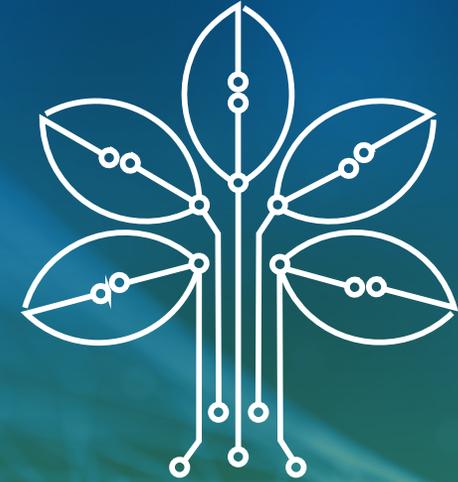


# Simulación de Comunidades Locales de Energía

*Universidad Politécnica de Madrid*

Information Processing and Telecomm. Center

04/12/24



## IA4TES

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

PARA LA

TRANSICIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

Proyecto IA4TES MIA.2021.M04.0008, financiado por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

# Contenidos

## 1 Planteamiento del problema

- Comunidades Locales de Energía
- Objetivos
- Metodología

## 2 Modelado de sistema

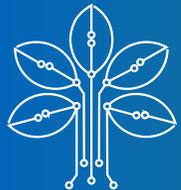
- Definición del problema de Optimización
- Simulación del Mercado P2P
- Simulación del Mercado de Flexibilidad

## 3 Resultados

- Análisis del Impacto en la factura del prosumidor

## 4 Conclusiones

## 5 Trabajo Futuro



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

# 1.1 Planteamiento: Comunidad Local de Energía (CLE)

- Una CLE es una agrupación de usuarios en un área específica que colaboran para producir, consumir, compartir y gestionar energía, priorizando fuentes renovables y prácticas sostenibles, con el objetivo de maximizar beneficios sociales, ambientales y económicos.
- Desarrollo de las CLEs en España: **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)**



Definición de Ecooo, 2024; Sapiens Energía, 2024; Cuerva Energía, 2024



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

# 1.1 Planteamiento: Comunidad Local de Energía (CLE) (II)

## ¿Qué es la Flexibilidad?

- Habilidad del sistema para responder a un rango de estados futuros inciertos tomando una acción alternativa dentro de unos umbrales de coste y en una ventana de tiempo.
- Determinantes de la flexibilidad:
  - Tiempo: Respuestas a corto o a largo plazo
  - Acciones: Acciones correctivas que se toman dentro de la ventana de tiempo.  
Incertidumbre: Falta de información completa del sistema en el futuro
  - Coste: Depende de la acción



## 1.2 Objetivos de la línea

- Simular una Comunidad Local de Energía
- Modelar las interacciones entre los agentes utilizando técnicas de ML y optimización, siguiendo una aproximación de IA híbrida:
  - Prosumidores
  - TEMO
  - Operador de Red
- Optimizar el aprovechamiento de la energía fotovoltaica generada:
  - Minimizando vertidos a la red
  - Maximizando el autoconsumo compartido
- Estudiar el impacto económico de los mercados P2P y de flexibilidad



