

Herramienta para optimizar el mix eléctrico aplicando técnicas de inteligencia artificial

Javier Bonilla

**Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
Plataforma Solar de Almería (PSA)**



**5-7
Feb.
2020**
Madrid, España



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



Índice

1

Motivación

2

Optimización del Mix Eléctrico

3

Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

4

Herramienta Software

5

Resultados

Motivación

¿Como optimizar el mix eléctrico?

Potencia instalada óptima de las distintas fuentes energéticas para un año objetivo



Aproximación actual



Demanda

- Datos históricos
- Previsión de cambio



Generación

- Modelos matemáticos
- Estimación generación



Optimización

- Criterios definidos
- Aproximación macro

Motivación

¿Como optimizar el mix eléctrico?

Potencia instalada óptima de las distintas fuentes energéticas para un año objetivo



Aproximación actual



Demanda

- Datos históricos
- Previsión de cambio



Generación

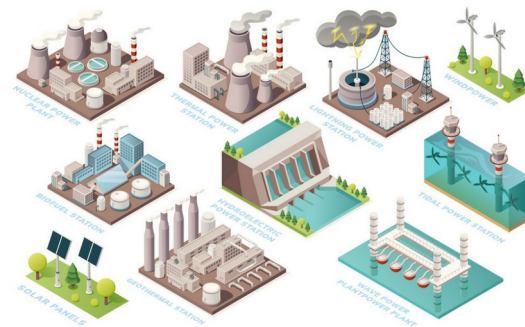
- Modelos matemáticos
- Estimación generación



Optimización

- Criterios definidos
- Aproximación macro

Tecnologías



Motivación

¿Como optimizar el mix eléctrico?

Potencia instalada óptima de las distintas fuentes energéticas para un año objetivo



Aproximación actual



Demanda

- Datos históricos
- Previsión de cambio



Generación

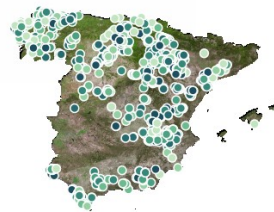
- Modelos matemáticos
- Estimación generación



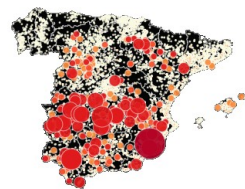
Optimización

- Criterios definidos
- Aproximación macro

Eólica



Fotovoltaica



Termosolar



Motivación

¿Como optimizar el mix eléctrico?

Potencia instalada óptima de las distintas fuentes energéticas para un año objetivo



Otra aproximación



Demanda

- Datos históricos
- Previsión de cambio



Generación

- Datos históricos
- Proyección generación



Optimización

- Selección de criterios
- Detalle horario

Optimización del Mix Eléctrico



Datos

Demanda y generación de las diferentes tecnologías a nivel horario.



Hipótesis

Suposiciones previas al proceso de optimización.



Variables a optimizar

Definir las variables que se desean optimizar y restricciones.



Objetivos

Minimizar o maximizar uno o varios objetivos.



Optimización

Cálculo de variables óptimas que minimizan o maximizan los objetivos.



Optimización del Mix Eléctrico



Datos

Demanda y generación de las diferentes tecnologías a nivel horario.

2017

Optimización del mix eléctrico en 2030



Hipótesis

Suposiciones previas al proceso de optimización.

Mix Protermosolar



Variables a optimizar

Definir las variables que se desean optimizar y restricciones.

Potencia instalada

- Fotovoltaica
- Eólica
- Termosolar



Objetivos

Minimizar o maximizar uno o varios objetivos.

- Satisfacer la demanda
- Minimizar coste medio generación



Optimización

Cálculo de variables óptimas que minimizan o maximizan los objetivos.

Optimización del Mix Eléctrico



Datos

Demanda y generación de las diferentes tecnologías a nivel horario.



Hipótesis

Suposiciones previas al proceso de optimización.



Variables a optimizar

Definir las variables que se desean optimizar y restricciones.



Objetivos

Minimizar o maximizar uno o varios objetivos.



