

panorámica ARGENTINA

Cultivo de microalgas para captura de CO₂ y producción de biomasa en plantas cementeras. Prueba de concepto y extrapolación a escala comercial

RESUMEN El uso de microalgas como agente fijador de CO₂ ha cobrado relevancia en los últimos años. Para su desarrollo fotosintético, las microalgas necesitan luz solar y suministro de CO₂, el cual puede ser obtenido de industrias generadoras de este gas como residuo de producción. De este modo, la integración de un cultivo de microalgas a una planta cementera posibilita no solo la mitigación del CO₂, sino también la reutilización de la biomasa obtenida como combustible en los hornos en reemplazo del combustible fósil. Se logra así una retroalimentación energética y se diversifica las fuentes de energía de la planta mediante la incorporación de energía solar a

través de la fotosíntesis de microalgas. Experiencias propias a escala piloto realizadas en la región de Cuyo (provincia de Mendoza, Argentina) demuestran la alta eficiencia y productividad de los cultivos de algas, y las extrapolaciones a la escala industrial resultan prometedoras. Sin embargo, es necesario ensayar el proceso en escalas semejantes a la industrial para optimizar las tecnologías y permitir su aplicabilidad comercial.

PALABRAS CLAVE

Microalgas, biocombustibles, captura de CO₂, plantas cementeras.



MARÍA FLORENCIA CODINA
*Becaria doctoral CONICET, Grupo Proyecto de Algas para Biocombustibles, Facultad de Ingeniería**



CAROLINA BELÉN GARCÍA
*Becaria doctoral CONICET, Grupo Proyecto de Algas para Biocombustibles, Laboratorio de Algas, Institutos Multidisciplinarios (IMD), Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT)**



JORGE HORACIO BARÓN
*Investigador, Grupo Proyecto de Algas para Biocombustibles, Facultad de Ingeniería**



STELA MARIS DA SILVA
*Investigadora, Grupo Proyecto de Algas para Biocombustibles, Laboratorio de Algas, Institutos Multidisciplinarios (IMD), Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT)**

**Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina*

INTRODUCCIÓN

En un contexto en el que las actividades humanas causan impactos a nivel global tales como el efecto invernadero y el detrimento de los recursos no renovables del planeta, el desarrollo de tecnologías orientadas al cuidado del medio ambiente y a la generación de energías renovables se ha tornado indispensable para lograr un desarrollo sustentable.

El uso de microalgas con fines energéticos y/o medioambientales ha sido objeto de estudio en los últimos años (Kovacevic & Wesseler 2010; Campbell et al. 2009; Chisti 2007; Sheehan et al. 1998). Diversos autores señalan el potencial uso de cultivos de algas unicelulares (tanto de agua dulce como salada) con el objeto de mitigar los impactos negativos causados por los gases de efecto invernadero, capturando el dióxido de carbono (CO₂) presente en los gases de chimenea de industrias con emisiones importantes, tales como centrales termoeléctricas, plantas cementeras, etc. (Kumar et al. 2010; Campbell et al. 2009; Stepan et al. 2002; Benemann 1997). Mediante su metabolismo fotosintético, las microalgas utilizan la energía solar y transforman el CO₂ en biomasa utilizable, al igual que las plantas terrestres. Sin embargo, tanto en términos de productividad de biomasa como en capacidad de fijación de CO₂, la potencial eficiencia de las microalgas es notablemente superior a la de los cultivos tradicionales (Chisti 2007; Li et al. 2008).

