

Aprendizaje máquina aplicado a microrredes

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**

GHEODE en PROMINT: descripción

- **Grupo de Investigación UAH**
 - 7 profesores de la UAH
 - 3 Investigadores Postdoctorales
 - 7 Investigadores Predoctorales
- **Especialización → Inteligencia artificial – diversos ámbitos**
 - Optimización
 - Predicción
 - Clasificación
- **Campos de aplicación:**
 1. Microrredes
 2. Energías renovables
 3. Redes de medición de contaminación atmosférica
 4. Estructuras y control de vibraciones
 5. Aplicación al diseño de redes móviles de telecomunicación
- **Total de publicaciones:**
 - 11 en journals
 - 3 en congresos

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**

GHEODE en PROMINT: hitos

- Objetivo 5.1. Algoritmos de predicción para recurso renovable
- Objetivo 5.2. Algoritmos de optimización para diseño y planificación de Microrredes
- Objetivo 5.3. Algoritmos de aprendizaje máquina para problemas relacionados con la incorporación de vehículos eléctricos en microrredes.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

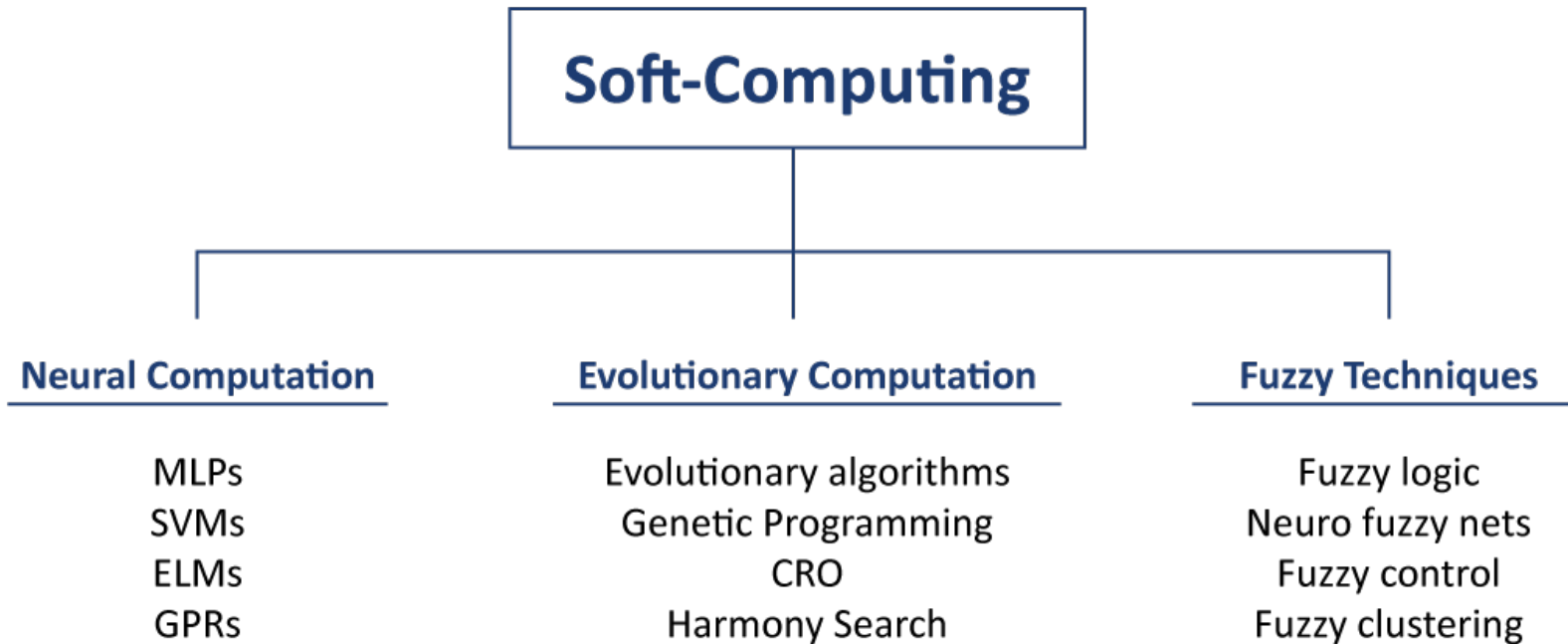


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

Inteligencia artificial



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

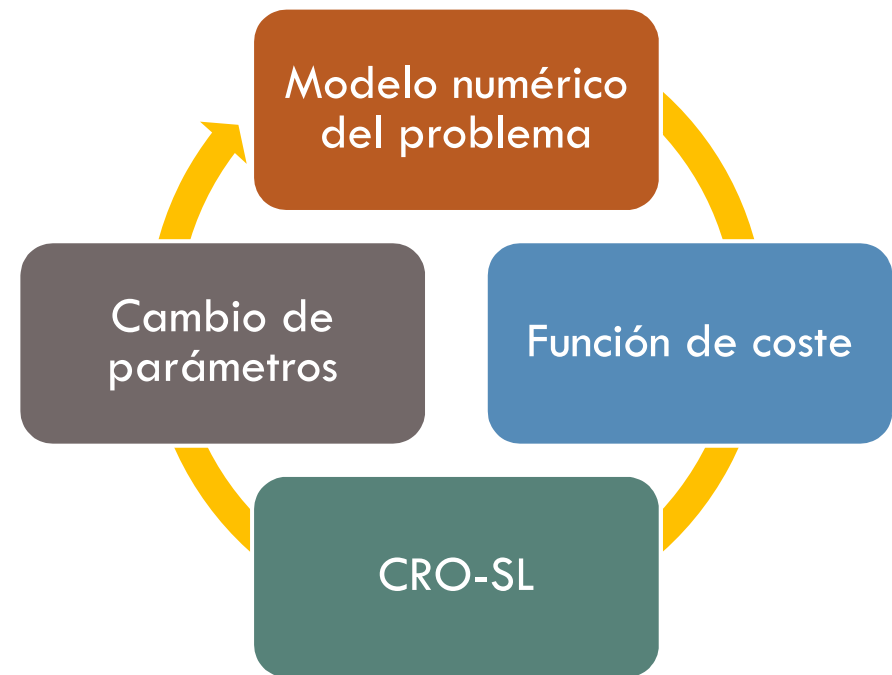
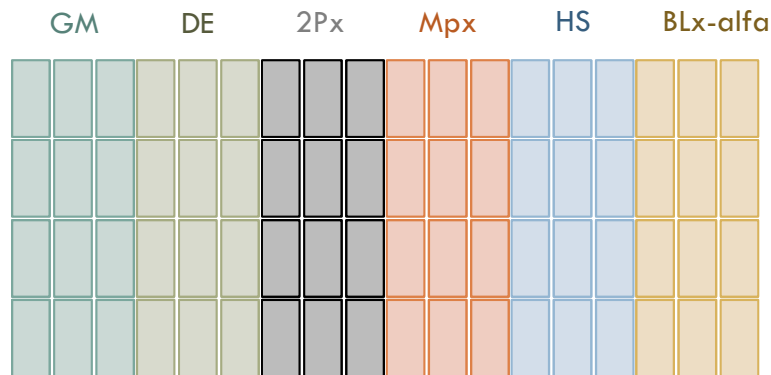


