

## BIOTECNOLOGÍA MICROALGAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMETANO Y LA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> DE GASES DE COMBUSTIÓN, A NIVEL PILOTO E INDUSTRIAL

ARMANDO GONZÁLEZ SÁNCHEZ

El desarrollo de nuevas fuentes de energía en la sociedad moderna puede representar una fuente de crecimiento económico y de desarrollo humano en la vida cotidiana. Sin embargo, la creciente demanda de energía trae consigo un gran impacto ambiental, debido, entre otras cosas, al uso de grandes recursos naturales no renovables y a las emisiones de contaminantes como son los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Esta problemática ambiental, nos ha llevado a replantear la forma de producir energía, mediante el uso de nuevas materias primas (biocombustibles), cambios tecnológicos (celdas solares) y mitigación de contaminantes (tecnologías de captura de dióxido de carbono, principal componente de los GEI).

En la actualidad, la integración de equipos interdisciplinarios de trabajo es requerida, para buscar producir energía de manera sostenible, eficiente y renovable. En este contexto, la Secretaría de Energía (SENER) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) han impulsado líneas de investigación y desarrollo tecnológico en materia de bioenergía, bajo el proyecto base 247006 CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética 2014-05, denominado “Clúster Biocombustibles Gaseosos”, en el cual, participan centros e institutos de investigación públicos, empresas del sector privado e instituciones de educación superior, incluyendo a la UNAM a través del Instituto de Ingeniería campus CU y Juriquilla, siendo el responsable técnico institucional el Dr. Germán Buitrón Méndez.

En el proyecto base mencionado anteriormente, se incluye el desarrollo de la línea de investigación “Acondicionamiento del Biogás”, de la cual, el Dr. Armando González Sánchez es el responsable académico, además de desempeñarse como líder del grupo “Tratamiento de Emisiones Gaseosas” del Instituto de Ingeniería UNAM, campus CU. Las actividades de investigación y desarrollo tecnológico del grupo se han enfocado en incrementar el valor energético y comercial del biogás (composición típica

promedio: CH<sub>4</sub> 65 – 70% vol, CO<sub>2</sub> 30% vol, H<sub>2</sub>S < 0.3% vol) generado en digestores anaerobios de residuos orgánicos urbanos, por medio de la captura fotosintética del CO<sub>2</sub> presente en el biogás, y la oxidación del H<sub>2</sub>S a sulfato mediante el uso de un consorcio de microalgas y bacterias alcalófilas sulfooxidantes, con el propósito de obtener biometano (biogás con contenido de metano, CH<sub>4</sub> superior a 84% vol. Diario Oficial de la Federación), el cual, puede ser utilizado con los mismos fines energéticos que el gas natural. Entre los principales logros que ha alcanzado el grupo de Tratamiento de Emisiones Gaseosas, a través de esta línea de investigación, destacan el diseño, construcción y operación de un sistema de escala piloto de enriquecimiento (captura de CO<sub>2</sub>) y desulfuración de biogás, con una base biotecnológica microalgal. Los productos tangibles fueron biometano y biomasa microalgal, siendo la comercialización de ésta última la que conferiría factibilidad técnica-económica al proceso de purificación de biogás evaluado.

### Desarrollo tecnológico

La figura 1 muestra el sistema biotecnológico conformado por un fotobiorreactor tipo High Rate Algal Pond (HRAP) interconectado a una columna de absorción (ABC), en ésta se lleva a cabo la remoción de compuestos no energéticos presentes en el biogás como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). En el sistema crecen consorcios alcalófilos de microalgas por la asimilación de CO<sub>2</sub> previamente absorbido en la ABC. Este proceso simultáneamente desulfura el biogás con ayuda de bacterias sulfooxidantes con eficiencias de remoción cercanas a 100% (Franco-Morgado *et al.* 2017; Toro-Huertas *et al.* 2019).

Cuando el biogás es purificado a biometano, este último puede ser empleado como un sustituto del gas natural (Franco-Morgado *et al.* 2020). En el grupo “Tratamiento de Emisiones Gaseosas”, se ha implementado, además, el uso de efluentes residuales acuosos como el digestato (rico en nitrógeno y fósforo) como fuente de nutrientes para soportar el crecimiento microalgal, con la finalidad de bajar costos de operación del proceso de purificación del biogás. La obtención de biometano y su uso como biocombustible es atractivo desde el punto de vista energético, ambiental y de aprovechamiento de residuos orgánicos, con claras ventajas con respecto al uso de gas natural, al ser un combustible renovable producido por la digestión anaeróbica de desechos orgánicos.

