

Biotecnologías innovadoras de up-grading de biogás

Autores: María Fernández-Polanco¹, Israel Díaz¹, Fernando Fernández-Polanco¹, Mar Peña¹, Ignacio de Godos¹, Natalia Alfaro¹, Roxana Ángeles¹, Elisa Rodríguez¹, Esther Arnaiz¹, Pedro García-Encina¹, Raquel Lebrero¹ y Raúl Muñoz¹

^{1 1} Dpto. Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Valladolid. Calle Doctor Mergelina, s/n. C.P. 47011– Valladolid.

e-mail del autor principal : mutora@iq.uva.es

Resumen

La falta de incentivos fiscales para la utilización del biometano obliga a la optimización tanto de la producción como del *upgrading* de biogás para permitir la plena explotación de este recurso. La gran cantidad de contaminantes presentes en el biogás ha derivado en la implementación de procesos de *upgrading* basados en tecnologías físico-químicas convencionales capaces de proporcionar purezas de CH₄ del 88-98% y eliminaciones de H₂S > 99%. Desafortunadamente, el alto consumo de energía y productos químicos limita la sostenibilidad ambiental y económica de estos procesos. En este contexto, las biotecnologías ofrecen una alternativa de bajo costo y respetuosa con el medio ambiente al *upgrading* físico-químico. Las biotecnologías basadas en la bioconversión de CO₂ quimio-autotrófo a CH₄ usando H₂ como donador de electrones, o en la fijación fotosintética de CO₂ en fotobiorreactores de algas y bacterias, permiten alcanzar eliminaciones de CO₂ del 80-100% y purezas de CH₄ de 88-100%, al tiempo que permite la conversión de CO₂ en bioproductos e incluso una eliminación simultánea del H₂S y CO₂. Del mismo modo, la biofiltración aerobia o anóxica, y los procesos de digestión anaerobia en condiciones microaerófilas, permiten eliminaciones de H₂S > 99%. Sin embargo, a pesar de estos resultados prometedores, la mayoría de las biotecnologías todavía requieren una mayor optimización y escalado para competir con sus homólogos físico-químicos. Esta comunicación se centrará en las biotecnologías desarrolladas por el Grupo de Tecnología Ambiental en los últimos 10 años, con especial énfasis en los procesos de escalado de las mismas.

Palabras Clave biogás, biofiltración anóxica, digestión anaerobia microaerofílica, *upgrading* hidrogenotrófico, *upgrading* fotosintético

Introducción

Los procesos de digestión anaerobia son uno de los sistemas más usados para la eliminación de residuos orgánicos con alto contenido de materia orgánica, como pueden ser los fangos de depuradora, los residuos sólidos urbanos o agropecuarios. Durante la descomposición de la materia orgánica se produce biogás (una mezcla de CH₄, CO₂, H₂S y otros componentes) que puede ser usado como fuente de energía totalmente sostenible. De forma tradicional el biogás se usa como fuente de energía térmica y eléctrica, que a su vez es consumida durante la operación de las propias instalaciones dedicadas a la eliminación de residuos. La exportación de electricidad o calor desde este tipo de procesos resultó rentable durante los periodos en los cuales se incentivó económicamente el uso y producción de energías de carácter renovable. Pero en la

actualidad existe una creciente necesidad en los usos alternativos del biogás, como puede ser la conversión a gas natural renovable, las células de combustible o la producción de compuestos químicos con alto valor añadido. Por otra parte las actuales directivas europeas instan a aumentar la cantidad de bioenergía producida poniendo un énfasis especial en la conversión de residuos en biocombustibles de uso en el sector del transporte (EC. 2016).

La generación de gas natural renovable, para uso en transporte o inyección en red, implica una eliminación de la mayor parte del CO₂ y el H₂S presentes en el biogás (proceso denominado "biogas up-grading"). A escala industrial las tecnologías existentes para esta purificación están basadas en procesos físico-químicos altamente costosos a nivel de instalación y operación (Bauer y col. 2013). Como consecuencia los procesos de "up-grading" solo resultan rentables a gran escala lo cual ha limitado su implementación en depuradoras de tamaño medio o instalaciones descentralizadas de gestión de residuos.

