

GRUPO GEA-IIT
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
(Aurelio García Cerrada)

Reunión: 28/10/2021

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

Participación Prevista

- Obj. 1: Sobre los sistemas y arquitecturas de comunicación para sistemas energéticos distribuidos.
 - H1.1: Evaluación de alternativas.
 - H1.2: Propuesta de una arquitectura de comunicaciones.
 - H1.3: Validación de la arquitectura de comunicaciones.
- Obj. 2: Modelado, control y gestión de la energía.
 - H2.1: Modelado de sistemas de gestión de energía multi-vector.
 - H2.2: Flexibilización de la operación de redes urbanas.
- Obj. 3: Recuperación energética en redes de transporte ferroviario y su integración en micro-redes.
 - H3.1: Mejora de la eficiencia energética en redes de transporte ferroviario electrificados en CC.
 - H3.2: Desarrollo de micro-redes eléctricas dentro del entorno ferroviario.

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

Participación Prevista (II)

- Obj. 4: Sistema de gestión de energía con renovables y baterías.
 - H4.2: Diseño y simulación EMS (BESS)



Obj. 3: La Energía en Sistemas Ferroviarios

CARACTERÍSTICAS

- Mejora de la eficiencia de la infraestructura eléctrica en sistemas ferroviarios con baterías/acumuladores y estaciones reversibles.
- Optimización: algoritmos inspirados en la naturaleza con el apoyo de un simulador eléctrico detallado. “Determinar la posición óptima de las baterías/acumuladores y subestaciones reversibles.”
- Se ha abordado la actualización de la infraestructura de forma inmediata y de forma gradual.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

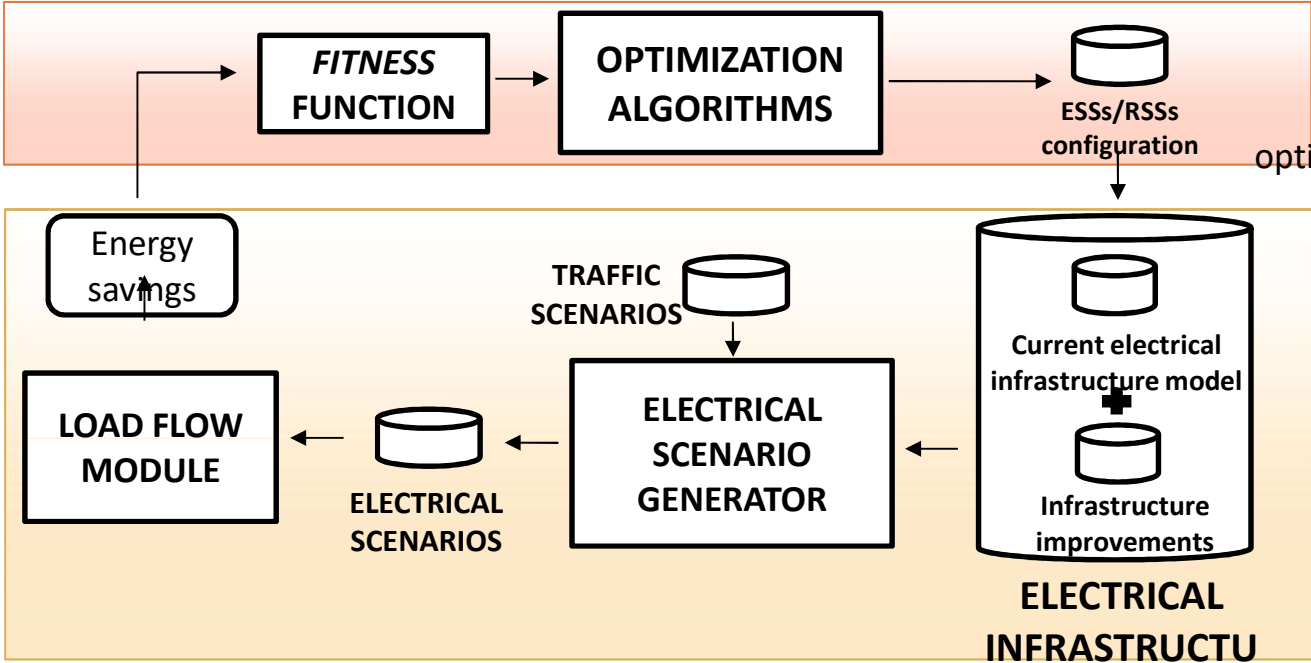
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

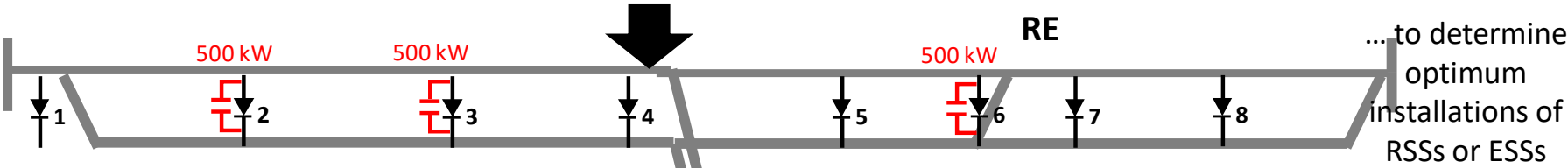


Obj. 3: La Energía en Sistemas Ferroviarios



Design of nature-inspired optimization algorithms (GA, PSO, FA) ...

