

GRUPO GEA-IIT
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Reunión: 11 de diciembre de 2020

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

INTRODUCCIÓN

Aspectos del trabajo realizado

- Objetivo 3: “Recuperación energética en redes de transporte ferroviario y su integración en microrredes urbanas”
- Objetivo 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.”
- Objetivo 4: “Diseño e implementación de un sistema de gestión de energía para sistemas híbridos de generación renovable y almacenamiento en baterías.”

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



Ob3 “Recuperación de energía en redes de transporte ferroviario en CC”

Optimización de la infraestructura ferroviaria: recuperación de energía.

OBJETIVO Y PROPIEDADES

- Colocación y dimensionamiento óptimos de estaciones reversibles y acumuladores
- 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

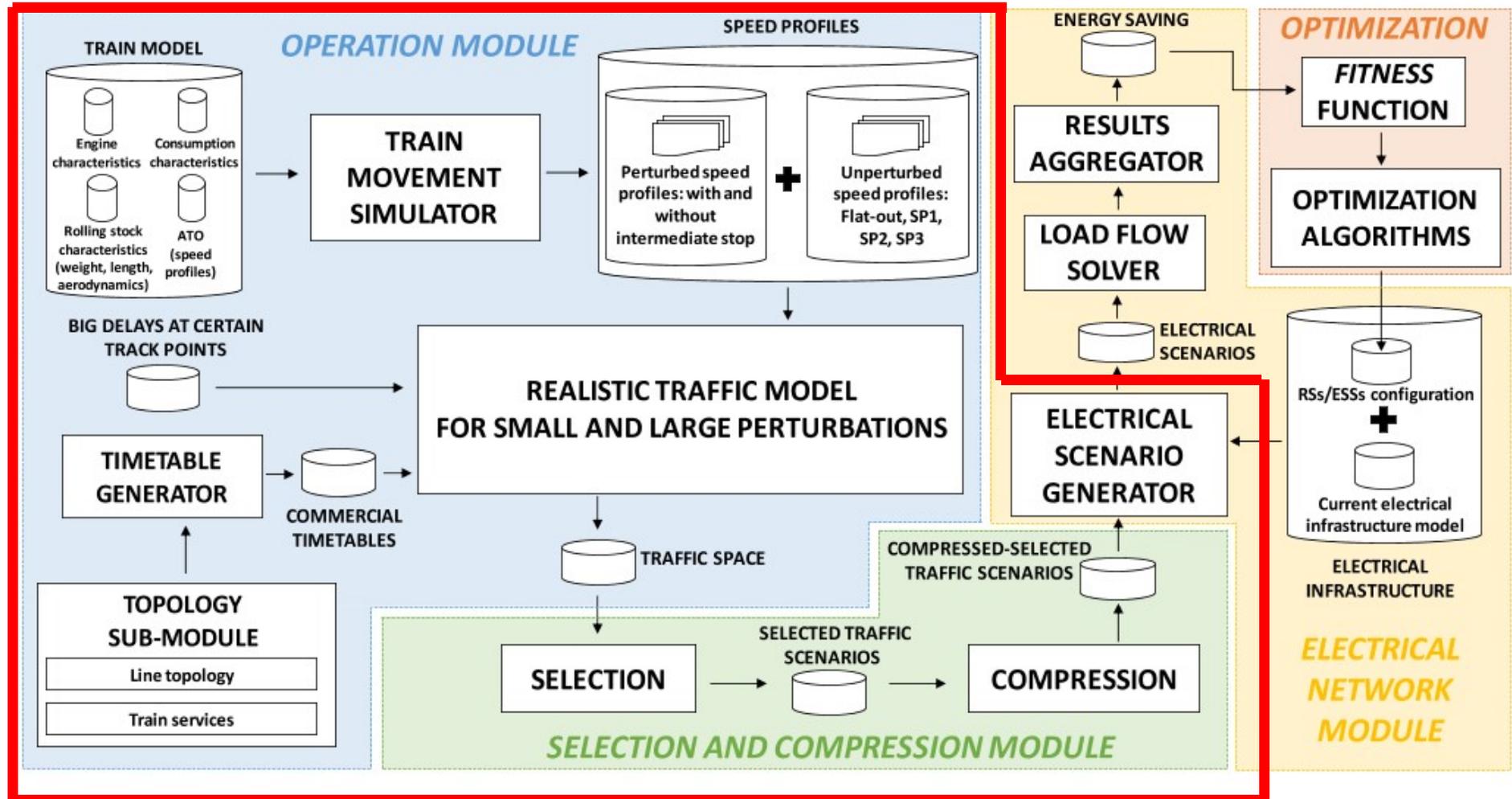
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Ob3 “Recuperación de energía en redes de transporte ferroviario en CC” [ESCENARIOS DETALLADOS]



