

Caso de uso de la herramienta ODEHubs para la gestión de recursos energéticos y materiales de un invernadero tradicional mediterráneo

A. Giménez-Miralles, J. Ramos-Teodoro, F. Rodríguez y M. Berenguel

CIESOL-ceiA3, Departamento de Informática, Universidad de Almería,
Ctra. Sacramento, s/n, La Cañada de San Urbano, 04120, Almería, España
agm129@inlumine.ual.es, jeronimo.rt@ual.es, frrodrig@ual.es, beren@ual.es

Resumen

El reparto de recursos energéticos (electricidad y calor/frío) y materiales (agua y CO₂) en distritos productivos es un tema que está siendo abordado actualmente en la literatura, aunque el planteamiento y resolución de un problema de este tipo es complejo y tedioso. En este trabajo se propone el uso de la herramienta ODEHubs, implementada en MATLAB® y Simulink® por el Grupo ARM de la Universidad de Almería, para facilitar el planteamiento de este tipo de problemas, realizándolo de forma gráfica, y generar de forma automática el código que requiere el algoritmo de optimización. Como caso de uso se muestra el procedimiento de modelado y obtención del reparto óptimo de recursos para un invernadero tradicional mediterráneo que dispone de sistemas de generación de electricidad y CO₂ basados en diferentes energías renovables. Los resultados preliminares obtenidos por la herramienta son coherentes, reduciéndose el tiempo invertido en el planteamiento del problema y resultando de utilidad para la toma de decisiones: determinar en qué períodos del día se produce CO₂ o los riegos, gestionar los sistemas de almacenamiento, etcétera.

Palabras clave: *energy hubs*, sistemas multi-energía, reparto económico, optimización.

Abstract

Use case of the ODEHubs tool for energetic and material resources management in a traditional Mediterranean greenhouse

The dispatch of energy (electricity and heat/cold) and material (water and CO₂) resources in productive districts is an issue that is currently being addressed in the literature, although the approach and resolution of such a problem is complex and tedious. This work proposes the use of the ODEHubs tool, implemented in MATLAB® and Simulink® by the ARM Group of the University of Almería, to facilitate posing such problems, by doing it graphically, and to generate automatically the code that requires the optimisation algorithm. The use case serves to exemplify the process of modeling and obtaining the optimal dispatch of resources for a traditional Mediterranean greenhouse that has electricity and CO₂ generation systems based on different renewable energies. The preliminary results obtained by the tool are consistent, reducing the time spent for approaching the problem and being useful for decision-making: determining in which periods of the day CO₂ is produced, schedule irrigations, managing storage systems, etc.

Keywords: energy hubs, multi-energy systems, economic dispatch, optimisation.

Introducción

Los enfoques recientes relativos a la gestión eficiente de recursos se basan en el uso de fuentes renovables y sistemas descentralizados, frente a la producción convencional centralizada. En el ámbito energético, términos como el de *energy hubs* (Geidl et al., 2006), denominados también concentradores o centros de energía, tratan de integrar en un solo modelo, las interacciones que se producen entre los elementos que componen entidades productivas de diferente escala (planta, distrito, región, etc.). Por extensión, son de aplicación en el ámbito agronómico algunas de las técnicas de gestión de la energía, aunque se incluyen, además, cuestiones como la eficiencia hídrica o el uso de CO₂ para incrementar la producción y la calidad de los cultivos.

El modelado de estos sistemas no es trivial, incluso cuando se emplean modelos simplificados en estado estacionario que se obtienen a partir de balances de energía y materia. Así pues, herramientas como ODEHubs, para la gestión de *energy hubs*, son de utilidad para determinar los períodos de funcionamiento de los equipos que componen una explotación agrícola, como los de almacenamiento térmico o de irrigación, basándose en las necesidades previsibles de la misma y bajo la premisa de operar con el mínimo coste.

