



GRUPO GEA-IIT
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
(Aurelio García Cerrada)

Reunión: Diciembre 2022

Web: geiser.depeca.uah.es/promint

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

EN ESTE DOCUMENTO: Resultados IIT Comillas

Aspectos del trabajo realizado:

- Ob2. Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA
- Ob3. Recuperación energética en redes de transporte ferroviario y su integración en microrredes urbanas.

Con participaciones derivadas de lo anterior en,

- Ob4. Diseño e implementación de un sistema de gestión de energía para sistemas híbridos de generación renovable y almacenamiento en baterías.
- Ob5. Aprendizaje máquina a microrredes, vehículo eléctrico y gestión energética
- Ob6. Difusión y explotación de resultados

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



INTRODUCCIÓN IIT y el modelado y control de microrredes inteligentes híbridas (Ob1)

Resumen del trabajo realizado

- **Modelado de microrredes:** (a) Herramienta para la simulación y análisis de microrredes, (b) **análisis modal**, (c) **búsqueda de dinámicas relevantes**, (d) reducción de modelos y (e) modelado y análisis de **redes desequilibradas**
- **Control basado en agentes** (distribuido) en microrredes inteligentes: consenso en la frecuencia y en el reparto de potencias (P y Q); sincronización y *arranque “en negro”*.
- **Sistemas para la gestión de la energía: “Aprendizaje profundo por refuerzo”** (Deep Reinforcement Learning) para la gestión de generación en microrredes inteligentes. [Optimización de la operación a través de una red neuronal profunda (varias capas) que sirve para aprender a base de prueba y error]

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

MODELADO Y CONTROL EN MICRORREDES

- GUI para la simulación y preparar el resto de los análisis.
- Análisis modal
- Reducción de modelos conservando las variables físicas relevantes
- Control multi-agente: consenso en frecuencia, reparto de potencias, perfil de tensiones, sincronización y arranque “en negro”

Nota: las redes de prueba en esta presentación se han derivado de: A. Bidram, V. Nasirian, A. Davoudi, and F. L. Lewis, *Cooperative synchronization in distributed microgrid control*. Cham, Switzerland: Springer, 2017.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

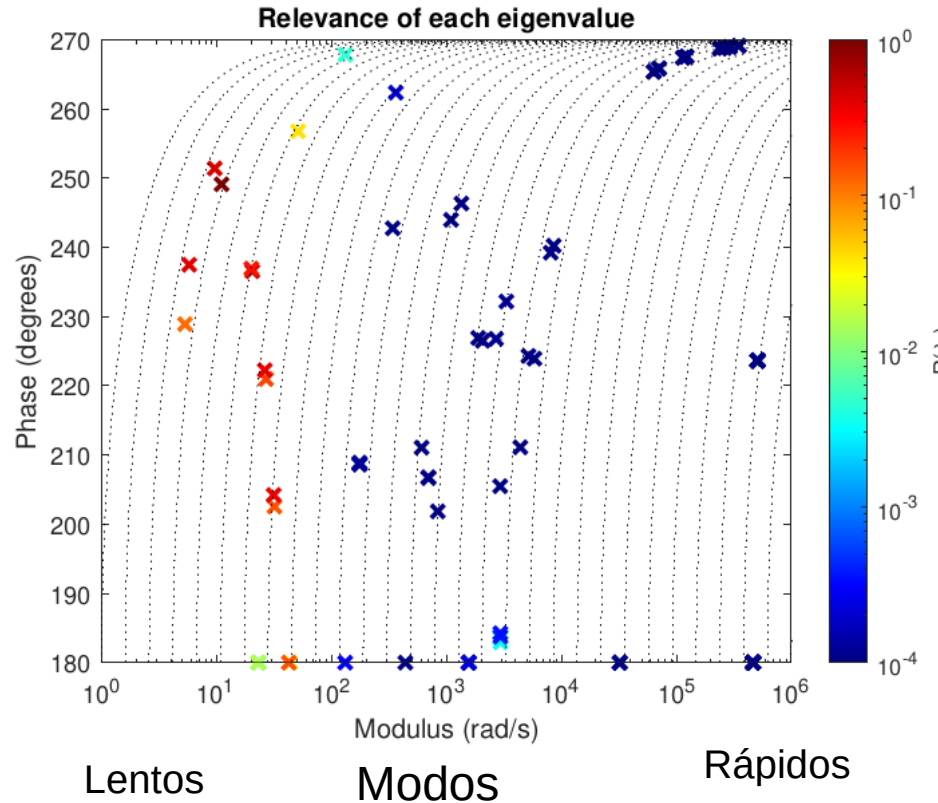


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

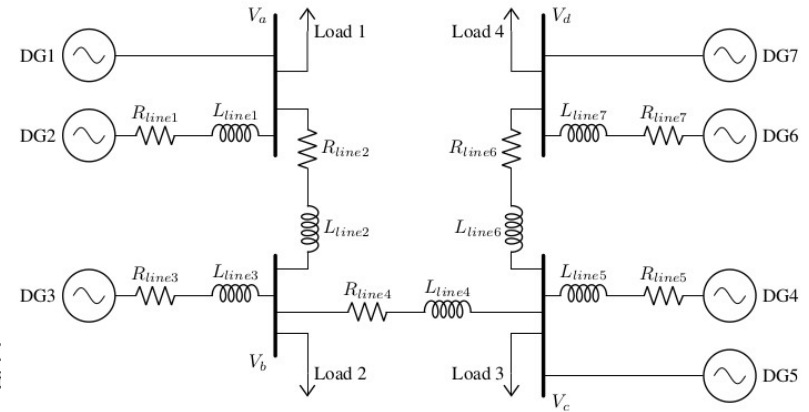



**Comunidad
de Madrid**

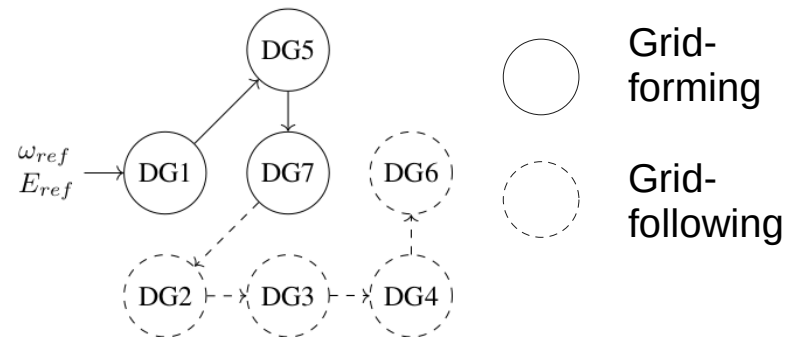
Análisis Modal Aplicado a Microrredes: explorando los modos del sistema



..... Misma cte de tiempo



Sistema



Grafo para la red considerada en ejemplo

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Iniciativa de Empleo Juvenil
Iniciativa de Empleo Juvenil



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad de Madrid

Análisis Modal Aplicado a Microrredes: Reducción de modelos

Reducción de modelos:

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{X} \text{ con } \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_r \\ \mathbf{x}_{lr} \end{bmatrix} \text{ y } \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_r \\ \mathbf{x}_{lr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11}^{r \times r} & \mathbf{A}_{12}^{r \times m} \\ \mathbf{A}_{21}^{m \times r} & \mathbf{A}_{22}^{m \times m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_r \\ \mathbf{x}_{lr} \end{bmatrix}$$

Algunas alternativas ad-hoc

(1*) $\frac{d\mathbf{x}_{lr}}{dt} = 0$ Las dinámicas rápidas, ecuaciones algebraicas

(2*) $\frac{d^2\mathbf{x}_{lr}}{dt^2} = 0$

El modelo reducido tiene los “modos relevantes” del sistema original λ_r

(3) $\frac{d\mathbf{x}_r}{dt} = (\mathbf{A}_{11} + \mathbf{M}) \mathbf{x}_r, \lambda_r \in \{\text{eig}(\mathbf{A}_{11} + \mathbf{M})\}$

(*) Y. Ojo, J. Watson and I. Lestas. "A review of reduced-order models for microgrids: simplifications vs accuracy" arXiv:2003.04923v1 [math.OC] 10 Mar 2020. pp 1-13.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Análisis Modal Aplicado a Microrredes: Hemos propuesto el “coeficiente de relevancia de los estados”

- Se estudian los estados con más energía en la salida: “Hankel Singular Values” destacan esos estados en un sistema equilibrado (“balanced”).
- Se relacionan esos estados con los modos del sistema que tienen más participación en ellos.
- Se estudia en que estados del sistema original, tienen más participación esos modos.
- Se puede calcular un número para cuantificar la “relevancia de cada uno de los estados del sistema original”
- Así es más fácil determinar el conjunto de estados y los modos relevantes que determinan el orden del sistema.
- El sistema de orden reducido debe reproducir las dinámicas de interés.

