

Simulación de escenarios de reparto económico en sistemas multi-energía

Jerónimo Ramos-Teodoro*, Adrián Giménez-Miralles, Francisco Rodríguez, Manuel Berenguel

Departamento de Informática, Centro mixto CIESOL, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3),
Universidad de Almería, Ctra. Sacramento s/n, 04120, Almería, España

Resumen

El problema de reparto económico en sistemas multi-energía es un tema de interés actual que se aborda en la literatura mediante diferentes enfoques, aunque el planteamiento y resolución de un problema de este tipo es siempre complejo y tedioso por el número de ecuaciones que se requieren para modelar sistemas donde se involucran diferentes tipos de recursos energéticos y/o materiales. En este trabajo se expone la herramienta ODEHubs, implementada en MATLAB® y Simulink® por el Grupo ARM de la Universidad de Almería, para determinar el reparto óptimo de recursos, a partir del diagrama representativo del sistema y empleando modelos basados en primeros principios. Para ejemplificar esto se expone el modelo que generaría la herramienta con varios ejemplos de sistemas productivos, el cual puede emplearse en algoritmos de optimización lineal de MATLAB, como *intlingprog* o externos a este (BARON, CPLEX...). El uso de esta herramienta reduce el tiempo invertido en el planteamiento del problema y resulta de utilidad para la toma de decisiones: determinar en qué períodos del día es propicio producir energía a partir de recursos no renovables, gestionar los sistemas de almacenamiento, etcétera. Copyright © 2020 CEA.

Palabras Clave:

Sistemas de gestión de energía, reparto de recursos, problemas de optimización, simulación numérica, programación estructurada.

1. Introducción

Las políticas energéticas que tratan de fomentar el uso eficiente de la energía limpia han despertado un gran interés en la comunidad científica, como lo refleja el creciente número de publicaciones relacionadas con la gestión de la energía que buscan aumentar la eficiencia en los procesos de producción, transporte, consumo y almacenamiento. Esto es posible, por ejemplo, reduciendo el número de conversiones desde las fuentes primarias a puntos de consumo (Ghedamsi and Aouzellag, 2010), evaluando alternativas sostenibles bajas en carbono (Guerrieri et al., 2019), o proporcionando flexibilidad y estabilidad a los sistemas de suministro (Bolwig et al., 2019). Para lograr estos objetivos, se han propuesto enfoques basados en la descentralización y distribución de los procesos mencionados anteriormente, incluido el uso de fuentes de energía renovables (Ehsan and Yang, 2018) y la combinación de diferentes portadores de energía para aprovechar sinérgicamente los recursos

e infraestructuras disponibles a nivel local (Chicco and Mancarella, 2009). De hecho, el término inteligente en *smart grid* alude al uso de las tecnologías de la información y la comunicación, así como al control de procesos y a la automatización en la toma de decisiones, para operar de manera óptima las redes de distribución de electricidad. Aunque el uso de estas técnicas no es exclusivo del sector eléctrico, su uso a gran escala entre diferentes productores aún es incipiente, ya que «los sectores energéticos han sido tradicionalmente desacoplados tanto desde el punto de vista operativo como de planificación» (Mancarella, 2014).

Así pues, 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.) y combinando diferentes tipos de recursos en lo que se denominan sistemas multi-energía (Mancarella, 2014). 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. Por tanto, herramientas para la gestión de *energy hubs*, como la

* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: jeronimo.rt@ual.es (Jerónimo Ramos-Teodoro), agm129@inlumine.ual.es (Adrián Giménez-Miralles), frrodrig@ual.es (Francisco Rodríguez), beren@ual.es (Manuel Berenguel)

URL: www.cea-ifac.es (Jerónimo Ramos-Teodoro)

que se expone en este trabajo, son de utilidad para determinar los períodos de funcionamiento de los equipos que componen una planta productiva, basándose en las necesidades previsibles de la misma y bajo la premisa de operar con el mínimo coste económico.

El presente artículo está estructurado de la siguiente forma: en el apartado 2 se presenta un modelo general, basado en relaciones de entrada y salida, de uso habitual en *energy hubs*; en el apartado 3 se presenta una breve descripción de la herramienta y su contexto así como algunos ejemplos de uso; mientras que en el 4 se resaltan las principales conclusiones derivadas de este trabajo.

2. Modelo de conversión y almacenamiento para *energy hubs*

El modelo que se emplea en este trabajo para el problema de reparto económico, y en el que se basa el modelo que inicialmente se empleaba en la herramienta (Giménez-Miralles, 2019), tiene como punto de partida el enfoque general presentado previamente por algunos de los autores de este trabajo (Ramos-Teodoro et al., 2018), empleando principalmente modelos en estado estacionario y concebido en tiempo discreto con un tiempo de muestreo uniforme $T = t(k+1) - t(k)$, donde k constituye cualquier instante de tiempo.