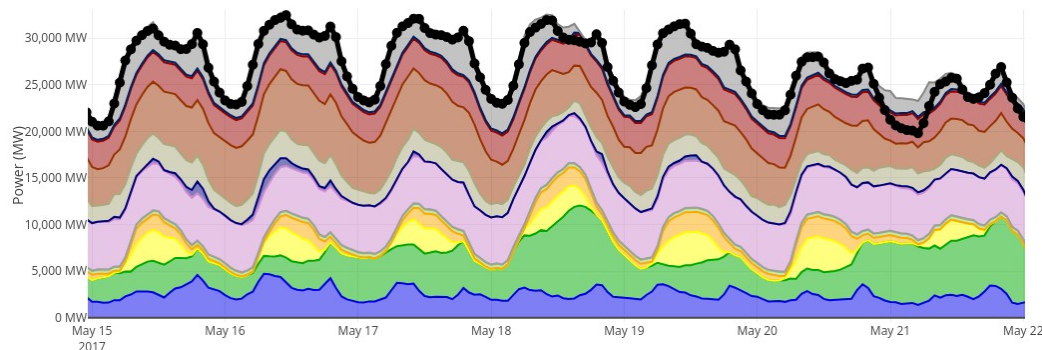
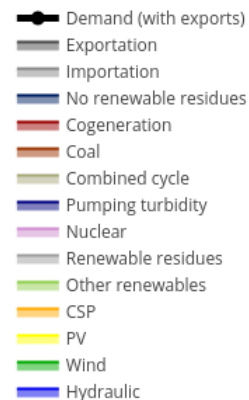
Optimización

Cálculo de variables óptimas que minimizan o maximizan los objetivos.



RED
ELÉCTRICA
DE ESPAÑA

esios
SISTEMA DE INFORMACIÓN
DEL OPERADOR DEL SISTEMA



Datos de 2017 de demanda y
generación a nivel horario

Optimización del Mix Eléctrico



Datos

Demanda y generación de las diferentes tecnologías a nivel horario.



Hipótesis

Suposiciones previas al proceso de optimización.



Variables a optimizar

Definir las variables que se desean optimizar y restricciones.



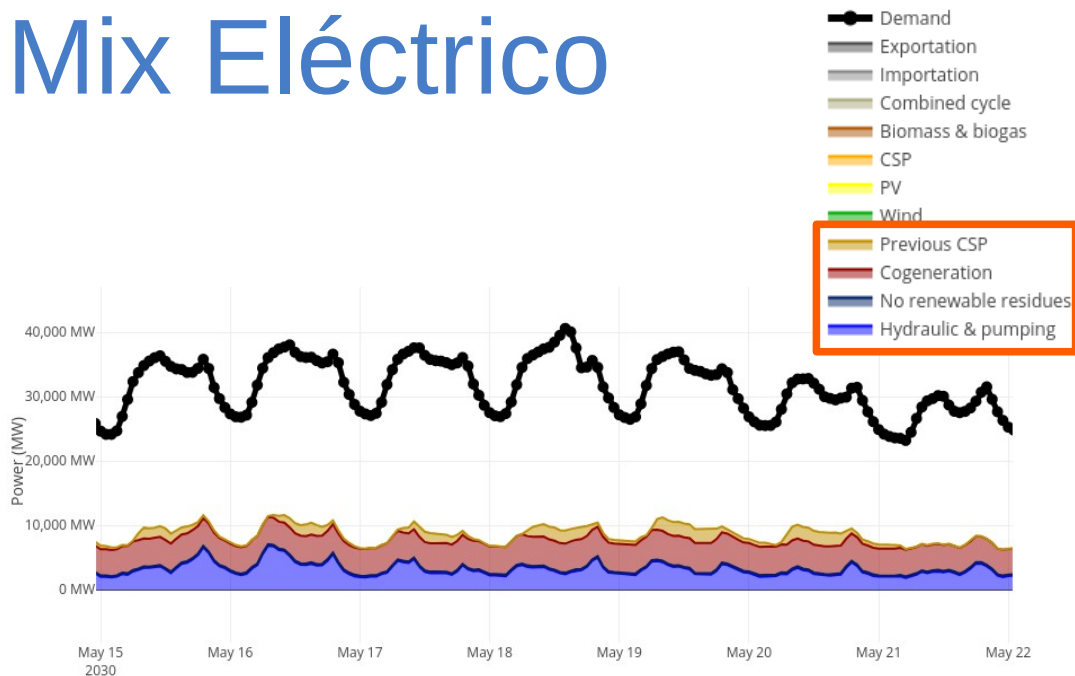
Objetivos

Minimizar o maximizar uno o varios objetivos.



Optimización

Cálculo de variables óptimas que minimizan o maximizan los objetivos.



Demanda en 2030
1,2% incremento anual

Cierre centrales
carbón y nucleares

Replicar perfil de generación horario:

- Hidráulica + Turbinación por bombeo
- Residuos
- Termosolar
- Cogeneración (8.5 GW)

Optimización del Mix Eléctrico



Datos

Demanda y generación de las diferentes tecnologías a nivel horario.



Hipótesis

Suposiciones previas al proceso de optimización.



Variables a optimizar

Definir las variables que se desean optimizar y restricciones.



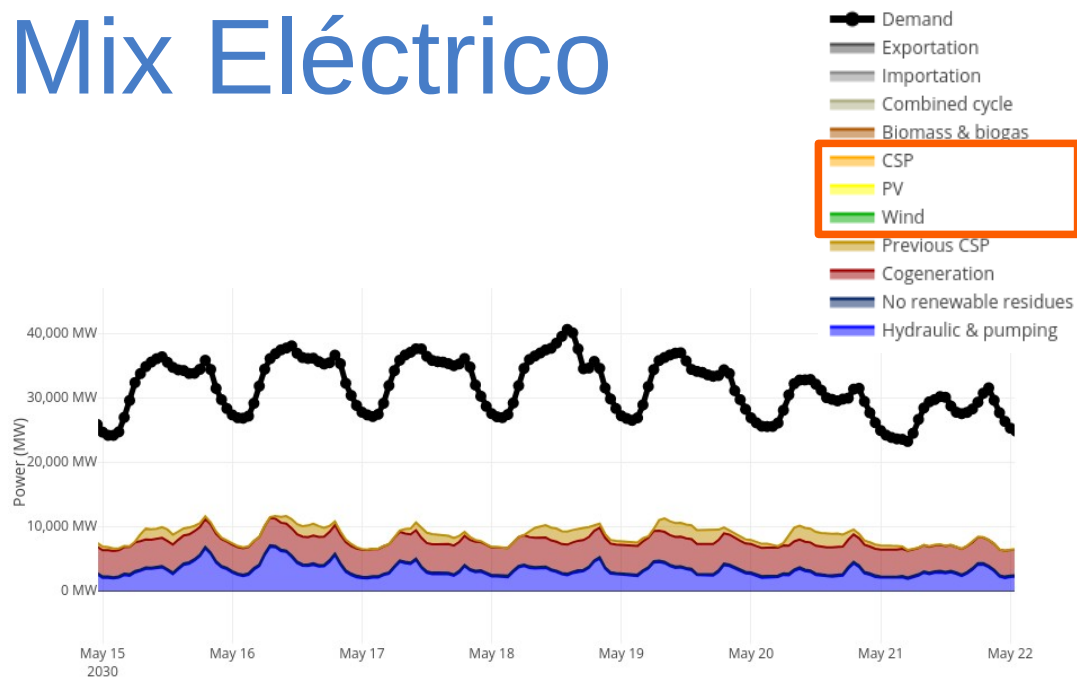
Objetivos

Minimizar o maximizar uno o varios objetivos.



Optimización

Cálculo de variables óptimas que minimizan o maximizan los objetivos.



Horas equivalentes

Fotovoltaica
1.840 h

Eólica
2.240 h

Termosolar
3.500 h

16h - 08h
Tanques: 15h

Optimización del Mix Eléctrico



Datos

Demanda y generación de las diferentes tecnologías a nivel horario.



Hipótesis

Suposiciones previas al proceso de optimización.



Variables a optimizar

Definir las variables que se desean optimizar y restricciones.



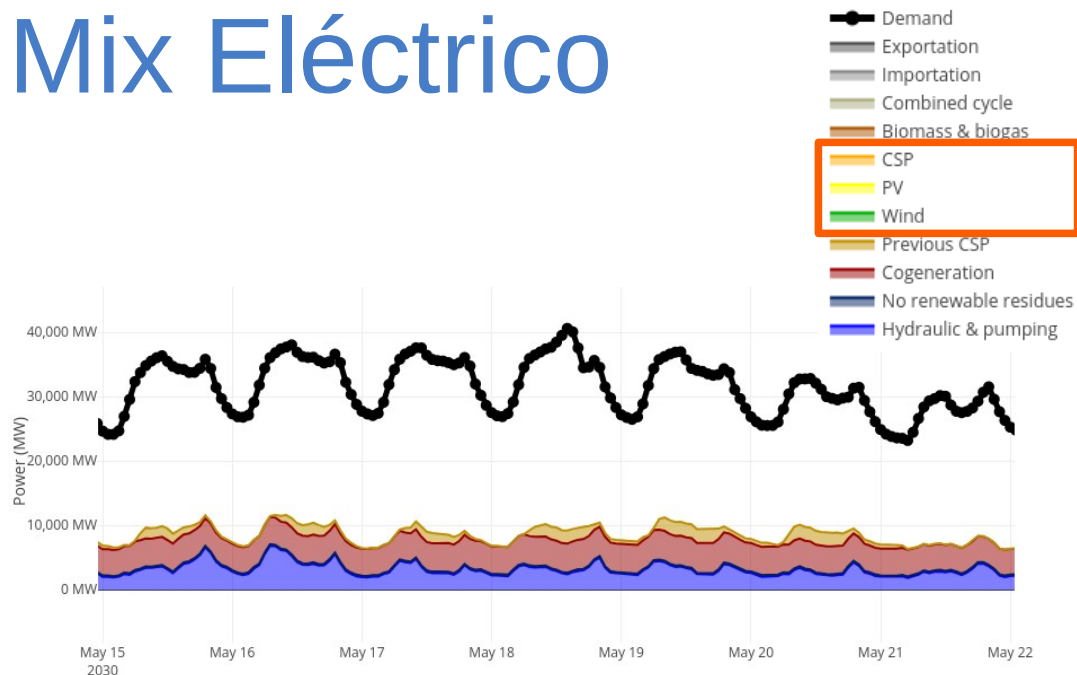
Objetivos

Minimizar o maximizar uno o varios objetivos.



Optimización

Cálculo de variables óptimas que minimizan o maximizan los objetivos.



Horas equivalentes

Fotovoltaica
1.840 h

Eólica
2.240 h

Termosolar
3.500 h

16h - 08h

Tanques: 15h

Cubrir demanda en orden de despacho

Biomasa
5 GW

Importación / exportación
7 GW

Ciclo combinado
15,8 GW

Optimización del Mix Eléctrico



Datos

Demanda y generación de las diferentes tecnologías a nivel horario.



Hipótesis

Suposiciones previas al proceso de optimización.



Variables a optimizar

Definir las variables que se desean optimizar y restricciones.



Objetivos

Minimizar o maximizar uno o varios objetivos.



Optimización

Cálculo de variables óptimas que minimizan o maximizan los objetivos.



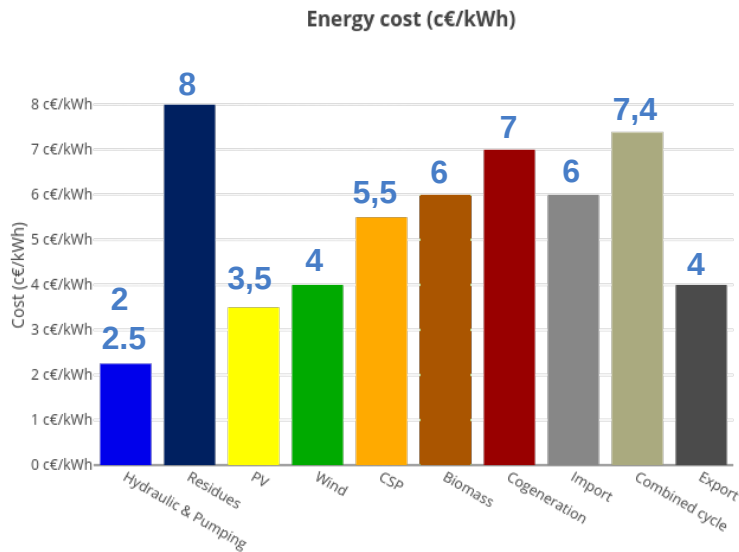
Satisfacer la demanda

Minimizar diferencia entre demanda y generación total



Minimizar el coste

Coste por fuente energética previamente fijados

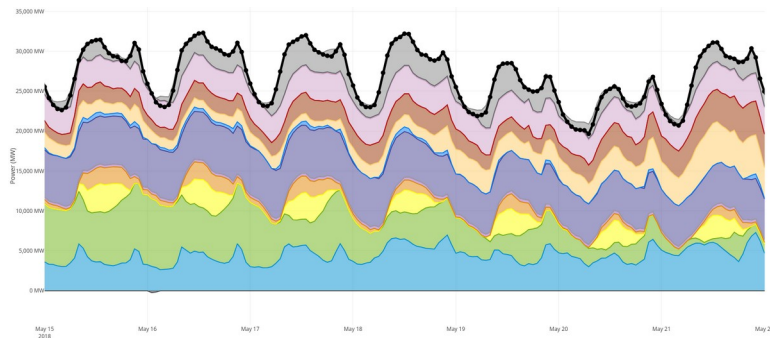


Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

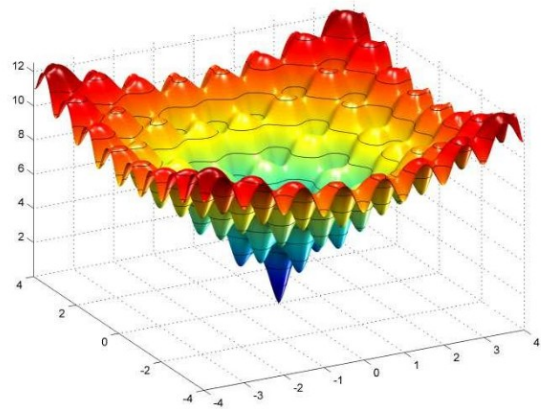
¿Por qué aplicar técnicas de Inteligencia Artificial?



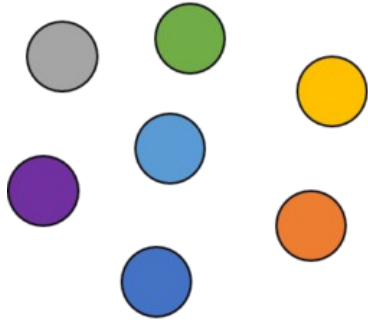
Mix eléctrico basado en **datos históricos** no en modelos matemáticos.



Espacio de búsqueda **extenso y complejo**.