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

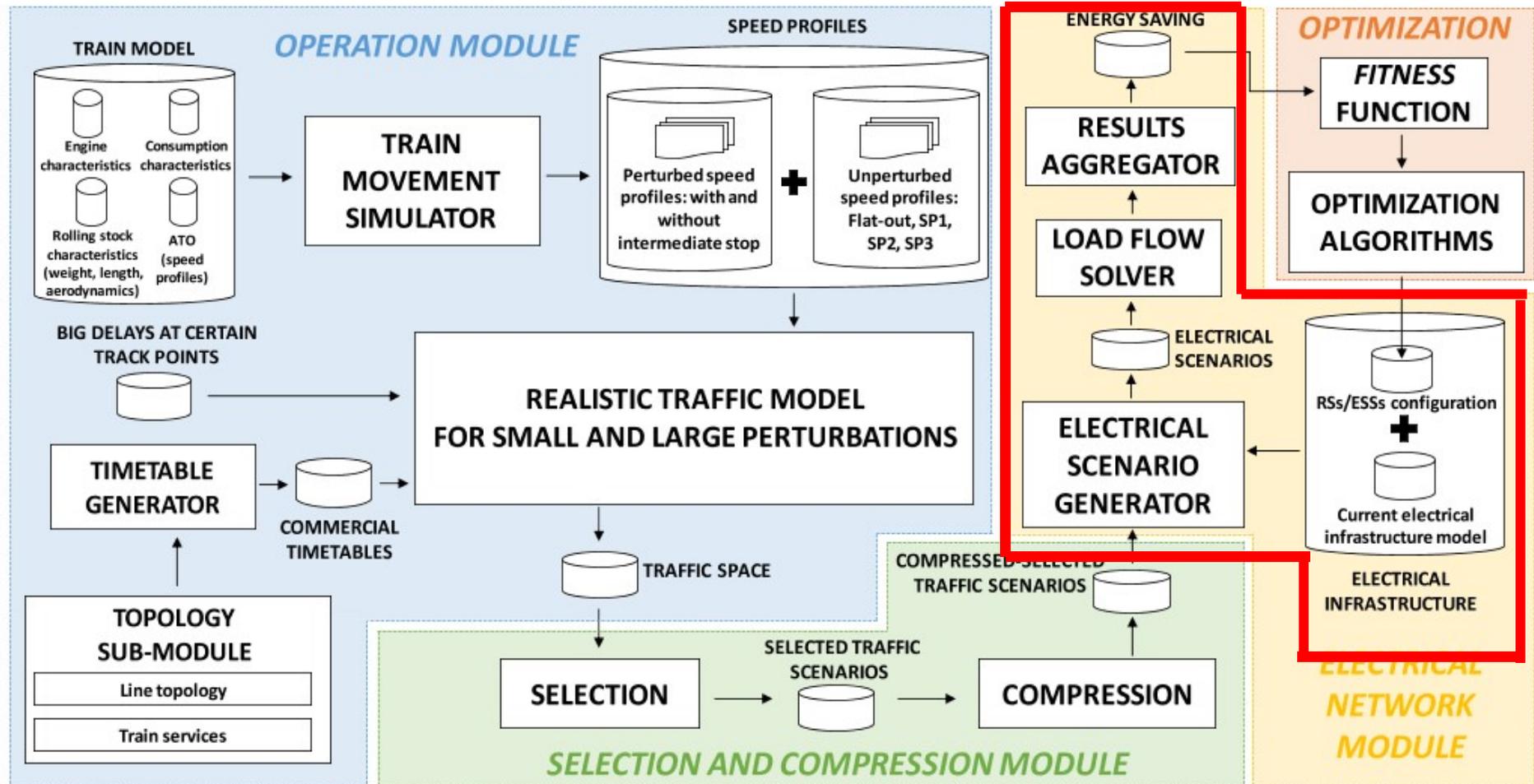


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Ob3 “Recuperación de energía en redes de transporte ferroviario en CC” [SIMULADOR ELÉCTRICO CONTRASTADO]



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

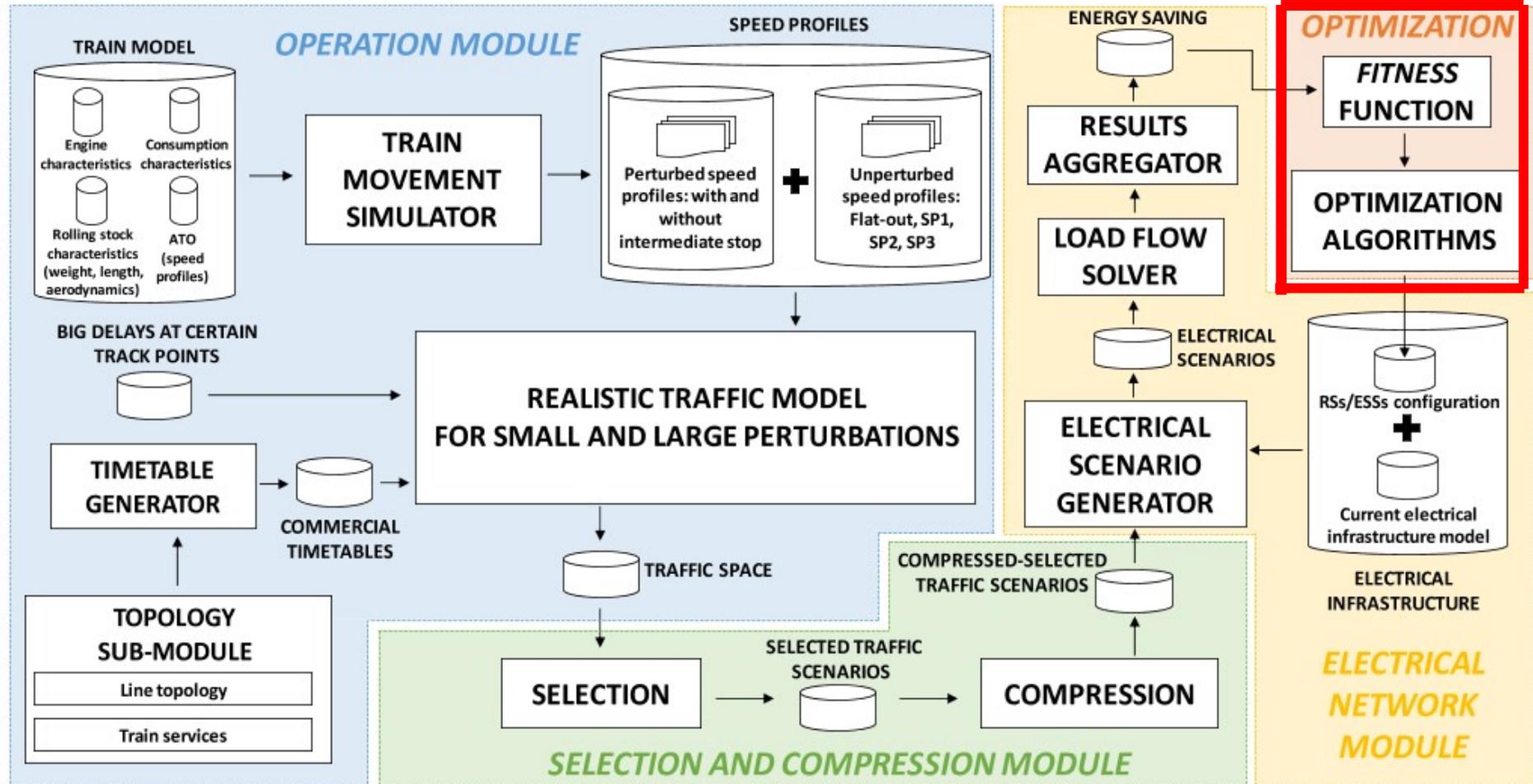


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Ob3 “Recuperación de energía en redes de transporte ferroviario en CC” [COSTE DE LA INFRAESTRUCTURA]