... to work with a realistic railway simulator...



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

El IEEE advierte (1): “características únicas en micro-redes ... hay que volverse a pensar el problema de la estabilidad”

CARACTERÍSTICAS

- Intermitencia en muchas fuentes de energía (RES).
- Pequeño tamaño.
- Baja inercia: fuertes y rápidas variaciones de f.
- Pequeña potencia de cortocircuito y R/X alto: fuertes y rápidas variaciones de tensión.
- Muchos generadores tienen escasa capacidad de cortocircuito (VSCs).
- La mayoría de las cargas son “desequilibradas”.

(1) IEEE Technical Report PES-TR66 “Microgrid Stability Definitions Analysis and Modeling (April, 2018)

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

ANÁLISIS MODAL (fundamentos)

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

$$\frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} = f(\mathbf{X}_{dq}, \mathbf{U}_{dq})$$

$$\left. \frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} \right|_{\mathbf{X}_{dq,0}, \mathbf{U}_{dq,0}} = 0$$

$$\frac{d\mathbf{X}_{dq}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{X}_{dq} + \mathbf{B}\mathbf{U}_{dq}$$

$$\mathbf{Y}_{dq} = g(\mathbf{X}_{dq}, \mathbf{U}_{dq})$$

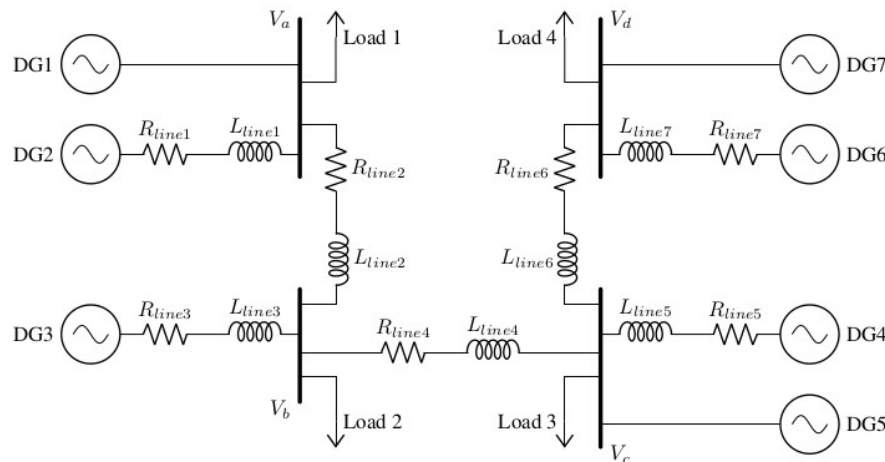
$$\mathbf{Y}_{dq,0} = g(\mathbf{X}_{dq,0}, \mathbf{U}_{dq,0})$$

$$\mathbf{Y}_{dq} = \mathbf{C}\mathbf{X}_{dq} + \mathbf{D}\mathbf{U}_{dq}$$

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

Matriz de participaciones

Sensibilidad de un modo frente a cambios en q

Modos del sistema p_{ij} : Participación modo (j) en variable (i)

$$\mathbf{A}^c \Rightarrow \text{eig}(\mathbf{A}^c) \rightarrow \lambda_i$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial q} = \mathbf{w}_i^T \frac{\partial \mathbf{A}^c}{\partial q} \mathbf{v}_i$$

$\lambda_i \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{v}_i : \text{Vector propio por la derecha} \\ \mathbf{w}_i : \text{Vector propio por la izquierda} \end{array} \right.$

- Los modos del sistema permiten discutir la estabilidad de pequeña perturbación y entender las dinámicas presentes.
- Las participaciones nos ayudan a descubrir interacciones y acoplamientos.
- Las sensibilidades nos ayudan a diseñar reguladores (a menudo suplementarios) para corregir modos peligrosos.

