

## Gestión económica del enriquecimiento carbónico de un invernadero de tomate con diferentes fuentes de CO<sub>2</sub>

TRL 3

F. Rodríguez<sup>1</sup>, J. Ramos-Teodoro<sup>1</sup>, M. Berenguel<sup>1</sup>, P. Lorenzo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIESOL-ceiA3, Departamento de Informática, Universidad de Almería, Ctra. Sacramento s/n, 04120, La Cañada de San Urbano, Almería, España

<sup>2</sup>CIESOL-ceiA3, Área de Producción Agraria, IFAPA, La Mojonera, Almería, España  
[frrodrig@ual.es](mailto:frrodrig@ual.es)

### Introducción

Una de las técnicas empleadas en agricultura para aumentar la producción es el enriquecimiento con CO<sub>2</sub> por estar involucrado en la reacción de fotosíntesis. Debido a que la concentración de este gas en la atmósfera suele situarse en torno a 400 ppm y a que existen numerosas evidencias que avalan su incremento por encima de 600 ppm [1], es habitual el empleo de sistemas para la inyección de CO<sub>2</sub>. El presente estudio, trata una propuesta de gestión económica del enriquecimiento cuando se dispone de diferentes fuentes. Por una parte, se dispone de un sistema basado en la combustión de biomasa para calefacción nocturna y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Los gases de la combustión expelidos son comprimidos en un tanque de carbón activo regulado mediante válvulas para mantener confinado el CO<sub>2</sub>, enviarlo al invernadero o expulsarlo a la atmósfera. El coste que se deriva de estas operaciones sería el asociado al consumo eléctrico (PVPC, que depende del mercado eléctrico) del motor del compresor de ( $P_E = 2,8$  kW) junto con el de la biomasa, pélets con un contenido de carbono del 45% ( $\eta_{CO_2-BM} = 1,76$ ), y coste según datos comerciales ( $c_{BM} = 0,255$  €/kg). Por otra parte, se dispone de una instalación de CO<sub>2</sub> líquido ( $c_{CO_2} = 0,230$  €/kg) para uso industrial. Los ensayos se han realizado en un invernadero tipo parral de 877 m<sup>2</sup> con cultivo de tomate, ubicado en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar «Las Palmerillas», en El Ejido (Almería) [2]. Como premisas, se considera que el aporte térmico de la caldera satisface en todo momento las necesidades del invernadero, que la ventilación del invernadero funciona permanentemente, que se dispone de recursos ilimitados y que se conoce el caudal de CO<sub>2</sub> requerido. Para calcularlo a partir de las necesidades según el modelo de cultivo del tomate [3] y de las condiciones atmosféricas (figura 1), así como para el precio voluntario al pequeño consumidor (PVPC), se han empleado datos de la campaña de primavera de 2018, concretamente un día nublado de marzo y un día claro de junio.

### Resultados y discusión

En términos matemáticos, el problema de gestión puede enunciarse, como se indica a en las ecuaciones 1 a 3. La ecuación 1 representa la función de coste del problema de optimización,

$$\min \sum_{k=1}^{24} c_{CO_2} \cdot G_i(k) + c_{BM} \cdot B_i(k) + PVPC \cdot P_E \cdot \delta_E(k) \quad (1)$$

donde  $G_i$  es el flujo de CO<sub>2</sub> líquido empleado,  $B_i$  el de biomasa,  $P_E$  la potencia eléctrica y  $\delta_E$  representa el estado de funcionamiento del compresor, estando sujeto a las siguientes restricciones,

$$G_i(k) + \eta_{CO_2-BM} \cdot B_i(k) + Q_{CO_2}^-(k) - Q_{CO_2}^+(k) = G_o(k) + M_{CO_2}(k) \quad (2)$$

$$S_{CO_2}(k+1) = S_{CO_2}(k) - Q_{CO_2}^-(k) + Q_{CO_2}^+(k) \quad (3)$$

que representan el balance de materia entre la demanda de CO<sub>2</sub> ( $G_o$ ), el producido a partir de la biomasa ( $\eta_{CO_2-BM} \cdot B$ ) o adquirido en el mercado ( $G_i$ ), el vertido a la atmósfera ( $M_{CO_2}$ ) y el introducido ( $Q_{CO_2}^+$ ) o extraído ( $Q_{CO_2}^-$ ) del tanque de almacenamiento, en el caso de la ecuación 2; y el balance de materia mediante el que se define el estado del tanque o la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenada ( $S_{CO_2}$ ), en el caso de la ecuación 3. Adicionalmente se introducen restricciones para los límites de operación de cada dispositivo, y para relacionar  $\delta_E$  con las operaciones de carga y suministro directo al invernadero, aunque por cuestiones de espacio no se han incluido en este documento.