En primer lugar, se define un vector \mathbf{P} que contiene una variable por cada ruta posible entre las entradas y salidas del sistema y cuyo tamaño depende, por tanto, de la estructura interna del centro de energía. Este se relaciona con el resto de vectores de manera que exista correspondencia entre los de elementos de \mathbf{P} que se corresponden con un mismo flujo (ruta) que diverge en varios y el propio flujo. Así, con respecto al vector de entradas \mathbf{I} , cuyos elementos representan los posibles flujos de recursos que abastecen a la planta, se puede definir una matriz de acoplamiento \mathbf{C}_I , según (1).

$$\mathbf{I}(k) = \mathbf{C}_I \mathbf{P}(k) \quad (1)$$

La relación entre el vector de entradas y el de salidas \mathbf{O} es por lo tanto indirecta, a través del vector \mathbf{P} y de una matriz que contiene las eficiencias de conversión entre flujos \mathbf{C} , según (2). Los elementos del vector de salidas representan los posibles flujos de recursos que son producidos en la planta, mientras que se requieren vectores adicionales que representan los siguientes procesos: venta de recursos en diferentes mercados \mathbf{M} , carga de recursos en sistemas de almacenamiento \mathbf{Q}_c y descarga de recursos en sistemas de almacenamiento \mathbf{Q}_d . Adicionalmente, se emplea una matriz diagonal $\delta_{\mathbf{O}}$ cuyos elementos son igual a uno cuando se corresponden con salidas ordinarias o bien son variables binarias que se emplean para hacer que, en función de su valor, determinadas estén activas o no. Así por ejemplo, si un sistema de almacenamiento hídrico requiere el uso de una bomba de impulsión, la demanda eléctrica de la bomba depende de que se esté almacenando, o no, agua.

$$\delta_{\mathbf{O}}(k)\mathbf{O}(k) + \mathbf{M}(k) = \mathbf{C}(k)\mathbf{P}(k) - \mathbf{Q}_c(k) + \mathbf{Q}_d(k) \quad (2)$$

Para adecuar el reparto de recursos a las capacidades de producción de cada dispositivo y a las de transmisión de cada infraestructura de transporte, se imponen límites (de forma directa o indirecta) en el valor que pueden tomar las variables correspondientes a cada flujo. Así pues, se tienen restricciones para la adquisición de recursos, (4), la venta de estos (5) y la conversión en dispositivos (6). Nótese que en las siguientes expresiones δ hace referencia a una matriz diagonal cuyos elementos son variables binarias correspondientes a cada entrada, salida en forma de ventas, o dispositivo, según los subíndices I , M y D , respectivamente. Los superíndices min y max se emplean para indicar si se trata del vector que acota los valores mínimos o del que acota los máximos. El vector de dispositivos (\mathbf{D}), puede definirse mediante una expresión similar a (1), a partir del vector \mathbf{P} y de una matriz de acoplamiento \mathbf{C}_D que contiene las eficiencias de los procesos de conversión que sufren los flujos aguas abajo (desde las entradas hacia las salidas), según (3).

$$\mathbf{D}(k) = \mathbf{C}_D(k)\mathbf{P}(k) \quad (3)$$

$$\mathbf{I}^{min}(k)\delta_I(k) \leq \mathbf{I}(k) \leq \mathbf{I}^{max}(k)\delta_I(k) \quad (4)$$

$$\mathbf{M}^{min}(k)\delta_M(k) \leq \mathbf{M}(k) \leq \mathbf{M}^{max}(k)\delta_M(k) \quad (5)$$

$$\mathbf{D}^{min}(k)\delta_D(k) \leq \mathbf{D}(k) \leq \mathbf{D}^{max}(k)\delta_D(k) \quad (6)$$

Para las situaciones en que se requieren restricciones adicionales, procesos que no pueden ocurrir simultáneamente y para dispositivos que producen más de un recurso a partir de una única entrada, se remite a los lectores al trabajo anteriormente citado (Ramos-Teodoro et al., 2018).