En este contexto el uso de procesos biológicos basados en la captación tanto de CO₂ como H₂S suponen un claro avance en el desarrollo de tecnologías altamente sostenibles y apropiadas para distintas escalas. Como captadores de CO₂, los organismos fotosintéticos como las microalgas pueden ofrecer un alto rendimiento de eliminación en fotobioreactores especialmente diseñados para este propósito. Otra posibilidad es uso controlado de bacterias metanogénicas hidrogenotróficas (productoras de CH₄ y consumidoras de H₂). Este tipo de organismos crecen de forma natural en los digestores anaerobios contribuyendo a la producción total de metano. Mediante una adición controlada de H₂, este compuesto puede combinarse con el CO₂ presente el digestor formando metano y enriqueciendo el biogás producido. El H₂ a su vez puede producirse mediante electrólisis del agua usando excedentes de energías renovables mejorando la gestión de este recurso (proceso conocido como Power-to-Gas). Otro tipo de bacterias cuya proliferación dentro de los digestores anaerobios puede ser usada para mejorar la calidad del biogás son las bacterias quimioautótrofas oxidadoras de H₂S. Mediante una dosificación controlada de O₂ (microaireación) estos organismos pueden reducir la práctica totalidad de este corrosivo componente.

Este trabajo resume los resultados más relevantes en sistemas de "up-grading" y tratamiento de biogás desarrollados por el Grupo de Tecnología Ambiental de la Universidad de Valladolid. La apuesta por sistemas innovadores ha resultado en un avance progresivo del desarrollo tecnológico desde la escala laboratorio, pasando por ensayos en fase piloto y llegando a una implementación a escala real de varias de las propuestas.

Materiales y Métodos

En este trabajo se incluye información relativa a tres tecnologías diferentes, denominadas up-grading fotosintético, up-grading hidrogenotrófico y eliminación de H₂S mediante microaeración.

El denominado sistema fotosintético está basado en la absorción del CO₂ en medio líquido en el que crecen microalgas que lo usan como fuente de carbono. El proceso de absorción de dióxido de carbono se hace en una columna en la cual se recircula el medio de cultivo de microalgas. Este medio de cultivo está altamente expuesto a la radiación solar en un reactor tipo "raceway" consistente en un canal cerrado en continua recirculación con una profundidad de 0,3 m. El parámetro operacional clave que permite maximizar la eliminación de CO₂ es la relación de caudales de líquido y gas que se introduce dentro de la columna de intercambio. Este concepto ha sido ensayado en varias escalas en laboratorio (120 y 180 litros) usando biogás sintético y finalmente en una escala industrial consistente en un reactor abierto de 500 m² operativo con biogás real.

Como sistema usado para el up-grading hidrogenotrófico se ha usado un reactor tipo Membrane BioReactor (MBR) con capacidad de 65 litros. Este reactor fue suplementado con dos corrientes gaseosas (H₂ y CO₂) a través de membranas cerámicas o poliméricas para aumentar la transferencia gas/líquido.

La eliminación de H₂S mediante aplicación de condiciones microaerobias ha sido ensayada en digestores anaerobios (200 L) operados en rango mesófilo (35°C) y alimentados con fango mixtos procedentes de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. Varias condiciones fueron ensayadas consistentes en: recirculación del digestato y recirculación del biogás, suplemento de aire y de O₂ puro y diferentes producciones de H₂S.

Resultados y Discusión (Arial 9 pt negrita)

Up-grading fotosintético

El proceso de generación de biometano de alta calidad ha sido validado en las tres escalas ensayadas. La optimización del proceso de absorción de CO₂ y posterior asimilación biológica mediante el cultivo de microalgas ha resultado en la producción de un gas resultante prácticamente análogo en composición a gas natural (>95 %; <1%CO₂ y <3%N₂). En las distintas escalas ensayadas se ha comprobado que las condiciones más apropiadas son aquellas en las que se minimiza la relación de caudales líquido/gas (≈ 0.5) para garantizar una mínima intrusión de N₂ en el biometano mientras que se garantiza la máxima transferencia de CO₂ desde el biogás al líquido. Una de las ventajas añadidas de esta tecnología consiste en el uso de digestatos (efluentes del digestor anaerobio) como fuente de nitrógeno y fósforo para las microalgas que actúan como organismo asimilador de CO₂. Otra de las ventajas encontradas en este proceso es la eliminación simultánea de H₂S en las columnas de intercambio. Este compuesto presenta también una elevada solubilidad en agua por lo que pasa rápidamente al medio de cultivo y favorece la proliferación de organismos quimioautótrofos dentro de la columna de intercambio. Este proceso biológico consume el O₂ liberado por las microalgas y reduciendo su concentración en el intercambiador garantizando una baja intrusión en el biometano producido.