Para demostrar la utilidad de esta herramienta, se describe la experiencia con este software en el análisis del invernadero tipo Almería de la Estación Experimental Cajamar, situada en El Ejido, Almería, una de las plantas en el marco del proyecto CHROMAE (ARM-TEP197, 2017) cuyo objetivo principal es el control y gestión óptima de recursos en distritos agroindustriales.

Materiales y métodos

La herramienta ODEHubs se ha desarrollado en el citado proyecto para facilitar la formulación de problemas de reparto de recursos en centros de energía. Esta incluye una librería en MATLAB® y Simulink® con bloques para representar sistemas de almacenamiento, instalaciones fotovoltaicas y de colectores solares, calderas de combustión y bombas de calor, entre otros. Para operar con ella es necesario conocer las características técnicas de los equipos que componen la planta, la demanda horaria de los recursos de salida y el precio de los recursos de entrada, puesto que constituyen los parámetros de entrada de la herramienta. Estos se detallan a continuación para el caso de estudio.

El invernadero cuenta con una superficie de cultivo de 877 m², un aerotermo de propano de 95 kW y una caldera de biomasa de 174 kW con un sistema de captura de CO₂. También dispone de una bomba para riego que demanda una potencia eléctrica de 4,5 kW. Para más información a este respecto se refiere a los lectores al trabajo (Ramos-Teodoro et al., 2018). Las características de los equipos se presentan en las tablas 1 y 2, empleándose datos de demanda y radiación (coord. 36,80° N, 2,72° O) registrados durante el 17/12/2018 (día despejado y temperaturas entre 11 °C y 21 °C). En cuanto al coste de los recursos, se consideran un precio de 1,694 €/kg para el propano (R_p), 0,255 €/kg para la biomasa (R_b) y 0,547 €/m³ para el agua (R_a). En el caso de la electricidad (R_e) se considera el precio fijo con discriminación horaria super-valle de Endesa en el período de invierno (0,0892 €/kWh de 0:00 h a 8:00 h, 0,2044 €/kWh de 18:00 h a 22:00 h y 0,1127 €/kWh el resto del día).

Para la planta a analizar se ha tomado como referencia (fig. 1) el modelo presentado en un trabajo previo (Ramos-Teodoro et al., 2019), adaptando las ecuaciones de conversión y almacenamiento para permitir realizar simulaciones empleando coeficientes de reparto (Ha et al., 2017) con el diagrama en Simulink (fig. 2). También se ha incluido generación fotovoltaica, cuyos límites de producción coinciden con la disponibilidad del recurso solar, así como un sistema de baterías, lo cual añade flexibilidad a la gestión de energía.

El balance de energía en el *energy hub* se modela en la herramienta mediante las ecuaciones 1 y 2,

$$\mathbf{O}(k) = \mathbf{C}(k)\mathbf{I}(k) - \delta_{ch}(k)\boldsymbol{\eta}_{ch}(k)\mathbf{Q}_{ch}(k) + \delta_{dis}(k)\boldsymbol{\eta}_{dis}(k)\mathbf{Q}_{dis}(k) \quad (1)$$

$$\mathbf{S}(k+1) = \delta_{ch}(k)\boldsymbol{\eta}_{ch}(k)\mathbf{Q}_{ch}(k) - \delta_{dis}(k)\boldsymbol{\eta}_{dis}(k)\mathbf{Q}_{dis}(k) + \boldsymbol{\eta}_{alm}(k)\mathbf{S}(k) \quad (2)$$