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

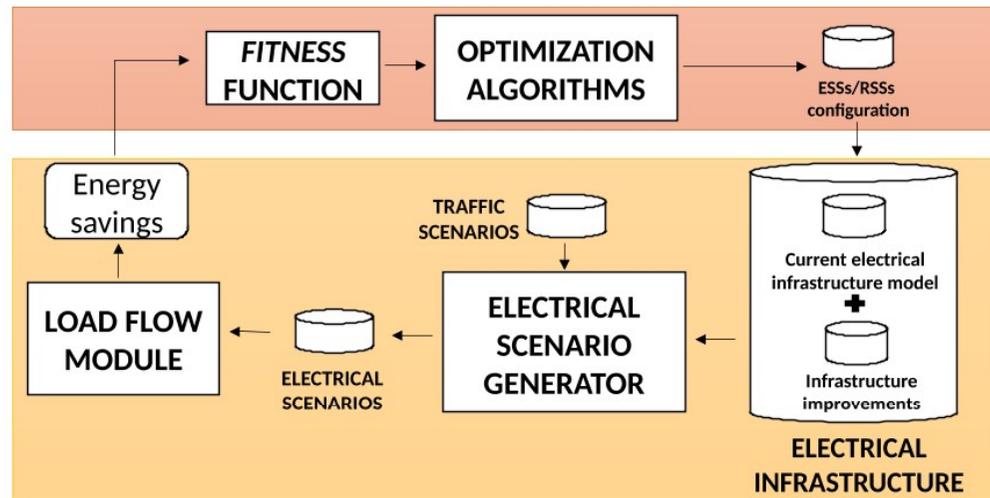


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

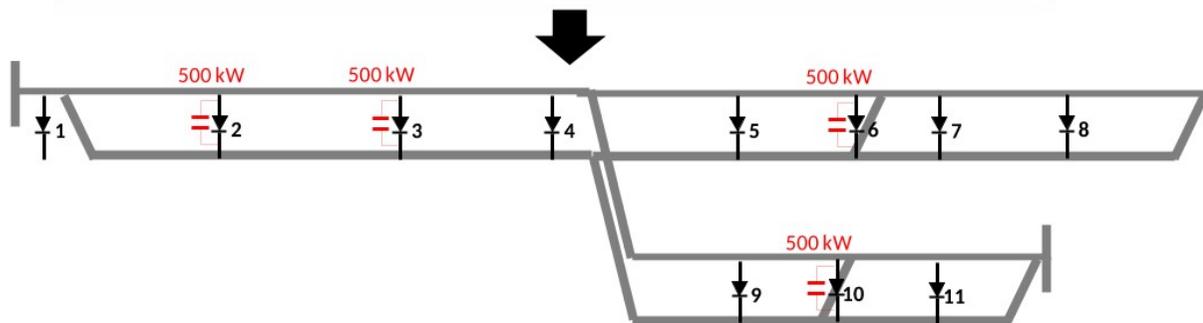


Comunidad
de Madrid

Ob3 “Recuperación de energía en redes de transporte ferroviario en CC” [OPTIMIZACIÓN Y 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



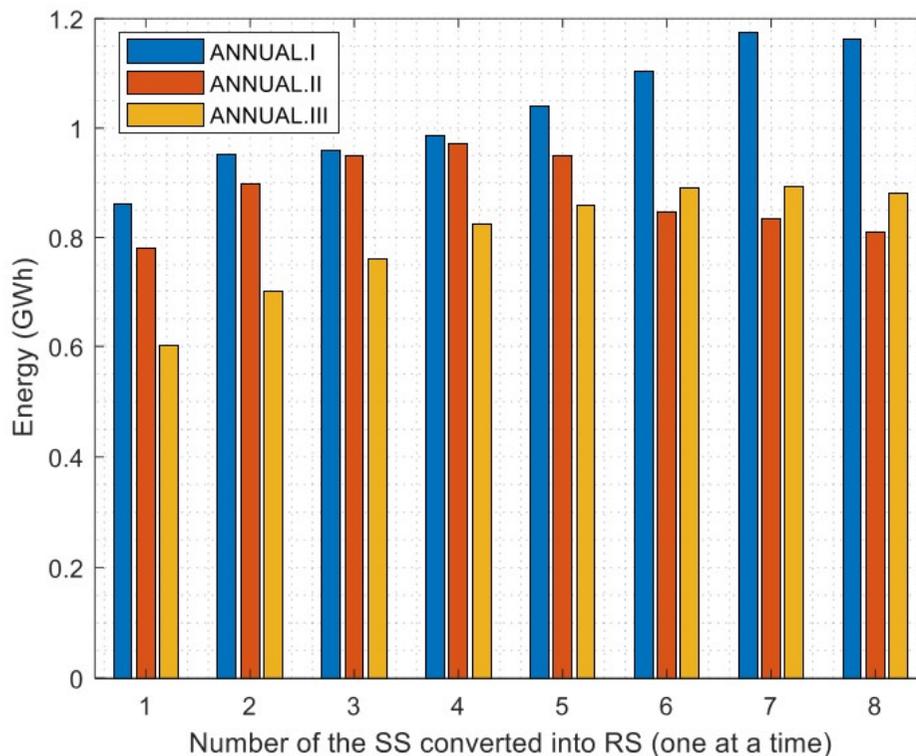
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Obj3: “Mejora de la eficiencia energética en sistemas ferroviarios de CC” [OPTIMIZACIÓN Y RECUPERACIÓN DE ENERGÍA]

- Ejemplo: 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



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

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.”

Aprendizaje por refuerzo profundo (deep reinforcement learning):

OBJETIVOS

- Minimización de la “energía no despachada” en microrredes con mix de generación variado
- Sin modelos complejos
- Frente a técnicas de optimización clásicas

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**

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [Aprendizaje por refuerzo profundo]