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Inteligencia Artificial: optimización con CRO-SL

- CRO → Algoritmo de optimización
- Coral Reefs Optimization with Substrate Layers (CRO-SL)
- Simula los procesos de crecimiento, reproducción y depredación de los corales en un arrecife



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



Inteligencia Artificial: optimización con CRO-SL

- Desarrollo de nuevos algoritmos de optimización que permitan abordar problemas energéticos de forma más eficiente
- Desarrollo de algoritmos de optimización de propósito general: no adaptar en exceso al algoritmo al problema.
- Desarrollo de un nuevo CRO-SL → competición entre los sustratos para hacerse con más espacio del arrecife
- Resultados prometedores respecto a otros algoritmos de optimización

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



Inteligencia Artificial: C-DEEPSO

- Canonical Differential Evolutionary Particle Swarm Optimization
- Algoritmo evolutivo con reglas recombinatorias propias de la Optimización basada en enjambre de partículas y con selección y autoadaptación similar a la Evolución Diferencial.

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**

Líneas de trabajo actuales

- **Objetivo principal** → Desarrollo de nuevos algoritmos de optimización, predicción, clasificación que permitan abordar problemas mayoritariamente energéticos de forma más eficiente
- Diseño de parques eólicos
- Predicción
- Despacho óptimo de energía en:
 - Plantas eólicas
 - Plantas hidroeléctricas
 - Microrredes con y sin vehículos eléctricos
- Prevención de ataques en centrales
- Reducción de costes de generación en microrredes
- Análisis de baterías y políticas de compensación en microrredes

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

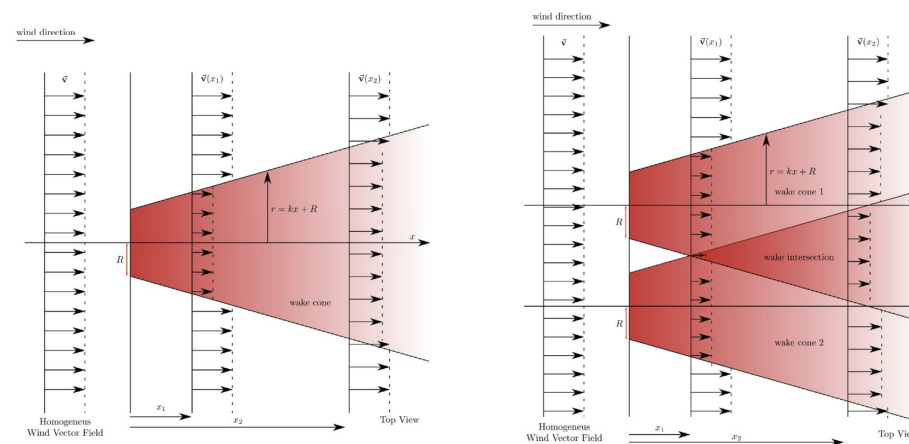



**Comunidad
de Madrid**

Líneas de trabajo actuales

- Diseño de parques eólicos

- J. Pérez-Aracil; D. Casillas-Pérez; S. Jiménez-Fernández; L. Prieto-Godino; S. Salcedo-Sanz. **A versatile multi-method ensemble for wind farm layout optimization.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 225 (2022) 104991. 2022.



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



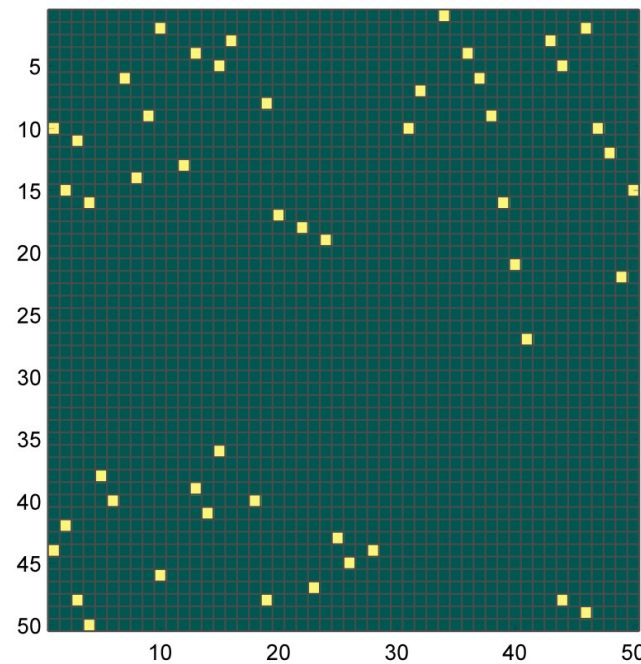
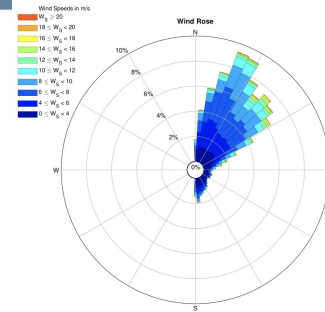
Comunidad
de Madrid

- Diseño de parques eólicos

Problema

Maximizar la potencia generada en un periodo de tiempo en función de la dirección del viento

Discretizar codificación algoritmo



Contribución

Uso de diferentes operadores de búsqueda
Codificación basada en matrices dispersas

Mejora sobre aproximaciones basadas en generación de números pseudo-aleatorios para estimación de soluciones posibles

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



- **Predicción**

- C. Camacho-Gómez; S. Salcedo-Sanz; D. Camacho. **A Review on Ensemble Methods and their Applications to Optimization Problems**. In: Osaba E., Yang XS. (eds) "Applied Optimization and Swarm Intelligence". Springer Tracts in Nature-Inspired Computing. Springer, Singapore. 2021. 25-45 pp.
- J. Del Ser; D. Casillas-Pérez; L. Cornejo-Bueno; L. Prieto-Godino; J. Sanz-Justo; C. Casanova-Mateo; S. Salcedo-Sanz. **Randomization-based machine learning in renewable energy prediction problems: Critical literature review, new results and perspectives**. Applied Soft Computing, 118 (2022) 108526. Marzo 2022.

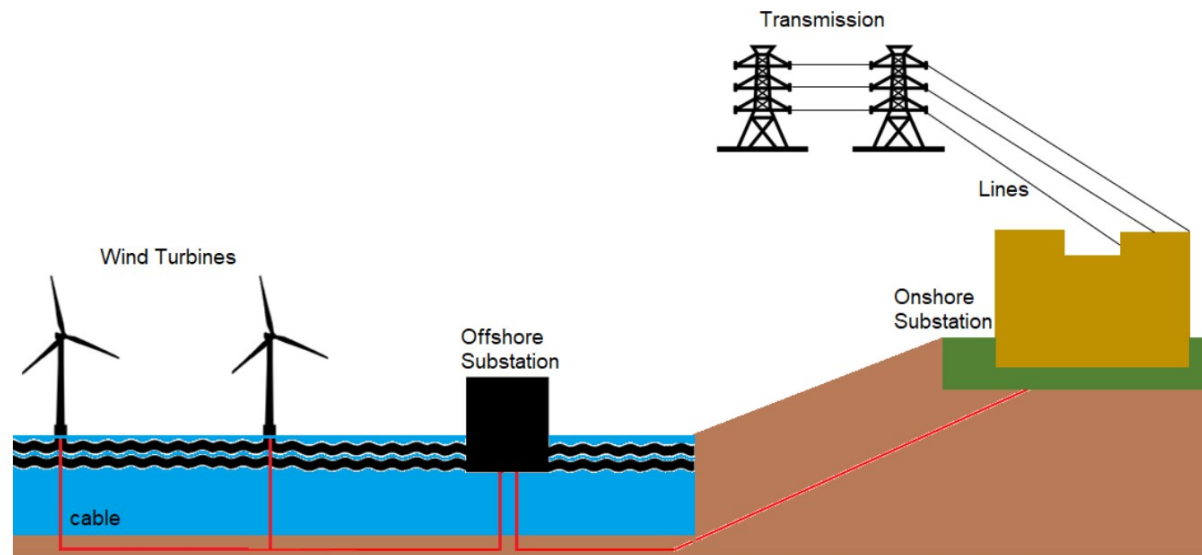
- **Estudio de la persistencia de distintos fenómenos como apoyo a la predicción**

- S. Salcedo-Sanz; D. Casillas-Pérez; J. del Ser; C. Casanova-Mateo; L. Cuadra, M. Piles, G Camps-Valls. **Persistence in complex systems**. Physics Reports - Review Section of Physics Letters, 957 (2022) 1-73. 2022.



Líneas de trabajo actuales

- Despacho óptimo de energía en plantas eólicas
 - Marcelino, C.G.; Avancini, J.V.C.; Delgado, C.A.D.M.; Wanner, E.F.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. Dynamic Electric Dispatch for Wind Power Plants: A New Automatic Controller System Using Evolutionary Algorithms. Sustainability 2021, 13, 11924.



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**

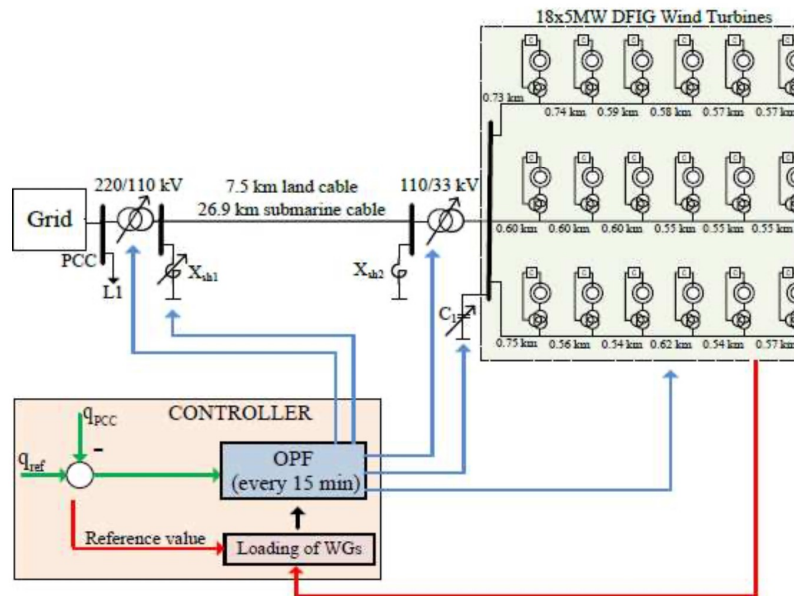
- Despacho óptimo de energía en plantas eólicas

Problema

Despacho de potencia activa y reactiva Optimal Power Flow → Problemas de optimización de gran escala

Minimizar pérdidas de reactiva en la red de transmisión en plantas eólicas

Reactores (X) se ajustan continuamente
Condensador (C) soporte para reactiva



Contribución

Configuración óptima del Sistema de control (potencia activa y voltajes), transformers taps, shunt reactors y capacitors values

Nuevo modelo de ajuste **fino automático** de parámetros para resolución de OPF basado en C-DEEPSO.

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

Líneas de trabajo actuales

- Despacho óptimo de energía en plantas hidroeléctricas
 - Marcelino, C. G.; Camacho-Gómez, C.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. Optimal Generation Scheduling in Hydro-Power Plants with the Coral Reefs Optimization Algorithm. *Energies*. 2021; 14, 2443.
 - Marcelino, C. G.; de Oliveira, L. B.; Wanner, E. F.; Delgado, C. A. D. M.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. A Hybrid Multiobjective Solution for the Short-term Hydro-power Dispatch Problem: a Swarm Evolutionary Approach, 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). 2021, pp. 193-200,
 - Marcelino, C.; Leite, G.; Delgado, C.; Oliveira, L.; Wanner, E.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. An efficient multi-objective evolutionary approach for solving the operation of multi-reservoir system scheduling in hydro-power plants. *Expert Systems with Applications*. 2021, 185, 115638. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115638>

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**

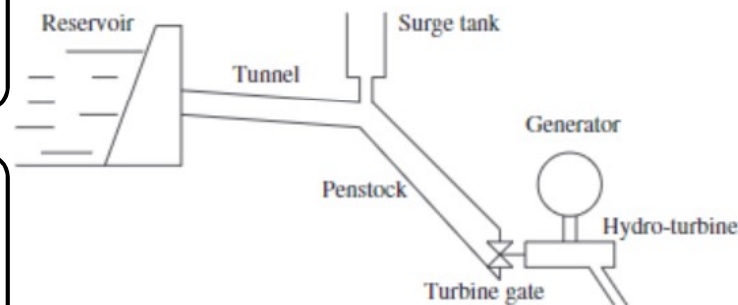
- Despacho óptimo de energía en plantas hidroeléctricas

Problema

Central hidráulica produce **energía** de forma **sostenible** y **programada** (*Unit Commitment Problem*)

Desafío → Definir la **cantidad** de **energía** que cada **turbina** descarga en la **planta**.

Generación **óptima** vs no óptima → se genera **más energía** y se **reduce** la cantidad de **agua** utilizada.



(a) General layout form

Contribución

Se presentó un **modelo matemático** para la **generación de energía programada** de una planta **real**, situada en **Brasil**.

Se incluyeron **pérdidas hidráulicas** en el modelo matemático, haciendo éste **más real**

El proceso de **optimización** se desarrolló utilizando **CRO-SL**.
Ahorro de 13.98 billones de L de **agua** mensuales

Load

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

Líneas de trabajo actuales

- Despacho óptimo de energía en microrredes con y sin vehículos eléctricos
 - Marcelino, C. G.; Wanner, E. F.; Martins, F. V. C; Pérez-Aracil, J.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. Solving the Optimal Active-Reactive Power Dispatch Problem in Smart Grids with the C-DEEPSO Algorithm. 2022 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2022, pp. 1-8,.
 - Marcelino, C. G.; Leite, G. M. C.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. An Improved C-DEEPSO Algorithm for Optimal Active-Reactive Power Dispatch in Microgrids With Electric Vehicles. IEEE Access, 2022, 10, pp. 94298-94311, 2022,.
 - Marcelino, C. G.; Pérez-Aracil, J.; Wanner, E. F.; Jiménez-Fernández, S.; Leite, G. M. C.; Salcedo-Sanz, S. Cross-entropy Boosted CRO-SL for Optimal Power Flow in Smart Grids. Soft Computing, 2022.
 - Leite, G.M.C.; Marcelino, C.G. ; Pedreira, C.E. ; Jiménez-Fernández, S. ; Salcedo-Sanz, S. . Evaluating the risk of uncertainty in smart grids with electric vehicles using an evolutionary swarm-intelligent algorithm. Journal of Cleaner Production, 2023, p. 136775.

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



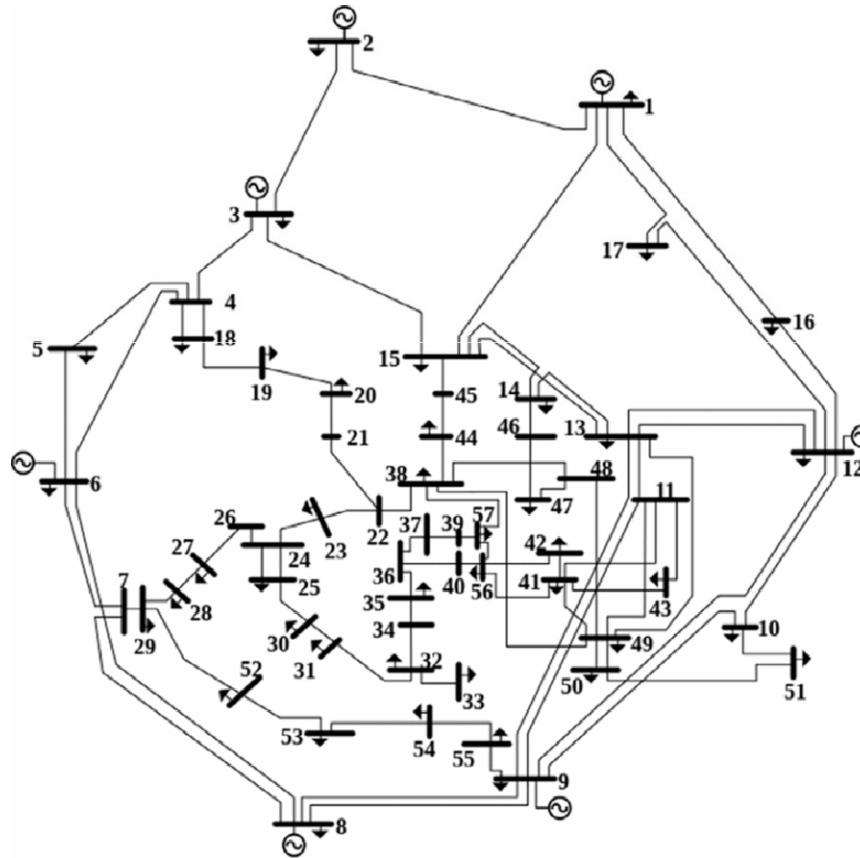
- Despacho óptimo de energía en microrredes con y sin vehículos eléctricos

Problema

Microrred con generadores conectados a la **red pública** y generadores **solares** y de **viento**

Objetivo: **maximizar** la cantidad de **energía** descargada de cada generador

Microrred real de acuerdo con el modelo IEEE 57 Bus System con datos reales del IEEE PES



Contribución

Se **propone** el uso de *Canonical Differential Evolutionary Particle Swarm Optimization (C-DEEPSO) algorithm* y se **combina** con características de **DE** y **PSO**

Se **demuestra** que el uso de **CE-CDEEPSO** arroja resultados **competitivos** respecto a los algoritmos **tradicionales**

Se **evalúa** el **sistema** con solo generadores de **viento** y con generadores de viento y **solares** juntos

Con los **resultados** mostrados en el trabajo, es posible **generar** un **beneficio** medio de **5 millones \$** al mes

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTELIGENTES Comunidad de Madrid

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



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

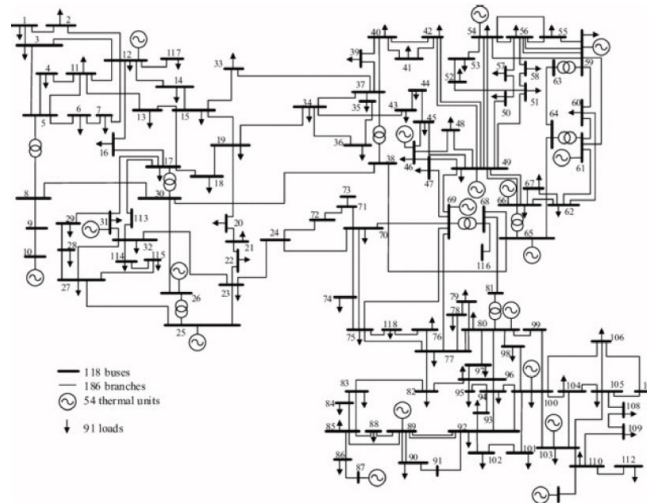
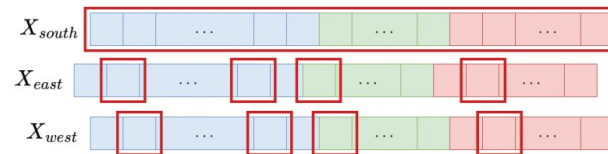
- Despacho óptimo de energía en microrredes con y sin vehículos eléctricos

Problema

Microrred con vehículos eléctricos y generadores conectados a la **red pública** y generadores **solares** y de **viento**

Objetivo: **maximizar** la cantidad de **energía** descargada de cada generador

Microrred real de acuerdo con los modelos IEEE 57 y 118 Bus System con datos reales del IEEE PES



Contribución

Se **propone** el uso de un operador de búsqueda local con el **C-DEEPSO algorithm** y se **combina** con el **Cross-Entropy Method (CE)**

Se **demuestra** que el uso de **C-DEEPSO** con los operadores arroja resultados competitivos **respecto** a los algoritmos **tradicionales**

Se **evalúa** el **sistema** con generadores de **viento, solares** y con vehículos eléctricos

Con los **resultados** mostrados en el trabajo, es posible **generar** un **beneficio** medio de más de **2 millones \$** al mes

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

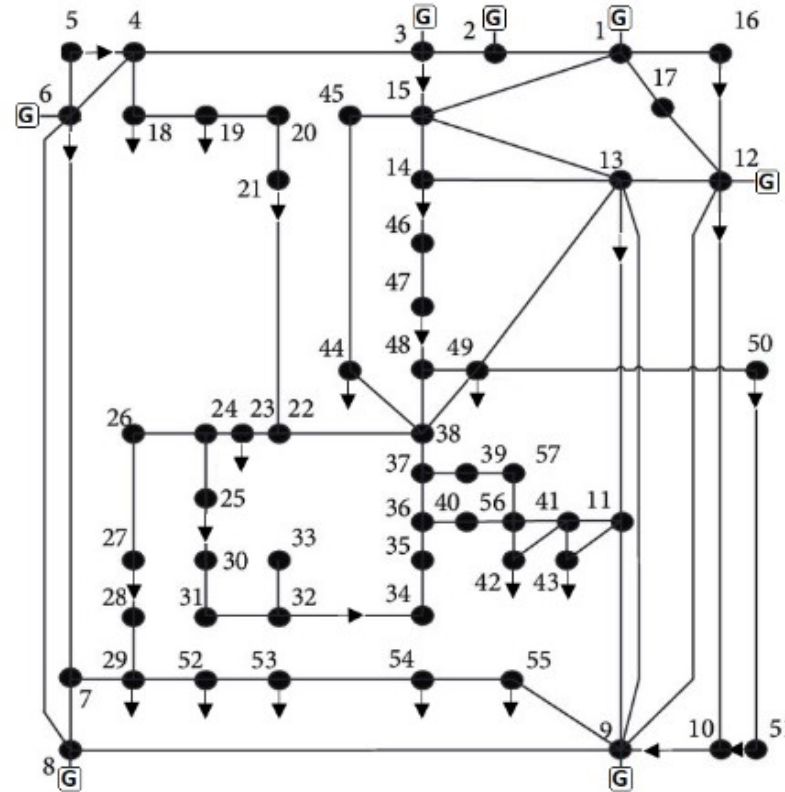
- Despacho óptimo de energía en microrredes con y sin vehículos eléctricos

Problema

Microrred con generadores conectados a la **red pública** y generadores **solares** y de **viento**

Objetivo: **maximizar** la cantidad de **energía** descargada de cada generador

Microrred real de acuerdo con el modelo IEEE 57 Bus System con datos reales del IEEE PES



Contribución

Se **propone** el uso del **Cross-Entropy Method (CE)** con el **CRO-SL algorithm**

Se **demuestra** que el uso de **CE-CRO-SL** arroja resultados competitivos **respecto** a los algoritmos **tradicionales**

Se **evalúa** el **sistema** con solo generadores de **viento** y con generadores de viento y **solares** juntos

Con los **resultados** mostrados en el trabajo, es posible **generar** un **beneficio** medio de **5 millones \$** al mes

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTELIGENTES Comunidad de Madrid

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



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



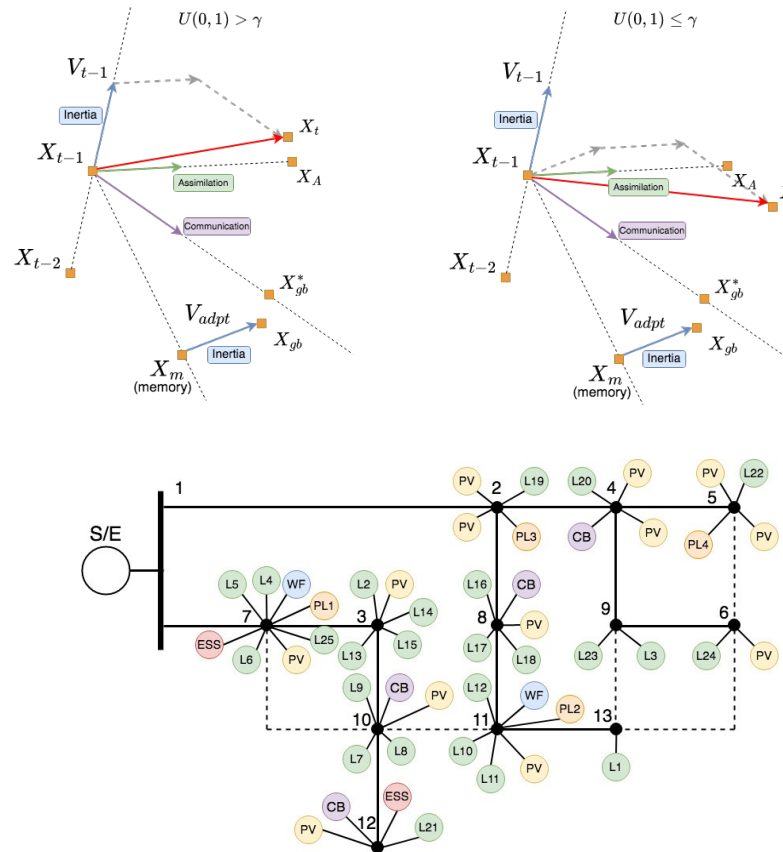
- Despacho óptimo de energía en microrredes con y sin vehículos eléctricos

Problema

Microrred con vehículos eléctricos y generadores conectados a la **red pública** y generadores **solares** y de **viento**

Objetivo: **minimizar** el coste de **energía** y el **riesgo** de la operación

Microrred real de acuerdo con el modelo IEEE 13 Bus System con datos reales y escenarios de eventos extremos



Contribución

Se **propone** el uso de un operador de velocidad adaptada junto del operador de búsqueda local con el **C-DEEPSO algorithm**

Se **demuestra** que el uso de **C-DEEPSO** con los operadores arroja resultados competitivos **respecto** a los algoritmos **tradicionales**

Se **evalua** el **sistema** con generadores de **viento, solares** y con 500 vehículos eléctricos

Con los **resultados** mostrados en el trabajo, es posible **generar** un **beneficio** medio de más de **20 mil** al día

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

Líneas de trabajo actuales

- **Prevención de ataques en centrales**
 - Leite, G. M. C.; Marcelino, C. G.; Wanner, E. F.; Pedreira, C. E.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. **Pattern Classification Applying Neighbourhood Component Analysis and Swarm Evolutionary Algorithms: A Coupled Methodology**, 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2021, pp. 319-326,.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

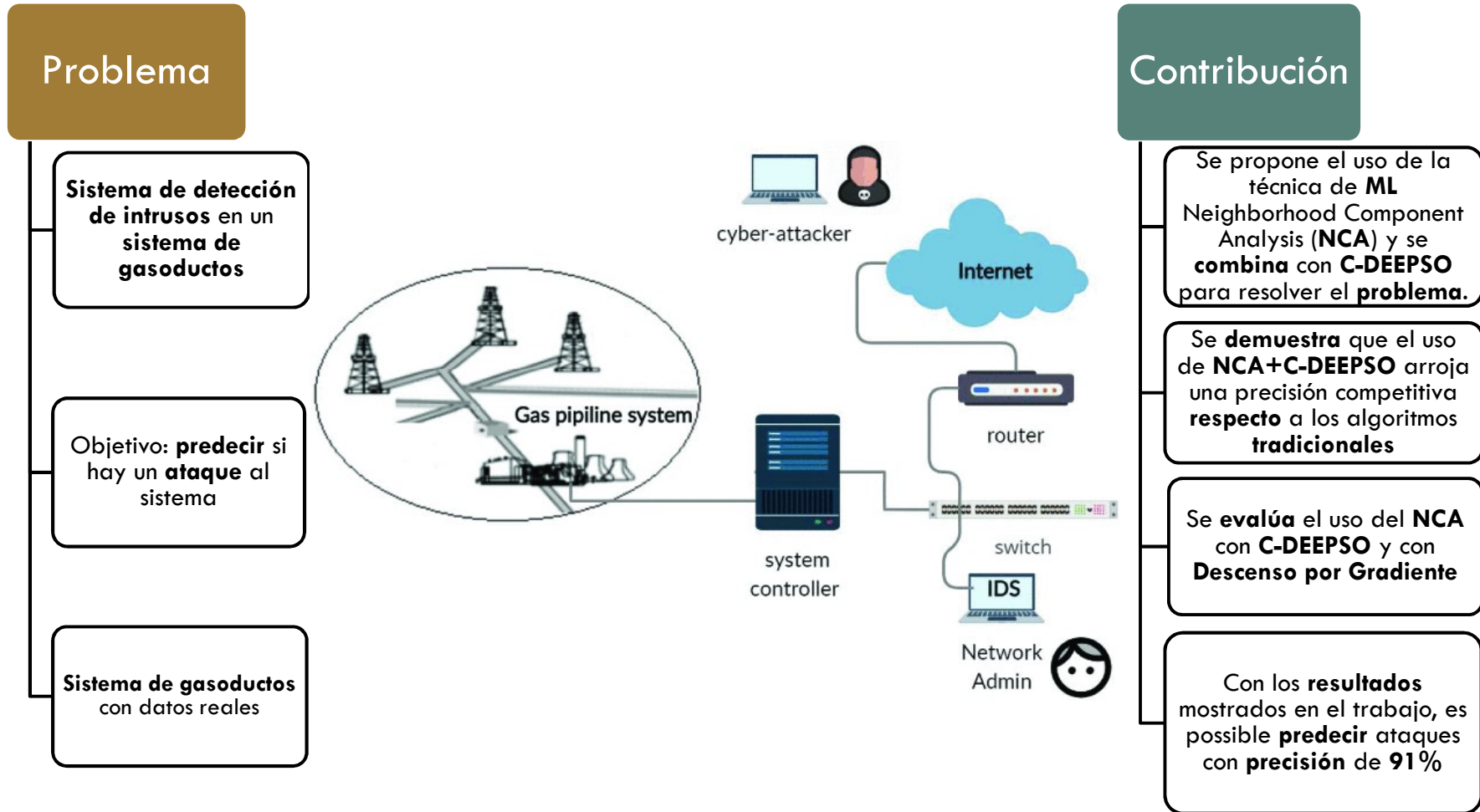


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

- Prevencción de ataques en centrales



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



Líneas de trabajo actuales

- **Análisis de baterías y políticas de compensación en microrredes**
 - Marcelino, C. G.; Leite, G. M. C.; Wanner, E. F.; Jiménez-Fernández, S.; Salcedo-Sanz, S. Evaluating the use of a Net-Metering mechanism in microgrids to reduce power generation costs with a swarm-intelligent algorithm. Energy, 2022 (Aceptado 30 Nov 2022).

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro

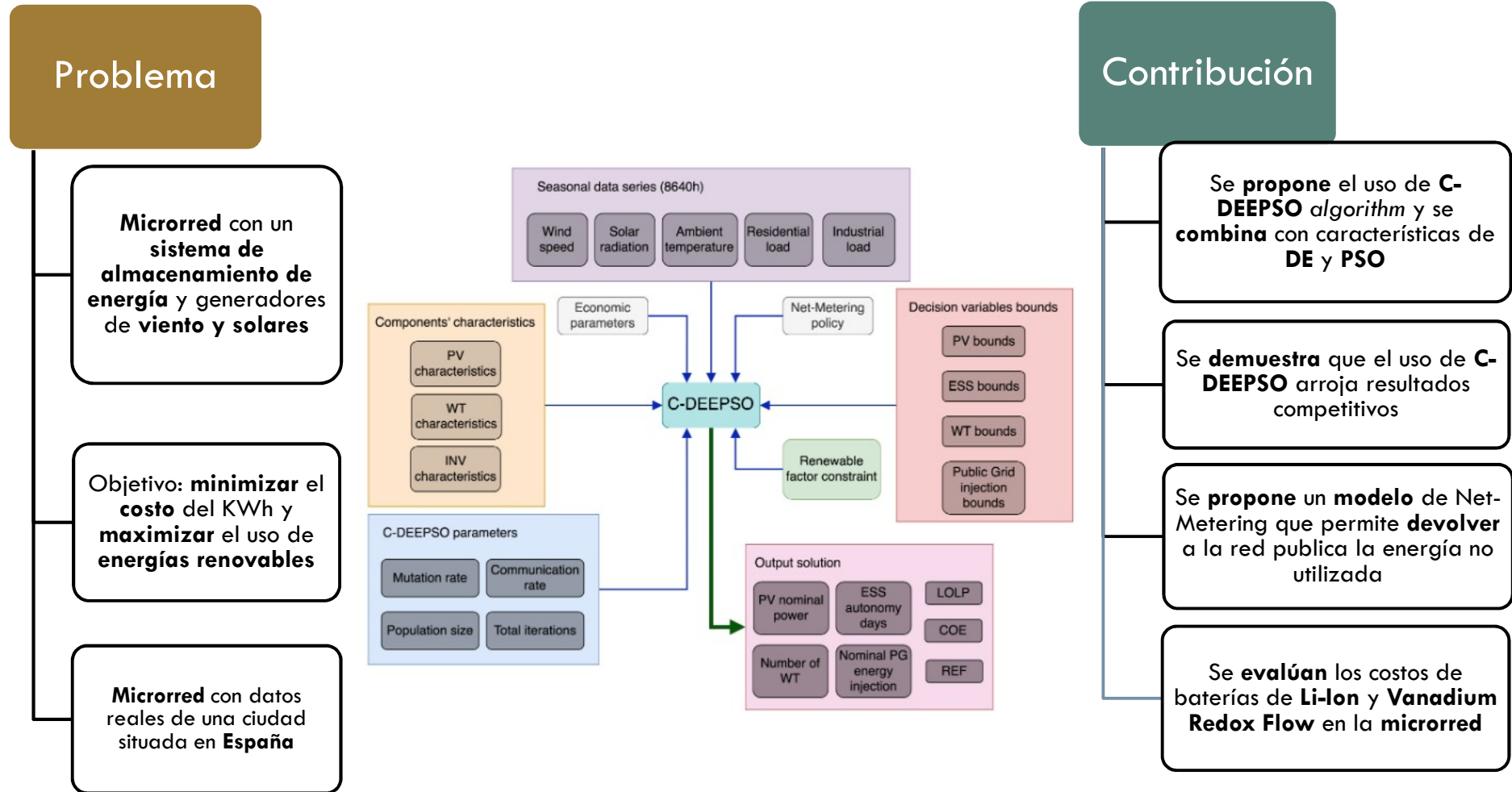


UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

- Análisis de baterías y políticas de compensación en microrredes



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



- Desarrollo de nuevos algoritmos de optimización que permitan abordar la programación óptima de cargas y descargas de VE con la consideración de la huella de CO2.

- Para evaluar el rendimiento de los algoritmos

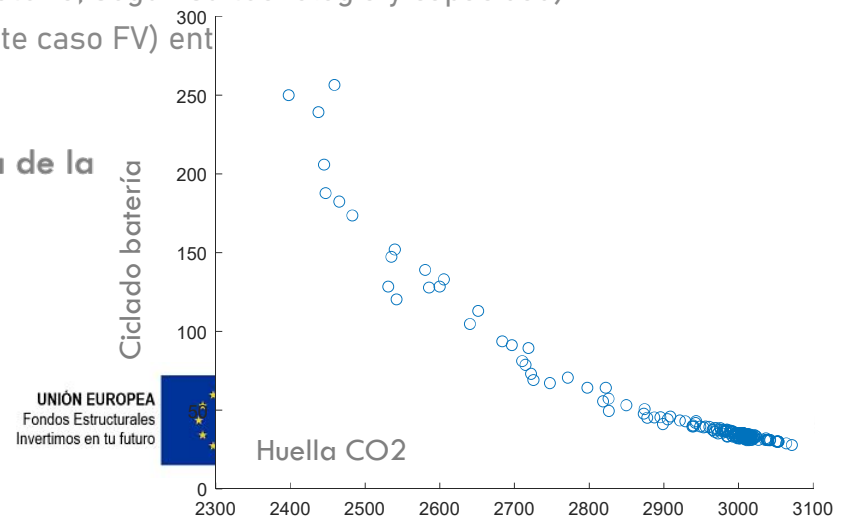
- El algoritmo elige el *scheduling* de carga de la batería (esto es el individuo), y evalúa la procedencia de la cobertura de la demanda y el desgaste (envejecimiento) de la batería que supone
- Se evalúa el impacto en carbono de consumir la energía demandada:
 - Si la demanda es satisfecha con la red, la huella es elevada (la correspondiente al mix energético español)
 - Si la demanda es satisfecha con energía de la batería, la huella es intermedia.
(se calcula con la huella de la fabricación de la batería, según su tecnología y capacidad)
 - Si la demanda es satisfecha con la generación (en este caso FV) ent

$$D = \sum_{i=0}^N AD_i^\beta$$

A y β dependen de la tecnología de la batería

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTELIGENTES Comunidad de Madrid

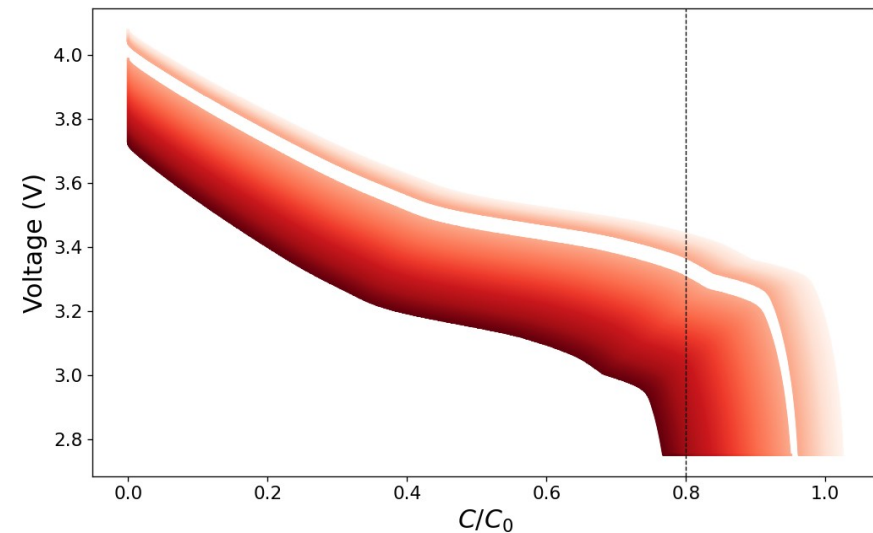
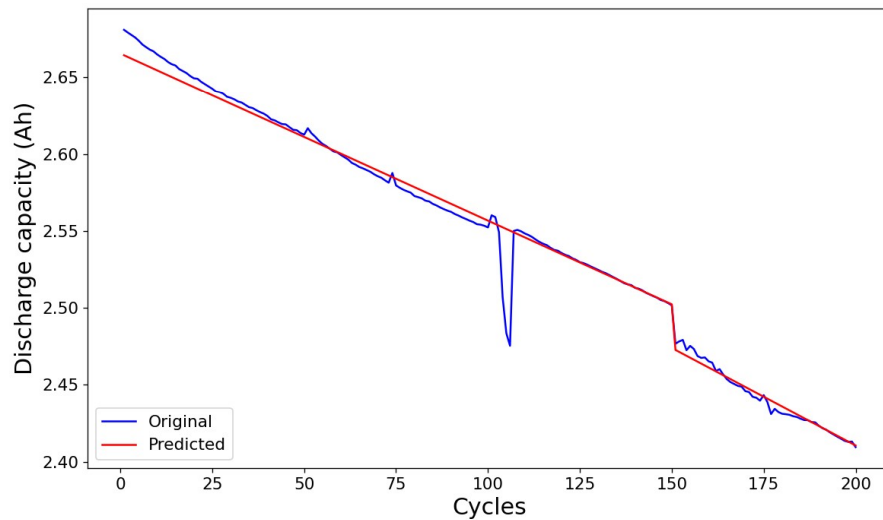


- Análisis de baterías y optimización

Trabajo en curso

- Desarrollo de nuevos modelos predictivos que permitan estimar la degradación y el remaining useful life (RUL) de baterías

- Lithium Nickel-Cobalt-Aluminum Oxide (NCA)
- Lithium Iron Phosphate (LFP)



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

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**