Andrés Tomás-Martín, Aurelio García-Cerrada, Lukas Sigrist, Sauro Yagüe, Jorge Suárez-Porras “State relevance and modal analysis in electrical microgrids with high penetration of electronic generation.” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Accepted!

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

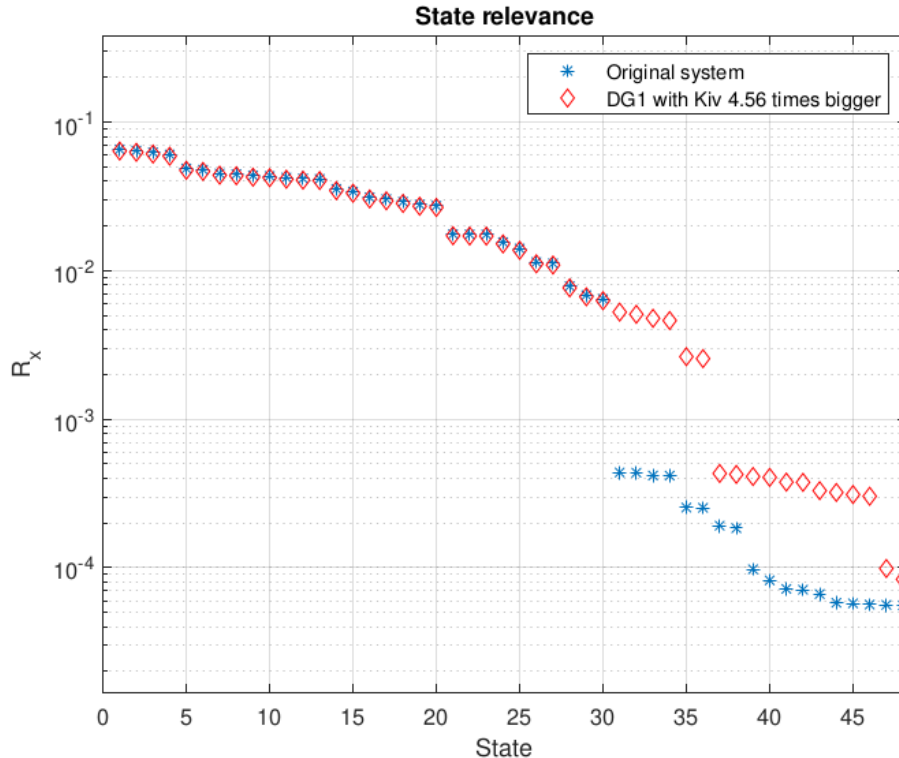
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Análisis Modal Aplicado a Microrredes: Reducción de modelos y relevancia de los estados



- Representamos la “relevancia” de los estados de una microrred para dos reguladores distintos en uno de los VSC
- Un salto brusco en ese valor, sugiere qué variables de estado pueden omitirse.
- No todas las líneas podrían despreciarse en el estudio de la dinámica del sistema.
- No todos los controles nivel0 de los convertidores pueden despreciarse en el estudio de la dinámica del sistema.

- En el caso más desfavorable, los controles de nivel 0 y el filtro de salida del convertidor VSC1, deben modelarse en detalle

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Análisis Modal Aplicado a Microrredes: Sistemas desequilibrados (I)

ANÁLISIS MODAL (de fundamentos)

Park, $\mathbf{X}_{dq} = \mathbf{P}(\theta)\mathbf{X}_{abc}$

$$\begin{aligned}\frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} &= f(\mathbf{X}_{dq}, \mathbf{U}_{dq}) \\ \mathbf{Y}_{dq} &= g(\mathbf{X}_{dq}, \mathbf{U}_{dq})\end{aligned}$$

Sistema eléctrico (dq)
No lineal

$$\begin{aligned}\left. \frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} \right|_{\mathbf{X}_{dq,0}, \mathbf{U}_{dq,0}} &= 0 \\ \mathbf{Y}_{dq,0} &= g(\mathbf{X}_{dq,0}, \mathbf{U}_{dq,0})\end{aligned}$$

Punto Equilibrio

$$\begin{aligned}\frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} &= \mathbf{A}\mathbf{X}_{dq} + \mathbf{B}\mathbf{U}_{dq} \\ \mathbf{Y}_{dq} &= \mathbf{C}\mathbf{X}_{dq} + \mathbf{D}\mathbf{U}_{dq}\end{aligned}$$

Sistema eléctrico (dq)
Lineal

SISTEMAS DESEQUILIBRADOS (un elemento): ¡Park no es suficiente!

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_{dqo}^+ \\ \mathbf{x}_{dqo}^- \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{T}}(t) \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{abc}(t) \\ \mathbf{x}_{abc}(t - \tau) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{x}_{dqo}^+ \in \mathbf{R}_{3 \times 1} \text{ and } \mathbf{x}_{dqo}^- \in \mathbf{R}_{3 \times 1}$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{dqo}^+ \\ \mathbf{x}_{dqo}^- \end{bmatrix} = 0 \text{ Régimen Permanente,}$$

REDUCCIÓN DE MODELOS

$\mathbf{X}$ cte incluso en sistemas desequilibrados

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

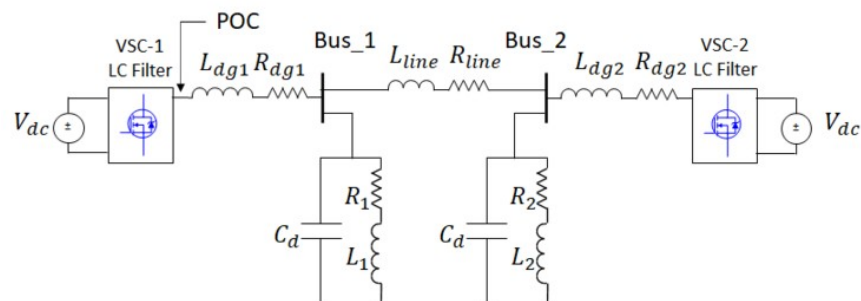
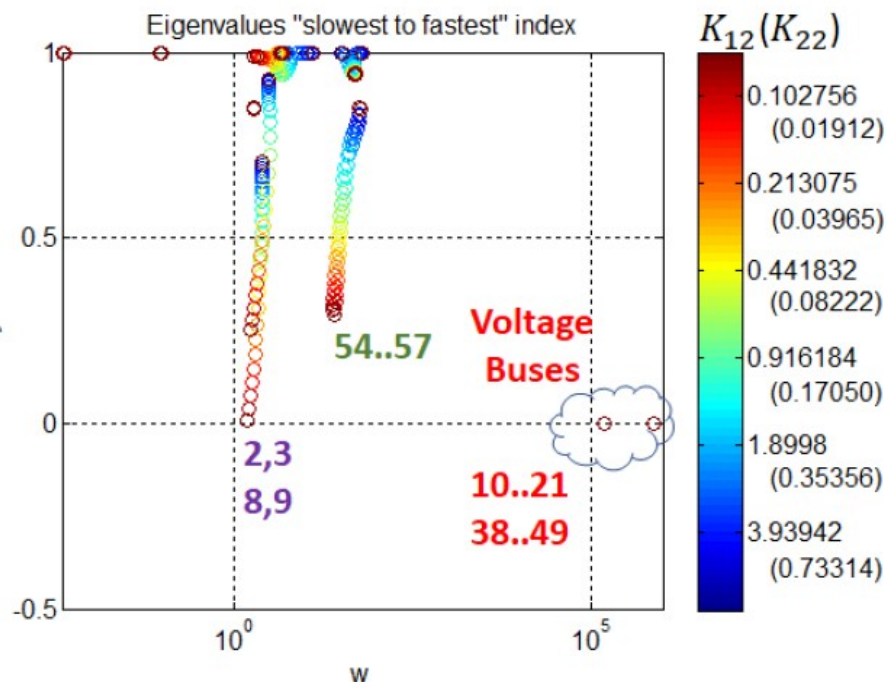


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



**Comunidad
de Madrid**

Análisis Modal Aplicado a Microrredes: Sistemas desequilibrados (II)



Hay polos del sistema que pueden volverse inestables si no se controla las secuencias netativa y la homopolar

Condiciones: Cargas desequilibradas, líneas equilibradas.

