

# Mejora de la digestión anaerobia de microalgas mediante codigestión y pretratamientos

Maria Solé-Bundó, Marianna Garfí, Ivet Ferrer\*

GEMMA-UPC: Grupo de Ingeniería y Microbiología del Medio Ambiente; Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya • BarcelonaTech. Calle Jordi Girona, 1-3, Módulo D1, 106, 08034, Barcelona.

[maria.sole-bundo@upc.edu](mailto:maria.sole-bundo@upc.edu), [marianna.garfi@upc.edu](mailto:marianna.garfi@upc.edu), [ivet.ferrer@upc.edu](mailto:ivet.ferrer@upc.edu)

## Resumen

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con microalgas combinan el tratamiento de aguas residuales y la producción de bioenergía. Algunos estudios han demostrado la viabilidad de producir biogás a partir de microalgas cultivadas en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). Sin embargo, existen algunas limitaciones, como las características de la pared celular de las microalgas que limita su biodegradabilidad, su alto contenido en nitrógeno y que su producción sigue un patrón estacional.

Para superar estas limitaciones, el proceso de digestión anaerobia se podría mejorar mediante la aplicación de pretratamientos para incrementar la biodegradabilidad de las microalgas y/o la codigestión con otros sustratos ricos en carbono, para equilibrar el ratio C/N y lograr altas velocidades de carga orgánica (VCO) a lo largo del año.

En el presente trabajo se evaluaron diferentes estrategias para mejorar la digestión anaerobia de microalgas, basadas en su codigestión con residuos producidos en la propia EDAR (lodo primario y grasas) y con subproductos agrícolas (paja de trigo). Además, se aplicaron diferentes pretratamientos según el tipo de sustrato a codigerir, seleccionando los que requieren un menor aporte de energía y que conllevan el menor impacto ambiental.

Según los resultados obtenidos, la codigestión de microalgas pretratadas térmicamente con lodos primarios es la alternativa más adecuada para mejorar la digestión microalgas. La codigestión de estos sustratos en reactores en continuo mostró un incremento de la producción de biogás del 155% comparado con la producción de las microalgas sin pretratar ni codigerir.

Además, la codigestión con grasa de EDAR permitiría incrementar aún más la producción de metano (entre un 25-40% añadiendo solamente un 10-20% de sólidos volátiles en forma de grasa). Finalmente, la codigestión de microalgas con paja de trigo también permite incrementar la producción de metano, con y sin pretratamiento térmico-alcalino (>77%).

Su principal ventaja es que la paja de trigo es un co-sustrato almacenable, que puede proporcionar carbono y aumentar las VCO durante las estaciones con baja producción de microalgas.

**Palabras Clave:** codigestión, lodos, microalgas, pretratamiento, residuos agrícolas

## Introducción

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con microalgas combinan el tratamiento de aguas residuales y la producción de bioenergía. Algunos estudios han demostrado la viabilidad de producir biogás mediante digestión anaerobia a partir de microalgas cultivadas en plantas de tratamiento de agua residual (EDAR) (Ward et al., 2014).

Sin embargo, existen algunas limitaciones: a) las microalgas tienen una pared celular resistente que limita su bioconversión; b) su producción sigue un patrón estacional; c) son sustratos con alto contenido de nitrógeno (presentan un ratio C/N bajo y pueden presentar riesgo de inhibición/toxicidad por amoníaco).

Para superar estas limitaciones, el proceso de bioconversión se puede mejorar mediante la aplicación de pretratamientos previos a la digestión anaerobia para favorecer su biodegradabilidad (Passos et al., 2014), y mediante la codigestión con otros sustratos ricos en carbono para lograr altas velocidades de carga orgánica (VCO) a lo largo del año y un equilibrado C/N (Uggetti et al., 2017).

En este estudio se evaluaron diferentes estrategias para mejorar la digestión anaerobia de microalgas. En primer lugar, se evaluó la codigestión con los residuos producidos en la propia EDAR (lodo primario y grasas).

Se evaluó también la codigestión con subproductos agrícolas (paja de trigo) que tienen un alto contenido en carbono y se pueden almacenar. Además, se aplicaron diferentes pretratamientos según el tipo de sustrato a codigerir, seleccionando los que requieren un menor aporte de energía y que conllevan el menor impacto ambiental.

## Metodología

La biomasa microalgal utilizada en este estudio se cultivó en una planta piloto de lagunas de alta carga (0,5 m<sup>3</sup>; 1,5 m<sup>2</sup>) tratando agua residual real procedente del alcantarillado municipal de Barcelona (Fig. 1a). Las especies de microalgas que predominaron a lo largo del período experimental fueron *Chlorella* sp., aunque durante determinados periodos se detectaron *Stigeoclonium* sp., *Scenedesmus* sp. y diatomeas. El lodo primario y la grasa procedían de una EDAR municipal cercana a Barcelona. En cambio, la paja de trigo se cosechó en Francia y se trituró y tamizó (400 µm -1 mm) antes de su tratamiento.