Otro proyecto, en esta ocasión patrocinado por la iniciativa privada y que versa en la maduración de la biotecnología microalgal descrita anteriormente, se ha implementado y operado

con éxito a nivel industrial en Granos y Servicios Integrales S.A. de C.V. (GSI) y Proteína Animal S.A. de C.V. (PROAN), que son empresas preocupadas por el medio ambiente que han apostado por la investigación que se realiza en el Instituto de Ingeniería UNAM, específicamente en el grupo de “Tratamiento

de Emisiones Gaseosas” liderado por el Dr. Armando González Sánchez. La figura 2 muestra una foto actual del sistema de escala industrial, empleado para el enriquecimiento (captura de  $\text{CO}_2$ ) y desulfuración de biogás producido *in situ*. Este sistema se encuentra en operación y evaluación vigentes.

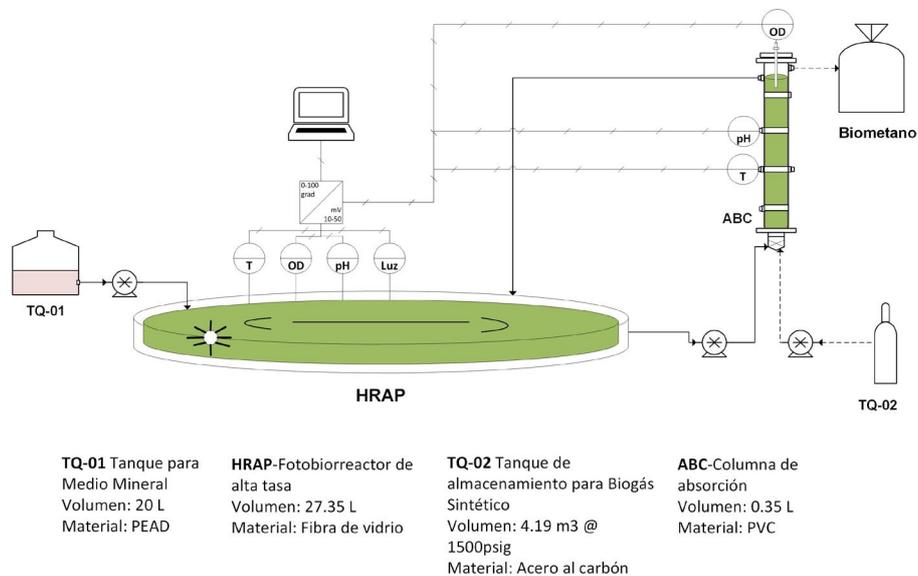


Figura 1. Sistema biotecnológico para el enriquecimiento (captura de  $\text{CO}_2$ ) y desulfuración de biogás, con una base microalgal. Conformado por un fotobiorreactor tipo High Rate Algal Pond (HRAP) interconectado a una columna de absorción (ABC)



Figura 2. Sistema biotecnológico de escala industrial para el enriquecimiento (captura de  $\text{CO}_2$ ) y desulfuración de biogás. Con permiso de Granos y Servicios Integrales S.A. de C.V. (GSI) y Proteína Animal S.A. de C.V. (PROAN)

## Escenario actual

En los últimos años, la producción de biometano se ha incrementado a nivel mundial, principalmente, en países como Estados Unidos, Alemania, Reino Unido y Suecia, quienes han establecido desde hace algunos años parte de su desarrollo económico en el uso de energías renovables. No obstante, estos países utilizan mayormente sistemas convencionales basados en procesos fisicoquímicos para obtener biometano a partir de biogás, que tiene altos costos de inversión y mantenimiento. En este sentido, el enriquecimiento de biogás mediante biotecnología microalgal, surgen como una

alternativa sustentable al uso de tecnologías convencionales, por ser procesos que se llevan a cabo en condiciones ambientales, con bajos consumos energéticos para su operación y con menores costos de mantenimiento (Toledo-Cervantes *et al* 2017). Además de que la producción de biomasa microalgal representa una fuente de materia prima importante para la obtención de productos de valor agregado como biocombustible, alimento animal y fertilizante, entre otros; cuya comercialización incrementa la factibilidad económica del proceso.