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



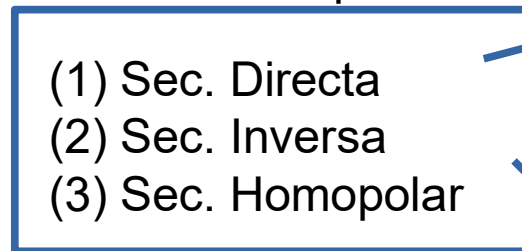

**Comunidad
de Madrid**

Obj 2: Modelado, Control y Gestión de Energía en Redes Inteligentes Híbridas CC/CA

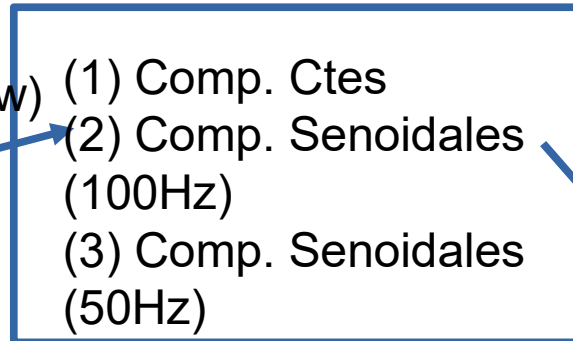
RÉGIMEN PERMANENTE:

Punto de Trabajo

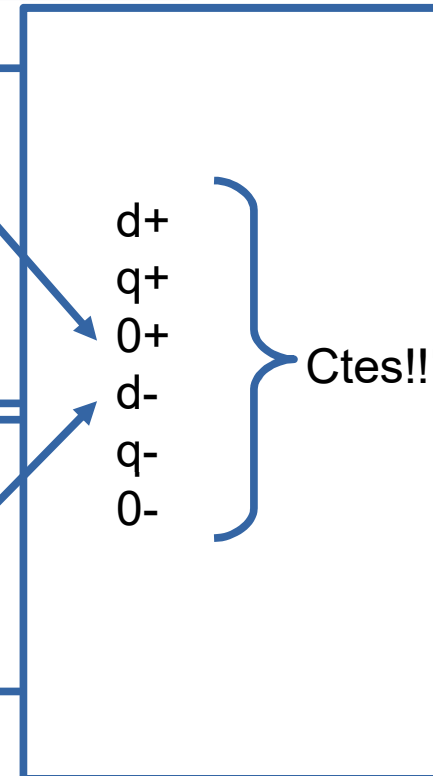
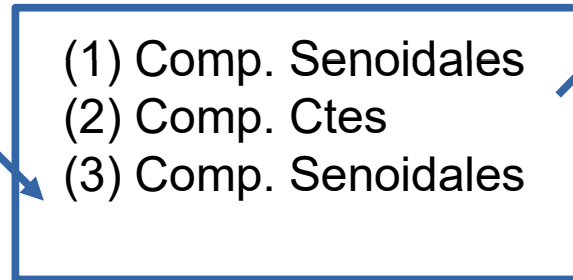
Sistemas desequilibrados



Park(ω)



Park($-\omega$)



● El punto inicial del análisis modal: Punto de trabajo ($dX/dt=0$) + linealización

- Con nuestros colabores del IQS

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

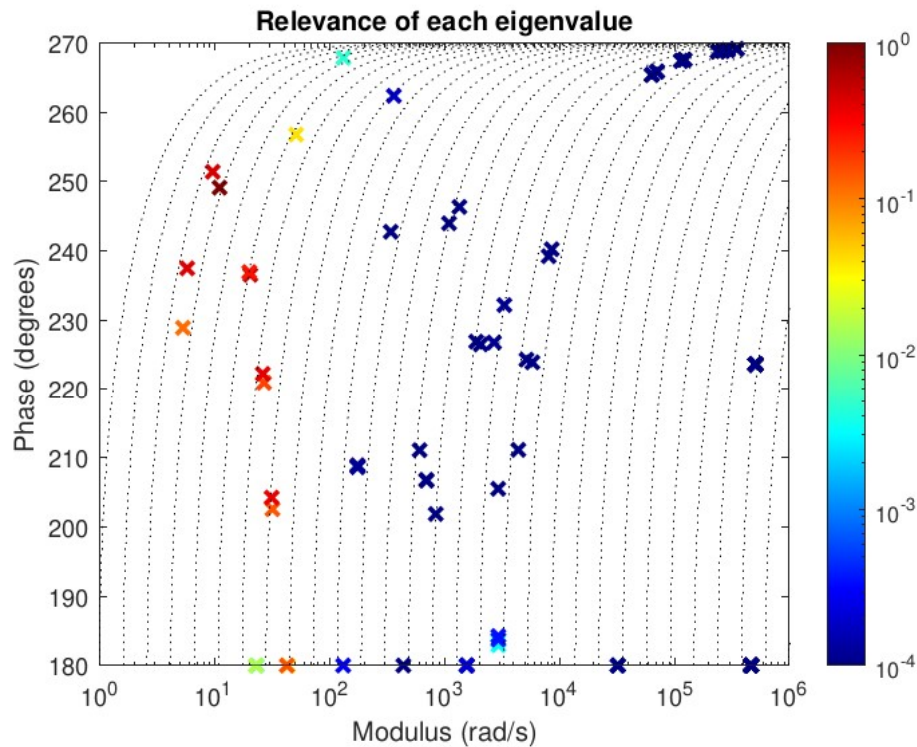
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro

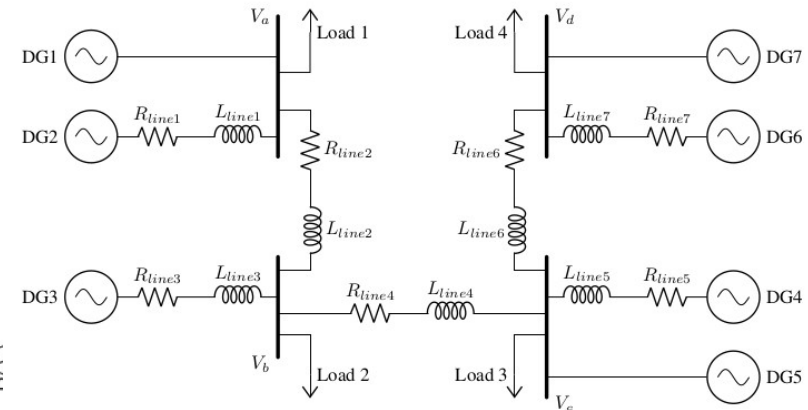


Obj 2: Modelado, Control y Gestión de Energía en Redes Inteligentes Híbridas CC/CA

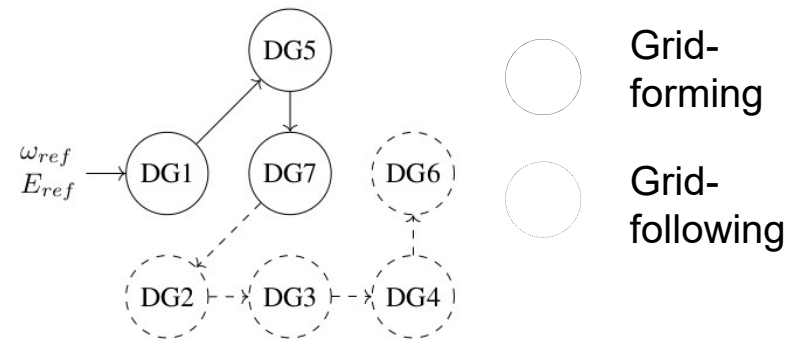


Lentos Modos Rápidos

..... Misma cte de tiempo



Sistema



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:

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

Algunas alternativas ad-hoc

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

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

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

(1y2) 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.

(3) I. Pérez-Arriaga, G. Verghese, and F. Schweppe, "Selective modal analysis with applications to electric power systems, part I: heuristic introduction," IEEE Transactions on Apparatus and Systems, vol. PAS-101, no. 9, pp. 3117–3125, 1982.

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

- 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.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

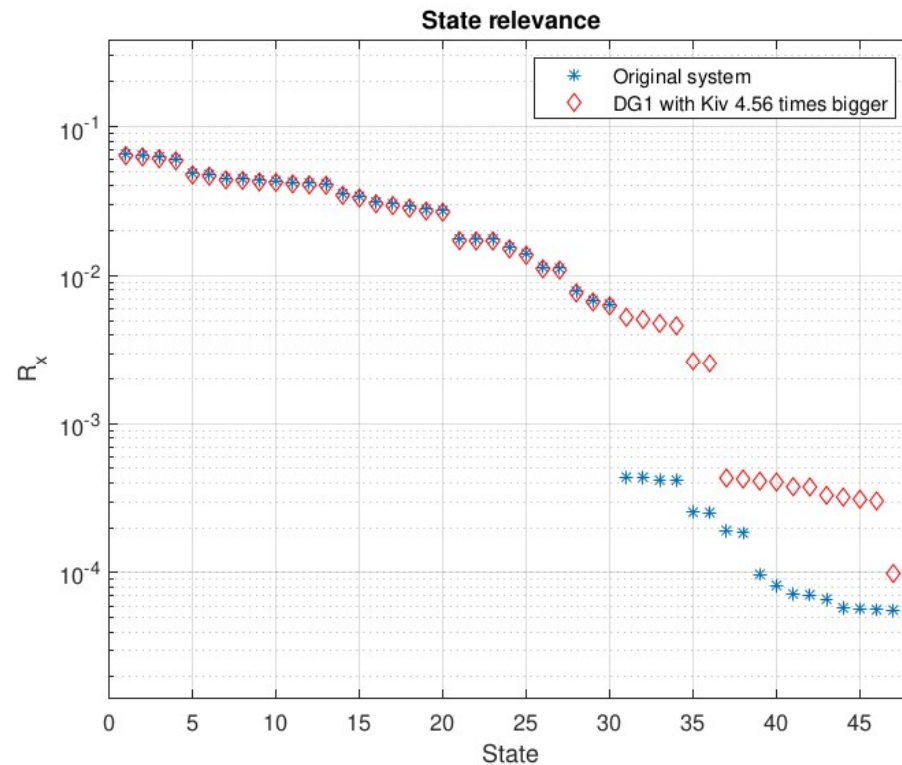
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



