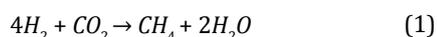


BIOMETANO A PARTIR DE BIOHIDRÓGENO Y RESIDUOS DE HIERRO

KARLA MARÍA MUÑOZ PÁEZ

El biogás es un biocombustible generado a partir de la digestión anaerobia de la materia orgánica. Esta mezcla de gases se compone principalmente de CH_4 (50-75%) y CO_2 (25-50%), con trazas de otros compuestos como N_2 , H_2O , O_2 , H_2S , NH_3 , etc. (Muñoz *et al.*, 2015), por lo que su poder calorífico se encuentra estrechamente relacionado con la cantidad de CO_2 presente. Así, para incrementar su poder calorífico y diversificar sus usos, se realiza un proceso de enriquecimiento en el que se incrementa la concentración de CH_4 a niveles similares a los del gas natural (biometano), lo cual, permitiría inyectarlo en la infraestructura ya existente o usarlo como combustible para vehículos (Kougias *et al.*, 2017). El biometano es parte importante dentro de la industria del gas renovable; en México, se considera ya la necesidad de tecnologías de acondicionamiento del biogás dentro de la cadena de valor del biogás.

De las tecnologías existentes para enriquecer el biogás, las fisicoquímicas son de las más usadas de forma comercial, mientras que las biológicas están en desarrollo. Algunas de las ventajas de los métodos biológicos es que se manejan a temperaturas y presiones menores comparadas con las fisicoquímicas, lo que ayuda a que se tenga un gasto energético menor. Dentro de los métodos biológicos, se tiene a la hidrogenotrofia, que es un proceso en el que microorganismos llamados arqueas metanogénicas utilizan CO_2 como fuente de carbono e hidrógeno como fuente de energía (Ec. 1; Gujer y Zehnder, 1983). Con este mecanismo, se puede utilizar el CO_2 biogénico, es decir, el CO_2 que ya se encuentra en el biogás, mediante la adición de hidrógeno para generar más metano.



Siguiendo la idea de tener biocombustibles con bajas emisiones de carbono, el hidrógeno adicionado es principalmente el verde, es decir, el que se genera a partir de los remanentes de electricidad producida por energías renovables, en el concepto llamado *power-to-gas* (Rachbauer *et al.*, 2016). Si bien la generación de hidrógeno verde tiene múltiples beneficios, la tecnología para su producción y manejo todavía no se encuentra desarrollada en todos los lugares, por lo que es muy útil buscar otras fuentes de hidrógeno que lo complementen. En el Laboratorio de Investigación en Procesos Avanzados de Tratamiento de Aguas (LIPATA) del Instituto de Ingeniería en la Unidad Académica Juriquilla, proponemos como fuentes

complementarias el uso del bioH_2 y del generado durante la oxidación anaerobia de hierro.

El biohidrógeno es una mezcla de gases compuesto principalmente por hidrógeno y CO_2 , que se puede generar a partir de biomasa mediante un proceso biológico llamado fermentación oscura. El bioH_2 tiene un alto potencial como fuente alternativa de energía, se estima que haya un incremento de la inversión para la generación de este biocombustible en países como India, USA, Japón y China (Singh y Rathore, 2017). Su uso para la producción de biometano se puede realizar de dos formas, una es directamente, ya que contiene los dos sustratos necesarios para la hidrogenotrofia; la segunda es utilizarlo para el enriquecimiento del biogás (Figura 1). Respecto a la primera opción, ya se ha demostrado que se puede producir en continuo metano mediante hidrogenotrofia usando un bioH_2 con concentración de hidrógeno de 60%, teniendo concentraciones promedio de metano de 74%, siendo menores que las deseadas para ser considerado como biometano, esto debido al CO_2 remanente del proceso (Muñoz-Páez y Buitrón, 2022).

Por otra parte, la idea de usarlo para el enriquecimiento del biogás (opción 2), considera que los dos se podrían estar produciendo en una biorrefinería donde se produzca biogás en un proceso de dos etapas. En estos procesos de dos etapas, se busca incrementar la producción de biogás, teniendo en la primera etapa la fermentación oscura donde se produce hidrógeno y una corriente líquida con alto contenido de ácidos orgánicos volátiles; esta corriente líquida es dirigida después a la digestión anaerobia (Sukphun *et al.*, 2023; Xie *et al.*, 2008). El tener este proceso en dos etapas permite que se pueda operar en las mejores condiciones de cada proceso sin alterar al otro. Ya se ha estudiado adicionar directamente el bioH_2 generado a partir de residuos a un digestor anaerobio, con la idea de incrementar la concentración de metano en el biogás generado; sin embargo, no se llegaron a las concentraciones de metano deseadas, ya que no se operó a la relación de H_2/CO_2 estequiométrica de 4:1 debido al CO_2 presente en el bioH_2 (Yan *et al.*, 2020 y 2016). A la adición directa del hidrógeno al proceso de digestión anaerobia se le conoce como enriquecimiento *in situ*, el cual, tiene los beneficios de tener en un solo reactor ambos procesos, la digestión anaerobia y el enriquecimiento del biogás. En cuanto a las desventajas, se encuentra el manejo del pH, ya que, por el propio proceso, éste tiende a incrementarse y a veces sobrepasar el valor de 8.5, lo cual, puede llevar a la inhibición del proceso (Angelidaki *et al.*, 2018). Por otra parte, la adición del H_2 y el biogás a un reactor diferente al de la digestión anaerobia es llamado enriquecimiento *ex situ*, que tiene los beneficios de ser un proceso que no se encuentra dirigido por la degradación de la materia orgánica.