siendo \mathbf{O} el vector de dimensión 5×1 que contiene las demandas de recursos, es decir, electricidad (O_1), energía térmica (O_2), CO_2 (O_3), agua (O_4), y electricidad para la bomba de riego ($\delta_{D,4}O_5$); \mathbf{C} la matriz de acoplamiento de dimensión 5×5 que contiene los elementos indicados en la ecuación 3; \mathbf{I} el vector de dimensión 5×1 que contiene los recursos disponibles, es decir, electricidad (I_1), radiación solar (I_2), propano (I_3), biomasa (I_4), y agua (I_5); δ_{ch} y δ_{dis} las matrices diagonales de dimensión 5×5 , donde cada elemento es una variable binaria que determina el estado de carga/descarga del dispositivo de almacenamiento de la salida i -ésima; $\boldsymbol{\eta}_{ch}$ y $\boldsymbol{\eta}_{dis}$, las matrices diagonales de dimensión 5×5 , donde cada elemento es el rendimiento de carga/descarga del dispositivo de almacenamiento de la salida i -ésima; \mathbf{Q}_{ch} y \mathbf{Q}_{dis} , los vectores de dimensión 5×1 que representan los flujos de carga y descarga de los dispositivos de almacenamiento de las salidas; \mathbf{S} el vector de dimensión 5×1 que contiene la cantidad de energía o recurso almacenado; $\boldsymbol{\eta}_{alm}$ la matrices diagonal de dimensión 5×5 , donde cada elemento expresa la degradación del recurso almacenado en la salida i -ésima entre un instante de muestreo k y el siguiente ($k+1$).

$$\mathbf{C}(k) = \begin{bmatrix} \alpha(k) & \alpha(k)\eta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \eta_2 & \eta_{3,1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \eta_{3,2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 - \alpha(k) & (1 - \alpha(k))\eta_1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

En cuanto al resto de restricciones que se emplean, se limitan los flujos de energía de entrada y salida de cada dispositivo, ya sea convertidor de energía o de almacenaje, así como los recursos disponibles y los valores del coeficiente de reparto α que han de encontrarse entre 0 y 1. Para más información a este respecto se refiere a los lectores al trabajo (Ramos-Teodoro et al., 2018).

Por otro lado, la carga y descarga de los dispositivos de almacenamiento no debe darse de forma simultánea, por lo que es necesario tener en cuenta la ecuación 4,

$$\delta_{ch,o}(k) + \delta_{dis,o}(k) \leq 1 \quad (4)$$

siendo δ_{ch,N_o} y δ_{dis,N_o} las variables binarias que determinan el estado activo o inactivo de los procesos de carga y descarga del dispositivo de almacenamiento de la salida o .

Finalmente, la función de coste del problema para el reparto diario se calcula mediante la ecuación 5,

$$\min \sum_{k=1}^n I_1(k)R_e(k) + I_3(k)R_p(k) + I_4(k)R_b(k) + I_5(k)R_a(k) \quad (5)$$

siendo $n = 24$ el número muestras con las que se realiza la optimización si se considera el reparto horario durante un día completo.

Resultados y discusión

El reparto de recursos (fig. 3) para el 17/12/2018 puede resumirse así: de los 7,02 kWh de energía eléctrica requerida, 3,81 kWh se cubren (0,39 € en total) a través de la red y el resto a partir de la producción fotovoltaica; para los 18,47 kWh de energía térmica requerida se hace uso de la caldera de biomasa, por su menor coste (1,46 € en total) frente al propano y por el aprovechamiento para cubrir la demanda de CO_2 (4,69 kg); para los

0,87 m³ de agua de riego (0,48 € en total) se hace uso de la bomba durante el mínimo tiempo posible (un instante de muestreo) en el que la producción fotovoltaica compensa el mayor coste de la electricidad de la tarificación horaria entre las 9:00 h y las 10:00 h.

Por otro lado, aunque el tiempo invertido para realizar el diagrama en Simulink, parametrizar los bloques y simular los resultados varía en función de la complejidad del diagrama, se consigue de una reducción significativa con respecto a la dedicación que requiere la definición de un problema de optimización mediante código. Además de resolver el problema de optimización, la herramienta está preparada para realizar simulaciones empleando los mismos parámetros del modelo. En este sentido, la razón por la cual se ha optado inicialmente planteamiento es debido a que facilita el álgebra de bloques necesaria para tales simulaciones.

Conclusiones

A la vista de los resultados, se puede concluir que ODEHubs es una alternativa a considerar para la formulación y análisis del reparto de recursos de un distrito agroindustrial. Aunque por cuestiones de espacio se expuso un caso de uso concreto, se espera que la herramienta sea de utilidad para estudiar estrategias de gestión de los recursos del invernadero con diferentes conjuntos de datos reales.