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



- 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

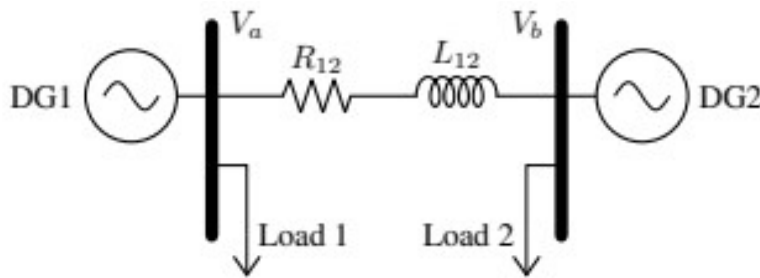


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



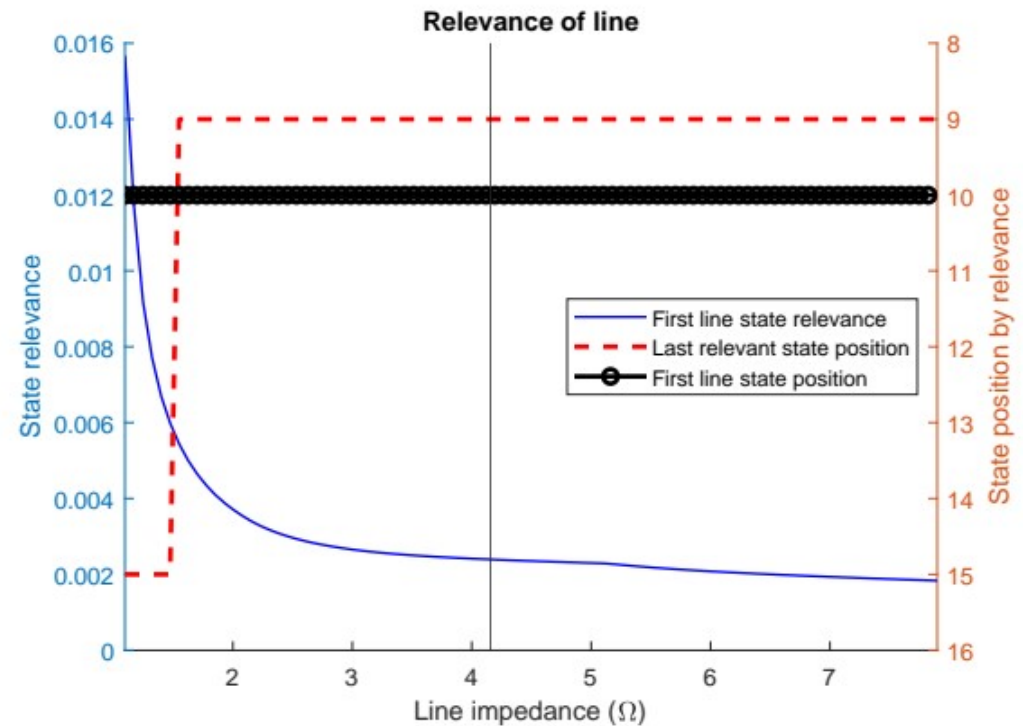
Comunidad
de Madrid

Ob2: Ejemplo de aplicación del coeficiente de “relevancia”



$$\frac{R}{X_L} = cte$$

Dos convertidores “grid forming”