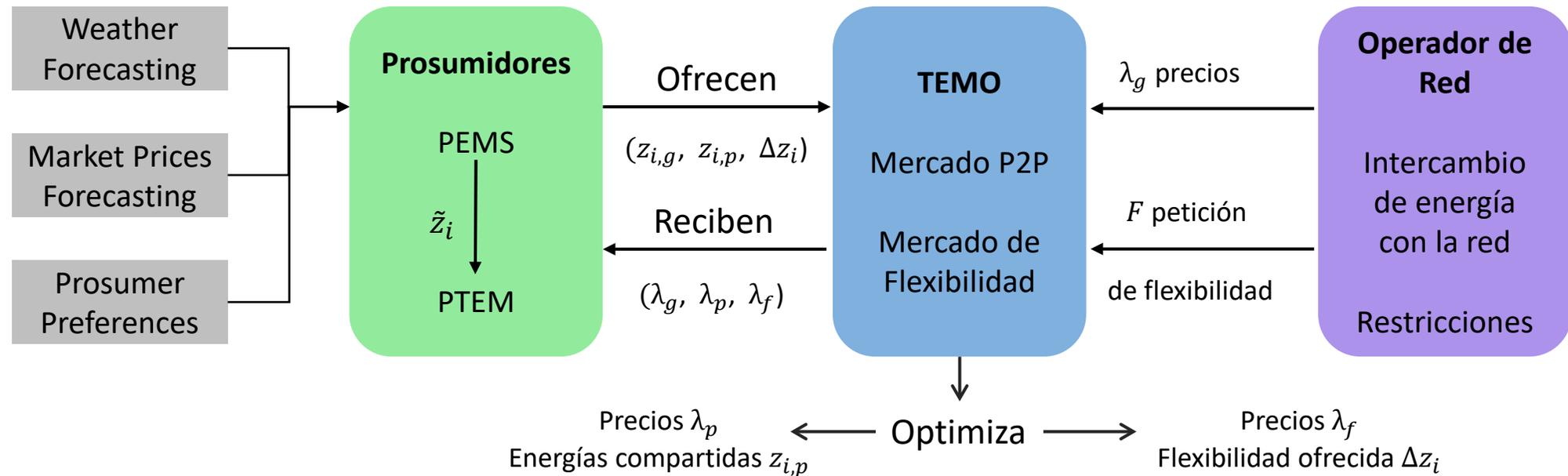
# 1.3 Metodología

$$X_i(t) = \begin{pmatrix} x_i^{P2B} & x_i^{P2L} & x_i^{P2M} \\ 0 & x_i^{B2L} & x_i^{B2M} \\ x_i^{M2B} & x_i^{M2L} & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \rightarrow PV \\ \rightarrow Battery \\ \rightarrow Market \end{matrix}$$

$\downarrow$                    $\downarrow$                    $\downarrow$   
*Battery*    *Load*    *Market*

$$z_i(t) = x_i^M(t) - y_i^M(t) \equiv \text{net traded power}$$

$$z_i(t) = (z_{i,g}(t) \quad z_{i,p}(t) \quad \Delta z_i(t))$$



# 2.1 Modelado de Sistema. Problema de Optimización (I)

- Scheduling

$$\min \sum_{t=1}^T z_{i,g,s}(t)\lambda_g(t) + z_{i,p,s}(t)\lambda_p(t) - \Delta z_{i,s}(t)\lambda_f(t)$$