- Cuando K_{12} y K_{22} disminuyen, se va quitando el control de la secuencia negativa

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

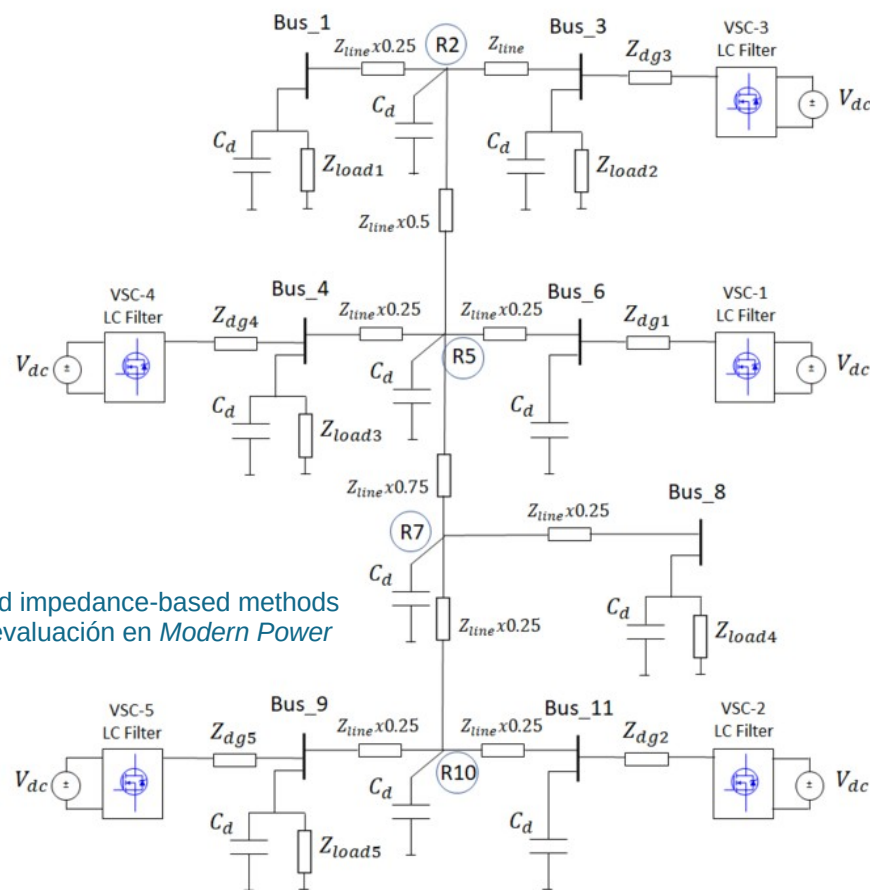


Comunidad
de Madrid

Análisis Modal Aplicado a Microrredes: Sistemas desequilibrados (III)

- El análisis modal produce exactamente el mismo resultado que el popular criterio de las impedancias (mismo principio, realmente)
- Con el primero, es más fácil abordar sistemas complejos.

Sauro J. Yague, Aurelio García-Cerrada Pere Palacin Farré. "Modal analysis and impedance-based methods for stability analysis in unbalanced microgrids with grid-forming converters." En evaluación en *Modern Power Systems and Clean Energy*



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Iniciativa de Empleo Juvenil



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Análisis Modal Aplicado a Microrredes: Sistemas desequilibrados

Resumen:

- Los modos del sistema nos hablan de las dinámicas presentes
- Las participaciones nos explican qué influye dónde
- Las sensibilidades nos ayudan a diseñar controles
- La relevancia nos permite proponer reducción de modelos de forma sistemática y concentrarnos en las dinámicas “importantes”.
- Se puede abordar el análisis de sistemas equilibrados y desequilibrados

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

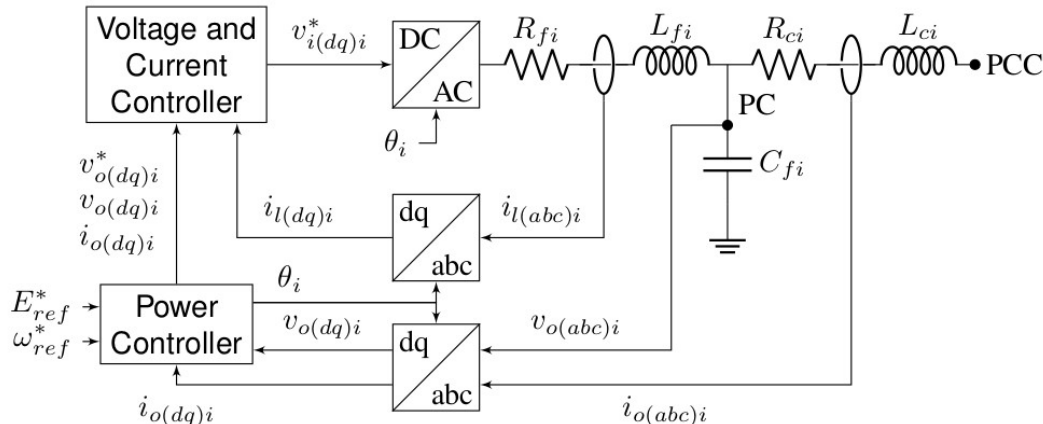


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

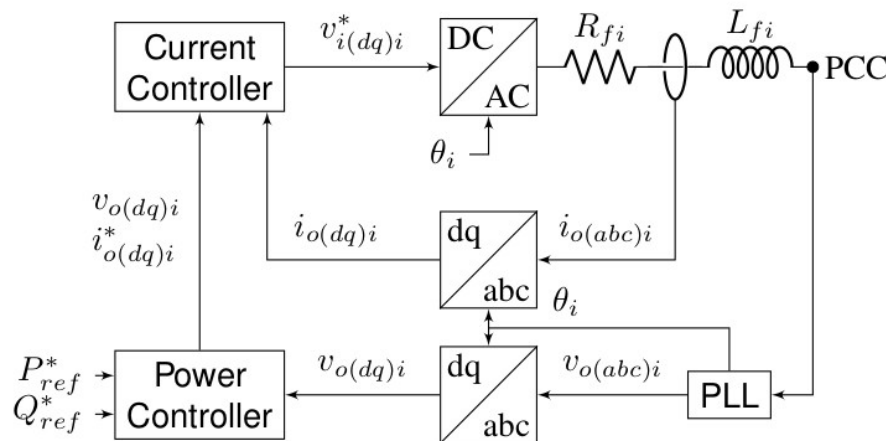



**Comunidad
de Madrid**

Control Multi-agente en Microrredes: Elementos generadores



VCVSC: Grid-forming



CCVSC: Grid-following

Figuras de: A. Bidram, A. Davoudi and F.L. Lewis. "A multiobjective distributed control framework for islanded AC microgrids." IEEE Trans. On Industrial Informatics. Vol. 10, no. 3. pp 1785-1798. 2014

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

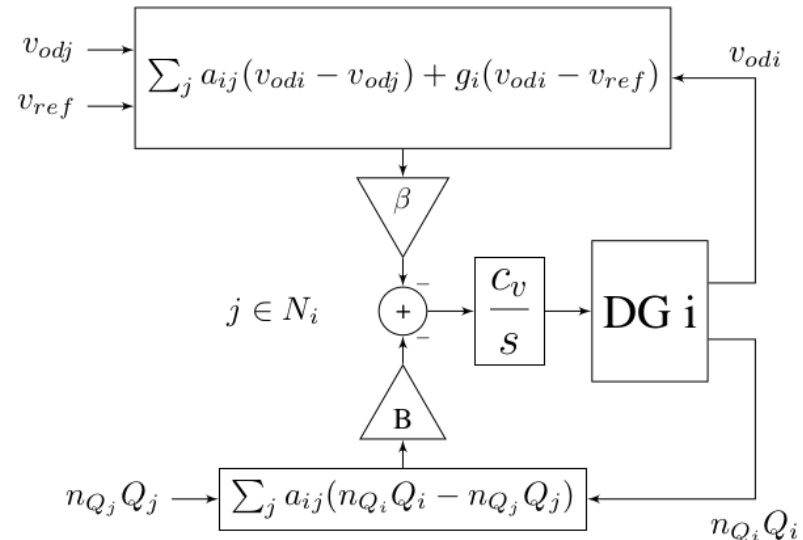
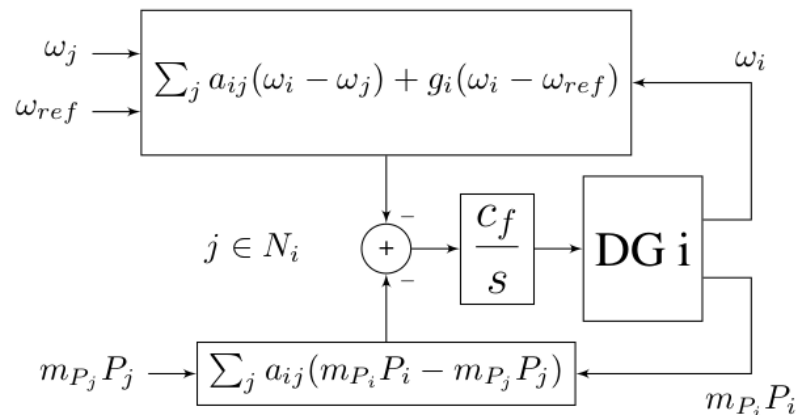