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

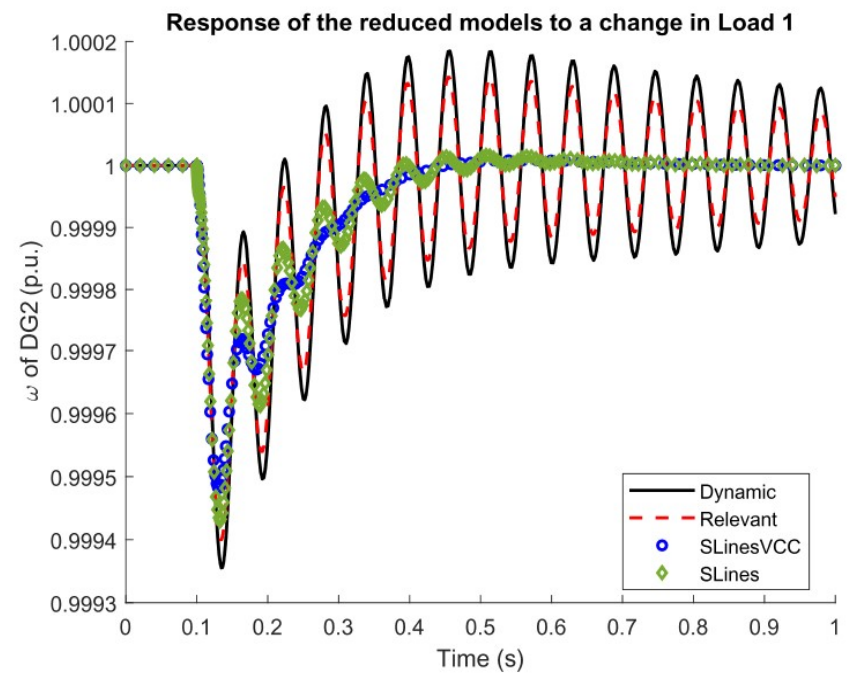
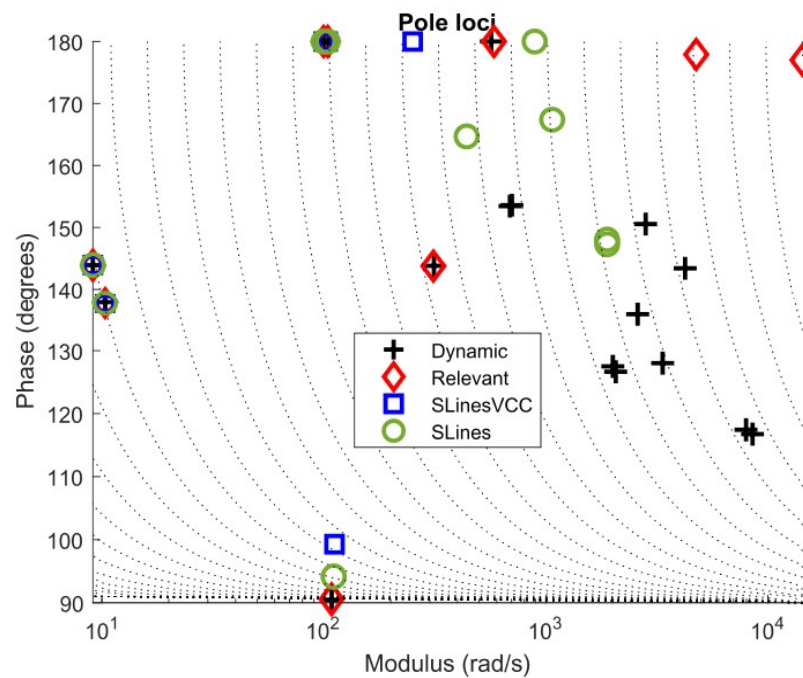


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Ob2: Ejemplo de Aplicación del Coeficiente de “Relevancia”