Por otro lado, la dinámica de los sistemas de almacenamiento implica que el estado de carga \mathbf{S} en un instante dado dependa del anterior y que se haya producido la carga o descarga de recursos, según (7). Debido a que los procesos de carga, descarga y el propio almacenamiento pueden conllevar la degradación del recurso en forma de pérdidas, se definen para los mismos sus respectivas matrices acoplamiento \mathbf{C}_c , \mathbf{C}_d y \mathbf{C}_S cuyos elementos contienen el coeficiente para cada dispositivo.

$$\mathbf{S}(k+1) = \mathbf{C}_S(k)\mathbf{S}(k) + \mathbf{C}_c(k)\mathbf{Q}_c(k) - \mathbf{C}_d(k)\mathbf{Q}_d(k) \quad (7)$$

Asimismo, es necesario establecer límites en los flujos de carga (8) y descarga (9) y en la capacidad total de almacenamiento (10), de acuerdo a las especificaciones de los dispositivos, así como impedir que la carga y descarga se produzca de forma simultánea (11). Por analogía con las expresiones anteriores, δ hace referencia a una matriz diagonal cuyos elementos son variables binarias para cada flujo de carga o descarga, según los subíndices c , y d , respectivamente. Los superíndices min y max se emplean para indicar si se trata del vector que acota los valores mínimos o del que acota los máximos. $\mathbf{1}$ es la matriz identidad.

$$\mathbf{Q}_c^{min}(k)\delta_c(k) \leq \mathbf{Q}_c(k) \leq \mathbf{Q}_c^{max}(k)\delta_c(k) \quad (8)$$

$$\mathbf{Q}_d^{min}(k)\delta_d(k) \leq \mathbf{Q}_d(k) \leq \mathbf{Q}_d^{max}(k)\delta_d(k) \quad (9)$$

$$\mathbf{S}^{min}(k) \leq \mathbf{S}(k) \leq \mathbf{S}^{max}(k) \quad (10)$$

$$\delta_c(k) + \delta_d(k) \leq \mathbf{1} \quad (11)$$

3. Marco de trabajo: el proyecto CHROMAE

El citado proyecto (ARM-TEP197, 2017) pretende contribuir, desde la disciplina del control automático, a la gestión óptima de recursos de energéticos y materiales en distritos agroindustriales, conforme a criterios de eficiencia y la sostenibilidad. En concreto, se centra en el funcionamiento sinérgico de circunscripciones constituidas por explotaciones agrícolas, empresas de transformación y de suministro de insumos que, en ocasiones, tienen objetivos y necesidades contrapuestas.

Entre los objetivos del proyecto, figuran el desarrollo de estrategias de control y gestión integral y el modelado de los flujos e interrelaciones entre los elementos del distrito, basándose en el paradigma de los sistemas multi-energía y la multi-generación distribuida. Uno de los resultados prioritarios es la elaboración de un entorno de simulación que permita analizar casos concretos, probar nuevos enfoques de gestión y sirva de ayuda para la toma de decisiones.

3.1. El distrito agroindustrial de CHROMAE

Para el proyecto se dispone de una planta demostrativa (figura 1), constituida por los elementos que se enuncian a continuación (Ramos-Teodoro et al., 2019).

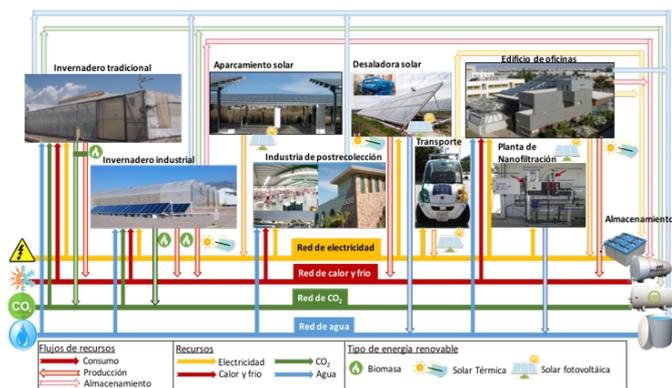


Figura 1: Flujo de recursos entre los diferentes elementos del distrito agroindustrial

- Instalaciones de producción de la Fundación Cajamar. Situadas en la Estación Experimental “Las Palmerillas” en El Ejido (Almería). Se compone de un invernadero tipo parral con calefacción híbrida, mediante propano y una caldera de biomasa con sistema de captura de CO₂.
- Instalaciones de producción del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Situadas en el Centro La Mojenera (Almería) y compuestas por un invernadero industrial y calefacción híbrida, mediante un campo solar de captadores planos y una caldera de biomasa con sistema de captura de CO₂
- Industria de post-recolección y comercialización Hortofrutícola Mabe S.A.T. Ubicada en el término municipal de El Ejido (Almería), dispone de unas instalaciones para el lavado y calibrado de productos hortícolas procedentes de la producción bajo invernadero.