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



**Comunidad
de Madrid**

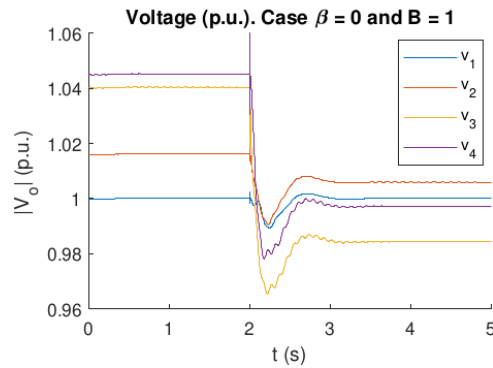
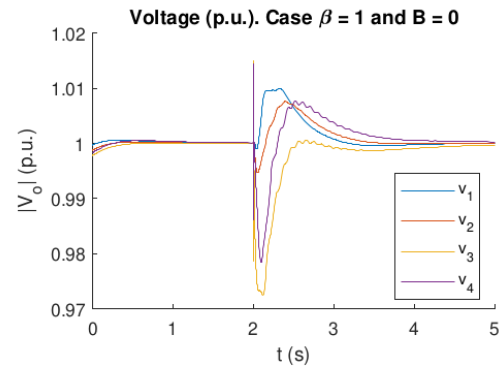
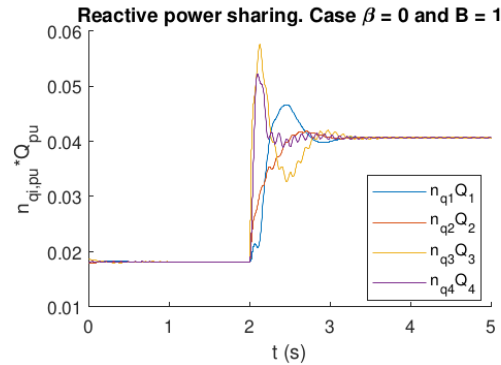
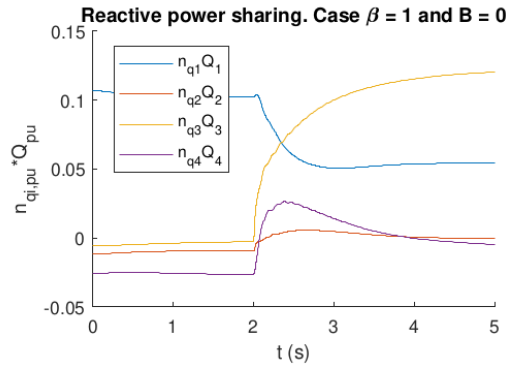
Control Multi-agente en Microrredes: Consenso en frecuencia y reparto de potencias



- Si todos VCVSC, se alcanza el consenso en frecuencia y en el reparto de potencia activa, sin compromiso.
- Hay que alcanzar un compromiso entre el consenso para seguir la referencia de tensiones o para el reparto de reactiva.

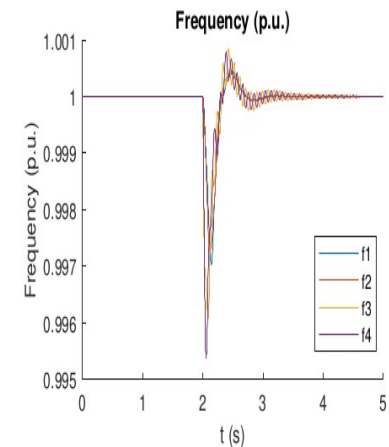
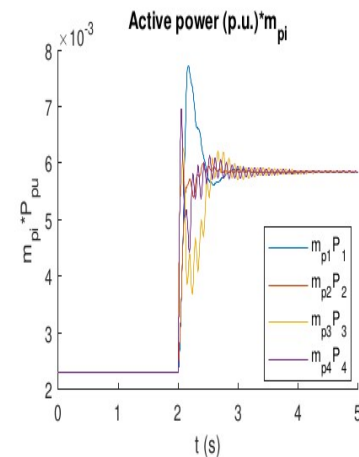
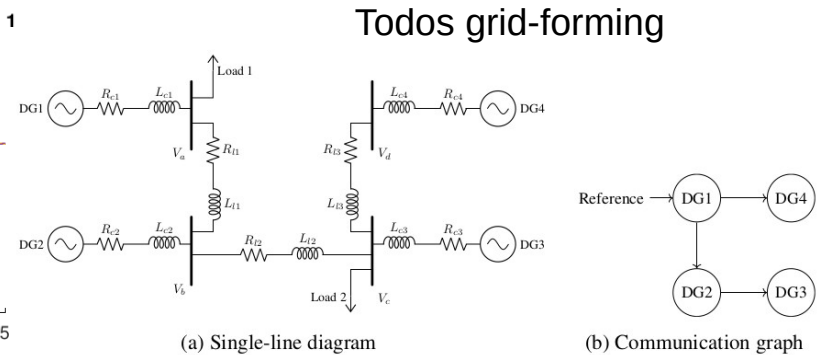
Figuras de: E. A. A. Coelho, D. Wu, J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, T. Dragičević, Č. Stefanović, and P. Popovski, "Small-Signal Analysis of the Microgrid Secondary Control Considering a Communication Time Delay," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 10, pp. 6257–6269, 2016 y A. Bidram, F. L. Lewis, and A. Davoudi, "Distributed Control Systems for Small-Scale Power Networks," IEEE Control systems Magazine, vol. 34, no. 6, pp. 56–77, 2014.

Control Multi-agente en Microrredes: Consenso en frecuencia y reparto de potencias



Siguiendo ref. V

Consenso en reparto de Q



Consenso en reparto de P y frecuencia

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

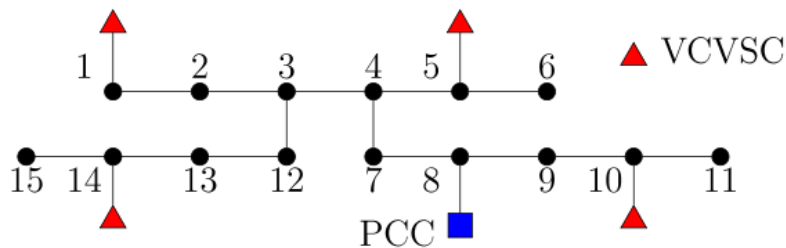


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

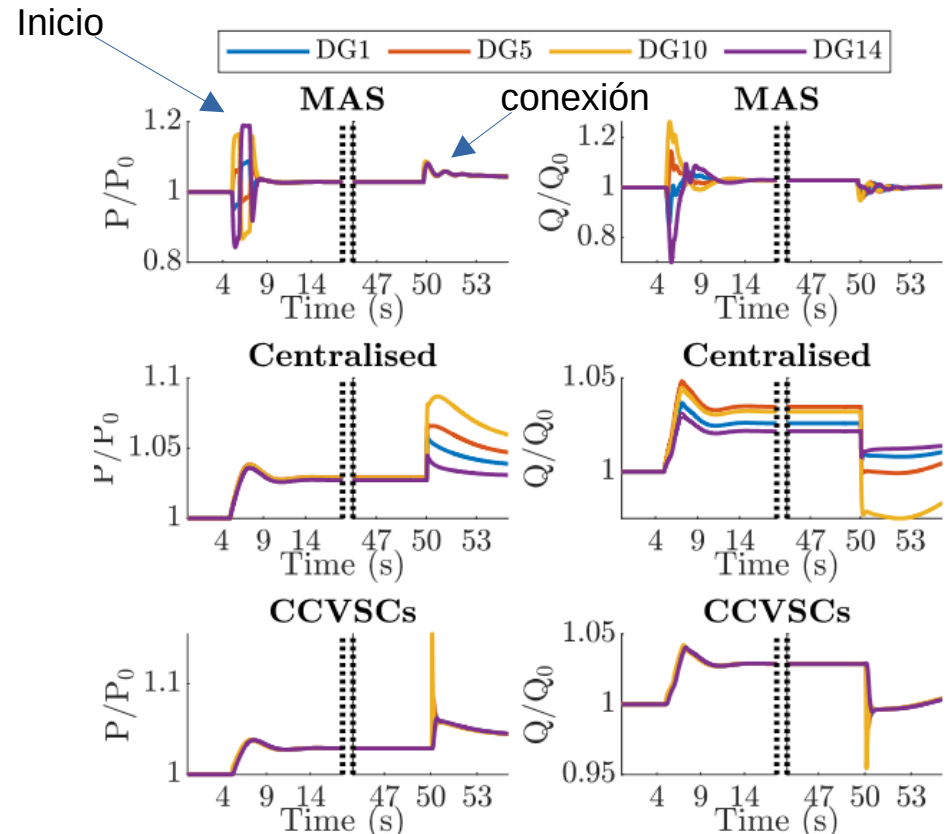


Comunidad
de Madrid

Control Multi-agente en Microrredes: Sincronización de una microrred



- Inicialmente, G1 es el líder
- Una vez la microrred de la figura está a 50Hz, se sincroniza con la red principal en PCC
- En este proceso “PCC” pasa a ser el líder
- En el momento de conexión: misma tensión, misma frecuencia y mismo ángulo.



- En 8s se alcanzan las condiciones y en 50s (aprox) se cierra el interruptor

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

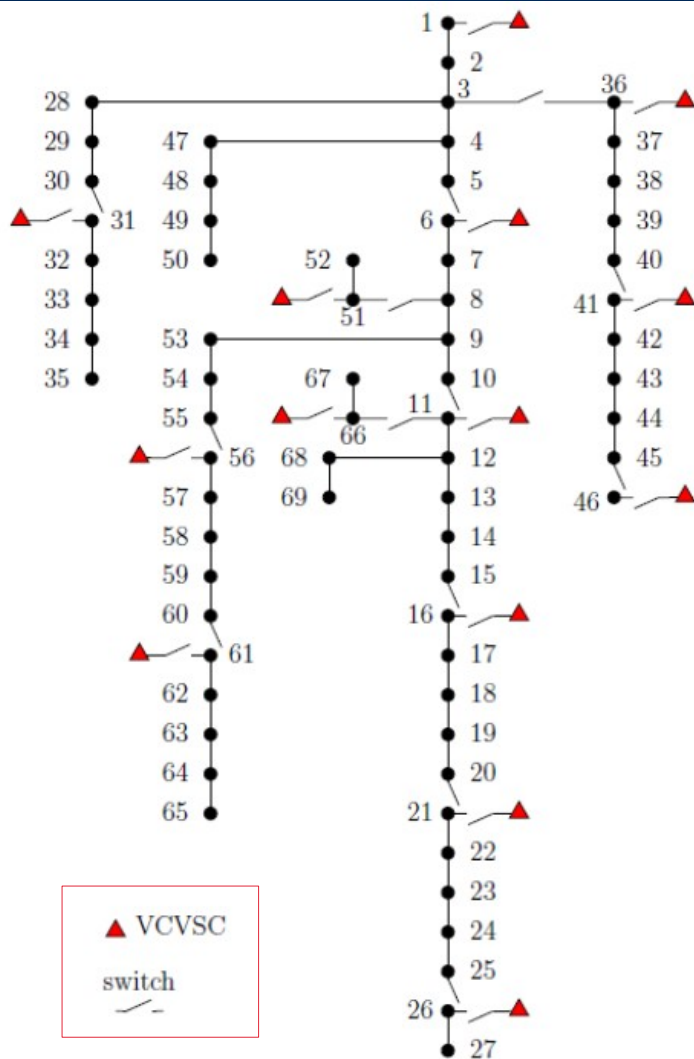
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Control Multi-agente en Microrredes: Sincronización de una microrred (cont.)



- Red de 69 nudos, de distribución (CIGRE)
- Arranque “en negro” de forma centralizada, con una secuencia predeterminada
- Arranque “en negro” por agentes, con un “grafo” predeterminado y una secuencia predeterminada

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

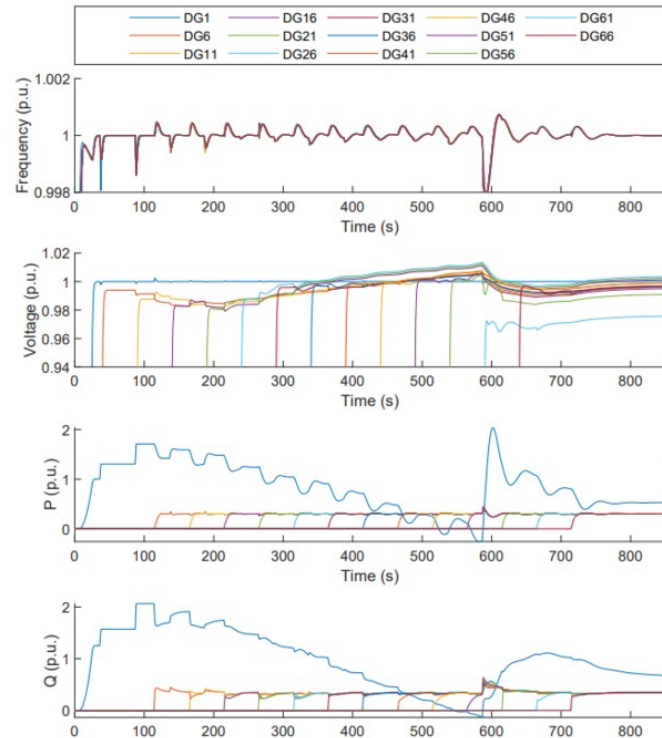
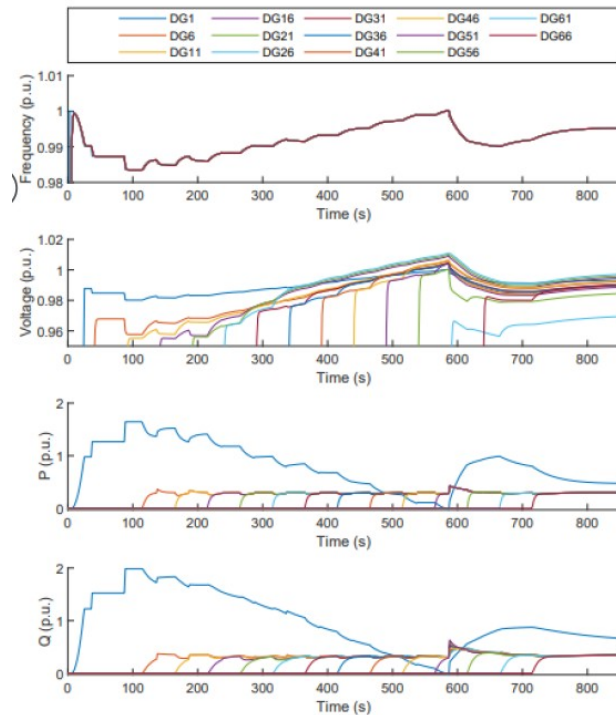
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Iniciativa de Empleo Juvenil



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Control Multi-agente en Microrredes: Arranque en distribución con generación distribuida



- Arranque **con y sin control secundario** de frecuencia
- Arranque con control **centralizado**

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Iniciativa de Empleo Juvenil