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

Ob2: Análisis Modal y Reducción de Modelos

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

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

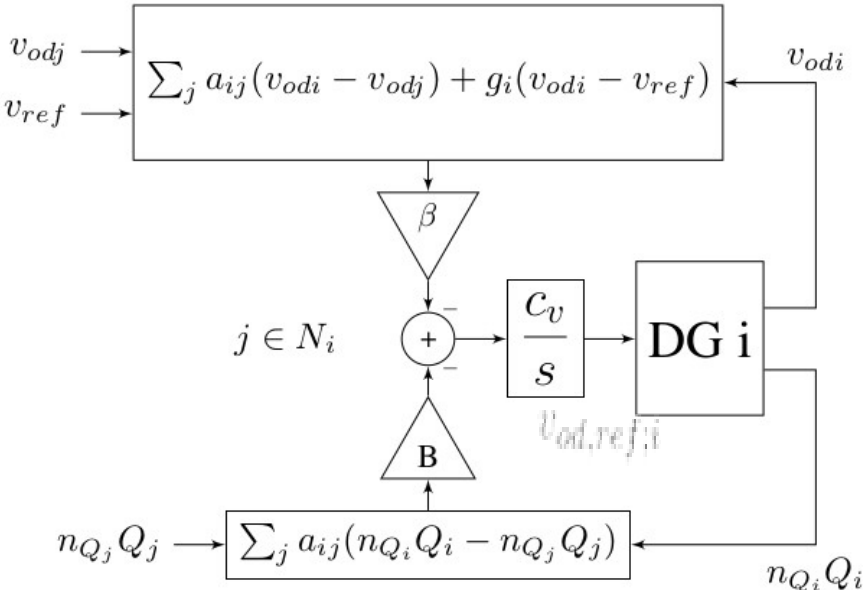
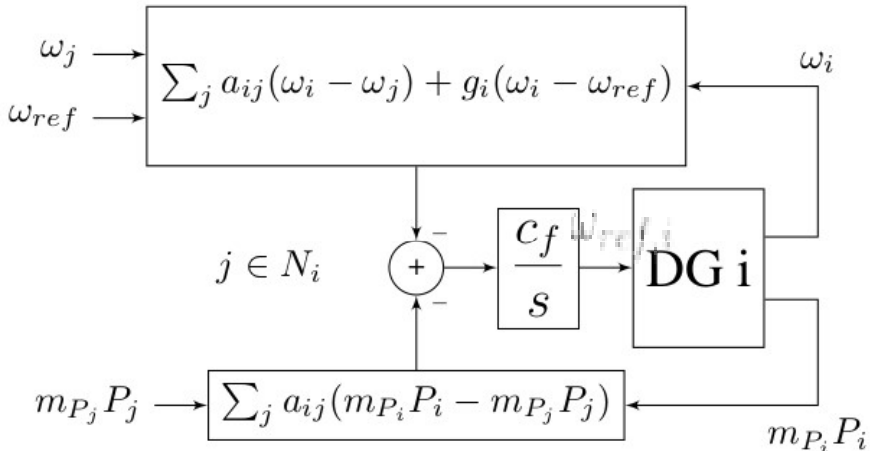
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



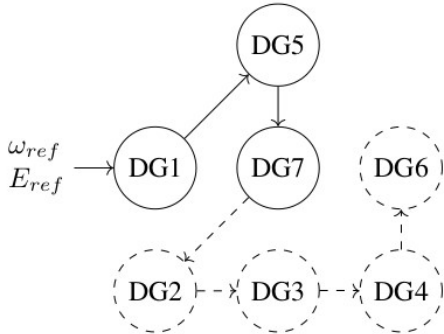
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro





Ob2: Control Basado en Agentes y Consenso (I)



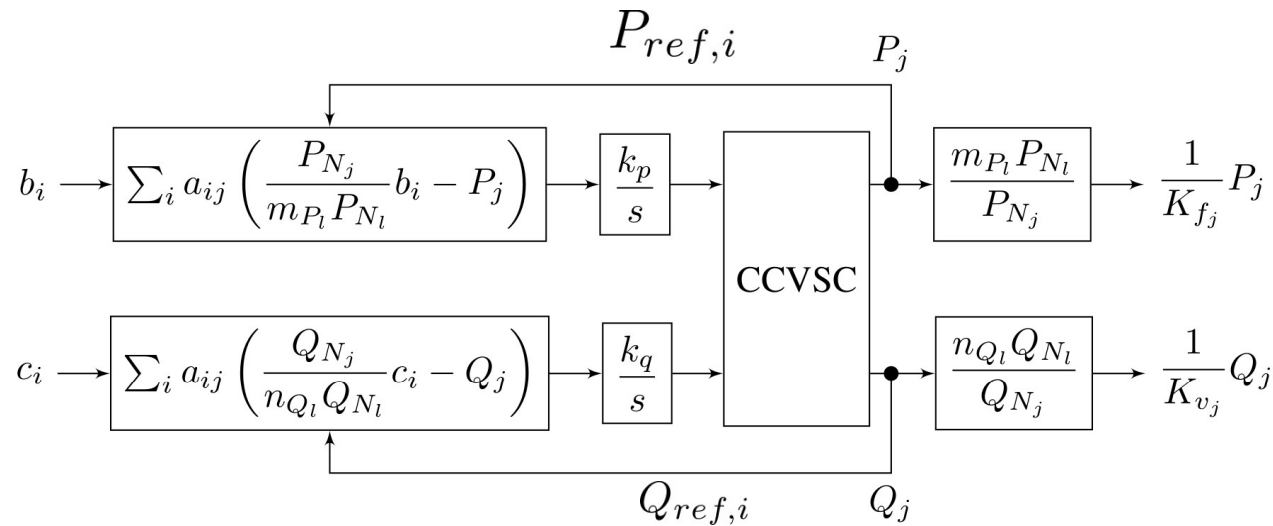
CASO GRID FORMING



Grid-forming 
 Grid-following 

Sistema

Ob2: Control Basado en Agentes y Consenso (II)



$b_i = m_{P_i} P_i$ and $c_i = n_{Q_i} Q_i$ if i is VCVSC
 $b_i = P_i / K_{f_i}$ and $c_i = Q_i / K_{v_i}$ if i is CCVSC

l : one VCVSC

El consenso en P y Q en CCVSC

Nota: Para el análisis completo del control por agentes, habrá que estudiar el efecto de las comunicaciones (Ob1)