**Función Objetivo**  
Minimizar costes de la energía esperada en la energía programada

- Trading

$$\min_{z_i} C_i(z_i) + FC_i(\Delta z_i) + \mathbf{z}_i^T \boldsymbol{\lambda}$$

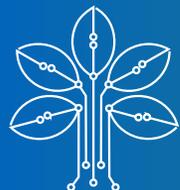
Cost Function
Flexibility Cost Function

**Función Objetivo**  
Minimizar funciones coste y coste de la flexibilidad en la energía compartida

$\frac{1}{2}\chi_i z_i^2 + \psi_i z_i$

$\frac{1}{2}\theta_i \Delta z_i^2 + \varphi_i z_i$

Parámetros de Preferencia de los prosumidores



## 2.1 Modelado de Sistema. Problema de Optimización (II)

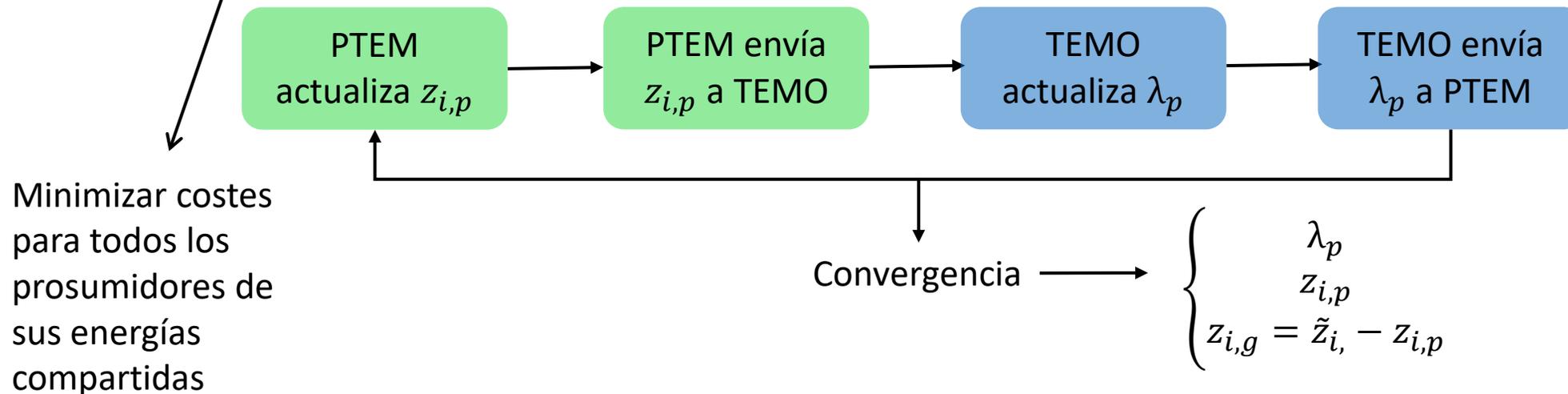
- TEMO 
$$\min_{z_i} \sum_{i=1}^{N_p} C_i(z_i) + FC_i(\Delta z_i) + z_{i,g} \lambda_g \longrightarrow$$

**Función Objetivo**  
Minimizar costes y costes de flexibilidad de todos los prosumidores
- Operador de Red
  - Restricciones sobre la comunidad
  - $\underline{U} \leq \sum_{i=1}^{N_p} z_{i,g} \leq \bar{U}$
  - Demandar flexibilidad si se vulnera la condición anterior
- Problema de Optimización: Multiobjetivo por prioridades



## 2.1. Modelado de Sistema. Problema de Optimización (III)

- En la fase del Mercado P2P, no hay flexibilidad:  $\Delta z_i = 0$ ,  $z_{i,g} + z_{i,p} = \tilde{z}_i$
- Inicio:  $z_{i,g} = 0$        $z_{i,p} = \tilde{z}_i$
- **Función objetivo**  $\min_{z_i} \sum_{i=1}^{N_p} C_i(z_i)$  sujeta a  $\begin{cases} 0 \leq z_{i,p} \leq \tilde{z}_i, \text{ para compradores} \\ \tilde{z}_i \leq z_{i,p} \leq 0, \text{ para vendedores} \end{cases}$



## 2.1. Modelado de Sistema. Problema de Optimización (IV)

- Si se vulnera la condición  $\underline{U} \leq \sum_{i=1}^{N_p} z_{i,g} \leq \overline{U}$

- Flexibilidad requerida

$$\bar{F} = \begin{cases} \Sigma z_{i,g} - \overline{U}, & \text{si } \Sigma z_{i,g} > \overline{U}, \\ \underline{U} - \Sigma z_{i,g}, & \text{si } \Sigma z_{i,g} < \underline{U}, \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

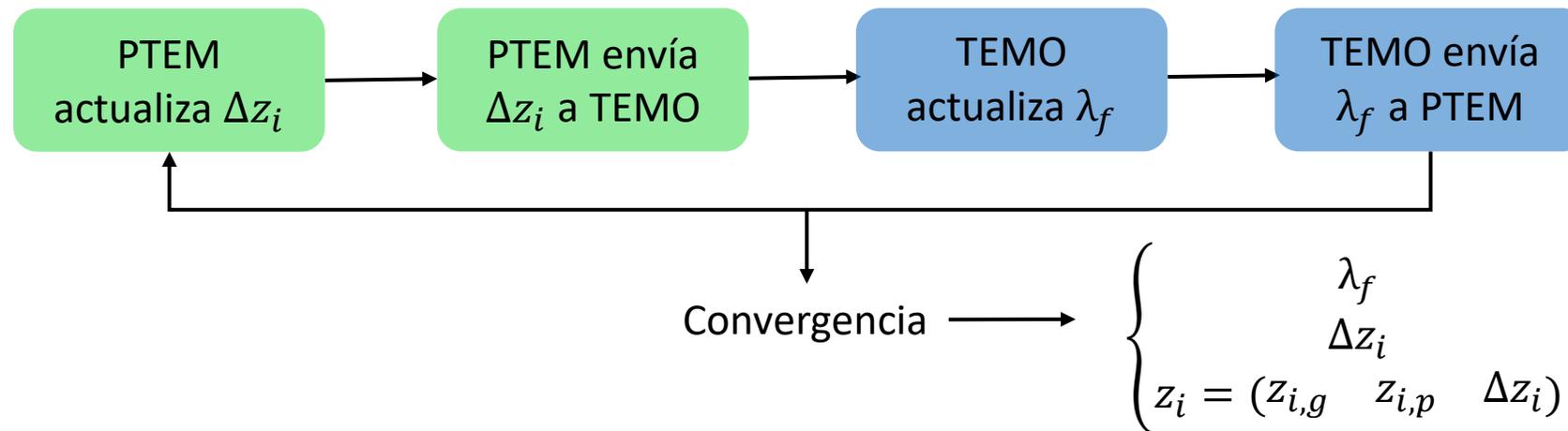
- Flexibilidad ofrecida por los prosumidores:  $\Delta z_i = \pm(\tilde{z}_i - z_i)$