Figura 3. Prototipo para el tratamiento de gases de combustión (eliminación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ ) de embarcaciones oceánicas de la Secretaría de Marina Armada de México. Con permiso de la SEMAR

## Desarrollo tecnológico para la captura de $\text{CO}_2$ a partir de gas de combustión

Por otra parte, la biotecnología microalgal puede utilizarse también para eliminar contaminantes en aguas residuales y/o gases de combustión (con un contenido de  $\text{CO}_2$  de hasta 15% vol), lo que hace a este tipo de sistemas muy versátiles. En este sentido, el grupo de Investigación de “Tratamiento de Emisiones Gaseosas” en el Instituto de Ingeniería UNAM campus CU, concluyó en 2017 el desarrollo de una tecnología de tratamiento de gases de combustión (eliminación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ ) de embarcaciones oceánicas de la Secretaría de

Marina Armada de México, mediante el lavado con agua de mar y la subsecuente fijación del  $\text{CO}_2$  disuelto con asimilación de nutrientes contenidos en el agua residual del barco en microalgas marinas (ver figura 3). El patrocinador del proyecto fue el fondo SEMAR-CONACYT 207151. El desarrollo de esta tecnología pretende contribuir a la mitigación del efecto de cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ), además de precursores de ozono ( $\text{NO}_x$ ) y lluvia ácida ( $\text{SO}_x$ ). El sistema de tratamiento busca la auto-sustentabilidad, evitando contribuir al aumento de la acidez del océano, mediante la fijación fotosintética de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$  en biomasa microalgal potencialmente reutilizable.

## Agradecimientos

En el grupo de investigación de tratamiento de emisiones gaseosas, han participado estudiantes de licenciatura y posgrado, así como académicos, entre los que se encuentra los doctores Mariana Franco Morgado, Antonio Velasco Trejo, Daniel de los Cobos Vasconcelos, Juan Manuel Morgan Sagastume; los maestros Arnold Ramírez Rueda, Claudia Granada Moreno, Eliana Toro Huertas y José Abdiel Olmedo Wooder; las biólogas Elisa García Cruz e Ilse Huitrón Rodríguez; los ingenieros Misael Ramírez Lozano, Tania Tabaco Angoa, Miguel

Angel Ramírez García y Víctor Gabriel Ángeles Flores; así como los pasantes en ingeniería química Mercedes Álvarez Olivares, Beatriz Angelica Vega Torres, Julio Iván Zamora Pérez, Ángel de Jesús Velázquez Pedroza y Edgar Ortiz Lobato.

Asimismo, se agradece el patrocinio de la Secretaría de Marina Armada de México, Secretaría de Energía, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como a las empresas Granos y Servicios Integrales S.A. de C.V. (GSI) y Proteína Animal S.A. de C.V. (PROAN). |

## Referencias

---

- Diario Oficial de la Federación, 2010. NOM-001-SECRE-2010, Especificaciones del gas natural. Última reforma publicada DOF 19-03-2010 18–35.
- Franco-Morgado, M.; Alcántara, C.; Noyola, A.; Muñoz, R. y González-Sánchez, A. (2017) "A study of photosynthetic biogas upgrading based on a high rate algal pond under alkaline conditions: Influence of the illumination regime", *Science of The Total Environment*. Elsevier B.V., 592, pp. 419–425. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.077.
- Toro-Huertas, E. I.; Franco-Morgado, M.; de los Cobos Vasconcelos, D. y González-Sánchez, A. (2019). Photorespiration in an outdoor alkaline open-photobioreactor used for biogas upgrading. *Sci. Total Environ.* 667, 613–621. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.374
- Franco-Morgado Mariana; Tabaco-Angoa Tania; Ramírez-García Miguel Angel y González-Sánchez Armando (2020). Strategies for decreasing the O<sub>2</sub> content in the upgraded biogas purified via microalgae-based technology. *J. Environ. Manag.* Vol 279, 111813. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111813.
- Toledo-Cervantes, A.; Estrada, J. M.; Lebrero, R. y Muñoz, R. (2017). A comparative analysis of biogas upgrading technologies: Photosynthetic vs physical/chemical processes. *Algal Research*. Elsevier, 25(May), pp. 237–243. doi: 10.1016/j.algal.2017.05.006.