- Edificio de trabajo CIESOL. Se trata de un edificio bioclimático, ubicado en el campus de la Universidad de Almería que dispone de un sistema de refrigeración y calefacción solar apoyado por fuentes convencionales y una instalación fotovoltaica.
- Vehículo eléctrico eCARM. En el campus de la Universidad de Almería se dispone, para tareas de investigación, de un vehículo eléctrico autónomo.
- Aparcamiento solar de la Universidad de Almería. Se trata del aparcamiento del campus, en cuyas marquesinas se ha realizado una instalación fotovoltaica distribuida en trece inversores.
- Planta de desalación solar. Se encuentra ubicada en la Plataforma Solar de Almería, en el término municipal de Tabernas. Es una plataforma de ensayos para módulos de destilación por membranas, compuesta por un campo solar de captadores planos y almacenamiento térmico.
- Planta de nanofiltración. Ubicada en la Plataforma Solar de Almería, consiste en un sistema de tres membranas cuyo objetivo es el tratamiento de agua residual para su posterior uso como agua de riego e industrial.

3.2. ODEHubs

La herramienta ODEHubs se ha desarrollado en el proyecto CHROMAE para facilitar la formulación de problemas de reparto de recursos en sistemas multi-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 (figura 2). 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 (Giménez-Miralles, 2019). Para demostrar el funcionamiento y la utilidad de la herramienta desarrollada, se mostrarán dos casos de ejemplo diferentes a partir del análisis de los componentes del distrito realizado con anterioridad (Ramos-Teodoro et al., 2019).

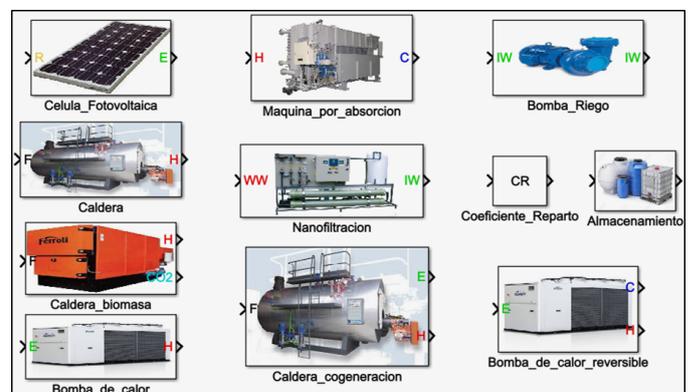


Figura 2: Biblioteca de componentes desarrollada para el proyecto CHROMAE en el entorno de Simulink®

Los bloques disponen de una máscara parametrizable a través de la cual se definen los valores que toman los elementos de los vectores anteriormente definidos. Por ejemplo, en el caso de los sistemas de almacenamiento (figura 3), se requieren introducir los límites definidos en las ecuaciones (8) a (10) y los coeficientes de eficiencia que componen las matrices C_e , C_d y C_S . De forma análoga (figura 4), en el los dispositivos de conversión se definiría el coeficiente de eficiencia que formaría parte de las matrices de acoplamiento C_I y/o C_D y los límites de funcionamiento que se emplean en (6). A parte de cumplimentar los parámetros de cada máscara, es necesario definir el diagrama a partir de los bloques de la biblioteca para generar el problema de optimización tal y como se ejemplifica en la siguiente sección.

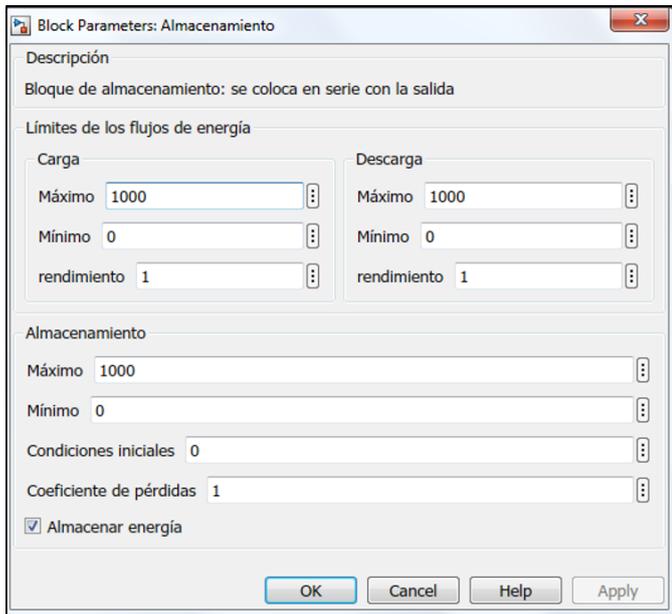


Figura 3: Máscara parametrizable para los sistemas de almacenamiento

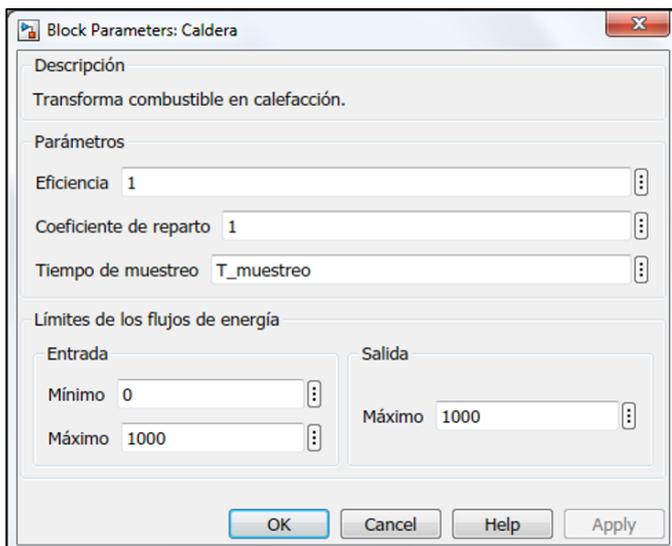


Figura 4: Máscara parametrizable para dispositivos (caldera)

4. Reparto de recursos en centros de energía

Aunque es posible el empleo de diferentes estrategias de control a partir del modelo propuesto, para simplificar, se plantea el problema de optimización consistente en determinar los flujos de recursos horarios con el menor coste económico para dos sistemas diferentes durante 24 horas. Así, pues en la función de coste (12), se incluyen vectores que contienen el precio de adquisición de los recursos de entrada $e(k)$ y el de venta de recursos $s(k)$ en términos de energía, masa o volumen.

$$\min \sum_{k=1}^{24} (e(k)I(k) - s(k)M(k)) \quad (12)$$

s.a. las anteriores restricciones

4.1. Edificio bioclimático CIESOL

CIESOL (figura 5) tiene como recursos disponibles energía eléctrica procedente de la red eléctrica (I_1), radiación solar para los módulos fotovoltaicos (I_2) y los captadores solares (I_3), junto a agua procedente de la red de saneamiento general (I_4). Como demandas, electricidad (O_1), refrigeración (O_2), calefacción (O_3) y agua potable (O_4). Además, se considera almacenamiento de electricidad (S_1), de refrigeración (S_2), de calefacción (S_3) y de agua potable (S_4). Partiendo del diagrama conceptual (figura 5), es preciso elaborar el esquema análogo en Simulink (figura 6), empleando los bloques de la biblioteca (figura 2), para determinar el reparto de recursos (figura 7) gracias a las funciones en MATLAB que se han desarrollado para tal efecto.

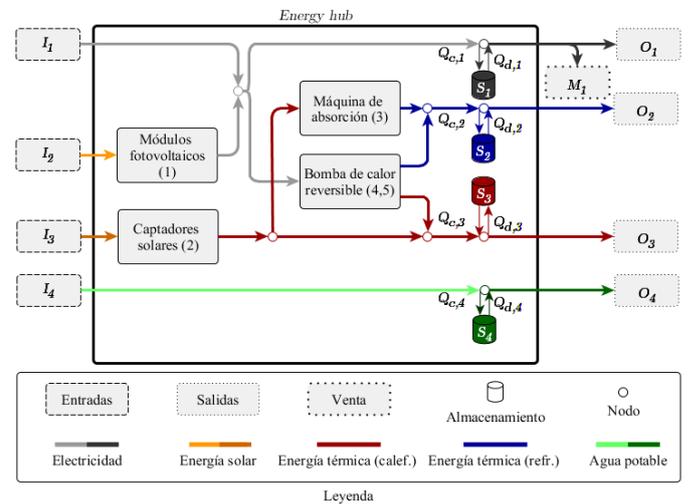


Figura 5: Diagrama conceptual de CIESOL basado en el modelo empleado

En la figura 7 se muestran los resultados al emplearse los datos de demanda y radiación registrados durante el 03/02/2018 (día despejado y temperaturas entre 6 °C y 18 °C) en CIESOL (coord. 36,83° N, 2,40 ° O). Pueden resumirse así: para cubrir los 1709 kWh de energía eléctrica, 22,6 kWh de energía térmica para refrigeración, 309,3 kWh de energía térmica para calefacción y 2,45 m³ de agua; 1411 kWh de electricidad (170,68 € en total) y 2,45 m³ de agua (1,34 € en total) se obtienen desde

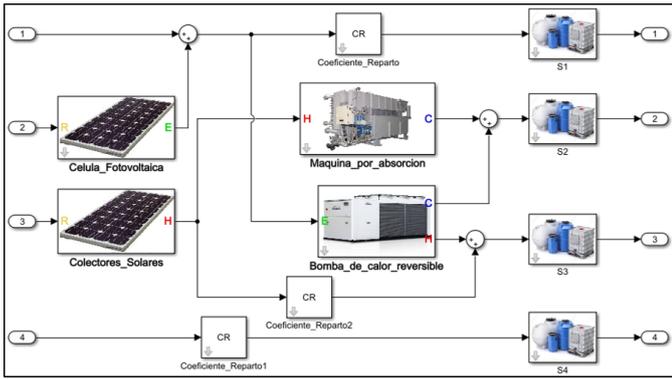


Figura 6: Diagrama en Simulink de CIESOL con los componentes de la librería

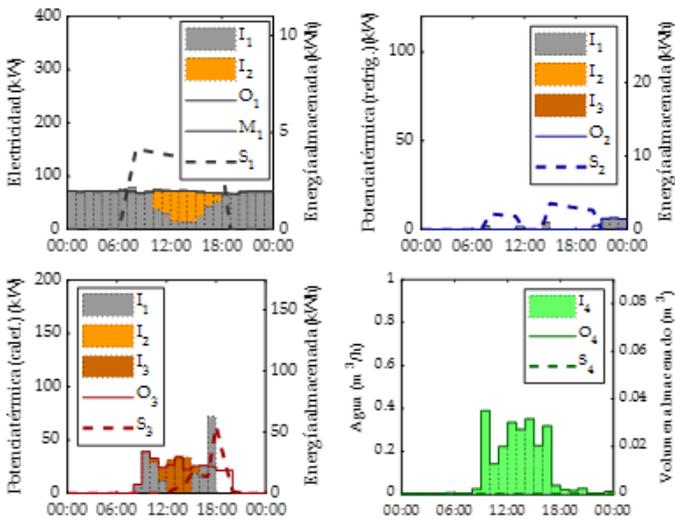


Figura 7: Reparto de recursos de entrada (barras), demanda (línea continua) y evolución del almacenamiento (línea discontinua) durante en CIESOL el 03/02/2018

las redes de abastecimiento públicas, mientras que el resto de necesidades se cubren desde las instalaciones de energía solar. Destaca que para cubrir las necesidades térmicas mediante la bomba de calor reversible, la producción alterna entre producción de frío y de calor, ya que ambos procesos no pueden ocurrir simultáneamente, constituyendo esto una restricción (Ramos-Teodoro et al., 2018).

Las figuras 7 y 10, que recogen el reparto para los casos de ejemplo, organizan la información de la siguiente forma: en cada gráfica se incluyen los perfiles de demanda horarios para cada salida, trazados en línea gruesa, y el perfil de ventas en el mercado ($M(k)$), apilado sobre el primero, en línea delgada; ambos escalados al eje izquierdo y expresados en términos de potencia o flujo. La línea discontinua, que se escala al eje derecho, representa la evolución de los sistemas de almacenamiento, correspondientes a cada salida ($S(k)$), en términos de energía, masa o volumen. En cada gráfica, el límite superior del eje derecho corresponde a la capacidad máxima de almacenamiento. Las barras de colores apiladas (escaladas al eje izquierdo) indican flujos de entradas ($I(k)$) que cumplen con el perfil de demanda. Por lo tanto, cuando superan los perfiles de de-

manda y ventas, los sistemas de almacenamiento se cargan (la línea discontinua tiene una pendiente positiva), mientras que se descargan cuando están debajo de ellos. Debido a la degradación asumida en ciertos recursos energéticos almacenados, su perfil de almacenamiento tiene una pendiente negativa, similar a una descarga, incluso cuando los perfiles de demanda y ventas se satisfacen estrictamente.

4.2. Invernadero de la Estación Experimental Cajamar

El invernadero (figura 8) tiene como recursos disponibles energía eléctrica de la red eléctrica (I_1), propano (I_2), biomasa (I_3) y agua potable de la red de saneamiento (I_4). Como demandas, energía eléctrica (O_1), calefacción (O_2), dióxido de carbono (O_3), agua de riego (O_4) y electricidad para la bomba de riego cuando está en funcionamiento (O_5). Se considera almacenamiento de electricidad (S_1), calefacción (S_2), dióxido de carbono (S_3) y agua de riego (S_4). Partiendo del diagrama conceptual (figura 8), es preciso elaborar el esquema análogo en Simulink (figura 9), empleando los bloques de la biblioteca (figura 2), para determinar el reparto de recursos (figura 10) gracias a las funciones en MATLAB que se han desarrollado para tal efecto.