- $\begin{cases} 0 \leq \Delta z_i \leq \tilde{z}_i - \underline{z}_i, & \text{para compradores} \\ 0 \leq \Delta z_i \leq \overline{z}_i - \tilde{z}_i, & \text{para vendedores} \end{cases}$



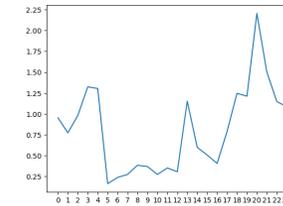
## 2.1. Modelado de Sistema. Problema de Optimización (V)

- Si no hay mercado de flexibilidad:  $\Delta z_i = 0, z_i = \tilde{z}_i$
  - Si lo hay, la función objetivo es:  $\min_{\Delta z_i} \sum_{i=1}^{N_p} FC_i(\Delta z_i)$   $\longrightarrow$  **Función Objetivo**  
Minimizar costes de la flexibilidad ofrecida de todos los prosumidores
- sujeta a las restricciones anteriores, y  $\sum_{i=1}^{N_p} \Delta z_i \leq \bar{F}$

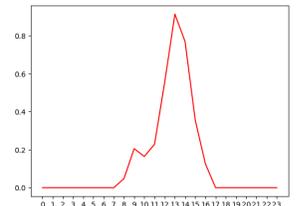


## 2.2. Modelado de Sistema: Simulación de Mercado P2P

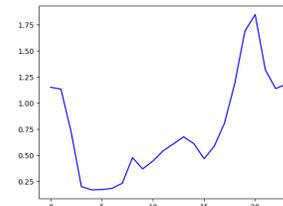
- Datos de Entrada
  - Datos de Consumo -> Smart Meters in London
  - Datos de Generación Solar -> Simulador Online
  - Datos de Scheduled Power:
    - Predicción con un modelo SARIMAX a partir de datos de consumo
    - Predicción con datos meteorológicos de producción solar
- Características de Baterías
  - 8 modelos de baterías
  - Capacidad entre 6.4 y 17.5 kW
- Preferencias de los Prosumidores
  - Función coste
  - Función coste de flexibilidad