En particular, las plantas cementeras resultan clave para la implementación de este tipo de tecnología, ya que son importantes generadoras de emisiones de CO₂, (representan alrededor del 5% del CO₂ antropogénico emitido a nivel mundial (Huntzinger & Eatmon 2009; Deja et al. 2010)) y son grandes consumidoras de energía (Barker et al. 2009; Schneider et al. 2011). Aproximadamente el 60% del CO₂ liberado durante la fabricación del cemento se origina durante la reacción química de descarbonatación del mineral, cuando el carbonato cálcico se transforma en dióxido de carbono y cal. El 40% restante proviene de la quema de combustibles fósiles para obtener la energía necesaria en la reacción, lo cual implica un elevado consumo energético (Deja et al. 2010). Esto significa que la incorporación de un proceso secundario de cultivo de microalgas a una planta cementera existente puede ser una herramienta eficaz para resolver dos

importantes problemas inherentes a su proceso productivo, relacionados con el actual escenario medioambiental: las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia energética de los combustibles fósiles. Las microalgas permitirían de este modo, reutilizar un residuo de producción perjudicial para el medio ambiente como es el CO₂, como medio de almacenamiento de energía contenida en la biomasa. De hecho, el contenido energético de la biomasa es energía solar transformada en energía química mediante el proceso fotosintético.

Sin embargo, aún es materia de estudio la optimización de las tecnologías, que no han alcanzado su madurez, para lograr un proceso rentable aplicable a escala industrial, principalmente para las etapas de cosecha (separación del alga del medio líquido) (Brennan & Owende 2010; Campbell et al. 2009; Chisti 2007).

CULTIVO DE MICROALGAS

Una tecnología apropiada para el cultivo de microalgas a gran escala es el sistema abierto tipo hipódromo o carrusel (raceway ponds) (Chisti 2007; Contreras et al. 2003). Es un sistema económico y sencillo, que consiste en un canal de recirculación de lazo cerrado, comúnmente del orden de los 0.3 m de profundidad, por el que circula el medio de cultivo. La penetración de la luz solar es el factor limitante de la profundidad del sistema. El flujo se establece mediante la acción de paletas rotatorias, y es guiado por tabiques. Las paletas rotatorias, además de impulsar el flujo, proporcionan el mezclado necesario para evitar la sedimentación de la biomasa, la correcta distribución de nutrientes y la exposición homogénea de las células a la luz solar. El fondo y paredes son de color blanco para favorecer la reflexión de rayos solares y mejorar las condiciones de iluminación. Dependiendo de la calidad del agua de cultivo, las microalgas necesitan la adición de fertilizantes para alcanzar las condiciones óptimas de crecimiento.

Se han llevado a cabo ensayos de cultivos seriales, bajo diferentes condiciones, variables y control de parámetros, tanto a nivel de laboratorio como a cielo abierto en la provincia de Mendoza, Argentina, cuyas características climáticas (principalmente la elevada heliofanía y poca humedad) y geográficas (zona desértica, con menos del 5% de tierras cultivadas), son muy favorables para el cultivo de microalgas.

Los inoculos iniciales consistieron en consorcios microalgales de agua dulce. Los cultivos iniciales y subcultivos a nivel de laboratorio fueron realizados en ausencia de esterilidad, en recipientes abiertos de 1L, 4L y 17L (peceras de vidrio en contacto permanente con el ambiente), en láminas de agua de 10cm, 15cm y 30 cm expuestas a fotoperiodos de 12 horas de luz artificial (tubo fluorescente) por 12 horas de oscuridad, con inyección constante de CO₂ comercial y cultivados durante 5 o 7 días sin agitación mecánica.

Los inoculos de laboratorio así obtenidos, fueron escalados a condiciones de cielo abierto en raceway ponds de fibra de vidrio con una capacidad máxima de 200 L, en ausencia de esterilidad. Se utilizaron láminas de agua de 10cm, 15cm y 30cm (117L, 175L y 350L de volumen final, respectivamente), con fotoperiodos de 12 horas de luz natural por 12 horas de oscuridad, con inyección constante de CO₂ comercial y periodos de cultivo de 5 o 7 días con agitación mecánica de 10 rpm.

Los nutrientes fueron provistos en cada una de las etapas mediante el agregado de medio de cultivo en diversas formulaciones y proporciones.