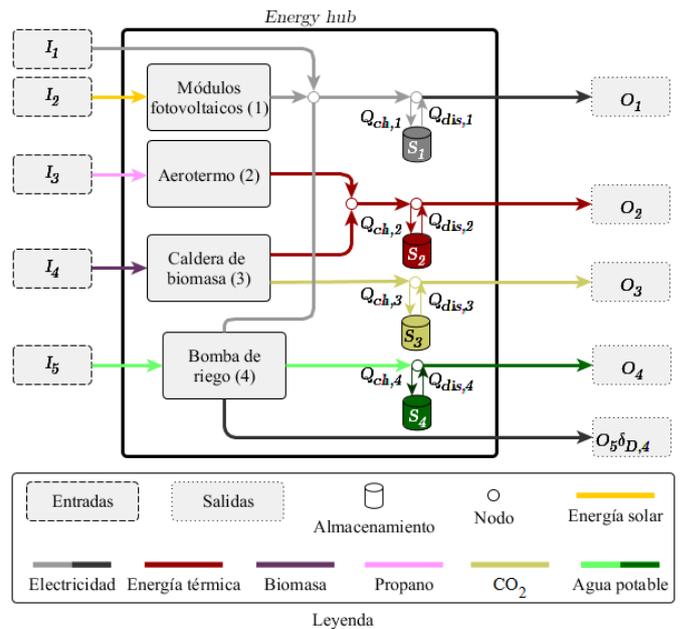


Figura 8: Diagrama conceptual del invernadero basado en el modelo empleado

En la figura 10 se muestran los resultados al emplearse los datos de demanda y radiación registrados durante el 17/12/2018 (día despejado y temperaturas entre 11 °C y 21 °C) en la estación (coord. 36,80° N, 2,72° O). Pueden 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 CO₂ (4,69 kg); para los 0,87 m³ de agua de riego (0,48 € en total) se hace uso de la bomba,

cuya demanda se ha omitido dado que solo se activa durante el mínimo tiempo posible (un instante de muestreo) en el que la producción fotovoltaica compensa el mayor coste de la electricidad entre las 9:00 h y las 10:00 h.

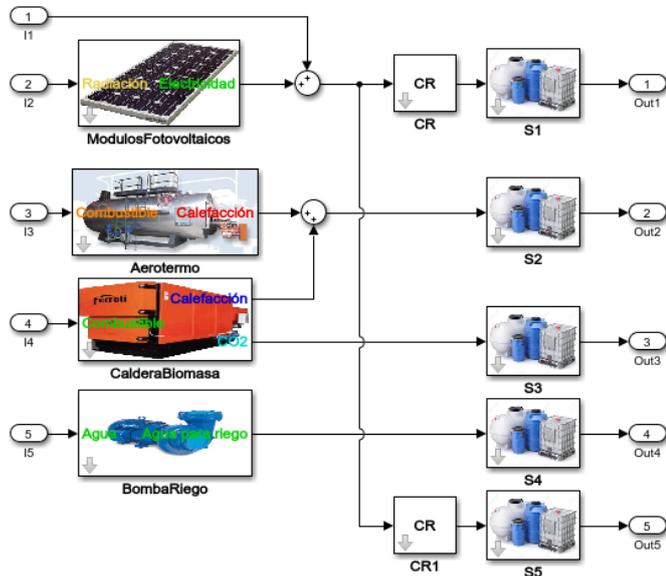


Figura 9: Diagrama en Simulink del invernadero con los componentes de la librería

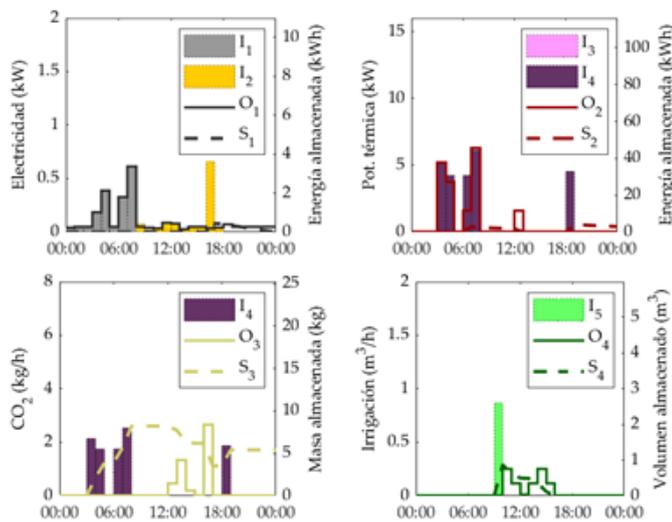


Figura 10: Reparto de recursos de entrada (barras), demanda (línea continua) y evolución del almacenamiento (línea discontinua) en el invernadero durante el 17/12/2018

5. Conclusión

Aunque por razones de espacio únicamente se ha limitado a un caso concreto el número de pruebas realizadas, el modelo

expuesto podría hacerse funcionar con conjuntos de datos reales diferentes a los empleados y adaptarse la estructura de cualquier otro sistema multi-energía. Además, esta formulación del problema contempla la posibilidad de sustituir los submodelos de proceso empleados por otros de mayor o menor complejidad en función de la precisión requerida en los resultados y la capacidad de computación disponible.