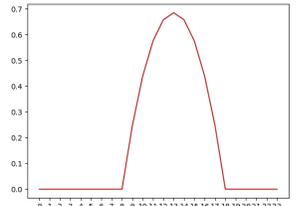
Datos de consumo



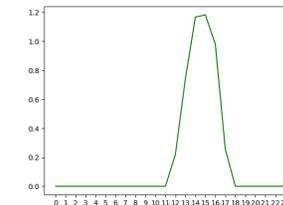
Datos de generación



Predicción de consumo



Predicción de generación

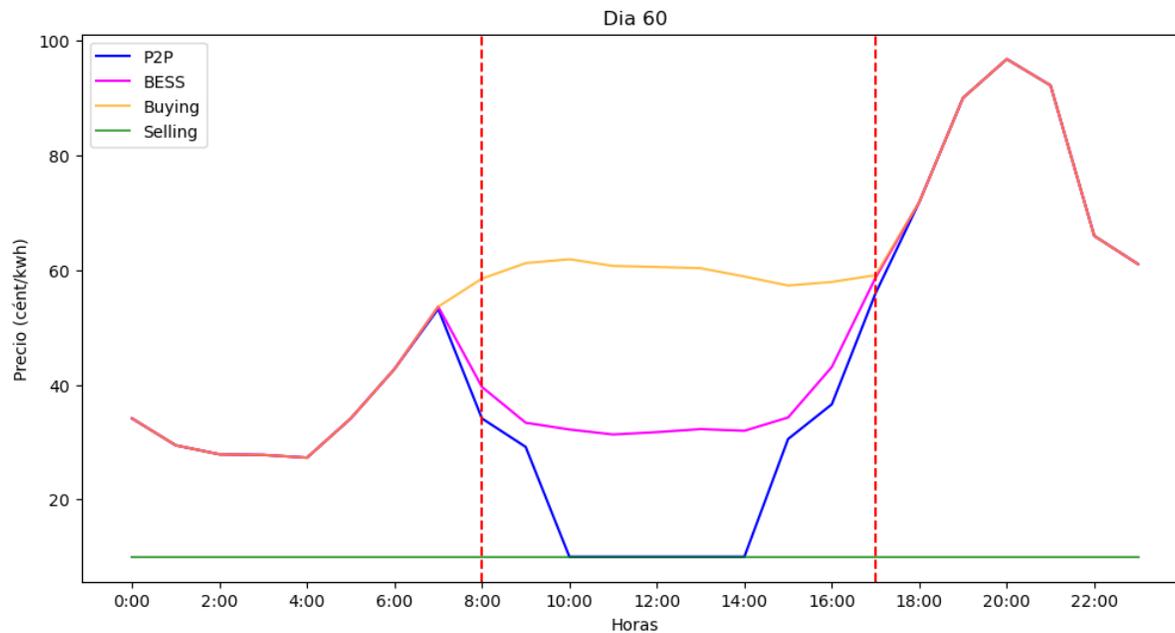


Batería

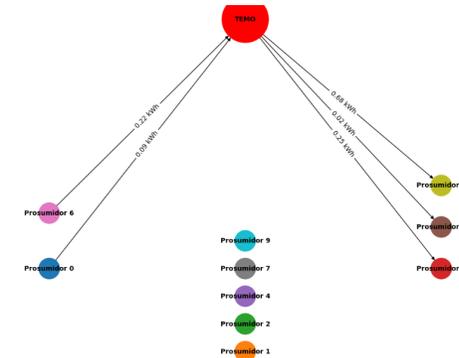


## 2.2. Modelado de Sistema: Simulación de Mercado P2P

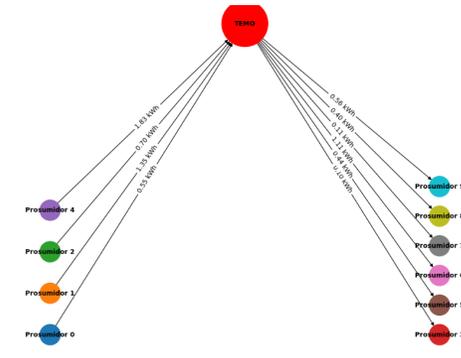
- Solución al problema de optimización  $\min_{z_i} \sum_{i=1}^{N_p} C_i(z_i)$
- Precios en el mercado P2P y energía compartida por hora



