

Productividad óptima de microalgas: optimización y control multivariable

Mariana Rodríguez-Jara ¹, Alejandra Velasco-Pérez ² y Héctor Puebla ^{1,*}

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco 1; Ciudad de México, México; marianarodriguez0940@gmail.com

² Universidad Veracruzana Orizaba; Orizaba, Veracruz, México; alvelasco@uv.mx

* Autor de correspondencia: hpuebla@azc.uam.mx; Tel.: 5553189000-2146.

Diseño de procesos sustentables (Control de procesos).

Palabras clave: Bioprocesos; microalgas; optimización; control robusto.

Introducción. Debido a la preocupación por disminuir la contaminación y el agotamiento de recursos no-renovables, diversas materias primas a partir de biomasa se han estudiado para generar combustibles renovables. Las microalgas tienen el potencial de ser fuentes de combustibles renovables debido a que poseen rápidas velocidades de crecimiento y la capacidad de almacenar lípidos de alta calidad y carbohidratos en sus células, útiles para la producción de biocombustibles (Demirbas y Demirbas, 2010). Dos retos importantes en la producción de biocombustibles son el desarrollo de procesos económicamente viables, y el incremento de su producción. Actualmente, muchos bioprocesos, incluyendo la producción de biocombustibles, basan su operación en fórmulas y procedimientos derivados de la experiencia. Con la finalidad de mejorar el desempeño del cultivo de microalgas en fotobiorreactores es deseable establecer las condiciones óptimas de operación por medio de problemas de optimización y garantizar tales condiciones con esquemas de control que sean prácticos y eficientes (Bernard et al., 2015). En la literatura, pocos trabajos han abordado la optimización y control de la productividad de lípidos (e.g., Hurst y Rehbock, 2018; Ryu et al., 2019). En este trabajo se aborda la optimización y control de procesos del crecimiento óptimo de microalgas considerando la productividad simultánea de biomasa y lípidos.

Materiales y Métodos. Se considera un modelo matemático que describe el crecimiento de microalgas en condiciones de limitaciones de nitrógeno y variaciones de luz en ciclos de noche-día. Las consideraciones principales del modelo son (Mairet et al., 2011; Bernard et al., 2015): (i) El carbono orgánico se divide en un compartimento de almacenamiento de azúcares g y lípidos neutrales l . El compartimento g se utiliza para sintetizar elementos funcionales de la biomasa f , tales como proteínas y ácidos nucleicos. El compartimento g se utiliza, en paralelo, para la síntesis de ácidos grasos volátiles, FFA. Los FFA se movilizan a la producción de f (la membrana celular principalmente). Los FFA se almacenan como l para uso cuando exista un desequilibrio entre su síntesis y uso. El efecto de la luz se considera en la absorción de nutrientes y en la cinética de crecimiento de biomasa con cinéticas de Hill y de Andrews, así como en la foto-aclimatación. Las variables principales del modelo son el substrato S (gN/m^3), la biomasa X (gC/m^3), las cuotas de nitrógeno $q_N=N/X$ (gN/gC) y lípidos $q_L=L/X$ (gL/gC), y la irradiación de luz I^* ($\mu\text{mol/m}^2\text{s}$). Las variables de decisión para la optimización y entradas de control son la dilución D (d^{-1}), y la concentración de nitrato de entrada S_{in} (gN/m^3). Con base a los resultados de Mairet et al. (2011), y simulaciones numéricas se establecen las condiciones óptimas de los estados y productividades de biomasa y lípidos. Los ciclos de luz de noche-día se consideran perturbaciones persistentes. Las condiciones óptimas se establecen como referencias para dos diseños de control basados en modelo: (i) control basado en compensación de error de modelado (Rodríguez-Jara et al., 2021), y (ii) control de modo predictivo no-lineal (Piceno-Díaz et al., 2020). Los esquemas de control presentan un diseño simple y con buenas propiedades de robustez.

Resultados. La optimización del proceso conduce a la condición óptima $[S, X, q_N, q_L, I^*]_{\text{óptimas}} = [0.0001573 \text{ gN/m}^3, 270.7 \text{ gC/m}^3, 0.05546 \text{ gN/gC}, 0.1544 \text{ gL/gC}, 291 \mu\text{mol/m}^2\text{s}]$. Los valores correspondientes de biomasa y cuotas de nitrógeno y lípidos se establecen como las referencias para los diseños de control propuestos. La Figura 1 muestra los resultados de uno de los esquemas de control propuestos. El esquema de control se activa en 20 unidades de tiempo. En 60 unidades de tiempo se activa la fluctuación de la luz en ciclos de noche-día. Se puede observar que el esquema de control permite alcanzar las referencias óptimas que se establecen y permiten minimizar el efecto de las fluctuaciones de luz noche-día al mantener las referencias en una productividad promedio al valor de referencia.

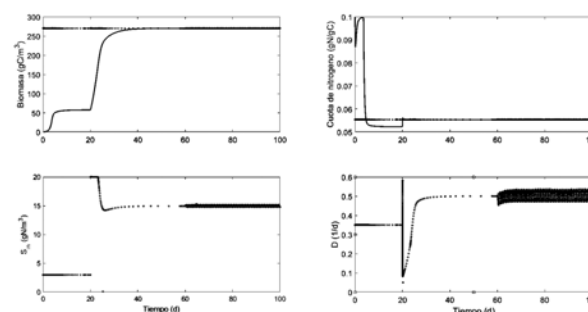


Figura 1. Desempeño del control basado en modelo.

Conclusiones. En este trabajo se establecen las condiciones óptimas y se diseñan esquemas de control basado en modelo enfocados a la productividad óptima de biomasa y lípidos en microalgas. Los resultados muestran que es posible mejorar la producción nominal de lípidos con esquemas de control simples y robustos.

Bibliografía.

- Bernard, O., Mairet, F., & Chachuat, B. (2015). Modelling of microalgae culture systems with applications to control and optimization. In *Microalgae Biotechnology*. Springer, Cham., 59-87.
- Demirbas, A., & Demirbas, M. F. (2010). Biofuels. In *Algae Energy*. Springer, London, 49-74.
- Hurst, T., Rehbock, V. Optimal control for microalgae on a raceway model. *Biotechnology Progress*, 34(1), 107-119 (2018).
- Mairet, F., Bernard, O., Lacour, T., & Sciandra, A. (2011). Modelling microalgae growth in nitrogen limited photobioreactor for estimating biomass, carbohydrate and neutral lipid productivities. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 10591-10596.
- Piceno-Díaz, E. R., Ricardez-Sandoval, L. A., Gutierrez-Limon, M. A., Méndez-Acosta, H. O., & Puebla, H. (2020). Robust Nonlinear Model Predictive Control for Two-Stage Anaerobic Digesters. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(52), 22559-22572.
- Rodríguez-Jara, M., Flores-Mejía, H., Velasco-Pérez, A., & Puebla, H. (2021). Robust control framework based on input-output models enhanced with uncertainty estimation. *Studies in Informatics and Control* 30, 99-108.
- Ryu, K. H., Kim, B., Lee, J. H. A model-based optimization of microalgal cultivation strategies for lipid production under photoautotrophic condition. *Computers & Chemical Engineering*, 121, 57-66 (2019).