Asimismo, el modelo que tiene implementado actualmente supone el planteamiento de un problema no convexo, lo que en términos de optimización se traduce en la posibilidad de obtener resultados subóptimos si el algoritmo de optimización converge en un óptimo local. Actualmente está en desarrollo la sustitución del modelo que emplea la herramienta por un planteamiento convexo del problema y resoluble mediante programación lineal en enteros mixta, a la par que se mantiene la capacidad de simulación actual.

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

- ARM-TEP197. 2017. <http://www2.ual.es/chromae/>
- Geidl, M., Koeppl, G., Favre-Perrod, P., Klöckl, B., Andersson, G. y Fröhlich, K. 2006. Energy Hubs for the Future. *IEEE Power and Energy Magazine* 5(1):24-30.
- Ha, T., Zhang, Y., Thang, V. V. y Huang, J. (2017). Energy hub modeling to minimize residential energy costs considering solar energy and BESS. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy* 5(3):389-399.
- Ramos-Teodoro, J., Rodríguez, F., Castilla, M. y Berenguel, M. (2019). Modelado de producción, consumo y almacenamiento de recursos heterogéneos de un distrito agroindustrial con energías renovables. *Actas del X Congreso Ibérico de Agroingeniería*. Huesca, España 3-6 sep. p. 190-198.
- Ramos-Teodoro, J., Rodríguez, F., Berenguel, M. y Torres, J. L. (2018). Heterogeneous resource management in energy hubs with self-consumption: Contributions and application example. *Applied Energy* 229:537-550.

Tabla 1 - Límites de producción y coeficientes de conversión de los dispositivos

Equipo	Caudal mínimo	Caudal máximo	Conversión (η)
1 (Fotov.)	-	-	0,11 kWh/kWh
2 (Aerot.)	0 kg/h	6,8 kg/h	11,54 kWh/kg
3-1,2 (Cald.)	1 kg/h	40 kg/h	4,25 kWh/kg y 1,76 kg CO ₂ /kg
4 (Bomba)	0 m ³ /h	5 m ³ /h	1

Tabla 2 - Límites máximos y coeficientes de conversión de los sistemas de almacenamiento

Equipo	Flujo carga (eficiencia)	Flujo descarga (eficiencia)	Capacidad
1 (Eléc.)	3 kW ($\eta = 0,7$)	3 kW ($\eta = 0,8$)	11 kWh
2 (Térm.)	104,5 kW ($\eta = 0,9$)	104,5 kW ($\eta = 0,9$)	116,1 kWh
3 (CO ₂)	51 kg/h ($\eta = 1$)	51 kg/h ($\eta = 1$)	25,2 kg
4 (Agua)	3 m ³ /h ($\eta = 1$)	3 m ³ /h ($\eta = 1$)	6 m ³