10 de la mañana



2 de la tarde



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA

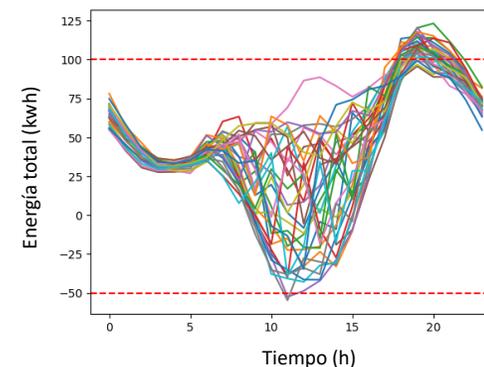


Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

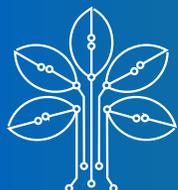
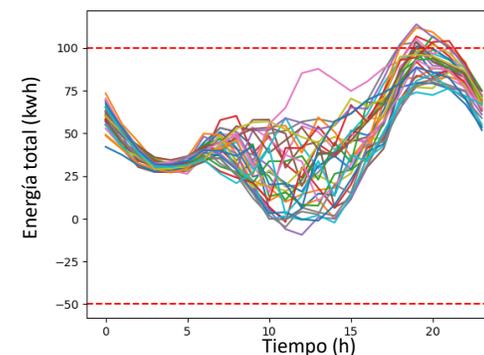
## 2.3. Simulación de Mercado de Flexibilidad

- Demanda de Flexibilidad
  1. Supera el límite de 100 kwh de consumo