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

Obj2: Aprendizaje Profundo por Refuerzo (Gestión Microrredes)

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



Obj2: Aprendizaje Profundo por Refuerzo (Gestión Microrredes)

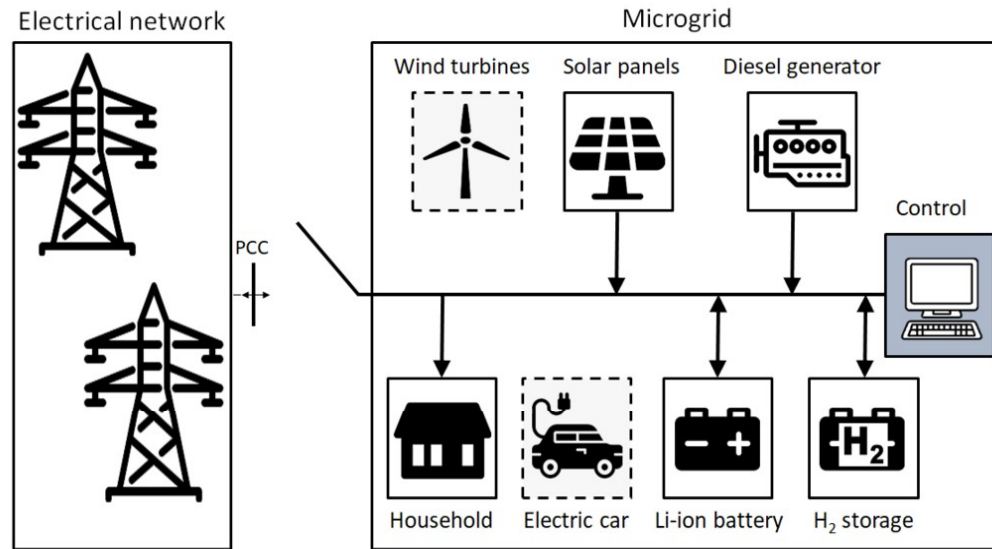
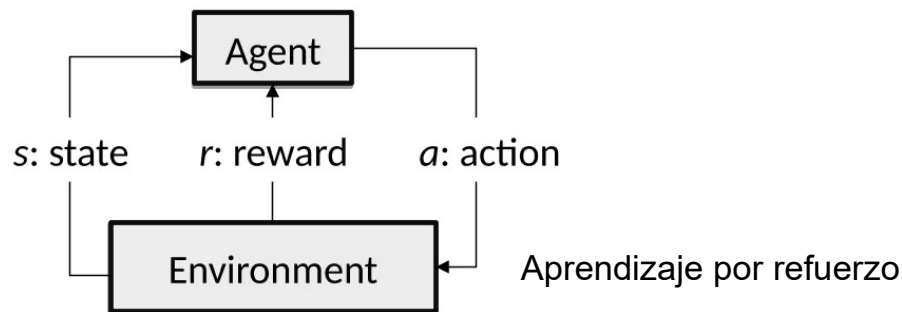


Figure 1. Schematic example of a microgrid.

- Se tienen datos históricos, para renovables.
- **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

Obj2: Aprendizaje Profundo por Refuerzo (Gestión Microrredes)

Problem type	1st year	2nd year	3rd year
MIQP	-1310.1247	-1128.5731	-1205.1731

Tag	1st (GAP%)	2nd (GAP%)	3rd year (GAP%)
DQN (discrete out)	-1629.32 (24.4%)	-1428.51 (26.6%)	-1535.90 (27.4%)
TD3 (cont. out)	-1561.68 (19.2%)	-1363.80 (20.8%)	-1452.21 (20.5%)
DQN 24h prediction	-1492.50 (7.24%)	-1307.50 (8.22%)	-1391.40 (7.83%)
TD3 24h prediction	-1399.63 (6.53%)	-1211.92 (7.09%)	-1288.72 (6.90%)

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



Obj2: Aprendizaje Profundo por Refuerzo (Gestión Microrredes)

CARACTERÍSTICAS:

- 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 hay que avanzar a sistemas más realistas

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**

Para seguir:

- Caracterizar completamente el factor de relevancia y sistematizar el análisis de sistemas de gran dimensión (incluyendo desequilibrio y comunicaciones)
- Incluir el “estado de carga” de los almacenes en el análisis de micro-redes ... equilibradas y desequilibradas.
- Estudio de algoritmos para el control óptimo de micro-redes basados en la cooperación de agentes. Tres niveles de control.
- Generalización al modelado, análisis y control de micro-redes conectadas entre sí.

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



¡Gracias por vuestra atención!

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