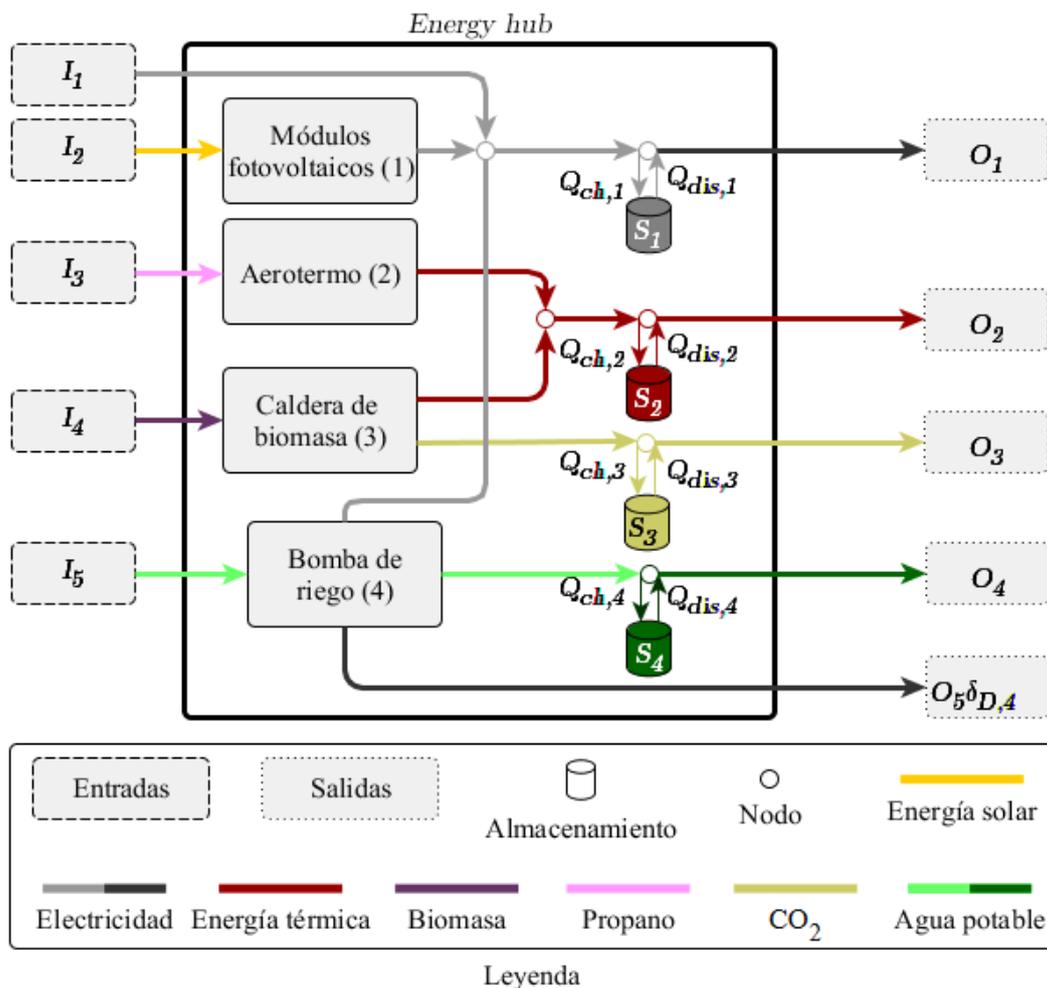


Figura 1 - Diagrama conceptual del invernadero tradicional basado en el modelo empleado