  2. Queda por debajo de 50 kwh vertidos a la red
- Otras restricciones se pueden incluir

Consumo total de la comunidad



Consumo total de la comunidad considerando baterías



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU

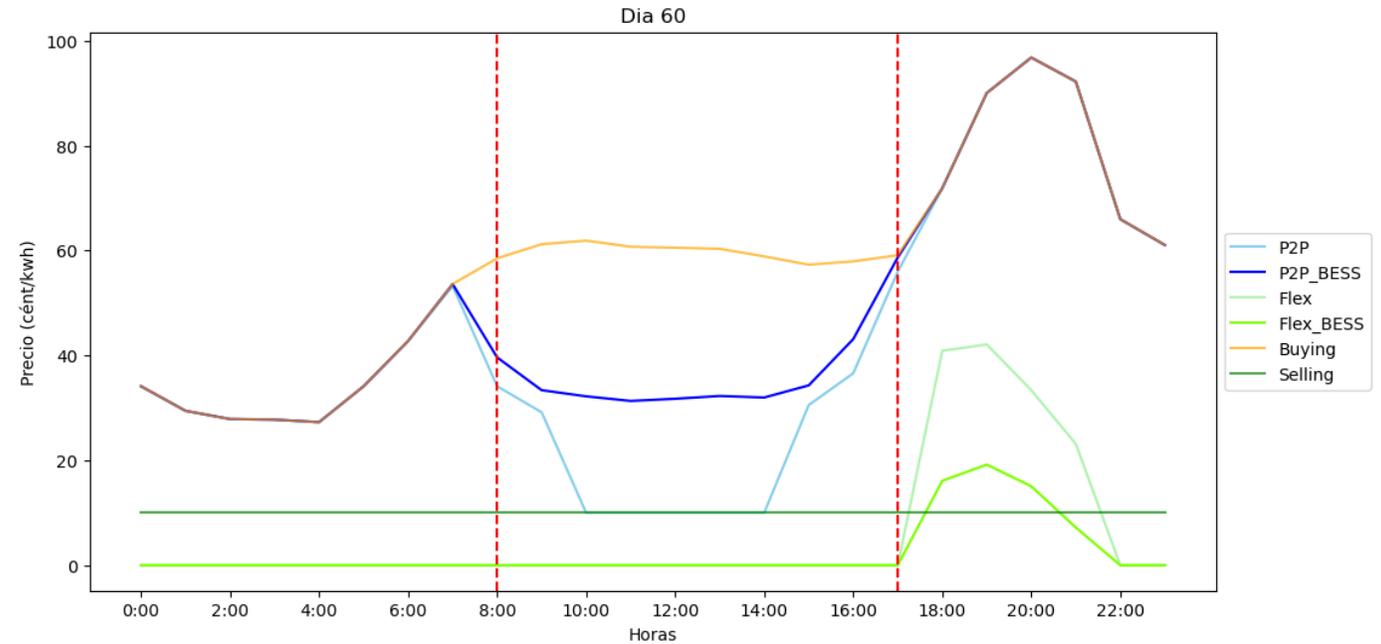
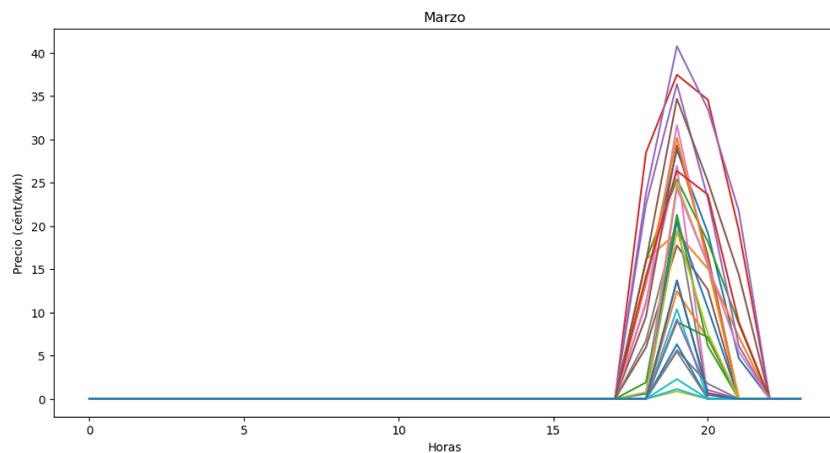
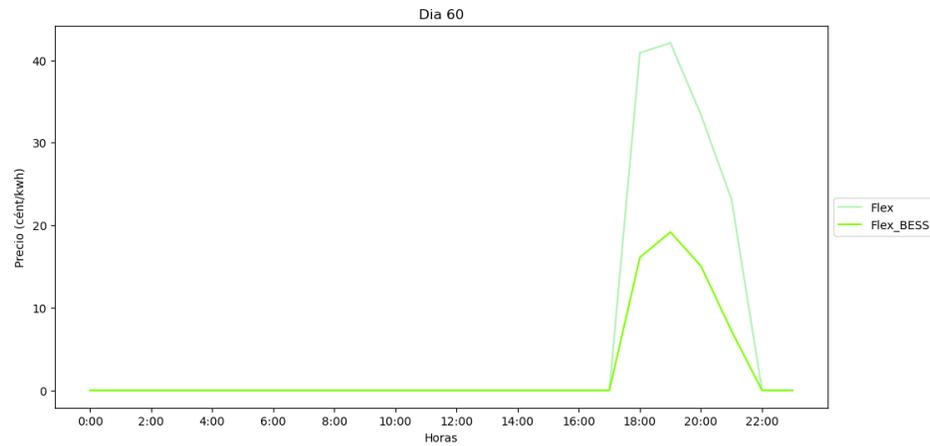


MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

## 2.3. Simulación de Mercado de Flexibilidad



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

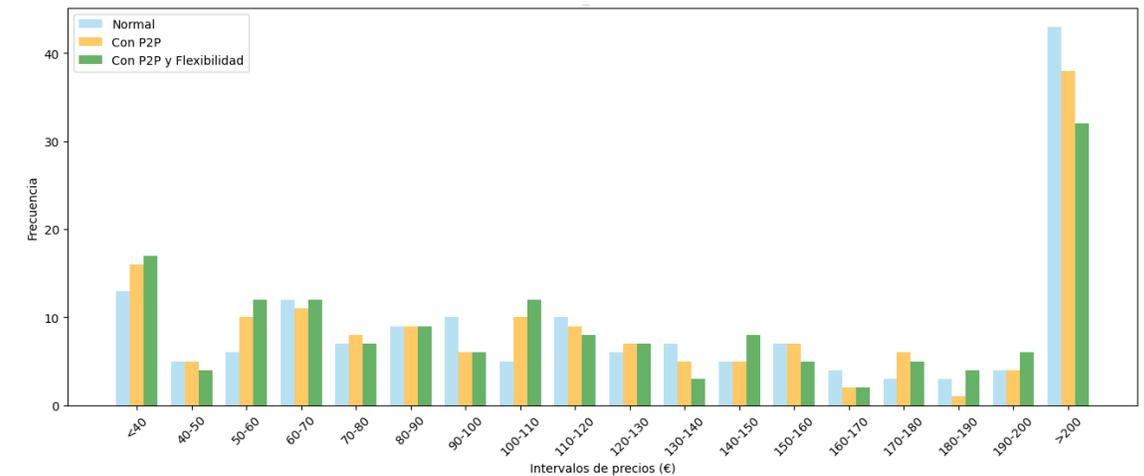
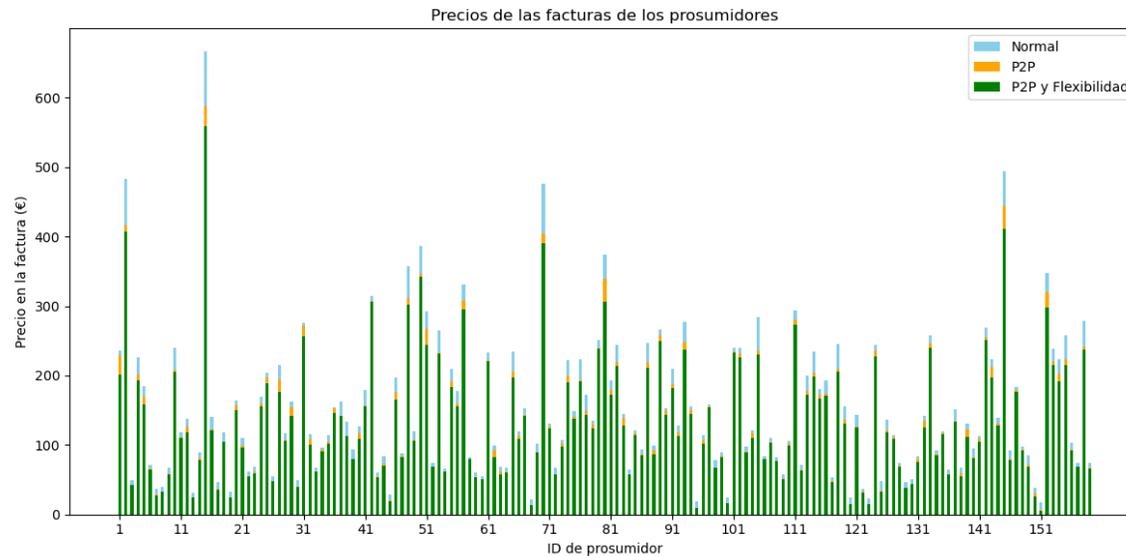
Proyecto IA4TES MIA.2021.M04.0008, financiado por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

Internal Use

# 3. Resultados: Análisis del Impacto en la Factura

- Escenarios:
  1. Normal
  2. P2P
  3. P2P y Flexibilidad

<b>P2P</b>	<b>P2P y Flexibilidad</b>
Rebaja del 10.57%	Rebaja del 13.24%



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

## 4. Conclusiones

- El diseño de los sistemas P2P y de flexibilidad ajustan eficazmente los objetivos iniciales
- El precio P2P de la energía compartida resulta siempre rentable para los prosumidores
- La inclusión de baterías en el modelo tiene como consecuencia que los precios P2P y de flexibilidad se estabilicen
- La factura del prosumidor disminuye significativamente considerando la participación en los mercados P2P y de flexibilidad
- La flexibilidad permite controlar el consumo total de la CLE
- Mayor aprovechamiento de los excedentes solares



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



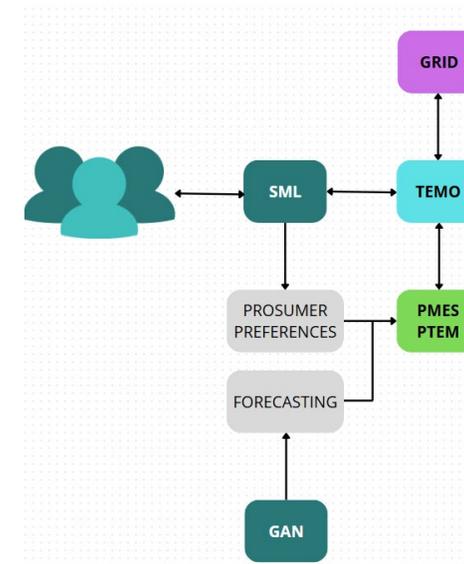
MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

## 5. Trabajo Futuro

- Modelado Multi-agente
- Inclusión de otras fuentes de energía renovables
- Inclusión de vehículos eléctricos
- Implementar modelos SLM
- IA generativa para el aumento de datos



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

# ¡GRACIAS!



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

Proyecto IA4TES MIA.2021.M04.0008, financiado por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia