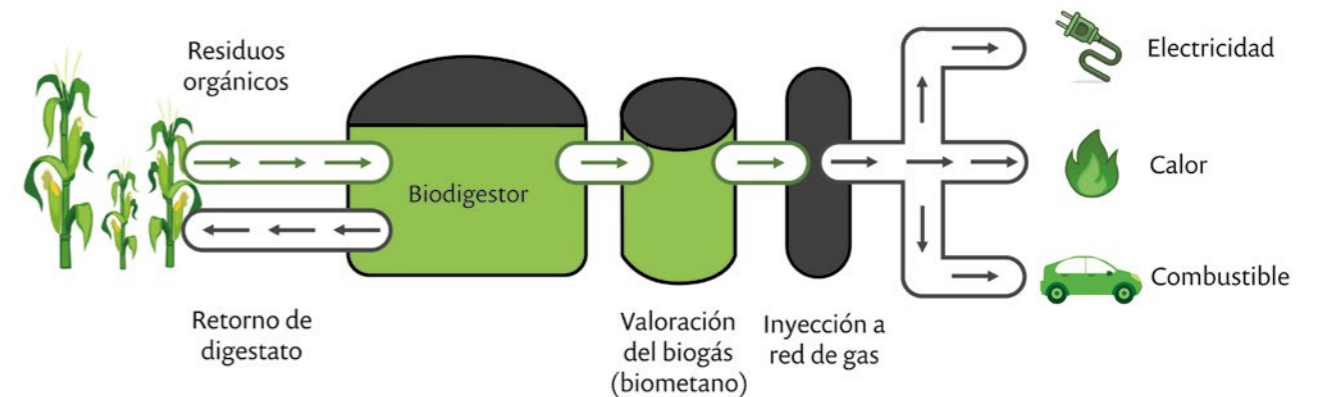


Figura 2. Proceso de producción de biogás a partir de desperdicios orgánicos y las principales aplicaciones actuales (adaptado de Biomethan-biogaspartner, 2022).

### Conversión de metano a electricidad

La conversión de metano a electricidad puede realizarse bajo diferentes procesos que incluyen estrategias que aún se encuentran en estudio, tal es el caso de las celdas de combustible microbiano y estrategias que están en pleno uso como los motogeneradores. Ambas permiten la conversión *in situ*, que puede posibilitar el empleo de las líneas de conducción eléctricas existentes, en lugar de instalar tuberías de transporte para este gas. El biogás debe ser tratado mediante filtros de carbón activado o limaduras de hierro con el fin de eliminar el ácido sulfhídrico y la humedad, lo que protege a los motogeneradores de la corrosión.

En función de la aplicación objetivo, podría ser necesario eliminar el dióxido de carbono del biogás. La eficiencia de conversión de los motogeneradores es entre 30 y 65%, el resto se transforma en calor. Uno de los casos de éxito de obtención de energía eléctrica a partir del biogás de rellenos sanitarios sucede en la zona metropolitana de Monterrey; con 7.42 MWh de capacidad produce 257,787 MWh, lo que permite el funcionamiento del transporte metro y alumbrado público, además evita la emisión de 51,484 toneladas métricas de metano, equivalente a 1,081,684 toneladas métricas de dióxido de carbono (Kessler, 2020). Además, hay otros casos de éxito en los que se consigue a partir de desechos de la industria tequilera y cervecera, sedimentos de plantas de tratamiento de lodos residuales, restos vegetales provenientes de sistemas agrícolas y estiércol de diferentes tipos de ganado, entre otros (Gutiérrez, 2018; Harder, 2020).

Por otro lado, en México hay un gran potencial de aprovechamiento de residuos orgánicos susceptibles a tratarse por digestión anaerobia para producir metano. Uno de éstos son los de las granjas porcinas. Por ejemplo, en Sonora existe una capacidad instalada de 1.6 millones de cerdos, con hasta 5,570 toneladas de desechos orgánicos al día. Si éstos se someten a este proceso, se pueden lograr hasta 127,600 m<sup>3</sup> de metano por día, equivalentes a 525,200 kWh. Sin embargo, este recurso energético no es aprovechado e incluso estos desperdicios no son tratados y manejados adecuadamente (Álvarez *et al.*, 2019).



### Metano como combustible en el transporte

El metano proveniente del biogás se utiliza como combustible para el tráfico urbano: autobuses, camiones de carga y vehículos pequeños. Las ventajas se asocian a la reducción de ruido y de emisiones dañinas. El metano contenido en el biogás es el único con la misma composición química que el combustible fósil que reemplaza. Puede ser mezclado con gas natural en cualquier proporción sin causar daños a los motores. En comparación con el diésel y la gasolina, el metano se quema con relativamente bajo desgaste de motor y poca generación de emisiones del tipo óxidos de nitrógeno y partículas. Los vehículos que lo utilizan están equipados con un escape con tecnología simple que trata emisiones y ayuda a cumplir las regulaciones, en comparación con los que operan con diésel o gasolina.

### CONCLUSIÓN

La digestión anaerobia es una biotecnología capaz de tratar residuos orgánicos y convertirlos en compuestos con valor energético como los biocombustibles gaseosos hidrógeno y metano. Aun cuando la producción de hidrógeno se encuentra en etapas de investigación o en ciertos casos a nivel de planta piloto, se espera que en un futuro cercano se diseñen y configuren procesos de fermentación a escala industrial, similar a los biodigestores que generan metano.



REFERENCIAS

Ali Shah, F. (2014). Microbial Ecology of Anaerobic Digesters: The Key Players of Anaerobiosis, *The Scientific World Journal*, 2014, <https://doi.org/10.1155/2014/183752>

Alrikabi, N.K.M.A. (2014). Renewable Energy Types, *Journal of Clean Energy Technologies*, 61-64. <https://doi.org/10.7763/JO-CET.2014.V2.92>

Álvarez, L.H., García-Reyes, R.B., Ulloa-Mercado, R.G., et al. (2019). Potencial biotecnológico para la valorización de residuos generados en granjas porcinas y cultivos de trigo, *Entreciencias*, 7(21), 1-21, <http://www.revistas.unam.mx/index.php/entreciencias/article/view/70799/63815>

Aransiola, S.A., Victor-Ekwebelem, M.O., Leh-Togi Zobeashia, S.S., et al. (2023). Sources and techniques for biofuel generation, *Green Approach to Alternative Fuel for a Sustainable Future*, 311-323, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824318-3.00026-6>

Biogaspartner. (2022). *Biomethan*, <https://www.biogaspartner.de/biomethan/>

Ghimire, A., Frunzo, L., Pirozzi, F., et al. (2015). A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by products, *Applied Energy*, 144, 73-95, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.045>

Gutiérrez, J.P. (2018). *Situación actual y escenarios para el desarrollo del biogás en México hacia 2024 y 2030*, Red Mexicana de Bioenergía-Red Temática de Bioenergía de Conacyt.

Harder, B. (2020). *Biogas plants in Denmark and Mexico*. Danish climate and energy partnership programme in Mexico 2017-2020. International Energy Agency. (2020). *Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth*, <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/sustainable-supply-potential-and-costs>

International Energy Agency. (2021). *Key World Energy Statistics 2021-Analysis-IEA*, <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>



Kessler, L. (2020). Una planta de biogás producirá toda la energía del metro de Monterrey, México, *Afinidad Eléctrica*, <https://afinidadelectrica.com/2020/07/05/una-planta-de-biogas-producira-toda-la-energia-del-metro-de-monterrey-mexico/>

Lee, S.Y., Sankaran, R., Chew, K.W., et al. (2019). Waste to bioenergy: a review on the recent conversion technologies, *BMC Energy*, 1(1), 1-22, <https://doi.org/10.1186/S42500-019-0004-7>

Recibido: 29/09/2022  
Aceptado: 02/11/2023



Descarga aquí nuestra versión digital.

