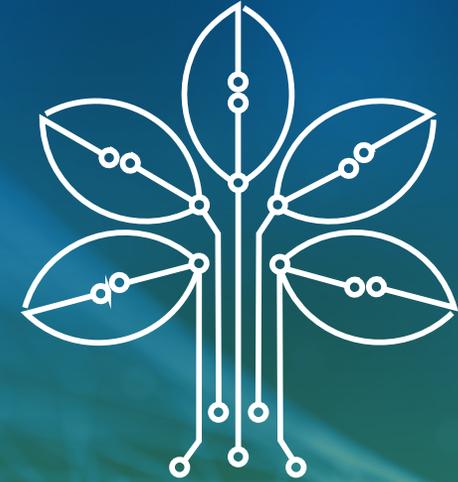


# IA híbrida para toma de decisiones comerciales basadas en datos

*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

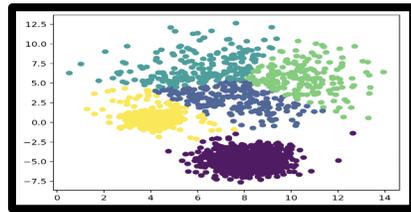


Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

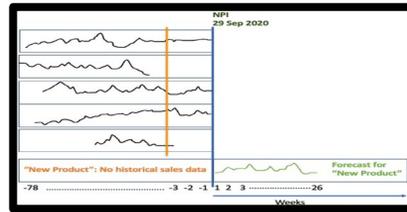
Proyecto IA4TES MIA.2021.M04.0008, financiado por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

# Líneas de investigación

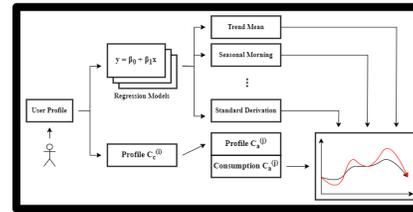
Uso de técnicas de aprendizaje automático y técnicas de optimización para gestión de decisiones comerciales en entornos equipados con contadores inteligentes.



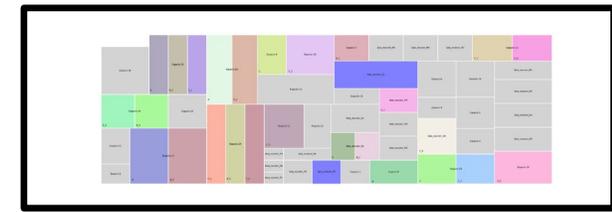
1. Caracterización de usuarios de energía, a partir de datos de consumo de smart meters.



2. Perfilado en frío.



3. Identificación de usuarios susceptibles de participar en acciones de flexibilidad.



4. Optimización de asignación de espacios en edificios inteligentes.



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

# Conjuntos de datos



## LONDON Datastore [1] (Análisis Energético)

- Compuesto por 5566 usuarios distintos
- Periodo de muestreo: 11/2011 – 02/2014; Frecuencia de muestreo: 30 minutos

Contiene información sobre el consumo energético de cada usuario



## IDEAL [2] (Análisis Energético + Socioeconómico)

- Compuesto por 255 usuarios distintos
- Duración media: 23 meses; Frecuencia de muestreo: 1 segundo

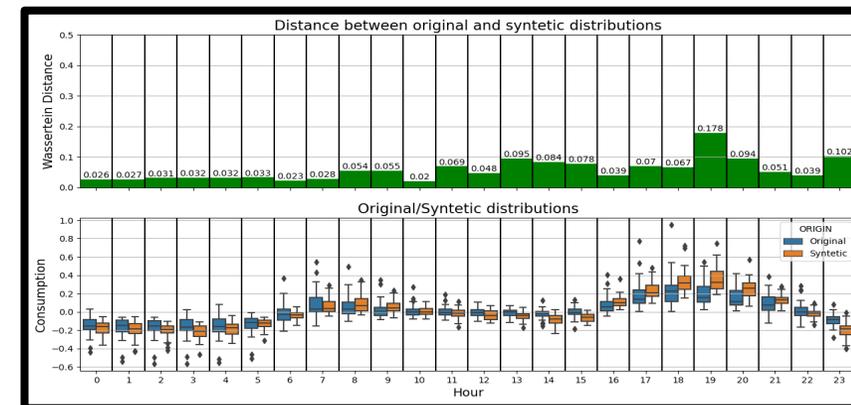
Contiene información sobre el consumo energético de cada usuario e información precisa sobre la demografía y características socioeconómicas de los usuarios



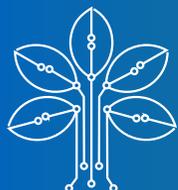
## StoreNet [3] (Análisis de flexibilidad)

- Compuesto por 20 usuarios distintos
- Periodo de muestreo: 01/01/2020 – 01/01/2021; Frecuencia de muestreo: 30 minutos

Contiene información sobre el consumo energético de los 20 usuarios e información sobre la producción energética de 10 usuarios



Datos sintéticos basados en datos socioeconómicos y/o patrones de consumo, técnicas clustering + regresión y Generative Adversarial Networks.