En base a estos ensayos, pudieron estimarse datos de productividad del orden de los 117gm-2día-1 de biomasa seca, bajo condiciones ambientales, extrapolando los resultados obtenidos en un proceso batch hacia un proceso continuo (3,9 gL-1 de biomasa obtenida en 5 días de cultivo, con una profundidad de 0,15 m, y con la adición de CO₂ puro en exceso), o bien 400 ton de biomasa seca por hectárea y por año.

La relación de referencia de suministro de CO₂ para el cultivo de microalgas se estima en 1,83 CO₂ por ton biomasa seca de algas (Chisti 2007). Entonces, la tasa de captura de CO₂ por hectárea de cultivo de microalgas puede estimarse en 732 CO₂ por hectárea y por año. Es importante destacar que la fijación de CO₂ sólo se produciría durante las horas de sol, por tratarse de un proceso fotosintético.

Estas tasas estimadas de productividad y de fijación de CO₂ son extrapolaciones de procesos realizados a escala laboratorio. Es necesario ensayar el proceso a escala semejante a la industrial para corroborar estos datos, donde los valores pueden ser menores. Además, el carácter regional de este tipo de investigaciones implica que los resultados obtenidos en una región pueden no ser completamente aplicables a otra, ya sea por las característi-

cas climáticas, el tipo de alga, las características del agua, etc.

Respecto a la tecnología de captura de CO₂, se han desarrollado a escala de laboratorio dispositivos de disolución en el que se circula agua en contracorriente con el gas, maximizando el contacto de fases y el tiempo de residencia de las burbujas.

En las etapas de cosecha se han ensayado técnicas de filtrado tangencial, en las que la concentración de la biomasa se efectúa de manera eficiente, lo cual arroja resultados prometedores para su implementación a escala industrial.

CAPTURA DE CO₂ EN PLANTAS CEMENTERAS: CONCEPTO

La principal entrada del proceso de obtención de biomasa son los gases residuales producidos durante la combustión y clinkerización dentro del Horno Rotatorio de la planta cementera. Estos gases (con un 12% a un 15% de CO₂) están a una temperatura entre 350 °C y 420°C, y tienen un alto contenido de polvo y cenizas, el cual se reduce mediante la utilización de filtros electrostáticos y/o filtros de manga. Los gases se recuperan, se enfrían y se conducen hacia los raceway ponds, donde el CO₂ se solubiliza en el medio acuoso. La actividad fotosintética de las algas convierte el CO₂ en biomasa, la cual se recupera y se somete a un proceso de secado. Debido a que el proceso de fotosíntesis ocurre durante las horas de sol, se asume que la absorción de CO₂ se produce solamente durante el día.

La recuperación de la biomasa se lleva a cabo mediante un proceso de filtrado tangencial del cultivo, donde se obtiene un concentrado de microalgas y el agua separada se recircula hacia los raceway ponds para su reutilización. La biomasa concentrada se somete posteriormente a un proceso de secado, en el cual el calor es proporcionado por los gases de salida del horno a alta temperatura. De esta manera, se aprovecha la energía liberada durante el enfriamiento de los gases hasta la temperatura adecuada para entrar en contacto con el cultivo en los raceway ponds. La biomasa seca así obtenida puede utilizarse como fuente de energía para la combustión en el horno rotatorio.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CULTIVO DE MICROALGAS

Entre las ventajas que presentan las microalgas tanto como agentes fijadores de CO₂ como produc-

toras de biomasa, podemos destacar (Campbell et al. 2009; Li et al. 2008):

- El proceso se basa en el reciclaje del agua de cultivo, por lo tanto sólo hay que reponer pérdidas por evaporación
- Si bien se necesitan extensiones importantes de terreno, no se utilizan tierras fértiles ni terrenos agrícolas
- Poseen una alta tasa de crecimiento y mayor rendimiento de biomasa por hectárea que cultivos terrestres
- Su tolerancia a altas concentraciones de CO₂ permite una mitigación de alta eficiencia
- Existe la posibilidad de combinar la captura de CO₂ y la producción de biomasa con tratamiento de efluentes industriales o urbanos.