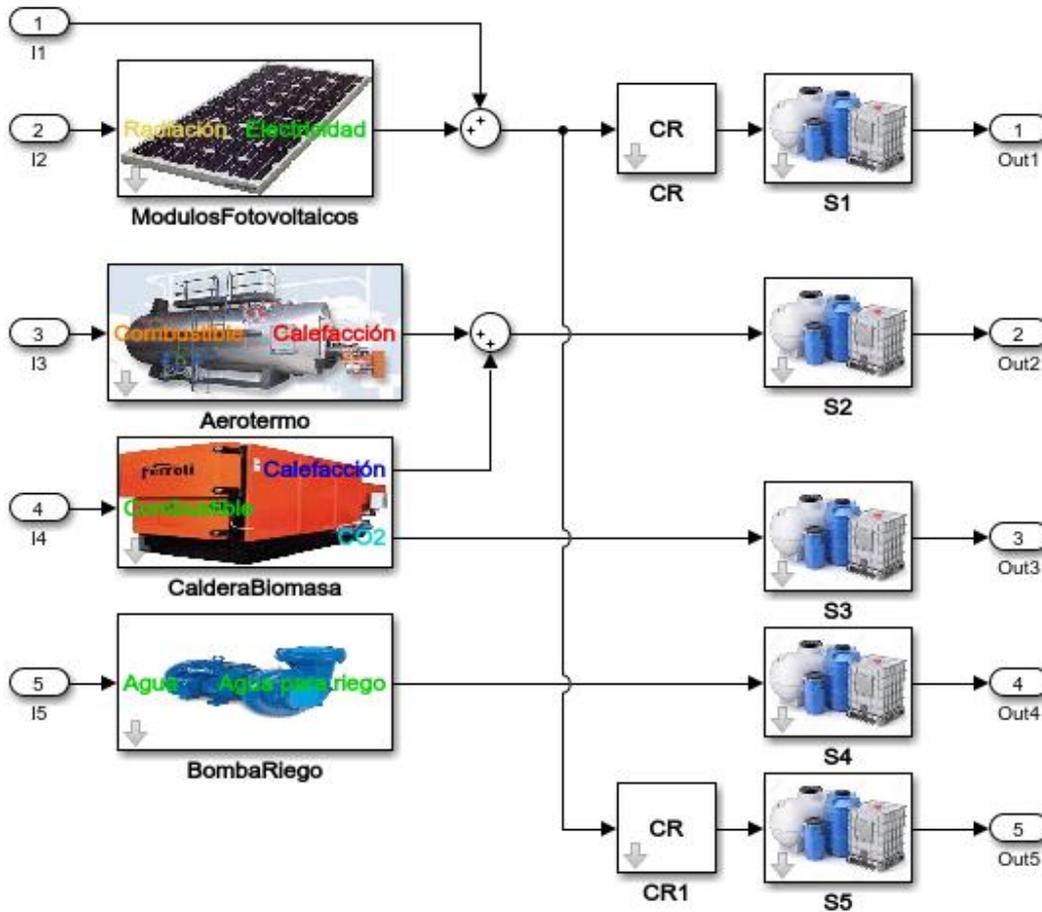


Figura 2 - Diagrama del invernadero tradicional en Simulink con los componentes de ODEHubs

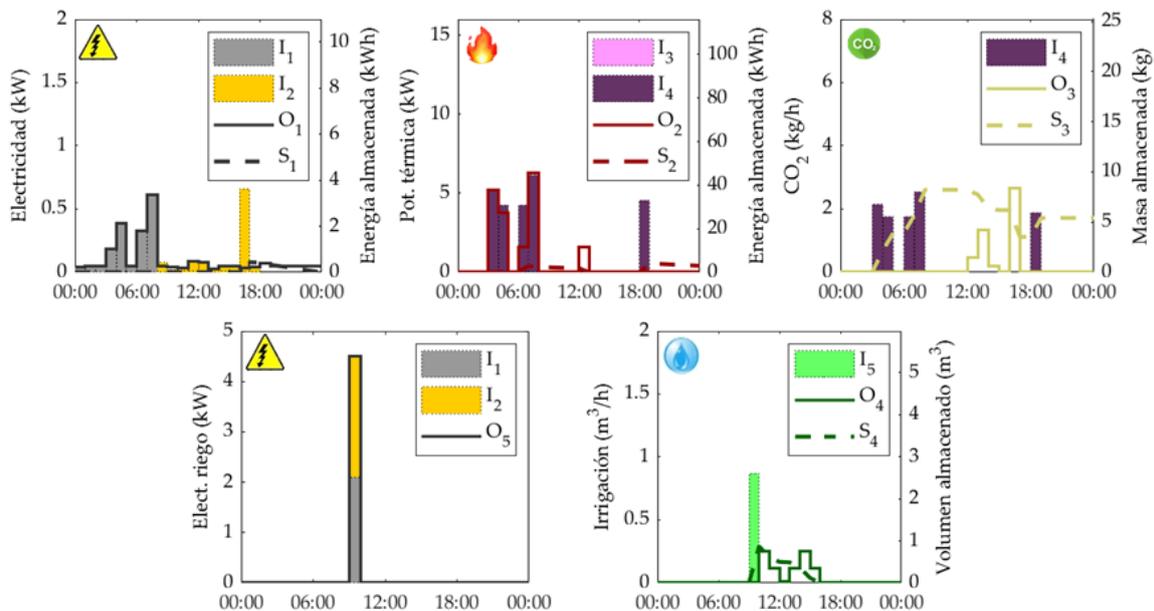


Figura 3 - Reparto de recursos de entrada (barras), demanda (línea continua) y evolución del almacenamiento (línea discontinua) durante el 17/12/2018 (UTC +1)