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. Caracterización de usuarios de energía

## Objetivo

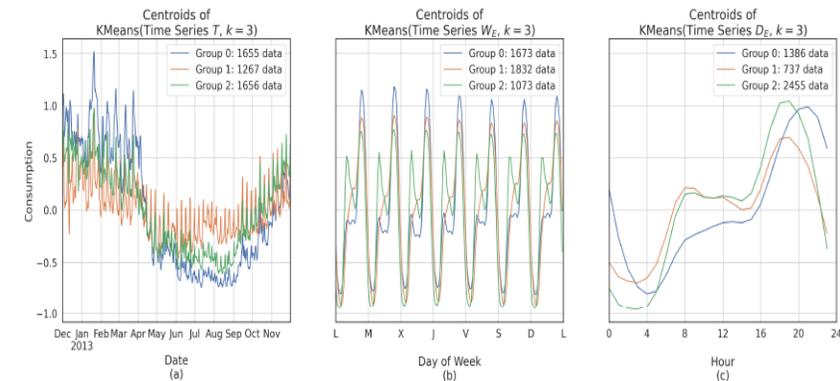
Segmentar el mercado en grupos con información suficiente para poder identificar modelos de usuarios.

## Características usadas

- Series temporales: Uso del algoritmo DTW [5] para calcular las distancias entre series temporales
- Extracción de características sobre las series temporales y uso de la distancia euclídea:
  - Estadísticos globales y locales
    - Localización, N<sup>o</sup> residentes, N<sup>o</sup> plantas, patio trasero o no, Salario anual, Días y Noches en el hogar, Edad, Situación Laboral, etc
  - Información sobre los picos presentes en las series temporales

## Algoritmos de agrupamiento

- K-Means: Creación de los distintos segmentos en base a la distancia de los distintos datos con los centroides de cada grupo.
- K-Shape [4]: Creación de los distintos segmentos en base a la forma de las series temporales, realizando distintos desplazamientos sobre las series temporales.
- Clustering Jerárquico: Creación de los distintos segmentos comparando la distancia entre los distintos pares de datos, creando una agrupación en forma de árbol (Dendograma).

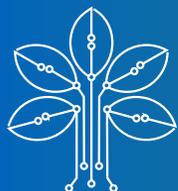
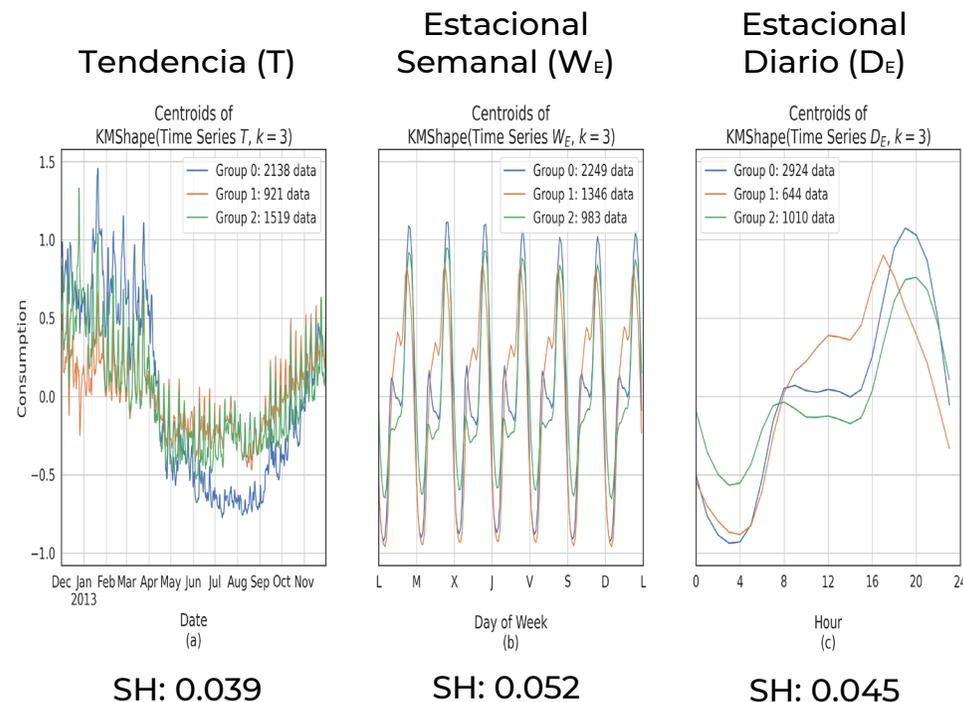


# Segmentación en [1] (*LONDON Datastore*)

## Algoritmo K-Shape sobre consumo energético

Descomposición clásica de las series temporales de consumo y aplicación de los algoritmos de agrupamiento sobre cada componente para su caracterización