Para llevar a cabo la digestión y codigestión anaerobia de la biomasa microalgal se realizaron ensayos en discontinuo (BMP test) para seleccionar las condiciones óptimas de pretratamiento y codigestión y, posteriormente, éstas fueron validadas mediante reactores en continuo (2 L), operados en condiciones mesofílicas y con un tiempo de retención hidráulico de 20 días (Fig. 1b).

En el caso de la codigestión de microalgas con lodo primario y grasa, se les aplicó un pretratamiento térmico (75°C durante 10h), según los resultados obtenidos en estudios anteriores (Passos y Ferrer, 2014); mientras que en el caso de la codigestión con paja de trigo, se seleccionó un pretratamiento térmico-alcálico conjunto (microalgas y paja) con cal (10% de CaO w/w, 72 °C durante 24 h) (Solé-Bundó et al., 2007a) debido a la eficacia de los pretratamientos alcalinos en sustratos lignocelulósicos.

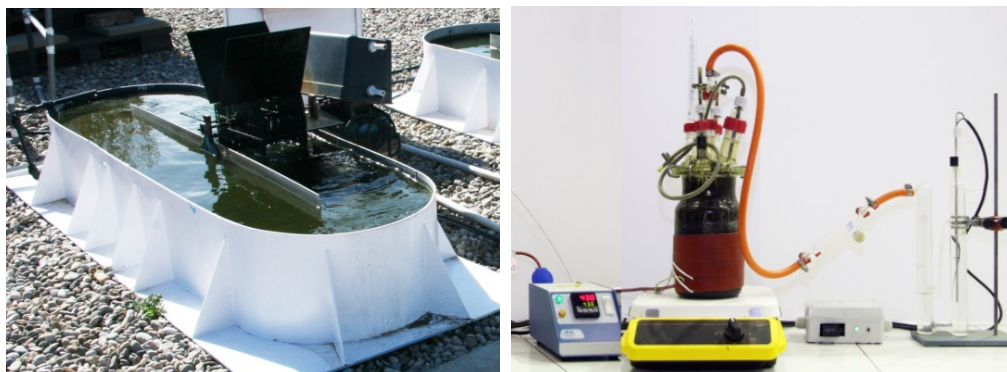


Fig. 1. a) Planta piloto de lagunas de alta carga del GEMMA-UPC y b) reactores en continuo usados para la digestión de la biomasa de microalgas.

## Resultados

En la tabla 1 se presentan los valores de producción de biogás correspondientes a la codigestión anaerobia de microalgas (con o sin pretratamiento térmico) con el fango primario.

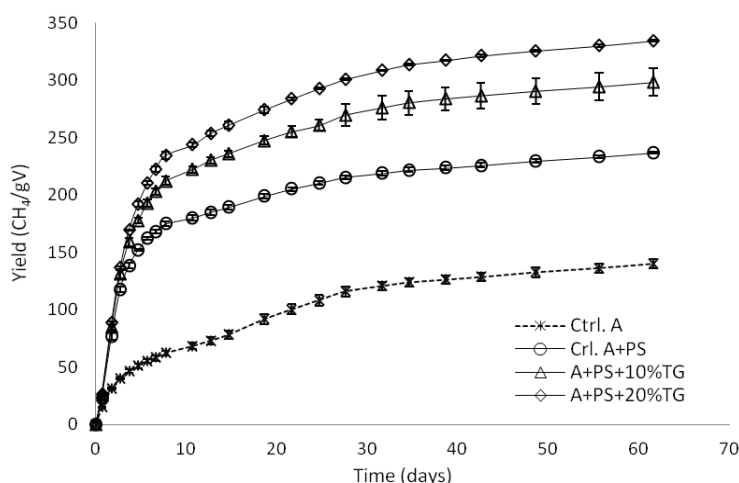
Según los resultados obtenidos, la codigestión de estos sustratos en reactores continuos mostró un incremento de producción de biogás del 155% comparado con la producción de las microalgas sin pretratar ni codigerir.

Con estos valores se realizó un balance energético teniendo en cuenta el consumo de energía del pretratamiento y de la digestión, obteniendo un excedente de energía superior al 300%.

Además, la codigestión con grasa de EDAR permitiría incrementar aún más la producción de metano. Los ensayos BMP mostraron un aumento significativo de la producción de metano (25-40%) con sólo un 10-20% de sólidos volátiles añadidos en forma de grasa (Fig. 2).