Los resultados (figura 1) muestran que solo ante demandas del día claro resulta rentable emplear la caldera de biomasa para producir CO<sub>2</sub> debido a que la caldera requiere un aporte mínimo de 15 kg/h en el flujo de biomasa. Si el CO<sub>2</sub> producido en el intervalo de una hora es demasiado para cubrir la demanda total del día haciendo uso del equipo de almacenamiento, resulta más rentable adquirirlo.

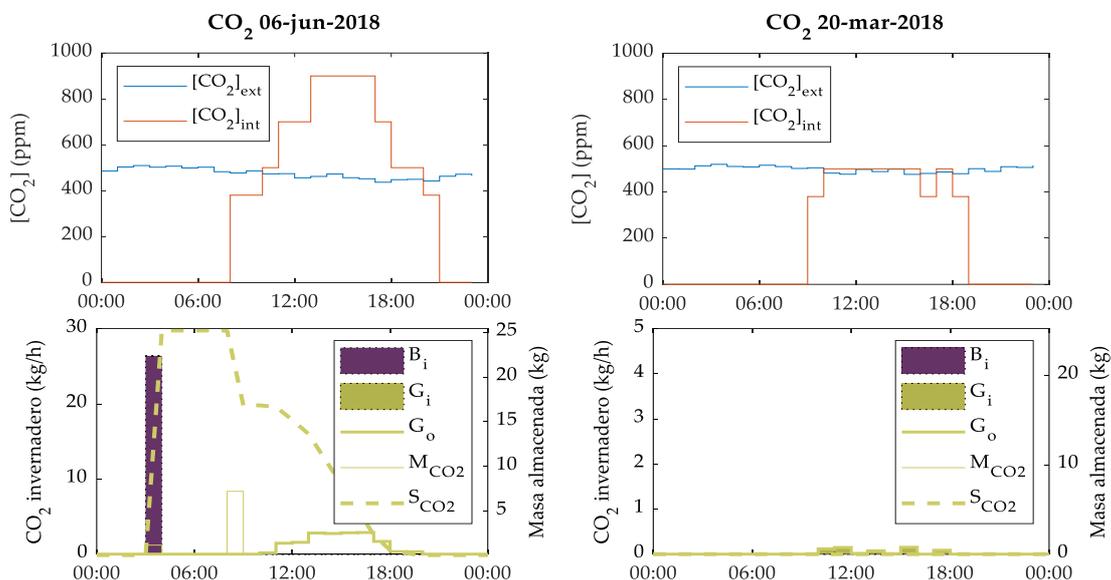


Figura 1. Necesidades y disponibilidad (arriba) y reparto de CO<sub>2</sub> (abajo) en el día nublado (izq.) y en el día claro (der.)

## Conclusiones

Mediante la metodología propuesta es posible determinar el momento más propicio para que opere la caldera de biomasa basándose en instalaciones cuyo acuerdo con la compañía suministradora de electricidad se base en la aplicación del PVPC. Dicho precio puede estimarse a partir de la publicación de precios en el mercado diario eléctrico, cuestión que será abordada en trabajos futuros.

Agradecimientos: este trabajo ha sido financiado con el Proyecto I+D+i del Plan Nacional DPI2017-85007-R del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y Fondos FEDER

## Referencias

- [1] E. A. Ainsworth y S. P. Long, *New Phytologist*, 2004, vol. 165, n.º 2, pp. 351-372.
- [2] J. A. Sánchez-Molina, J. V. Reinoso, F. G. Ación, F. Rodríguez, y J. C. López, *Biomass and Bioenergy*, 2014, vol. 67, pp. 60-71.
- [3] F. Rodríguez, M. Berenguel, J. L. Guzmán, y A. Ramírez-Arias, *Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth*. 2015.