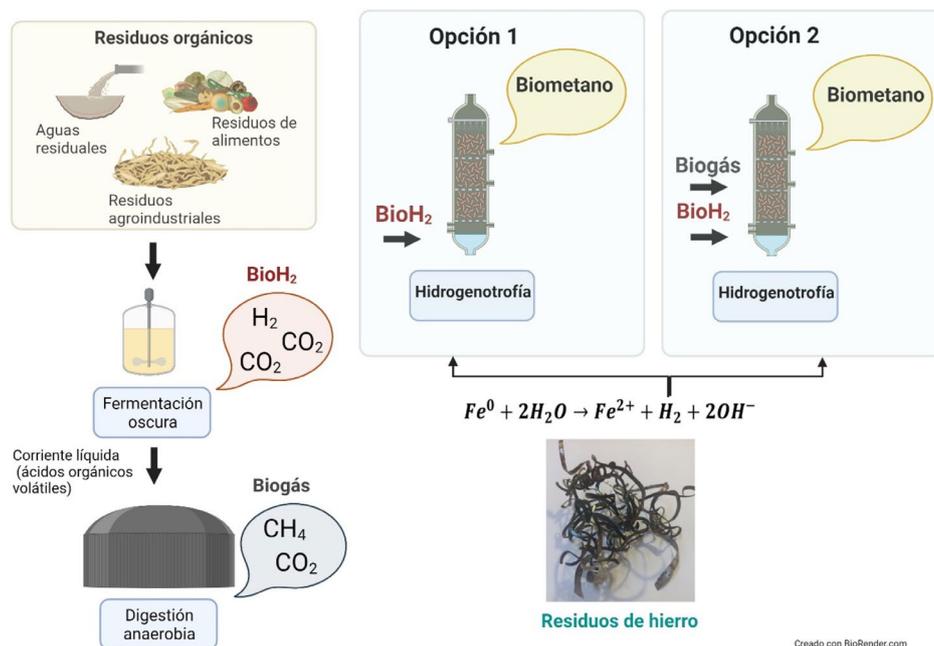


Figura 1. Opciones de producción de biometano a partir de biohidrógeno, biogás y residuos de hierro

Ambos procesos tienen el reto de superar la baja solubilidad de los gases en el líquido, principalmente la del hidrógeno. El tipo de reactor donde se lleva a cabo el proceso puede ayudar a mejorar la transferencia de masa del sistema, este es el caso del filtro percolador (Figura 2), en el cual, se tiene un lecho con soportes donde los microorganismos de interés van a formar una biopelícula; el gas entra por la parte inferior y a contracorriente se tiene el medio con los nutrientes para el crecimiento de los microorganismos (Burkhardt *et al.*, 2015). Este tipo de reactor ha sido ampliamente usado para el enriquecimiento *ex situ* del biogás (Rachbauer *et al.*, 2016; Burkhardt *et al.*, 2015).

Pocos estudios en continuo se han enfocado en el enriquecimiento *ex situ* del biogás usando bioH₂, porque involucra la operación a relaciones de H₂/CO₂ menores que el estequiométrico, como se mencionó anteriormente. Para solventar este reto, en el LIPATA se ha estudiado el enriquecimiento del biogás a relaciones de H₂/CO₂ menores de 4:1; en este estudio se ha encontrado que la relación prometedora es cercana al 50:50 con el sistema desarrollado. Sin embargo, la concentración de hidrógeno en el bioH₂ varía dependiendo de factores como la materia prima a utilizar y el sistema de producción, por lo que, a veces, esta relación de H₂/CO₂ deseada sería difícil de alcanzar, lo que nos lleva a buscar otra fuente de H₂. La propuesta es usar un H₂ abiótico, es

decir, que no es generado por los microorganismos, en este caso, se desea aprovechar el que se genera durante la oxidación anaerobia del hierro cerovalente (Hu *et al.*, 2015).