SibEH2020

4-6 MARÇO 2020

REFÓIOS-PONTE DE LIMA

AGRICULTURA 4.0

II SIMPÓSIO IBÉRICO DE ENGENHARIA HORTÍCOLA 2020
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA - INSTITUTO POLITÉCNICO DE VIANA DO CASTELO



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo



Instituto Politécnico de Viana do Castelo
Escola Superior
Agrária



Sociedad
Española
de Ciencias
Hortícolas



Associação
Portuguesa
de Horticultura



AGRICULTURA 4.0

II SIMPÓSIO IBÉRICO DE ENGENHARIA HORTÍCOLA 2020
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA - INSTITUTO POLITÉCNICO DE VIANA DO CASTELO

SibEH2020

4-6 MARÇO 2020

II Simpósio Ibérico de Engenharia Hortícola

II Symposium Ibérico de Ingeniería Hortícola

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do
Castelo

4, 5 e 6 de março de 2020

Livro de resumos

Libro de resúmenes

Organização e edição

Susana Mendes

Maria Isabel Valín

www.sibeh2020.ipvc.pt

Refoios do Lima, Ponte de Lima

Keywords: infrared, legumes, bean characterisation, discriminant analysis, image analysis.

Caso de uso de la herramienta ODEHubs para la gestión de recursos energéticos y materiales de un invernadero tradicional mediterráneo

A. Giménez-Miralles, J. Ramos-Teodoro, F. Rodríguez y M. Berenguel

CIESOL-ceiA3, Departamento de Informática, Universidad de Almería, Ctra. Sacramento, s/n, La Cañada de San Urbano, 04120, Almería, España
agm129@inlumine.ual.es, jeronimo.rt@ual.es, firodrig@ual.es, beren@ual.es

Resumen

El reparto de recursos energéticos (electricidad y calor/frío) y materiales (agua y CO₂) en distritos productivos es un tema que está siendo abordado actualmente en la literatura, aunque el planteamiento y resolución de un problema de este tipo es complejo y tedioso. En este trabajo se propone el uso de la herramienta ODEHubs, implementada en MATLAB® y Simulink® por el Grupo ARM de la Universidad de Almería, para facilitar el planteamiento de este tipo de problemas, realizándolo de forma gráfica, y generar de forma automática el código que requiere el algoritmo de optimización. Como caso de uso se muestra el procedimiento de modelado y obtención del reparto óptimo de recursos para un invernadero tradicional mediterráneo que dispone de sistemas de generación de electricidad y CO₂ basados en diferentes energías renovables. Los resultados preliminares obtenidos por la herramienta son coherentes, reduciéndose el tiempo invertido en el planteamiento del problema y resultando de utilidad para la toma de decisiones: determinar en qué períodos del día se produce CO₂ o los riegos, gestionar los sistemas de almacenamiento, etcétera.

Palabras-clave: *energy hubs*, sistemas multi-energía, reparto económico, optimización.

Abstract

Use case of the ODEHubs tool for energetic and material resources management in a traditional Mediterranean greenhouse

The dispatch of energy (electricity and heat/cold) and material (water and CO₂) resources in productive districts is an issue that is currently being addressed in the literature, although the approach and resolution of such a problem is complex and tedious. This work proposes the use of the ODEHubs tool, implemented in MATLAB® and Simulink® by the ARM Group of the University of Almería, to facilitate posing such problems, by doing it graphically, and to generate automatically the code that requires the optimisation algorithm. The use case serves to exemplify the process of modeling and obtaining the optimal dispatch of resources for a traditional Mediterranean greenhouse that has electricity and CO₂ generation systems based on different renewable energies. The preliminary results obtained by the tool are consistent, reducing the time spent for approaching the problem and being useful for decision-making: determining in which periods of the day CO₂ is produced, schedule irrigations, managing storage systems, etc.

Keywords: energy hubs, multi-energy systems, economic dispatch, optimisation.



ESPAÇO VISUAL
Consultoria Agrícola