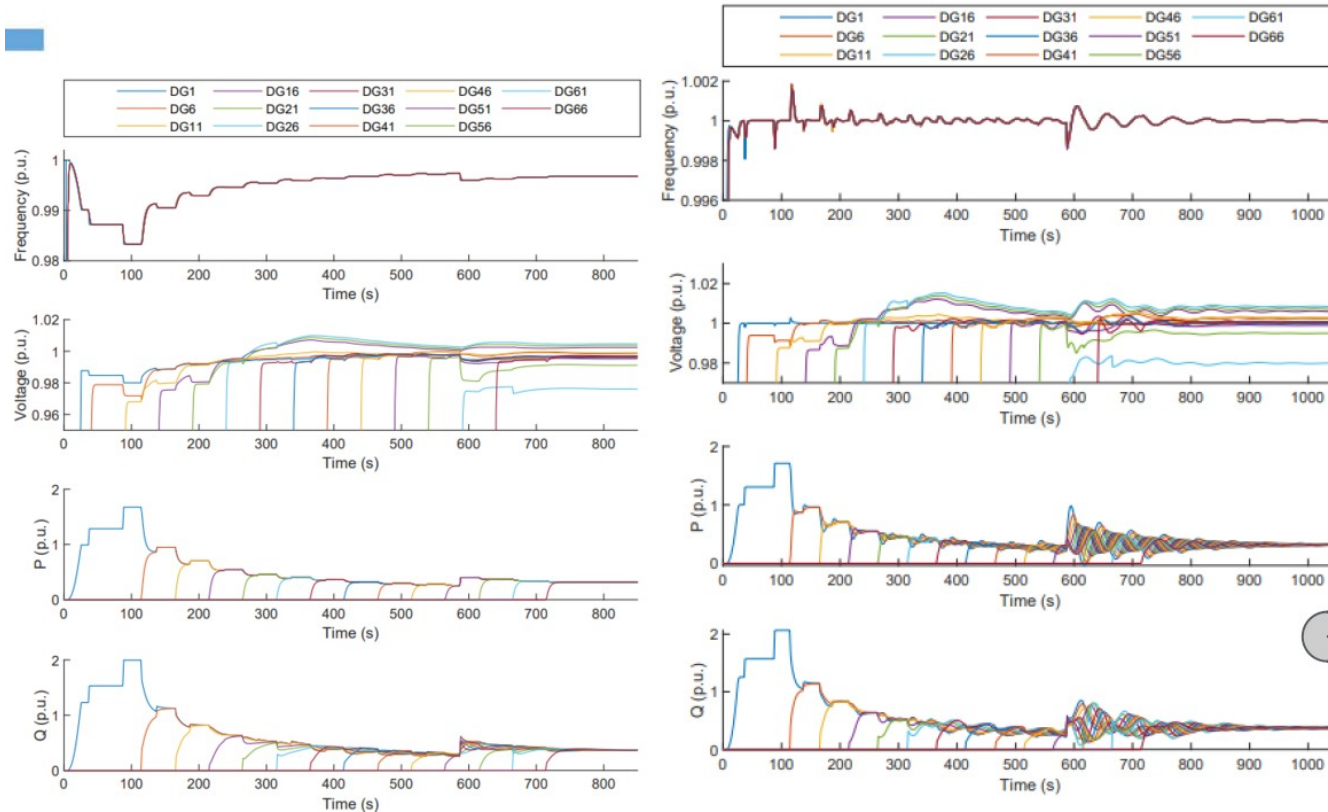


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Control Multi-agente en Microrredes: Arranque en distribución con generación distribuida



- Arranque **con y sin control secundario** de frecuencia
- Arranque con control **con agentes**

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Iniciamos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Control Multi-agente en Microrredes: Consenso en frecuencia y reparto de potencias

Resumen:

- Es posible controlar la frecuencia en una microrred haciendo uso del consenso, sin comunicaciones centralizadas: Cada “agente” solo tiene información parcial de lo que hacen los otros. (*)
- También es posible repartir P cuando se produce un cambio inesperado en las condiciones de carga o generación (**)
- Y se puede repartir la Q (**) o mantener el valor de las tensiones (*)
- Se puede llegar a la sincronización, también con un control basado en agentes
- El tema del “arranque en negro” surge de forma natural después de haber solucionado el punto anterior
- La herramienta presentada anteriormente, permite hacer el análisis modal de este tipo de sistemas, incluyendo el efecto de la latencia de las comunicaciones

(*) En VCVSC

(**) En VCVSC y CCVSC

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




Comunidad
de Madrid

Aprendizaje Profundo por Refuerzo: Aplicación a microrredes inteligentes (Ob4 y Ob4)

OBJETIVOS

- Minimización del coste y de la “energía no despachada” en microrredes con mix de generación variado
- Sin modelos complejos y sin predicción
- Frente a técnicas de optimización clásicas con información completa

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

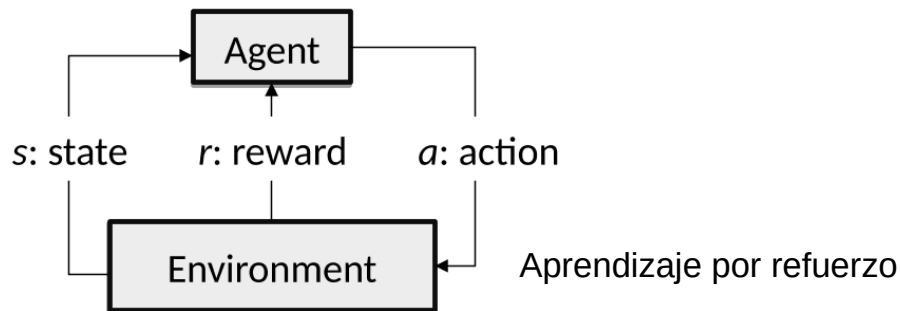
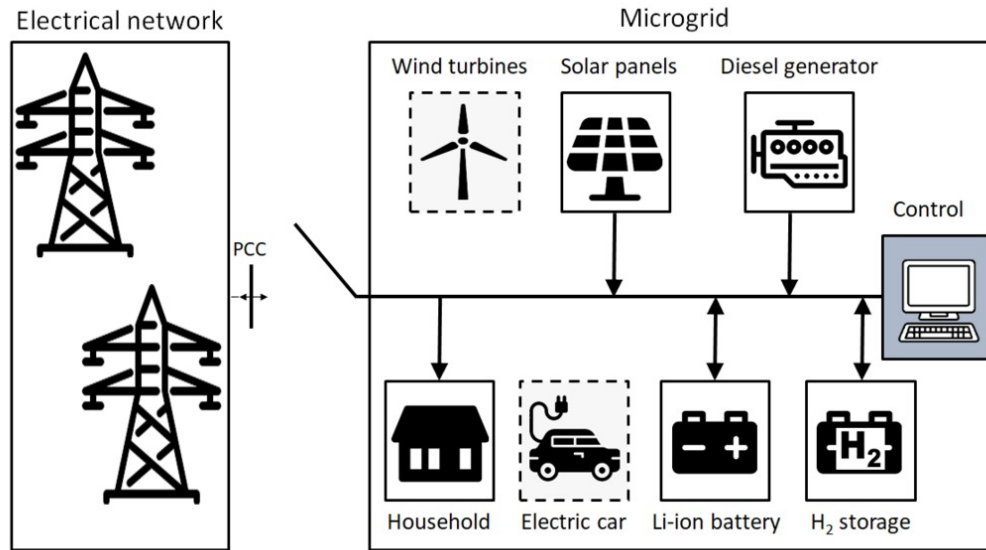
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

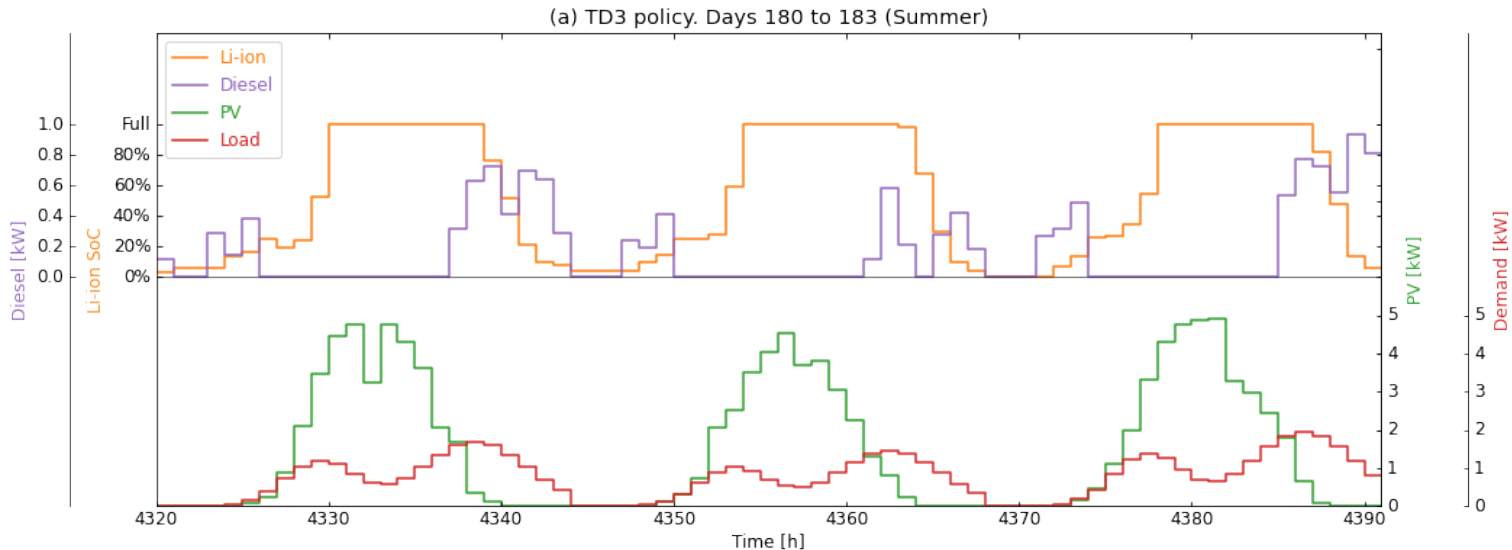


Aprendizaje Profundo por Refuerzo



- Se tienen datos históricos, para renovables.
- **Alternativas:**
- “Aprender la estrategia óptima” vs “Algoritmos convencionales con *info completa*”