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, por lo que se puede concluir que ODEHubs es una alternativa a considerar para la formulación y análisis del reparto de recursos. Es pues una herramienta útil de apoyo a los proyectistas, permitiendo evaluar el impacto económico de la operación del MES durante su fase de diseño.

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. Proyecto CHROMAE (DPI2017-85007-R). [En línea]. Disponible en: <http://www2.ual.es/chromae/> [Accedido: 14-may-2018].

Bolwig, S., Bazbauers, G., Klitkou, A., Lund, P. D., Blumberga, A., Gravelins, A., Blumberga, D., 2019. Review of modelling energy transitions pathways with application to energy system flexibility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 101, 440-452.

Chicco, G., Mancarella, P., 2009. Distributed multi-generation: A comprehensive view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (3), 535-551.

Ehsan, A., Yang, Q., 2018. Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques. *Applied Energy* 210, 44-59.

Geidl, M., Koeppel, G., Favre-Perrod, P., Klöckl, B., Andersson, G., Fröhlich, K., 2006. Energy hubs for the future. *IEEE Power and Energy Magazine* 5 (1), 24-30.

Ghedamsi, K., Aouzellag, D., 2010. Improvement of the performances for wind energy conversions systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 32 (9), 936-945.

Giménez-Miralles, A., 2019. Diseño de una interfaz gráfica para el modelado y análisis de energy hubs. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Almería.

Guerrieri, M., Gennusa, M. L., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., 2019. University campuses as small-scale models of cities: Quantitative assessment of a low carbon transition path. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 113, 109263.

Mancarella, P., 2014. MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models. *Energy* 65, 1-17.

Ramos-Teodoro, J., Rodríguez, F., Berenguel, M., Torres, J. L., 2018. Heterogeneous resource management in energy hubs with self-consumption: Contributions and application example. *Applied Energy* 229, 537-550.

Ramos-Teodoro, J., Rodríguez, F., Castilla, M., Berenguel, M., 2019. Modelado de producción, consumo y almacenamiento de recursos heterogéneos de un distrito agroindustrial con energías renovables. In: X Congreso Ibérico de Agroingeniería.



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Tesis Doctorales en Ingeniería de Control

Simulación de escenarios de reparto económico en sistemas multi-energía
[Jerónimo Ramos Teodoro](#). Universidad de Almería

Reglas de Ajuste para Controladores Reseteados MISO
[José Francisco Saez Pérez](#). Universidad de Murcia

Gestión de recursos heterogéneos bajo el paradigma de los sistemas ciberfísicos
[Francisco García Mañas](#). Universidad de Almería

Desarrollo de Sensor Portátil de Bajo Coste para la Medida de Temperatura Foliar con Aplicación en Agricultura de Precisión
[Jaime Giménez-Gallego](#). Universidad Politécnica de Cartagena

Estudio de Factores Influyentes en el Proceso de Calibración de Sensores de Humedad de Suelo para el Control Automático del Riego
[Juan D. González-Teruel](#). Universidad Politécnica de Cartagena

Diseño e implementación de mecanismos de control realimentado para la optimización de bioproducción mediante circuitos genéticos
[Fernando Nóbél Santos Navarro](#). Universidad Politécnica de Valencia

Analysis of a solar heating industrial plant based on a parabolic dish collector
[Ovidio López Espinosa](#). Universidad de Murcia.



XVIII Simposio de Ingeniería de Control y VI Seminario de Innovación Docente en Automática



XVIII Simposio de Ingeniería de Control y el V Seminario de Innovación Docente en Automática



Murcia, 29-31 enero de 2020





Universidad
Politécnica
de Cartagena



Publicado por

Comité Español de Automática de IFAC (CEA-FAC)
www.ceautomatica.es

Proceedings del XVIII Simposio CEA de Ingeniería de Control

Universidad de Murcia, Murcia
29, 30 y 31 enero, 2020

Editado por

J.L. Guzmán, M.G Ortega, A. Baños
Editores

ISBN - 978-84-09-18075-2

Todos los derechos reservados. Copyright © 2020, CEA