Nº Grupo	T	$W_E$	D
0 (Azul)	Alta variabilidad en otoño	Pico moderado al mediodía y alto por la tarde	Valores máximos y mínimos en las horas pico y valle, respectivamente
1 (Naranja)	Tendencia estable	Consumo alto al mediodía	Consumo alto al mediodía
2 (Verde)	Mayor consumo los fines de semana	Como el grupo 0, pero menor consumo al mediodía	Como el grupo 0, pero con picos de menor amplitud en las horas valle y pico



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

# Segmentación en [2] (*IDEAL*)

## Algoritmo K-Means sobre datos socioeconómicos

Caracterización de los usuarios en base a su información socioeconómica

Nº Grupo	Descripción socioeconómica
0	Personas adultas (están en casa por la mañana los fines de semana) y ancianas (están en casa todas las mañanas), que viven en un piso, estando solas o con alguna persona más; con un sueldo medio-bajo. En general, trabajadores y pensionistas
1	Personas adultas, que viven en un piso, que suelen vivir con más personas; con un sueldo alto. En general, empresarios o directivos sin horario definido
2	Personas adultas y ancianas (con respecto al grupo 0, el grupo 2 tiene personas más mayores), que viven en una casa, estando solas o con más personas (en media, con más personas que el grupo 0); con un sueldo medio. En general, trabajadores cualificados y pensionistas (con mayor pensión que los del grupo 0)

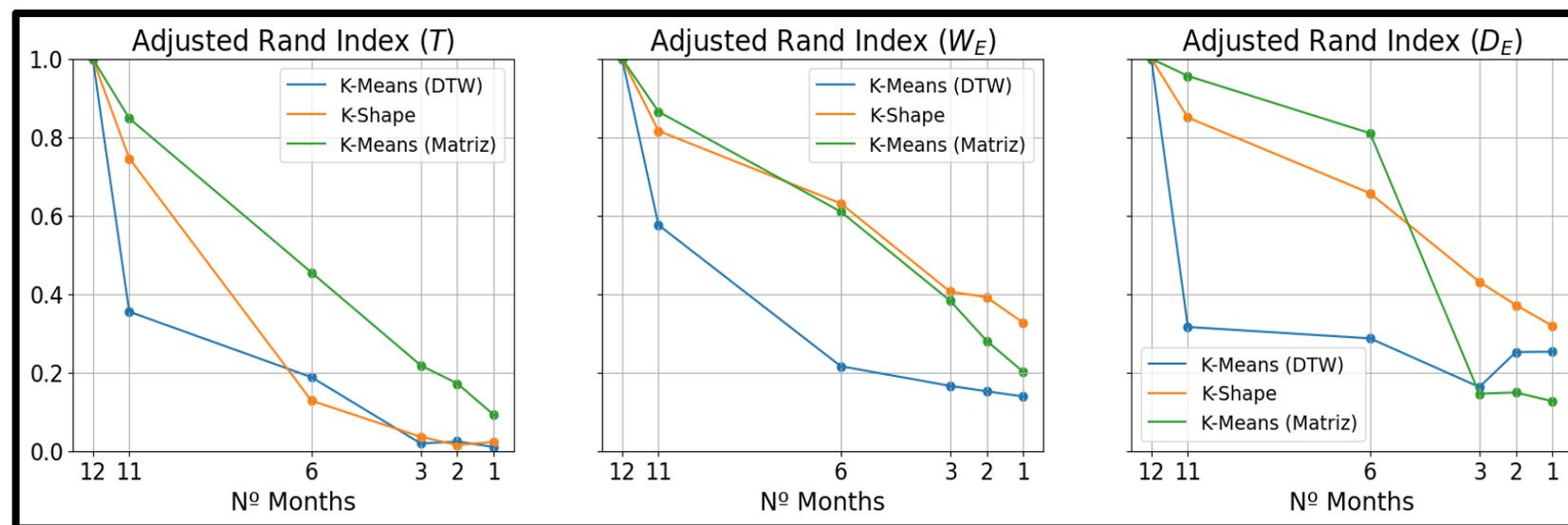
## 2. Problema de arranque en frío.

### Objetivo

Determinar los datos suficientes para analizar y clasificar a nuevos usuarios o clientes. Este problema es común en sistemas de recomendación, análisis de datos y predicción de patrones de consumo.

Relaciones entre modelos más débiles usando K-MEANS

Relaciones entre modelos más robustas usando K-SHAPE



Evolución del **Índice de Rand Ajustado**, según la longitud disponible de los históricos de consumo, según el algoritmo de agrupamiento y la componente considerada



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

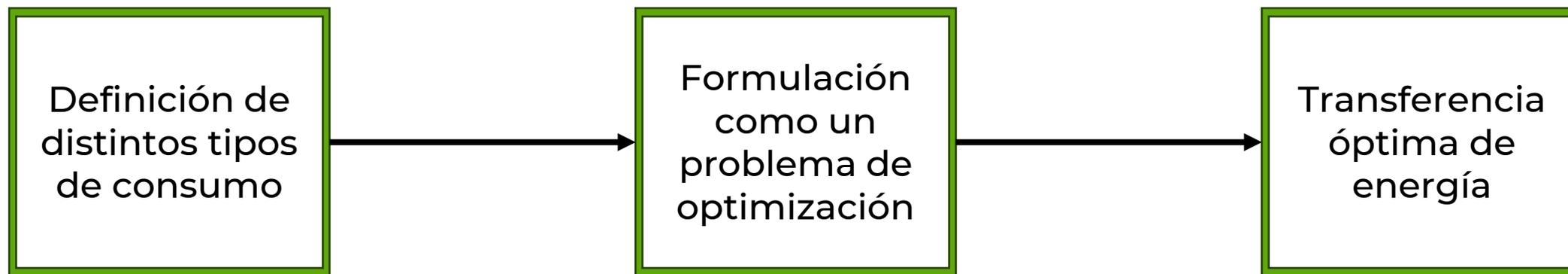
# 3. Identificación de usuarios para acciones de flexibilidad

## Objetivo

Estudiar el patrón de consumo de los hogares con el objetivo de analizar el impacto de acciones de flexibilidad y proponer un modelo de gestión (esto es, que permita trasladar consumo de horas con más demanda a otras con menos).

## Desglose del consumo energético [6]

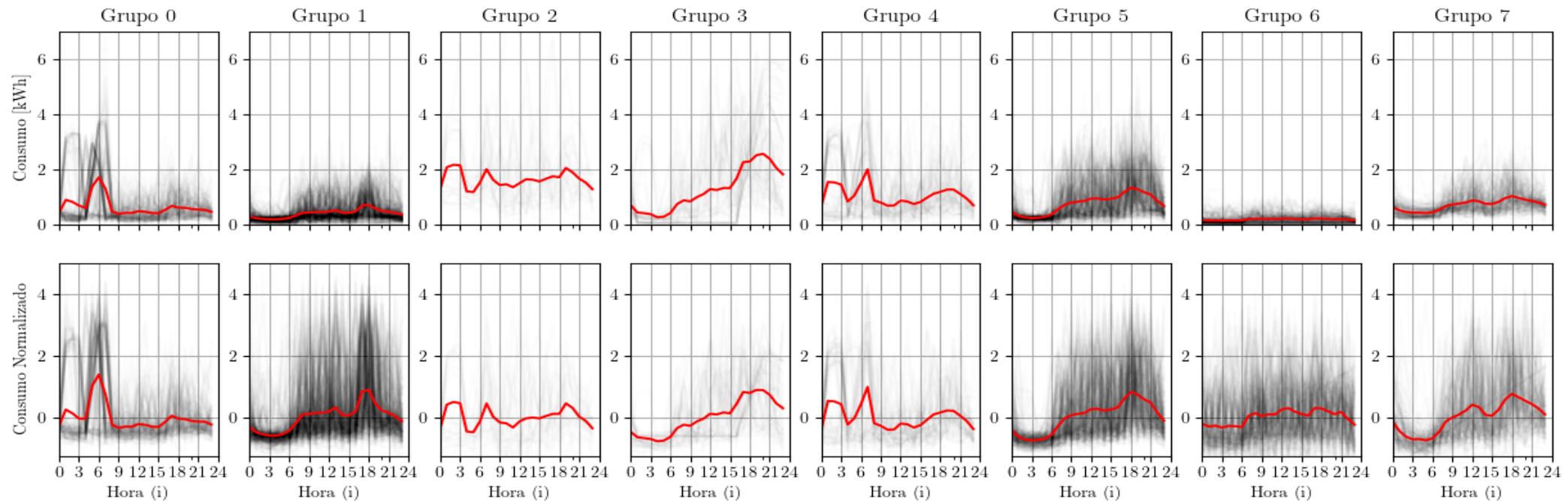
- Energía transferible: Aquella que se puede transferir a cualquier hora del día (Un 21.2% del consumo diario)
- Energía parcialmente transferible: Aquella que se puede transferir solo a horas cercanas (Un 29.8% del consumo diario)
- Energía no transferible: Aquella que se no se puede transferir, donde su uso es instantáneo (El resto del consumo diario)



# 3. Segmentación en [3] (*StoreNet*)

## Algoritmo K-Means sobre consumo energético

División de los días de los 20 usuarios en días independientes y aplicación del algoritmo sobre los diversos días. Caracterización de los grupos según los usuarios que forman dichos grupos.



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA

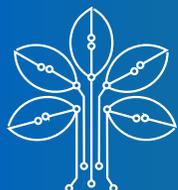
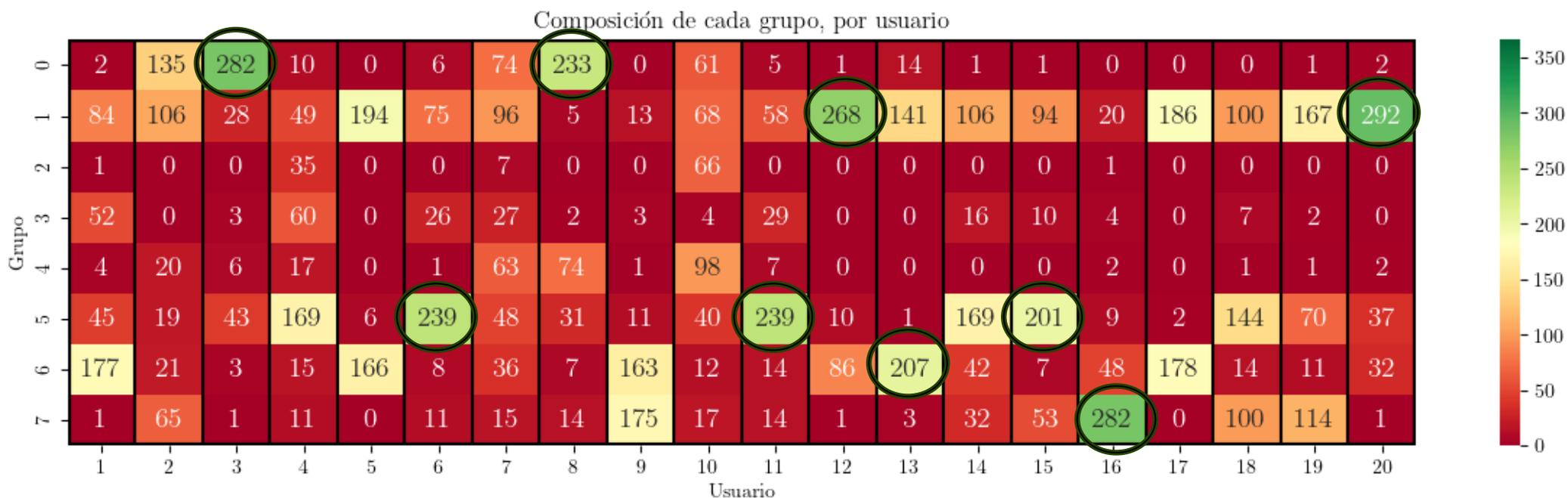


Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

### 3. Segmentación en [3] (*StoreNet*)

#### Algoritmo K-Means sobre consumo energético

División de los días de los 20 usuarios en días independientes y aplicación del algoritmo sobre los diversos días. Caracterización de los grupos según los usuarios que forman dichos grupos. El objetivo es identificar usuarios potenciales para formar parte de un mercado de flexibilidad.

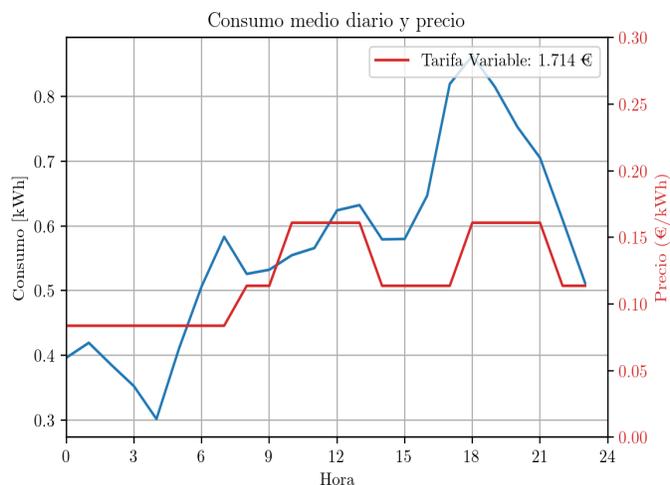


# 3. Modelo de gestión de flexibilidad

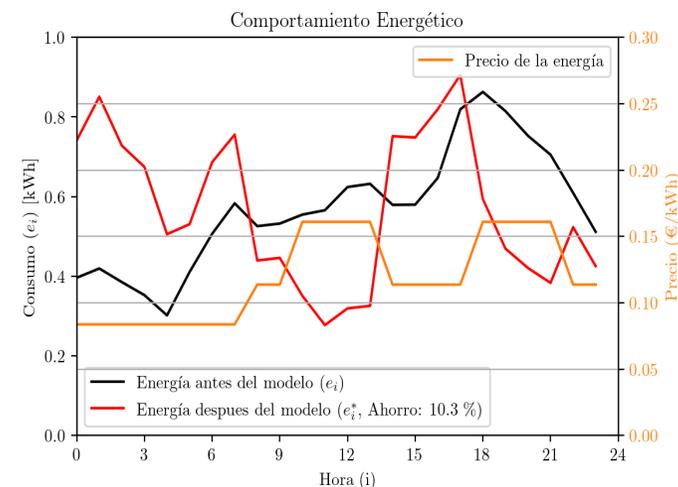
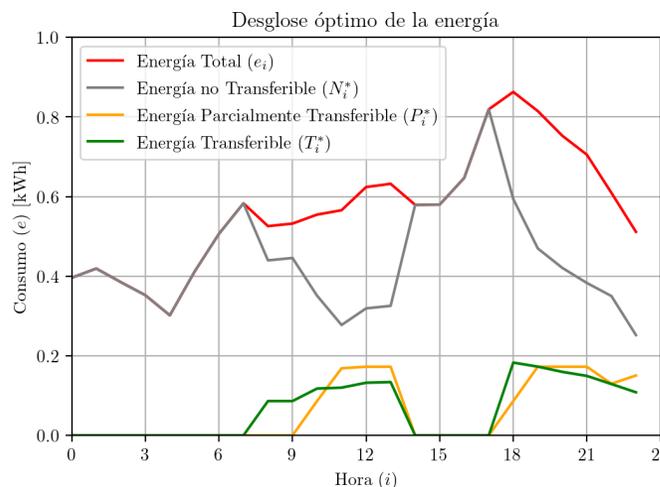


## Parámetros

- Horas Valle: De 0:00 a 8:00. Horas Llano: De 8:00 a 10:00, de 14:00 a 18:00, de 22:00 a 0:00. Horas Pico: De 10:00 a 14:00, de 18:00 a 22:00.
- Transferencia máxima permitida. Sin este valor, toda la energía transferida se va a la hora 0.
- Coste de transferencia: Variable que intenta reflejar aspectos de la vida real, como el coste de almacenamiento, rendimiento de la transferencia, etc.



Precio: 1.714 €/día

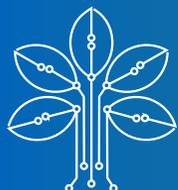


Ahorro: 10.3%



## Resultados

Traslado de energía de horas pico a horas valle, consiguiendo un ahorro asociado debido a la diferencia de precios



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

### 3. Modelo de gestión de flexibilidad

✓ Extensión del problema

En vez de usar el consumo medio de todo el dataset, se puede usar el de cada grupo

Nº Grupo	Precio (€/día)	Nº Datos
0	1.726	828
1	1.205	2150
2	4.658	110
3	3.967	245
4	2.915	297
5	2.351	1533
6	0.511	1247
7	2.123	910

Nuevo Precio	Ahorro (%)
1.574	8.8
1.071	11.1
4.229	9.2
3.506	11.6
2.634	9.7
2.086	11.3
0.465	9.0
1.908	10.1

Ahorro medio:  
10.33%



## 4. Optimización de asignación de espacios en edificios inteligentes.



### Objetivo

Generar modelos de optimización para toma de decisiones en el ámbito de la gestión del espacio en edificios comerciales para:

- Mejorar la eficiencia energética y lograr la reducción de costes operativos en edificios inteligentes gracias a la optimización de asignación de actividades.
- Evaluar el impacto de las técnicas de respuesta a la demanda junto con la autogeneración solar fotovoltaica (PV) junto con el almacenamiento de energía y las alternativas comerciales.



### Modelos de optimización (MILP, programación lineal entera mixta)

$$\begin{aligned} \text{Min } & \left\{ \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} cf_s * y_s + \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} cv_{i,s} * d_i * x_{i,s} \right. \\ & \left. + \sum_{h \in H} \sum_{g \in G} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} cv_{l,g,k} * d_l * z_{l,g,k} + \sum_{k \in K} cc_k * w_{e,c,k} - \sum_{h \in H} SolarUtilizada_h \right\} \end{aligned}$$

- 5 modelos, base, con generación PV, con vertido a la red, batería virtual y con batería física
- 19 restricciones, de asignación, de capacidad, de actividades de carga, de energía solar

### Variables de decisión

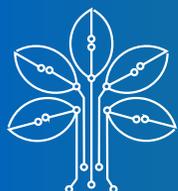
$y_s$  = 1 si el espacio  $s$  es seleccionado para alguna actividad,  $y_s = 0$  de lo contrario.

$x_{i,s}$  = 1 si el espacio  $s$  es asignado a la actividad  $i$ ,  $x_{i,s} = 0$  de lo contrario

$z_{l,g,k}$  = 1 si el espacio  $g$  es asignado a la actividad  $l$  durante el slot  $k$ ,  $z_{l,g,k} = 0$  de lo contrario

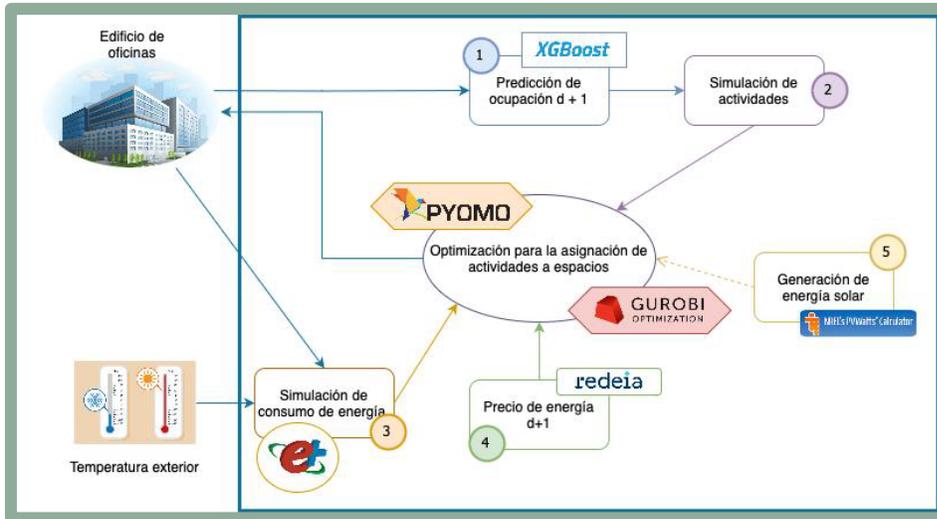
$w_{e,c,k}$  = 1 si el espacio  $c$  es asignado a la actividad  $e$  durante el slot  $k$ ,

$Solar\_Utilizada_h$  representa la cantidad de energía fotovoltaica utilizada en la hora  $h$ .



## 4. Validación

- Para validación: análisis basado en escenarios de uso considerando una estructura de oficina de tamaño medio que alberga a una empresa de tecnología de la información para fines de evaluación del modelo.
- Técnicas de aprendizaje automático para predicción y generación de datos sintéticos.

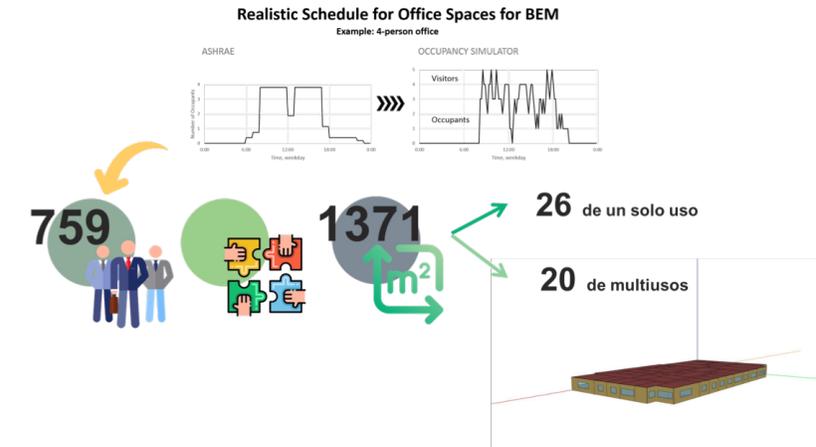


### Datos de entrada

- Datos operativos del edificio. ✓
- Historial de datos de ocupación. ✗
- Lista de actividades programadas. ✗
- Capacidad de ocupación de las actividades programadas. ✗
- Espacios disponibles. ✓
- Dimensión de cada espacio disponible. ✓
- Slots. ✗
- Costes fijos. ✗
- Costes variables. ✗
- Precio de la energía para el día siguiente. ✗
- Cantidad de energía solar fotovoltaica capaz de autogenerar el edificio. ✗

### Datos de salida

- Listado de asignaciones óptimas.



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA

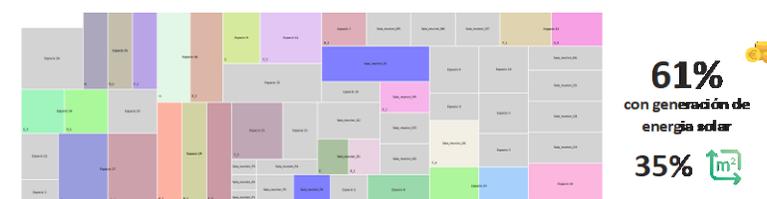


Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

## 4. Resultados alternativas.

Modelo	Modelo base	Modelo con generación de energía solar	Evaluación comparativa 1	Evaluación comparativa 2
Número de iteraciones para alcanzar el coste mínimo	1483	2775	-	-
Tiempo de cálculo (s)*	3 s	20 s	1 s	1 s
Valor función objetivo (€)	447.29	172.38	834.25	730.28
Coste fijo (€)	327.50	327.50	677.64	525.68
Coste variable (€)	72.77	72.77	102.80	142.67
Coste variable flexible (€)	0.22	0.22	0.58	0.48
Coste de carga (€)	46.81	46.99	53.26	61.45
Espacio ocupado en m <sup>2</sup> (%)	36.57	34.17	83.96	91.79
Ahorro con el uso de energía solar (%)	0	60.85	32.88	38.04

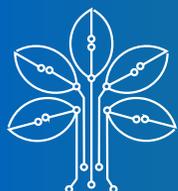
El modelo se comporta de manera consistente, logrando una reducción del 60% en el consumo de energía del edificio en comparación con técnicas de asignación determinísticas no optimizadas y una reducción adicional del 60.85% a través de la generación de energía solar.



EVALUACIÓN COMPARATIVA 1



EVALUACIÓN COMPARATIVA 2



INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA LA TRANSICIÓN  
ENERGÉTICA SOSTENIBLE



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



MINISTERIO  
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL  
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



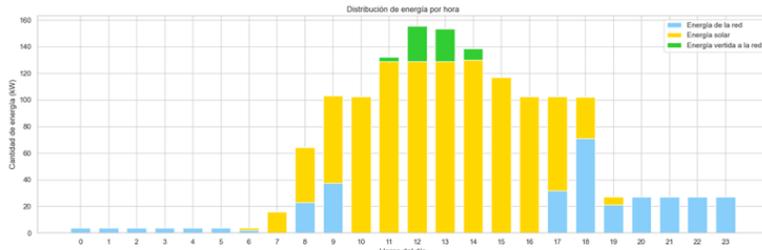
Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

## 4. Evaluación de alternativas tarifarias.

### Opciones de tarifas de energía solar para su excedente

VERTIDA A LA RED ELÉCTRICA

2% compensación de la red

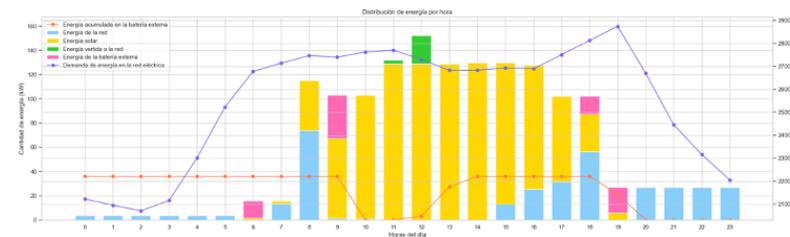


67%



BATERÍA VIRTUAL

12% compensación de la red



78%



BATERÍA EXTERNA

77%



\*Respecto al modelo sin generación de energía solar

Para la recomendación de las opciones tarifarias que incurren en como aprovechar la energía solar fotovoltaica excedente vamos a obtener un 6.9%, 17.5% y 16.4% de reducción adicional del precio en función de si escogemos verter a la red, a una batería virtual o a una batería física externa, respectivamente.



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

# Conclusiones

-  Aproximaciones de IA híbrida, que combinan optimización y aprendizaje automático.
-  Caracterización detallada de los grupos obtenidos, en cuanto a comportamiento energético y perfil socioeconómico. Análisis de necesidad de datos para nuevos clientes.  
Permite adoptar distintas estrategias a cada segmento, aumentando la satisfacción de los clientes
-  Propuesta de un modelo de gestión de flexibilidad.  
Reducción del consumo de las horas pico, y transferencia de dicho consumo a horas valle. Se obtiene una menor demanda en las horas pico
-  Identificación de los usuarios que pueden participar en acciones de flexibilidad, acorde a su comportamiento energético  
Con estos usuarios, se puede analizar sus características para proponer unos requisitos que deben cumplir nuevos usuarios para participar en este mercado
-  Diseño de modelos de optimización para asignación de espacios en edificios inteligentes.  
Análisis de alternativas tarifarias y de gestión del excedente de producción solar.

# Bibliografía

- [1] “SmartMeter Energy Consumption Data in London Households – London Datastore.” [Online]. Available: <https://data.london.gov.uk/dataset/smartmeter-energy-use-data-in-london-households>
- [2] M. Pullinger, J. Kilgour, N. Goddard, N. Berliner, L. M. Webb, M. O. Dzikovska, H. Lovell, J. Mann, C. Sutton, J. A. Webb, and M. Zhong, “The IDEAL household energy dataset, electricity, gas, contextual sensor data and survey data for 255 UK homes,” Scientific data, vol. 8, no. 1, 2021. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41597-021-00921-y>
- [3] R. Trivedi, M. Bahloul, A. Saif, S. Patra, and S. Khadem, “Comprehensive Dataset on Electrical load Profiles for energy Community in Ireland,” Scientific Data, vol. 11, no. 1, Jun. 2024, doi: [10.1038/s41597-024-03454-2](https://doi.org/10.1038/s41597-024-03454-2)
- [4] J. Paparrizos and L. Gravano, “k-Shape: Efficient and Accurate Clustering of Time Series,” SIGMOD record, vol. 45, no. 1, pp. 69–76, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/2949741.2949758>
- [5] H. Sakoe and S. Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition," in IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 26, no. 1, pp. 43-49, February 1978, doi: [10.1109/TASSP.1978.1163055](https://doi.org/10.1109/TASSP.1978.1163055)
- [6] Iberdrola, “The benefits of energy efficiency,” Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sustainability/environment/energy-efficiency> (accessed: Nov. 22, 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

# ¡GRACIAS!

*UPM*



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