Aprendizaje Profundo por Refuerzo



- Después de haber aprendido con un año y corregido con otro
- Actividad en unos días de **verano** con la red entrenada
- **La batería** aprovecha para cargarse en las horas de sol
- **El diésel** genera cuando no hay **sol (PV)** para completar la energía suministrada de **la batería**

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

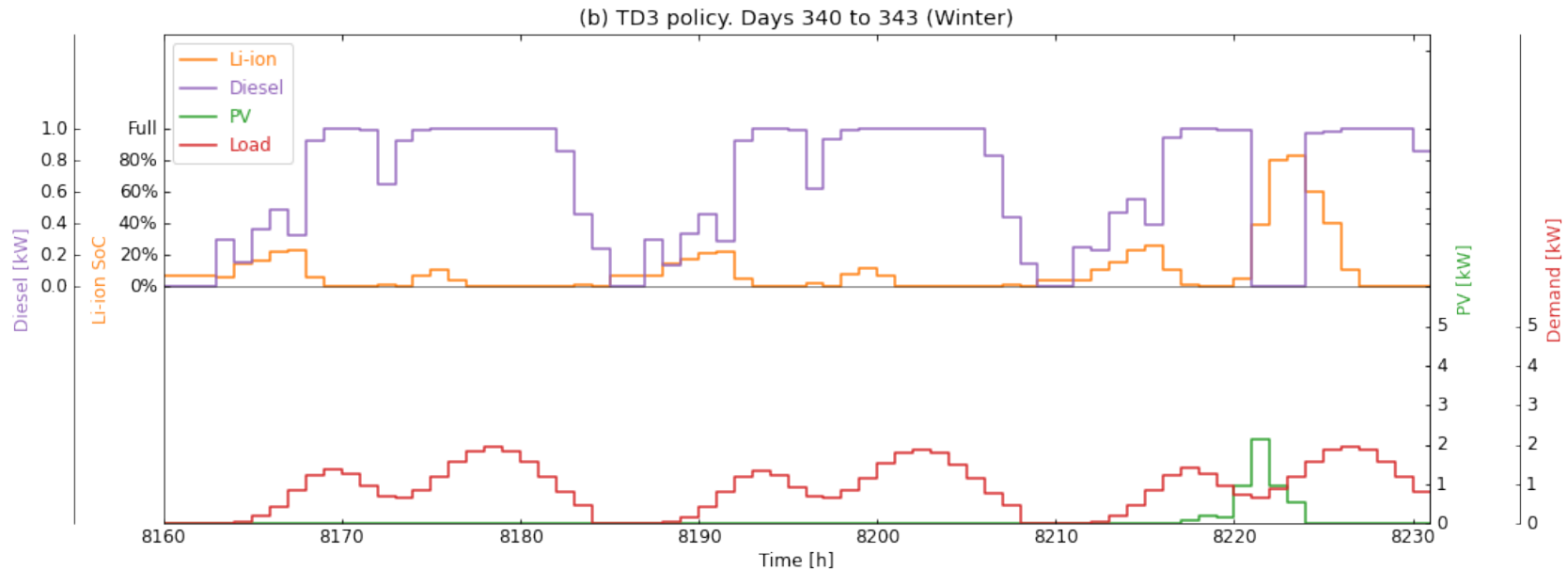


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Aprendizaje Profundo por Refuerzo



- Actividad en unos días de **invierno** con la red entrenada
- **La batería** aprovecha para cargarse en las pocas horas de sol
- **El diésel** genera, mucho tiempo, cuando no hay **sol (PV)** para completar la energía suministrada de **la batería**

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Aprendizaje Profundo por Refuerzo

Table 3. Accumulated cost of each algorithm [€].

Cost [€]	Year 1	Year 2	Year 3	Total	Relative $(X - BEST)/BEST \cdot 100$
MIQP (GAP 6%)	967.34	864.05	846.04	2677.43	0.00%
RL k = 3	1305.94	1126.49	1239.35	3671.77	37.14%
RL k = 6	1355.80	1140.92	1248.61	3745.33	39.89%
RL k = 9	1299.56	1123.53	1230.50	3653.59	36.46%
RL k = 12	1389.60	1198.63	1308.11	3896.33	45.52%
RL k = 15	1348.61	1174.02	1268.02	3790.64	41.58%
RL k = 18	1503.69	1307.67	1443.58	4254.94	58.92%
RL k = 21	1634.33	1441.21	1551.68	4627.22	72.82%
RL k = 24	1515.46	1320.44	1439.12	4275.02	59.67%
Naive	3778.74	3681.04	3678.82	11,138.60	316.02%
Random	4816.64	4554.78	4695.17	14,066.59	425.38%

→ Mejor posible

Ventana de k instantes para evaluar el estado de la red

→ Carga cuando hay exceso,
Descarga si no hay

→ Peor posible

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Aprendizaje Profundo por Refuerzo

RESUMEN:

- Un algoritmo que gestiona una red y aprende de los errores
- No se necesita un modelo preciso
- El entrenamiento del algoritmo es importante, pero hay que evitar que sobre-aprenda sobre un conjunto limitado de escenarios
- Se ha probado en un sistema sencillo y pequeño y en una red de distribución típica de CIGRE
- En las últimas versiones se consigue mejor resultado si se modela la generación diésel de forma continua y no solo como encendido/apagado.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

Optimización de la infraestructura ferroviaria (metro) en IIT: recuperación de energía (Ob3)

OBJETIVO Y PROPIEDADES

- Colocación y dimensionamiento óptimos de estaciones reversibles y/o acumuladores en una red de metro
- Modelos detalladas de tráfico y de la infraestructura ferroviaria
- Flexibilidad para definir la topología del circuito
- Ayuda a la decisión para la instalación de la infraestructura (proyectos en una o varias etapas de desarrollo)