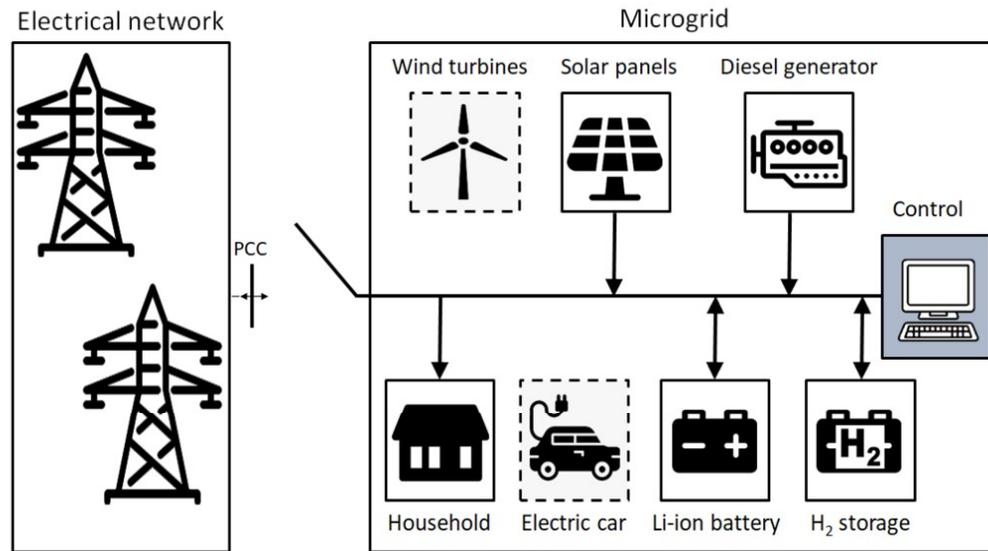
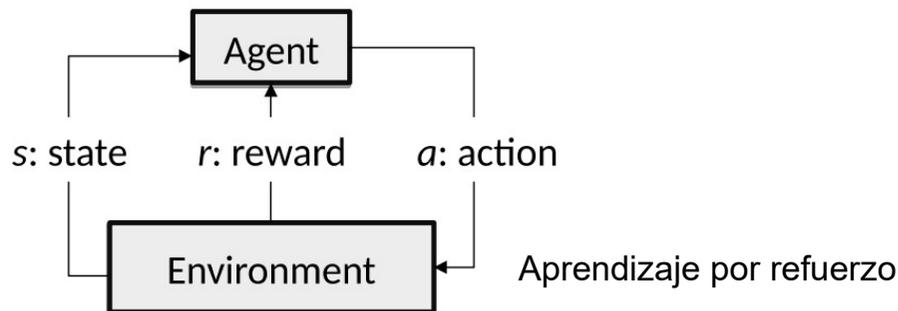


Figure 1. Schematic example of a microgrid.



- Modelos poco complejos
- Basado en datos históricos, para renovables.
- Sin necesidad de predicción (ni demanda, ni generación)
- **Alternativas:**
- “Aprender la estrategia óptima”
- vs “Algoritmos convencionales con *info completa*”

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

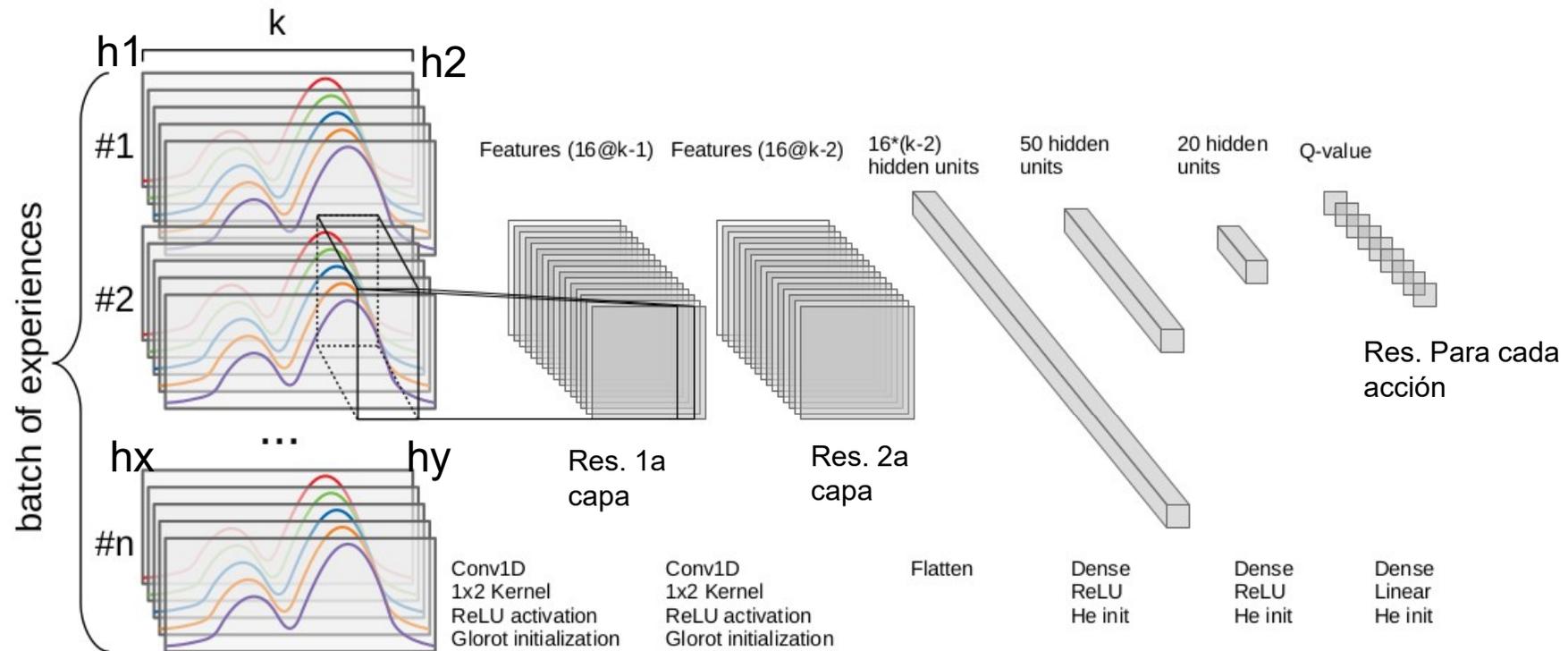


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



**Comunidad
de Madrid**

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [Aprendizaje por refuerzo profundo]



- Se minimiza la “energía no despachada” Deep Q-Network (DQN)
- Se usa una ANN para estimar la “calidad de la solución”
- En cada paso se calcula la energía suministrada por la batería, la pila de hidrógeno y el generador diésel

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTELIGENTES Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