Sin embargo, existen algunas desventajas asociadas a estas tecnologías (Li et al. 2008):

- La cosecha es un proceso costoso, ya que hay que separar las células del medio acuoso, lo cual consume mucha energía.
- Existe riesgo de contaminación de los estanques abiertos

CONCLUSIONES

El uso de microalgas como medio de mitigación de gases de efecto invernadero es una herramienta prometedora con un gran potencial de desarrollo, ya que las tecnologías del proceso no han alcanzado aún su madurez y se encuentran en etapas de desarrollo y optimización. Además, su uso permite compatibilizar necesidades que históricamente han sido opuestas: la producción de energía por un lado y la disminución de gases de efecto invernadero por el otro. La incorporación de estos sistemas a una planta cementera resulta de especial interés, ya que éstas son fuente importante de CO₂, por lo general disponen de grandes extensiones de tierra cercana a la planta y los costos en las etapas de cosecha pueden verse disminuidos al utilizar el calor residual de los gases de chimenea. A su vez, las fluctuaciones en el suministro de hidrocarburos y la escasez estacional de gas natural para las industrias pueden impactar fuertemente en su nivel de producción causando grandes pérdidas económicas. Por lo tanto, para aquellas industrias energético-intensivas, el cultivo de microalgas puede ser un paso estratégico hacia la independencia energética.

BIBLIOGRAFÍA

- BARKER, D.J. et al., 2009. *CO₂ Capture in the Cement Industry*. Energy Procedia, 1, pp.87-94.
- BENEMANN, J.R., 1997. *CO₂ mitigation with microalgae systems*. Energy Conversion and Management, 38, p.5457-5479.
- BRENNAN, L. & OWENDE, P., 2010. *Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), pp.557–577.
- CAMPBELL, P.K. et al., 2009. *Greenhouse Gas Sequestration by Algae: Energy and Greenhouse Gas Life Cycle Studies*, CSIRO Energy Transformed Flagship.
- CHISTI, Y., 2007. *Biodiesel from microalgae*. Biotechnology Advances, 25(3), pp.294-306.
- CONTRERAS, J.M.P., FLORES, L.B. & CAÑIZARES, R.O., 2003. *Avances en el Diseño Conceptual de Fotobiorreactores para el cultivo de microalgas*. Interciencia, 8(8), pp.450–456.
- DEJA, J., ULIASZ-BOCHENCZYK, A. & MOKRZYCKI, E., 2010. *CO₂ emissions from Polish cement industry*. International Journal of Greenhouse Gas Control, 4, pp.583-588.
- HUNTZINGER, D.N. & EATMON, T.D., 2009. *A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies*. Journal of Cleaner Production, 17(7), pp.668–675.
- KOVACEVIC, V. & WESSELER, J., 2010. *Cost-effectiveness analysis of algae energy production in the EU*. Energy Policy, 38(10), pp.5749-5757.
- KUMAR, A. et al., 2010. *Enhanced CO₂ fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions*. Trends in Biotechnology, 28(7), pp.371-380.
- LI, Y. et al., 2008. *Articles: Biocatalysts and bioreactor design - Biofuels from Microalgae*. Biotechnol. Prog., 24, pp.815–820.
- SCHNEIDER, M. et al., 2011. *Sustainable cement production—present and future*. Cement and Concrete Research, 41, pp.642-650.
- SHEEHAN, J. et al., 1998. *A look back at the US Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from algae*, National Renewable Energy Laboratory.
- STEPAN, D.J. et al., 2002. *Carbon dioxide sequestering using microalgal systems US Department of Energy Report*. 2002-EERC-02-03.