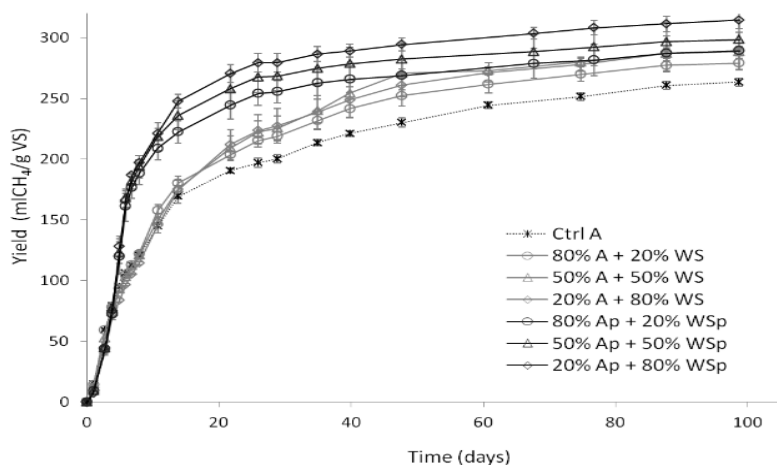
**Tabla 1. Producción de metano en la codigestión anaerobia de microalgas y fango primario: primer período con microalgas sin pretratar y segundo período con microalgas pretratadas térmicamente. Media (desviación estándar). n=10.**

	Sin pretratamiento		Con pretratamiento	
	Microalgas	Codigestión	Microalgas	Codigestión
Velocidad de carga orgánica (g VS/L·día)	1,92 (0,28)	1,87 (0,20)	1,20 (0,07)	1,21 (0,04)
Tasa de producción de metano (L CH <sub>4</sub> /L·día)	0,38 (0,10)	0,63 (0,13)	0,20 (0,05)	0,53 (0,29)
Producción específica de metano (L CH <sub>4</sub> /g VS)	0,20 (0,04)	0,33 (0,07)	0,18 (0,02)	0,46 (0,24)



**Fig. 2. Curvas de producción acumulada de metano de la digestión anaerobia de microalgas (Ctrl. A) y de su codigestión con fango primario (PS) y grasas de EDAR (TG).**

Finalmente, se estudió la codigestión con paja de trigo, dado su elevado contenido en carbono y que se puede almacenar para usarla en estaciones con baja producción de microalgas, aumentando así la VCO. Los ensayos BMP mostraron mejoras con la codigestión de ambos sustratos, sobre todo tras aplicar un pretratamiento térmico-alcalino, que aceleró la cinética del proceso (Fig. 3). En los reactores continuos, la producción de metano de las microalgas se incrementó en un 77% mediante la codigestión con paja de trigo. Sin embargo, el pretratamiento térmico-alcalino sólo la incrementó en un 15% comparado con la codigestión sin pretratamiento. Por lo tanto, la codigestión de microalgas y paja de trigo se podría utilizar aún sin pretratamiento (Solé-Bundó et al., 2017b).



**Fig. 3. Curvas de producción acumulada de metano de la digestión anaerobia de microalgas (Ctrl A) y de su codigestión con la paja de trigo (WS). Ap y WSp se refieren a las microalgas y la paja de trigo pretratados, respectivamente.**

## Conclusiones

La codigestión de microalgas (procedentes de sistemas de depuración de aguas residuales) pretratadas térmicamente parece ser la alternativa más adecuada para mejorar la digestión microalgas, debido a que el lodo primario es un sustrato fácilmente biodegradable producido en la propia EDAR.

Además, la codigestión con grasa de EDAR permitiría incrementar aún más la producción de metano. Por otro lado, codigestión de microalgas con paja de trigo también incrementa la producción de metano, con y sin pretratamiento térmico-alkalino, y se podría usar para incrementar la carga orgánica en periodos con baja producción de microalgas.

### Agradecimientos

*Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto FOTOBIOGAS, CTQ2014-57293-C3-3-R).*

### Referencias

1. Passos, F. & Ferrer, I. (2014) *Microalgae Conversion to Biogas: Thermal Pretreatment Contribution on Net Energy Production*, *Environ. Sci. Technol.*, 48 (12), 7171–7178.
2. Solé-Bundó, M., Carrère, H., Garfí, M., Ferrer, I. (2017) *Enhancement of microalgae anaerobic digestion by thermo-alkaline pretreatment with lime (CaO)*. *Algal Research* 24, 199–206.
3. Solé-Bundó, M., Eskicioglu C., Garfí, M., Carrère, H., Ferrer, I. (2017) *Anaerobic co-digestion of microalgal biomass and wheat straw with and without thermo-alkali pretreatment*. *Bioresource Technology* 237, 89-98.
4. Uggetti, E., Passos, F., Solé, M., Garfí, M., Ferrer, I. (2017) *Recent Achievements in the Production of Biogas from Microalgae*. *Waste and Biomass Valorisation*, 8, 129-139.
5. Ward, A. J., Lewis, D. M., & Green, F. B. (2014). *Anaerobic digestion of algae biomass: A review*. *Algal Research*, 5, 204–214.