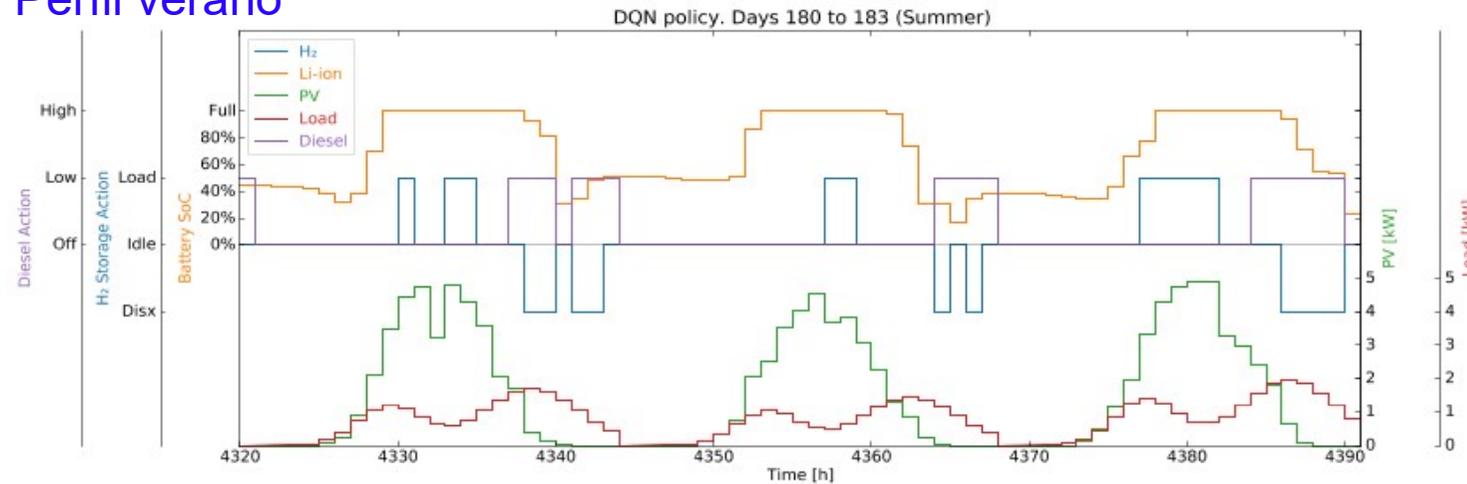
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



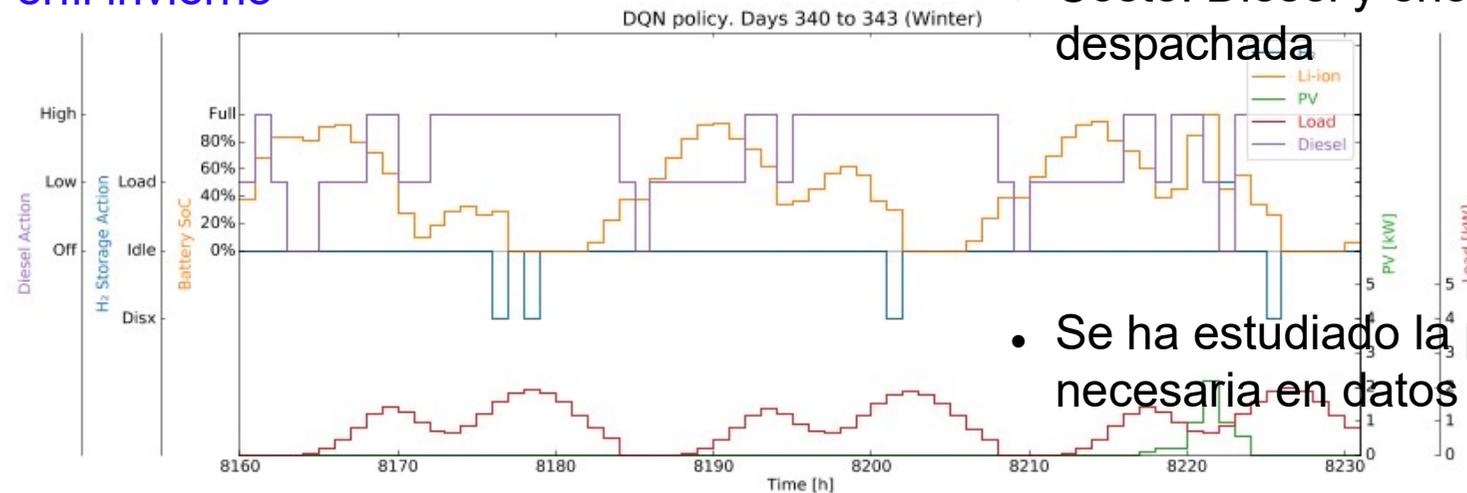
**Comunidad
de Madrid**

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [Aprendizaje por refuerzo]

Perfil verano



Perfil invierno



- Coste: Diésel y energía no despachada

- Se ha estudiado la profundidad necesaria en datos históricos

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [Aprendizaje por refuerzo]

Resultados frente a un algoritmo con info completa

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%

- Robustez para distintos tipos de microrred
- Introducir mercado de la energía k tamaño de la venta
- Algoritmos alternativos
- Considerar agentes

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**

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [ANÁLISIS MODAL]

Elementos en el modelado de microrredes:

- Generación “electrónica”
- Generación/control distribuida(o)
- Estabilidad, coordinación, interferencias
- Desequilibrios

ANÁLISIS MODAL (fundamentos)

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

$$\begin{array}{l} \frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} = f(\mathbf{X}_{dq}, \mathbf{U}_{dq}) \\ \mathbf{Y}_{dq} = g(\mathbf{X}_{dq}, \mathbf{U}_{dq}) \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} \Big|_{\mathbf{X}_{dq,0}, \mathbf{U}_{dq,0}} = 0 \\ \mathbf{Y}_{dq,0} = g(\mathbf{X}_{dq,0}, \mathbf{U}_{dq,0}) \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{X}_{dq} + \mathbf{B}\mathbf{U}_{dq} \\ \mathbf{Y}_{dq} = \mathbf{C}\mathbf{X}_{dq} + \mathbf{D}\mathbf{U}_{dq} \end{array}$$

Sistema eléctrico (dq)
No lineal

Punto Equilibrio

Sistema eléctrico (dq)
Lineal

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**

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [APLICACIONES ANÁLISIS MODAL]

¿Cuándo es importante la dinámica de las líneas?

- Ignorar la dinámica de las líneas, puede llevar a sobre-estimar los valores posibles de las K_s de los “droops”
- La dinámica de la línea tiene el efecto de un retraso en la realimentación
- La capacidad de transmisión entre VSC1 y VSC2 aumenta al disminuir la impedancia ...
- ... simultáneamente, se reduce el margen de estabilidad

(*) VSC1

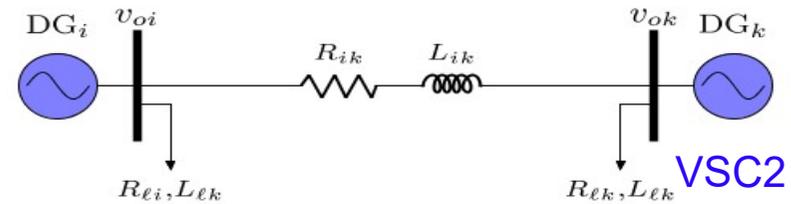


Fig. 2. Two-inverter based autonomous microgrid

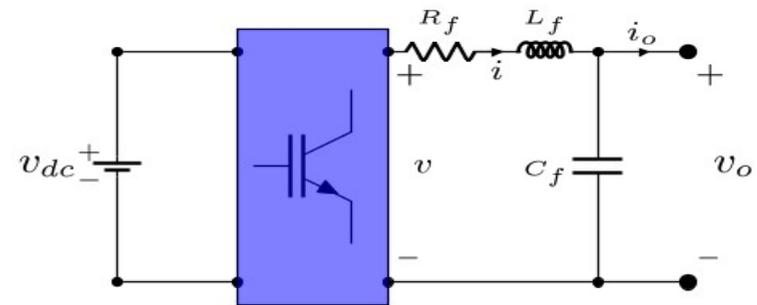


Fig. 3. Schematic diagram of an AC inverter

(*) 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

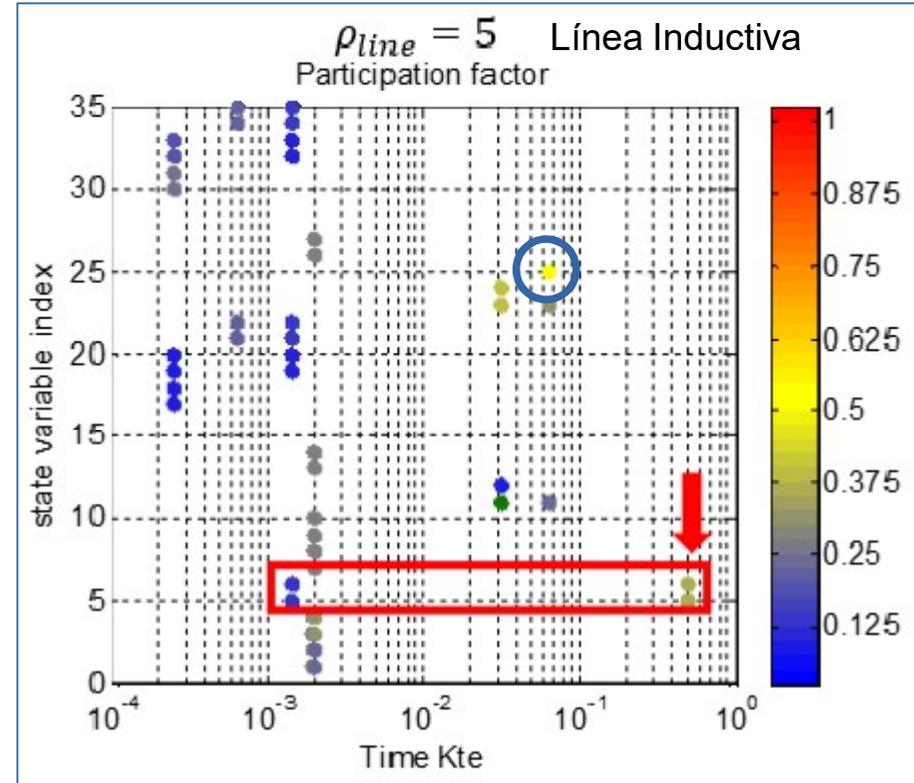
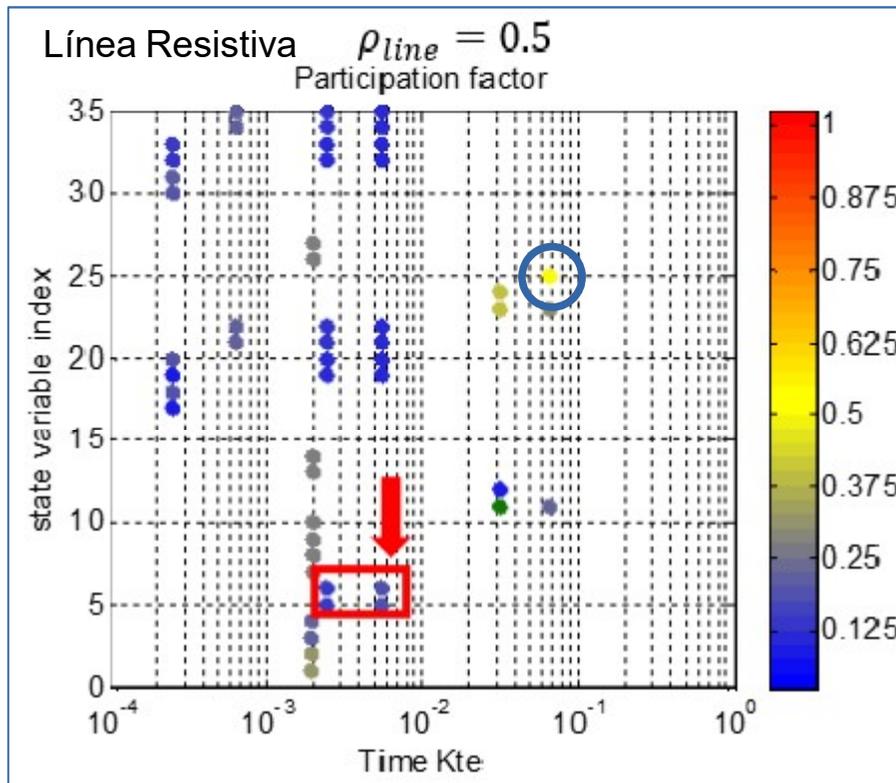


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [APLICACIONES ANÁLISIS MODAL]



Modos del sistema completo. Los VSC se conectan SIN transformador.