Diferentes tipos de digestatos y fuentes de biogás han sido ensayados en los últimos años con resultados prometedores. A parte de una elevada concentración de CH₄ en el producto final, el up-grading fotosintético ha demostrado su estabilidad a largo plazo durante ensayos prolongados durante más de 6 meses de operación continuada. Estos resultados han motivado la demostración del proceso en una escala real usando un reactor de 500 m² como fuente de producción de microalgas.

Up-grading hidrogenotrófico

La conversión de CO₂ a metano mediante la adición de H₂ se ha ensayado en una escala controlada usando gases sintéticos. Por cuestiones prácticas el proceso completo incluyendo una fase de electrólisis del agua no ha sido ensayado. Varios parámetros han sido identificados como clave para la optimización del proceso: en primer lugar la tasa de H₂ suministrado por unidad de tiempo, en segundo lugar el caudal de recirculación de gas necesario para garantizar la solubilización del H₂. Este gas destaca por ser muy poco soluble en fase acuosa por lo que los coeficientes de transferencia de masa han de maximizarse mediante recirculación del gas. Otra opción recientemente ensayada consiste en la operación de los biorreactores a altas presiones para garantizar la solubilización del H₂. Bajo las condiciones de operación ideales se han encontrado altas tasas de conversión de H₂ en CH₄ alcanzando un 95 % de eficiencia respecto a las relaciones estequiométricas. Bajo estas condiciones la producción de biometano de alta calidad está garantizada.

Tratamiento microaerobio

El tratamiento microaerobio ha demostrado una alta eficacia en eliminación (>99%) del sulfuro de hidrógeno durante el proceso de digestión anaerobia resultando en muy bajas concentraciones de este componente en biogás (200 mg/Nm³). De las dos estrategias de operación ensayadas (recirculación de biogás y recirculación de digestato) la recirculación del gas presentó los mejores resultados ya que se minimizó la concentración de O₂. Los balances de materia calculados para el elemento azufre demostraron un fenómeno de acumulación de este elemento durante el proceso que fue validado al comprobar la existencia de depósitos de azufre elemental formados

en el espacio en cabeza de los digestores. Estos balances demostraron también que la recirculación del biogás facilitó la eliminación tanto de H₂S como del sulfuro disuelto. En general el tratamiento microaerobio no compromete la operación de los digestores, las tasas de eliminación de materia orgánica no se vieron afectadas y los rangos de operación ensayados son compatibles con las concentraciones de H₂S normalmente encontradas en digestores de aguas residuales urbanas. La adición de aire o O₂ puro mostró similares rendimientos, la contaminación del biogás por presencia de N₂ es lo suficientemente baja como para no reducir el poder calorífico del gas producido.

Conclusiones

Tres tecnologías de tratamiento de biogás diferentes han sido ensayadas y validadas en escalas suficientemente relevantes. Todas ellas destacan por presentar bajos costes de mantenimiento y operación respecto a los sistemas convencionales basados en captación físico-química. Mientras que el up-grading fotosintético es una opción altamente sostenible debido a las bajas emisiones de carbono y la elevada recuperación elementos clave como el nitrógeno y el fósforo, el up-grading hidrogenotrófico supone un importante avance en materia de utilización eficiente de la energía renovable. Por otra parte la microaeración ha demostrado ser un proceso altamente versátil y muy económico para eliminar uno de los contaminantes más problemáticos del biogás (H₂S).

El conocimiento adquirido de las tres tecnologías durante los años de experimentación ha permitido relajar un salto de escala resultado en varios proyectos de demostración de cada una de las tecnologías.

Referencias

1. *European Commission Directive) COM(2016)767/F1*
2. *Bauer F, Hulteberg C, Persson T, Tamm D. Biogas upgrading—review of commercial technologies. Biofuels, Bioprod. Bioref. 7:499–511*