Diversos estudios han utilizado el hierro cerovalente para incrementar el rendimiento y la concentración de metano en sistemas *in situ*, teniendo resultados prometedores, principalmente cuando se usan nanopartículas. Una alternativa es usar residuos de hierro para este proceso. Usar residuos de hierro tiene el reto de que estos tienen mayor tamaño de partícula y menor área superficial que las micro y nanopartículas, por lo que se deben buscar estrategias para mejorar la velocidad del proceso. Uno de los beneficios es que este material es relativamente barato, lo que brinda otra opción para su valorización. En este aspecto, en el LIPATA se está desarrollando el proyecto de Ciencia de Frontera del CONAHCYT, "Aplicación de Fe cerovalente para la producción de biometano acoplada a la utilización del CO₂ generado en la producción de biocombustibles gaseosos", en el que se busca encontrar las condiciones óptimas de operación para que se obtenga biometano generado de distintas corrientes gaseosas de la producción de biocombustibles a partir de residuos; entre las corrientes se encuentra el bioH₂, teniendo ya resultados prometedores usando un residuo de hierro recolectado en el estado de Querétaro.

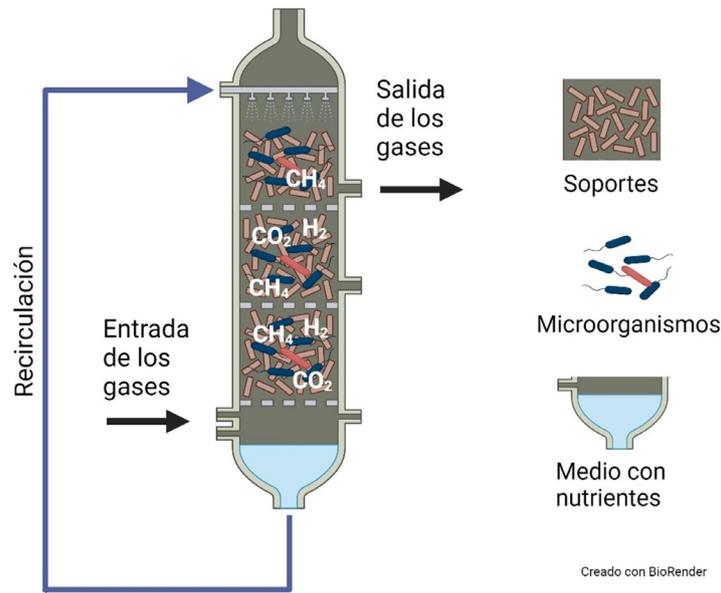


Figura 2. Esquema de un reactor filtro percolador

Agradecimientos

Esta es una investigación apoyada por el CONAHCYT en 2024 a través del Proyecto de Ciencia de Frontera CF-2023-I-537. K. M. Muñoz Páez agradece al programa Investigadoras e Investigadores por México (Investigador ID 6407, Proyecto 265). Se agradece también, el apoyo técnico de Jaime Pérez, Gloria Moreno y Ángel Hernández, así como de las estudiantes Nadia Isabela Pérez Martínez y Evelyn Alejandra Castro Juárez. |

Referencias

- Angelidaki, I.; Treu, L.; Tsapekos, P.; Luo, G.; Campanaro, S.; Wenzel, H. y Kougias, P. G. (2018). *Biotechnol. Advances*, 36(2), 452-466.
- Burkhardt, M.; Koschack, T. y Busch, G. (2015). *Bioresour. Technol.* 178, 330-333.
- Gujer, W. y Zehnder, A. J. B. (1983). *Water Sci Technol*, 15(8-9), 127-67.
- Hu, Y.; Hao, X.; Zhao, D. y Fu, K. (2015). *Chemosphere*, 140, 34-39.
- Kougias, P. G.; Treu, L.; Benavente, D. P.; Boe, K.; Campanaro, S. y Angelidaki, I. (2017). *Bioresour. Technol*, 225, 429-437.
- Muñoz, R.; Meier, L.; Diaz, I. y Jeison, D. (2015). *Rev Environ Sc BioTechnol*, 14(4), 727-759.
- Muñoz Páez, K. M. y Buitrón, G. (2022). *Chemosphere*, 38: 136305.
- Rachbauer, L.; Voitl, G.; Bochmann, G. y Fuchs, W. (2016). *Appl Energy*. 180, 483-490.
- Singh, A. y Rathore, D. (2017). URL <https://link.springer.com/book/10.1007/978-81-322-3577-4> (accessed 14/06/2024).
- Sukphun, P.; Wongarmat, W.; Imai, T.; Sittijunda, S.; Chaiprapat, S. y Reungsang, A. (2023). *Bioresource Technology*, 129519.
- Xie, B.; Cheng, J.; Zhou, J.; Song, W. y Cen, K. (2008). *Int J Hydrogen En*, 33(19), 5006-5011
- Yan, B. H.; Selvam, A. y Wong, J. W. (2020). *Bioresour Technol*, 297, 122400.
- Yan, B. H.; Selvam, A. y Wong, J. W. (2016). *Bioresour. Technol*, 217, 3-9.