Participa en ángulo de VSC2



Participa en la corriente línea

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTELIGENTES Comunidad de Madrid

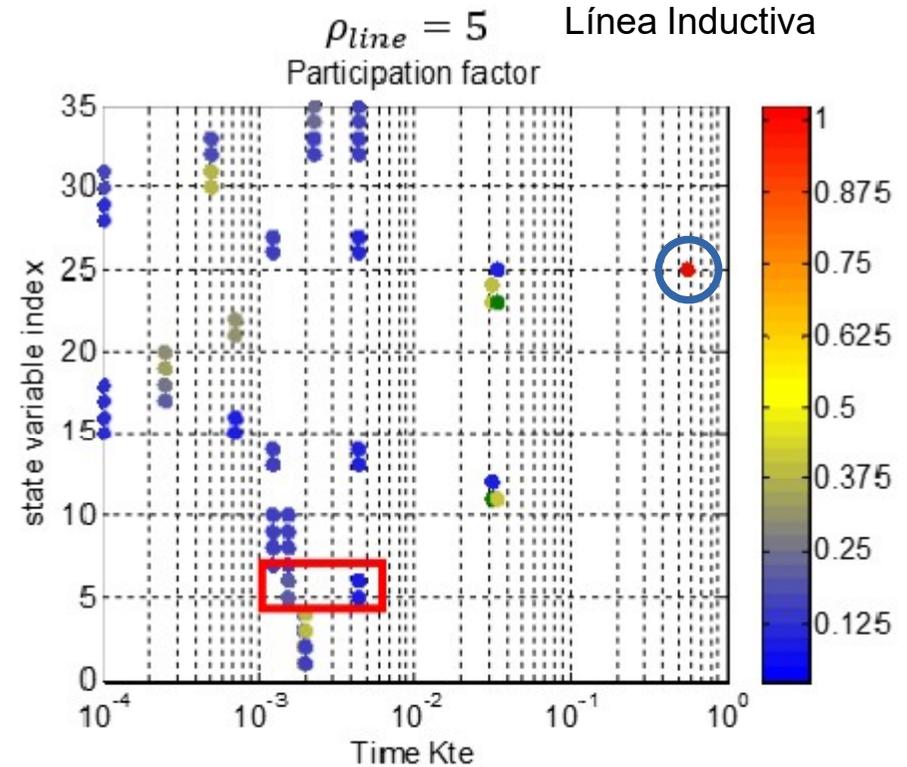
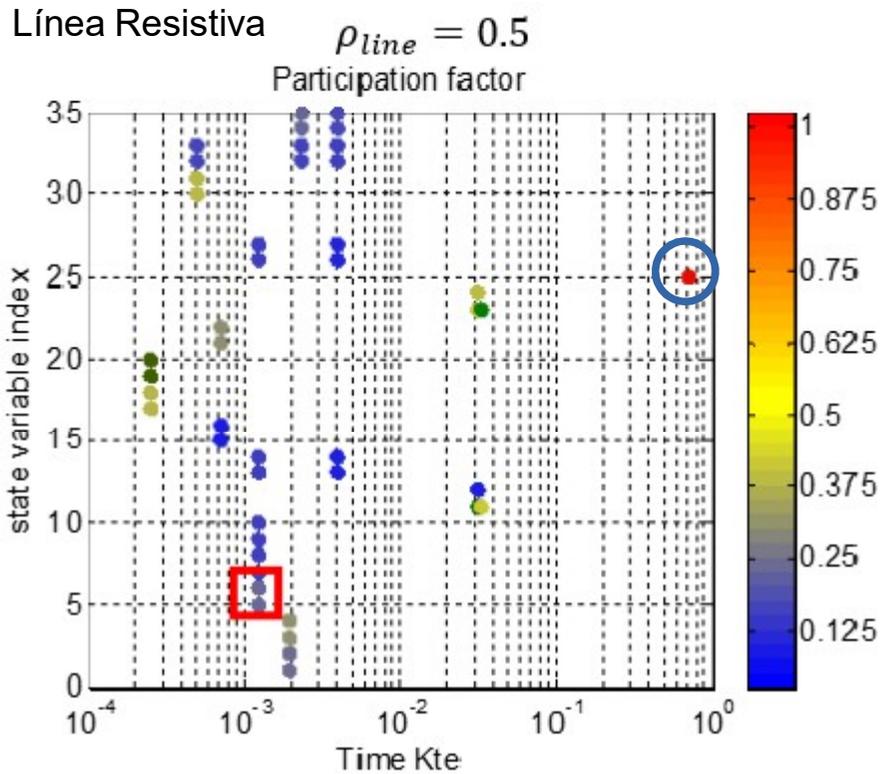
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [APLICACIONES ANÁLISIS MODAL]



Modos del sistema completo. Los VSC se conectan CON transformador.

 Participa en ángulo de VSC2

 Participa en la corriente línea

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTELIGENTES Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

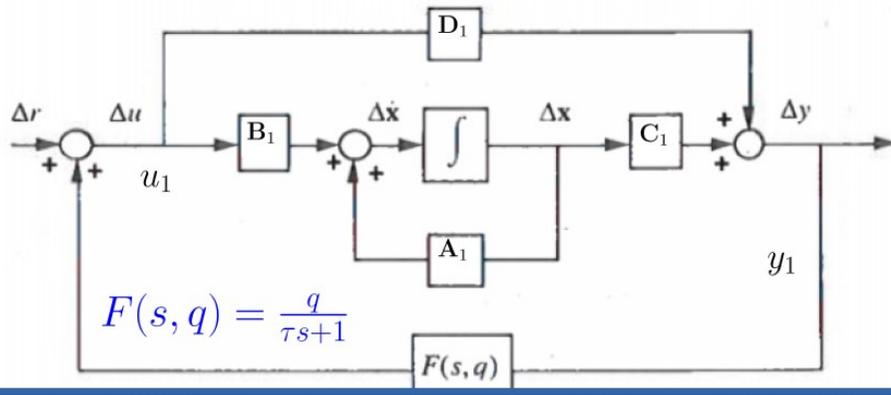


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [SENSIBILIDADES DE LOS MODOS]



$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{X}_1}{dt} &= \mathbf{A}_1\mathbf{X}_1 + \mathbf{B}_1u_1 \\ y_1 &= \mathbf{C}_1\mathbf{X}_1 + \mathbf{D}_1u_1 \end{aligned} \quad \text{Sistema}$$

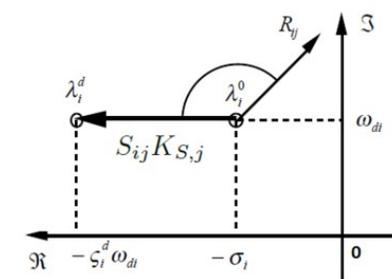
$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{X}_2}{dt} &= \mathbf{A}_2\mathbf{X}_2 + \mathbf{B}_2y_1 \\ y_2 &= \mathbf{C}_2\mathbf{X}_2 + \mathbf{D}_2y_1 \end{aligned} \quad \text{Regulador}$$

con $u_1 = \Delta r + y_2$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\mathbf{X}^c}{dt} &= \mathbf{A}^c\mathbf{X}^c + \mathbf{B}^c\Delta r \\ y_1 &= \mathbf{C}^c\mathbf{X}^c + \mathbf{D}^c\Delta r \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{\partial \lambda_i}{\partial q} = \mathbf{w}_i^T \frac{\partial \mathbf{A}^c}{\partial q} \mathbf{v}_i$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \lambda_i}{\partial q} &= \mathbf{w}_{i,1}^T \mathbf{B}_1 \frac{\partial F(s)}{\partial q} \Big|_{s=\lambda_i} \mathbf{C}_1 \mathbf{v}_{i,1} = \\ &= \mathbf{w}_i^T \mathbf{B}^c \frac{\partial F(s)}{\partial q} \Big|_{s=\lambda_i} \mathbf{C}^c \mathbf{v}_i \\ &(\mathbf{D}_1 = 0) \end{aligned} \right\}$$