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

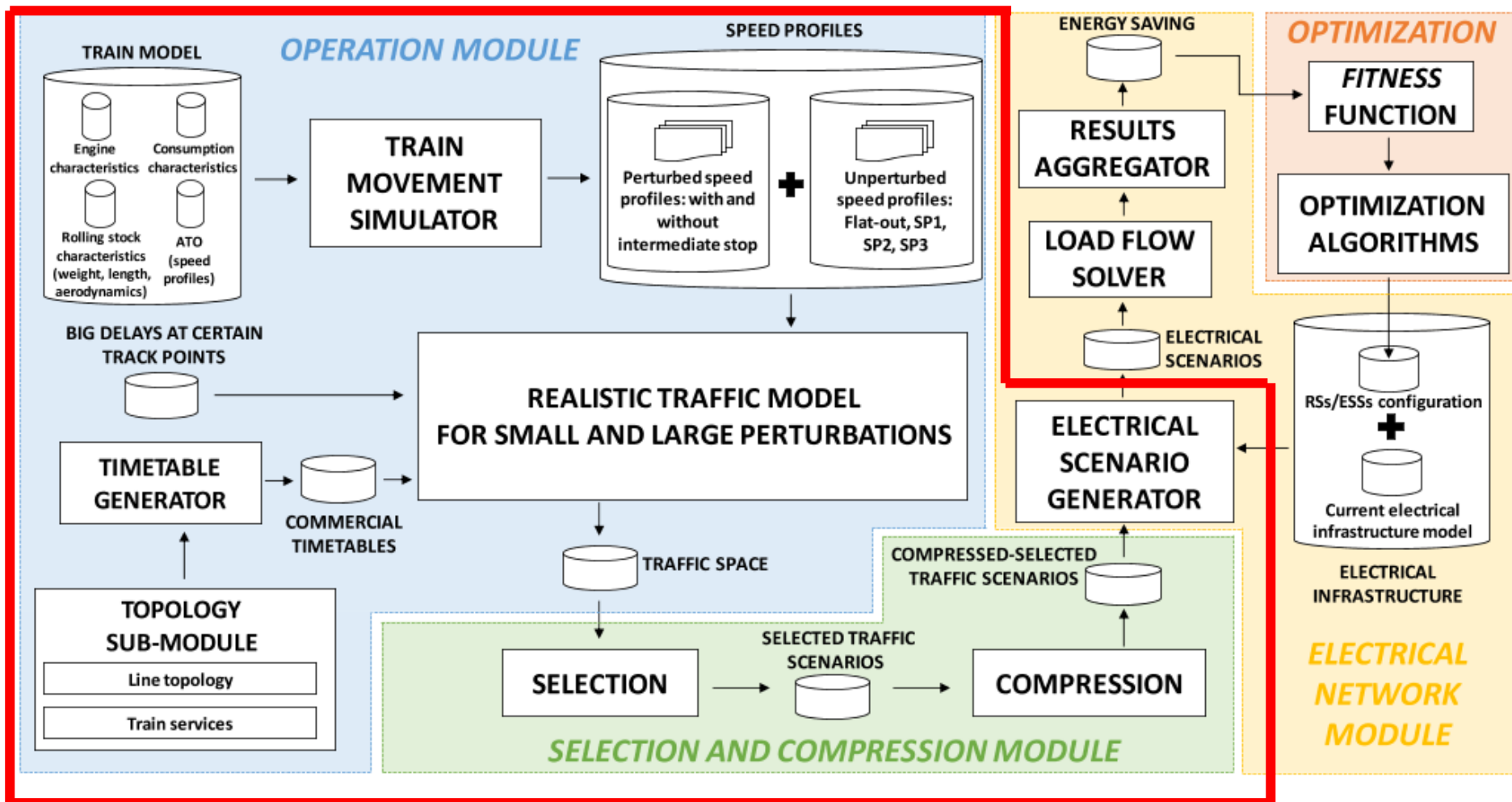


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

Optimización de la infraestructura ferroviaria (metro) en IIT: recuperación de energía



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

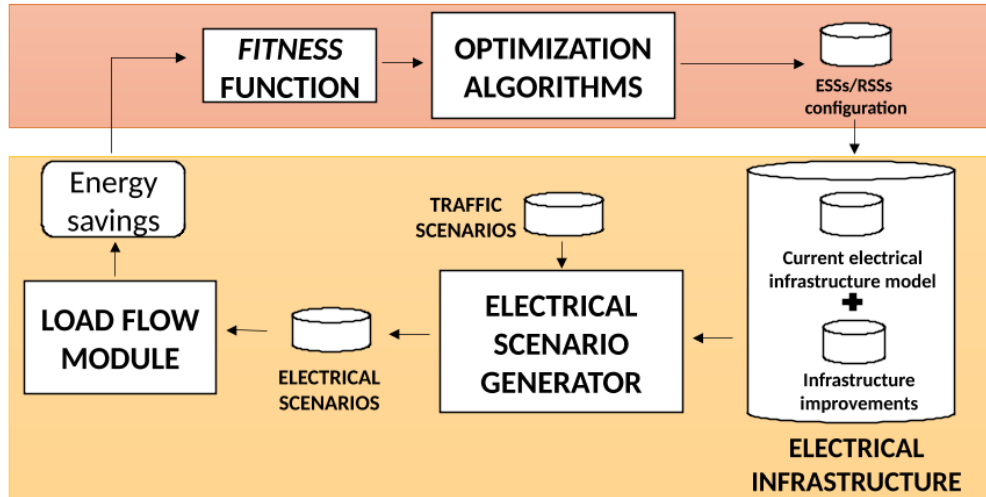


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

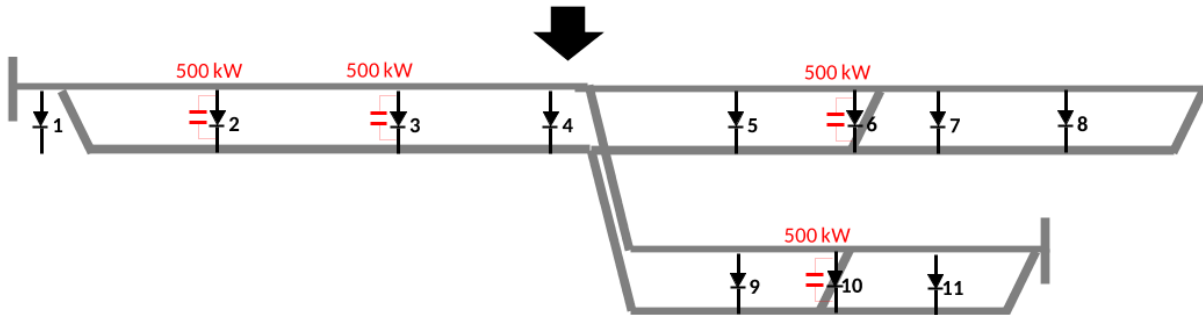


Comunidad
de Madrid

Optimización de la infraestructura ferroviaria (metro) en IIT: recuperación de energía



- Optimización inspirada en la naturaleza
- Simulador detallado
- Implementación sistemática de cualquier topología



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



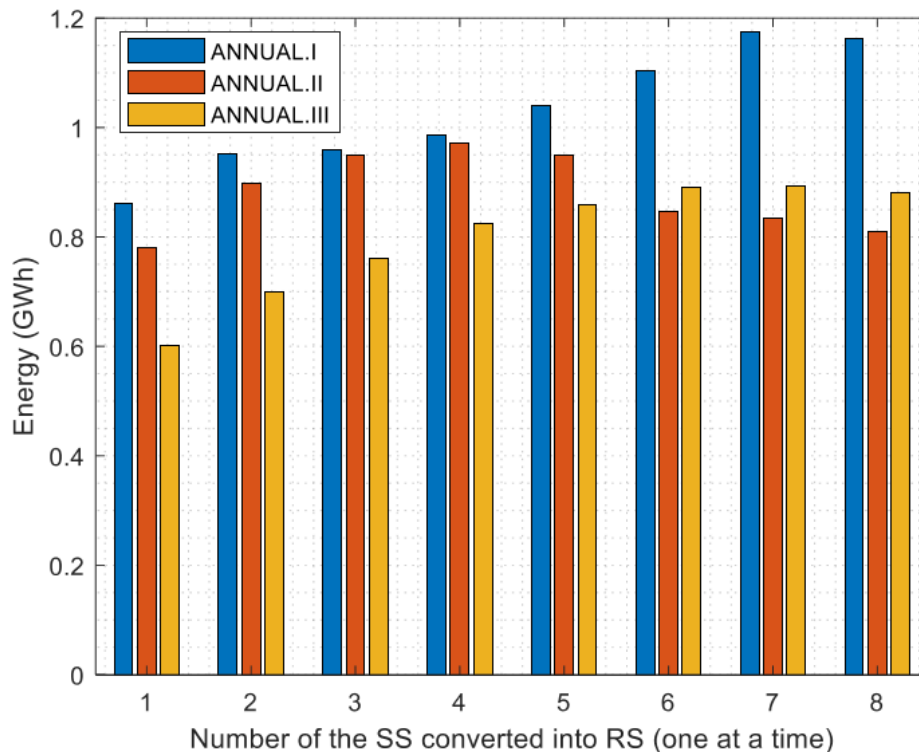
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



**Comunidad
de Madrid**

Optimización de la infraestructura ferroviaria (metro) en IIT: recuperación de energía

- Ejemplo y resumen: Ahorro energético esperado. Simulación detallada vs simplificada (de la tesis de D. Roch)



- La simulación simplificada, sobreestima el ahorro
- El gran número de escenarios tiene gran coste computacional
- Gracias a la colaboración con GHEODE, se pueden abordar más escenarios
- Se puede incluir inversión por etapas

— Simplificado
— Peq. pert.
— Gran pert.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

¡Gracias por su atención!

Área de investigación de sistemas ferroviarios:

<https://www.iit.comillas.edu/area-investigacion/asf>

Área de modelado de sistemas de energía:

<https://www.iit.comillas.edu/area-investigacion/sadse>

Área de redes inteligentes y sostenibles:

<https://www.iit.comillas.edu/area-investigacion/redes>

Área de modelado, análisis y control:

<https://www.iit.comillas.edu/area-investigacion/mac>

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**