Sensibilidad de un modo



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

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [REDUCCIÓN DE MODELOS]

ANÁLISIS MODAL (fundamentos)

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

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

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

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

Sistema eléctrico (dq)
No lineal

Punto Equilibrio

Sistema eléctrico (dq)
Lineal

SISTEMAS DESEQUILIBRADOS (un elemento):

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

$$\frac{d \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{dqo}^+ \\ \mathbf{x}_{dqo}^- \end{bmatrix}}{dt} = 0 \text{ R.P.}$$

REDUCCIÓN DE MODELOS



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**

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [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

$$\frac{d\mathbf{x}_{lr}}{dt} = 0 \quad \text{Las dinámicas rápidas, ecuaciones algebraicas}$$

$$\frac{d^2\mathbf{x}_{lr}}{dt^2} = 0 \quad \text{Despreciamos parte de las dinámicas rápidas}$$

$$\frac{d\mathbf{x}_r}{dt} = (\mathbf{A}_{11} + \mathbf{M})\mathbf{x}_r, \quad \lambda_r \in \{\text{eig}(\mathbf{A}_{11} + \mathbf{M})\} \quad \text{El modelo reducido tiene los “modos relevantes” } \lambda_r$$

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**

Obj 2: “Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA.” [REDUCCIÓN DE MODELOS]

TEMAS PENDIENTES:

- Selección sistemática de modos y variables relevantes
- Comparación de modelos reducidos
- Reducción de modelos y control jerárquico
- Análisis de sistemas desequilibrados
- Sistematizar del análisis modal.

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**

PUBLICACIONES

- A.A. Ibrahim, B. Kazemtabrizi, J. Renedo, "Security-constrained day-ahead operational planning for flexible hybrid ac/dc distribution networks," Applied Sciences. vol. 9, no. 21, pp. 4685-1-4685-20, 2019.
- L. Díez-Maroto, J. Renedo, L. Rouco, F. Fernández-Bernal, "Wide area controllers for excitation boosters for transient stability improvement," Proc. XXI Power Systems Computation Conference (PSCC), Porto, Portugal, 29 June-3 July, 2020.
- Q. Zhang, J.D. McCalley, V. Ajjarapu, J. Renedo, M.A. Elizondo, A. Tbaileh, N. Mohan, "Primary frequency support through North American continental HVDC interconnections with VSC-MTDC systems," IEEE Transactions on Power Systems, Available online: [10.1109/TPWRS.2020.3013638](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.3013638), pp. 1-12, 2020.
- J. Renedo, A. García-Cerrada, L. Rouco, L. Sigrist, "Coordinated design of supplementary controllers in VSC-HVDC multi-terminal systems to damp electromechanical oscillations," IEEE Transactions on Power Systems, Available online: [10.1109/TPWRS.2020.3003281](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.3003281), pp. 1-10, 2020.

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



PUBLICACIONES

- L. Díez Maroto, J. Renedo, L. Rouco, F. Fernández-Bernal, “Wide area controllers for excitation boosters for transient stability improvement,” *Electric Power Systems Research*. vol. 189, no. 106622, pp. 1-6, 2020.
- R. Ávila-Martínez, L. Rouco, J. García Aguilar, J. Renedo, L. Sigrist, “Impact of PLL control on small-signal stability of wind DFIGs.” *Proc. IEEE/PES General Meeting,*” Montreal, Canada, 03-06 August 2020, pp. 1-5.
- J. Renedo, A. García-Cerrada, L. Rouco, L. Sigrist, “Coordinated control in VSC-HVDC Multi- terminal systems to improve transient stability: the impact of communication latency.” *Energies*. vol. 12, no. 19, pp. 3638-1-3638-32, 2019.
- J. Renedo, A. A. Ibrahim, B. Kazemtabrizi, A. García-Cerrada, L. Rouco, Q. Zhao, J. García-González, “A simplified algorithm to solve optimal power flows in hybrid VSC-based AC/DC systems.” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 110, pp. 781-794, 2019.

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



PUBLICACIONES

- J. Renedo, L. Rouco, A. García-Cerrada, L. Sigrist, “A communication-free reactive-power control strategy in VSC-HVDC multi-terminal systems to improve transient stability,” *Electric Power Systems Research*. vol. 174, no. 105854, pp. 1-13, 2019.
- J. Renedo, L. Rouco, L. Sigrist, A. García-Cerrada, “Impact of AC-line-emulation controllers of VSC-HVDC links on inter-area-oscillation damping,” *Proc. 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society - IECON 2019*, Lisbon, Portugal, 14-17 October 2019.
- D. Roch-Dupré, A.P. Cucala, R.R. Pecharromán, A.J. López López, A. Fernández-Cardador. “Simulation-based assessment of the installation of a reversible substation in a railway line, including a realistic model of large traffic perturbations.” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. vol. 115, no. 105476, pp. 1-15, Febrero 2020.

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**

PUBLICACIONES

- David Roch. "Improving the electrical infrastructure of DC-electrified railway systems to increase energy efficiency, taking into account complex topologies and representative traffic scenarios." Tesis doctoral 2020. Universidad Pontificia Comillas. Madrid.
- D. Domínguez-Barbero, J. García-González, M.A. Sanz-Bobi and E. Sánchez-Úbeda. "Optimizing a microgrid system by Deep Reinforcement Learning Techniques." *Energies*, 13, 2830. June 2020, pags 1-18 (Special issue: Integration of Renewable and Distributed Energy Resources in Power Systems).
- D. Roch-Dupré , C. Camacho-Gómez, A. P. Cucala, S. Jiménez-Fernández, A. López-López, A. Portilla-Figueras, R. R. Pecharromán, A. Fernández-Cardador, S. Salcedo-Sanz. "Optimal location and sizing of energy storage systems in DC-electrified railway lines using a Coral Reefs Optimization algorithm with Substrate Layers." Enviado a *Applied Soft Computing*.

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





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