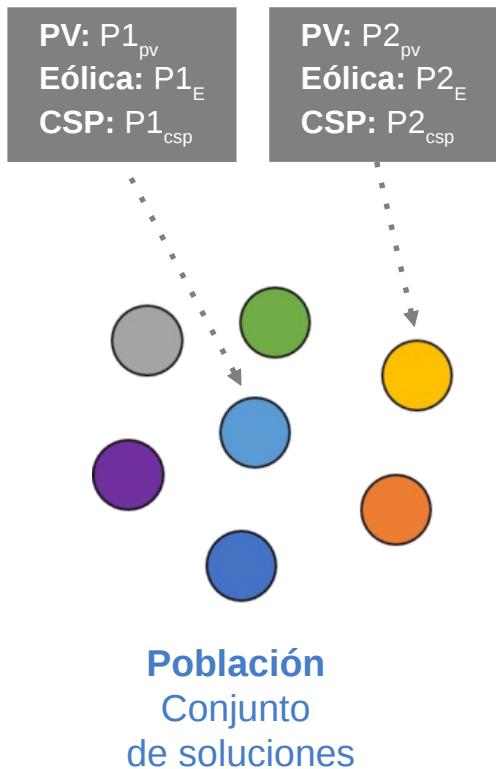


Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

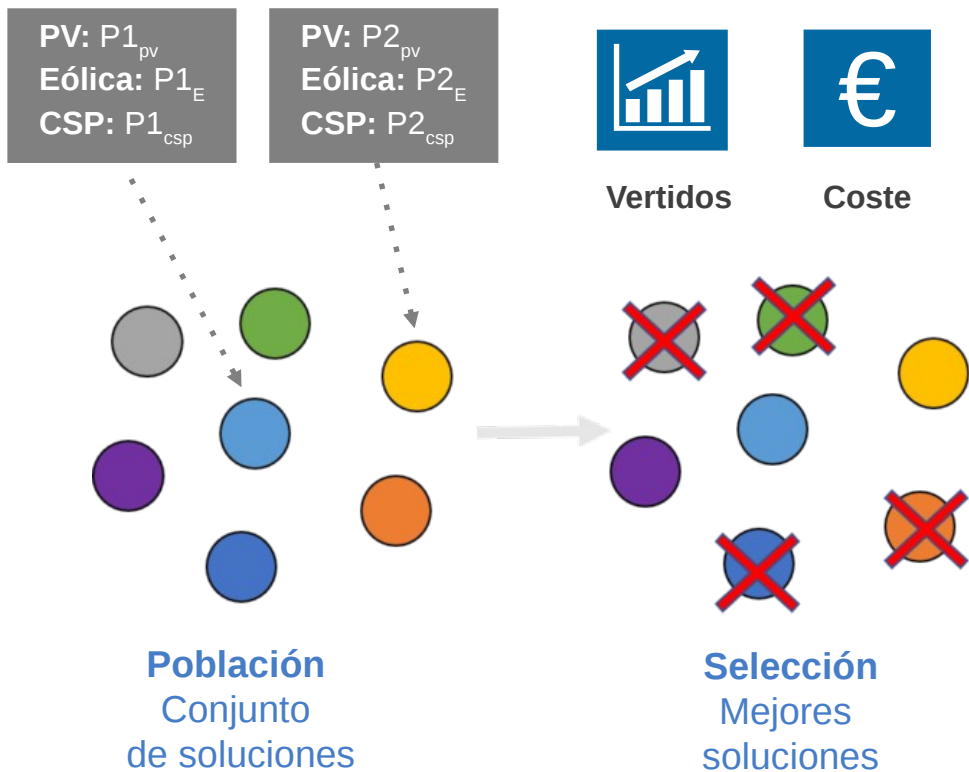


Población
Conjunto
de soluciones

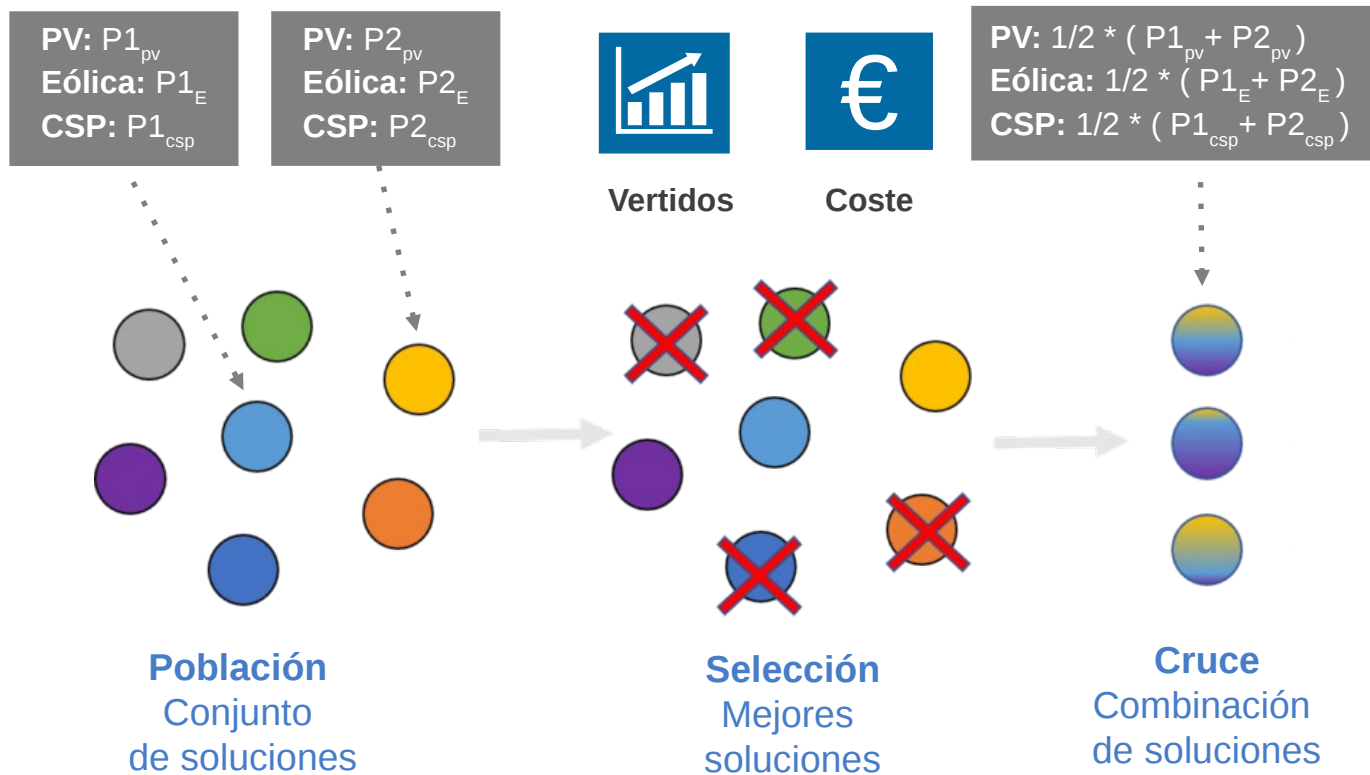
Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos



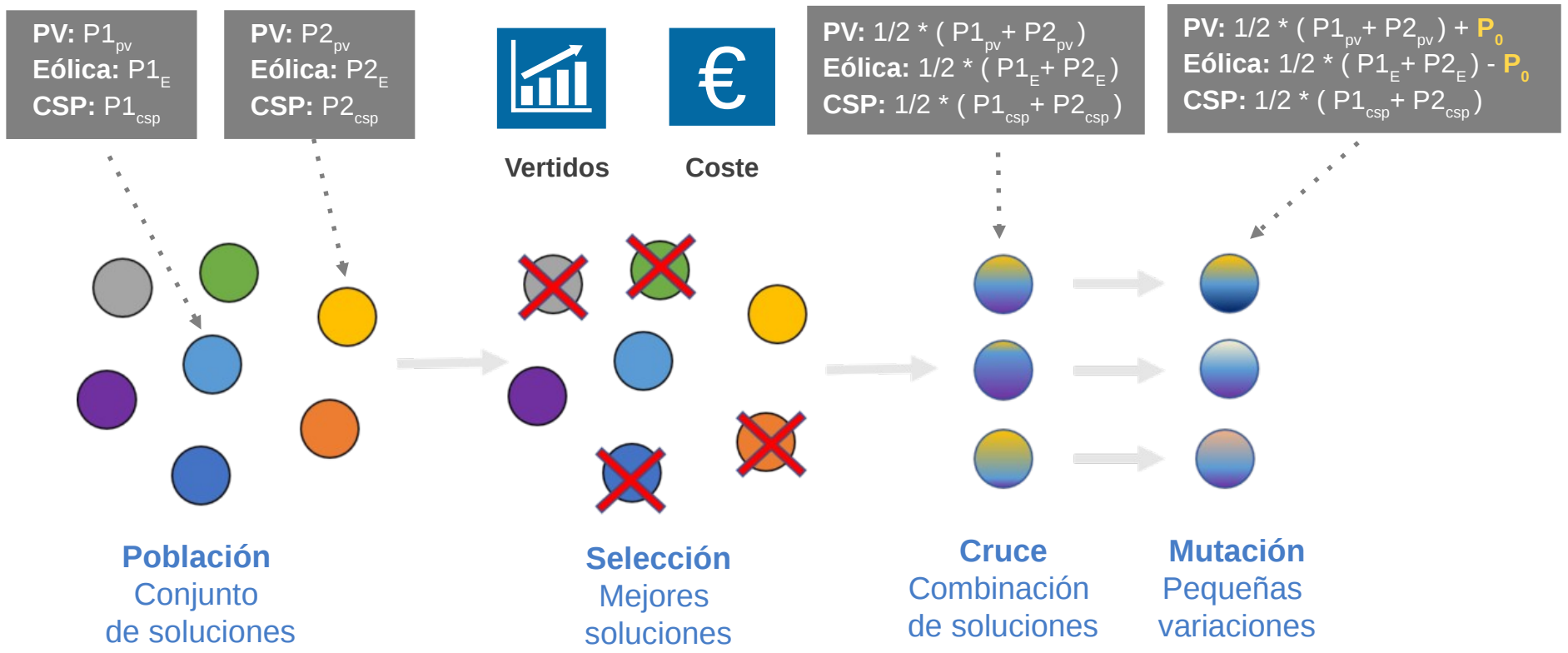
Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos



Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

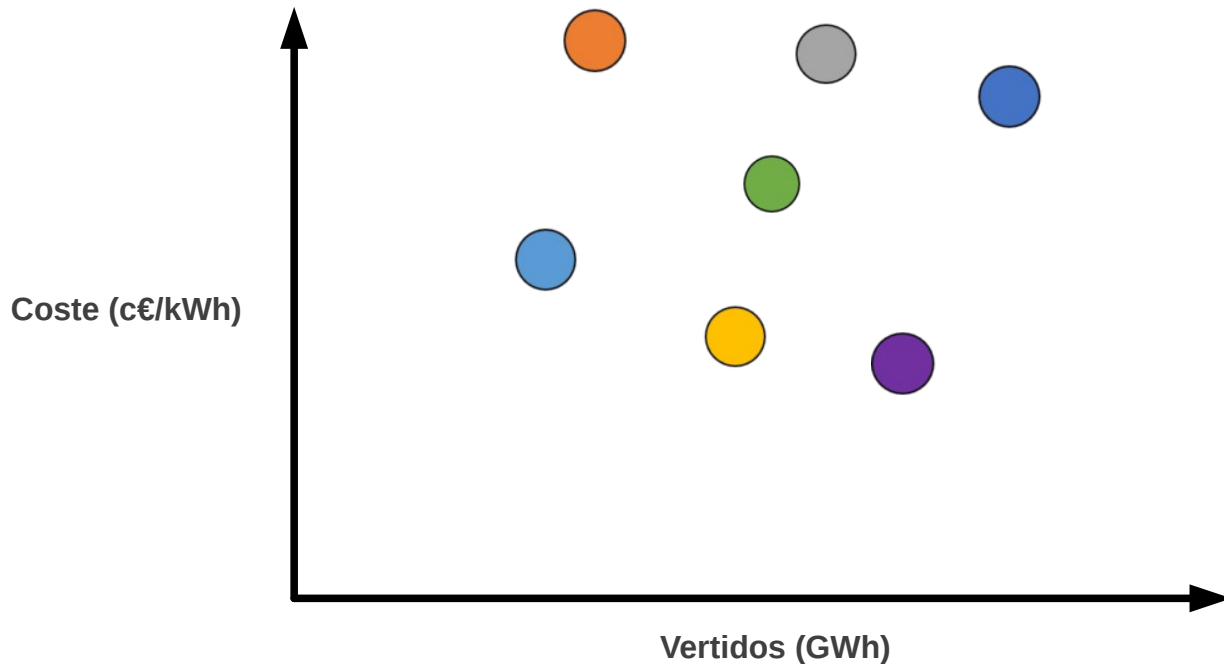


Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos



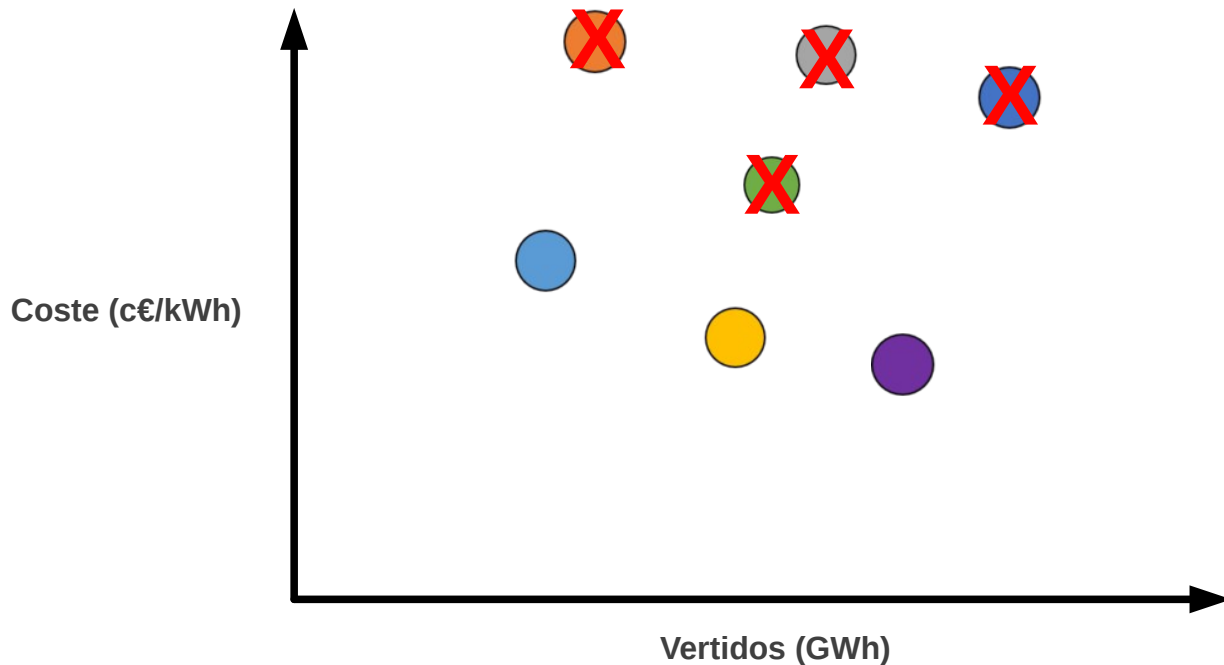
Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

Optimización Multiobjetivo



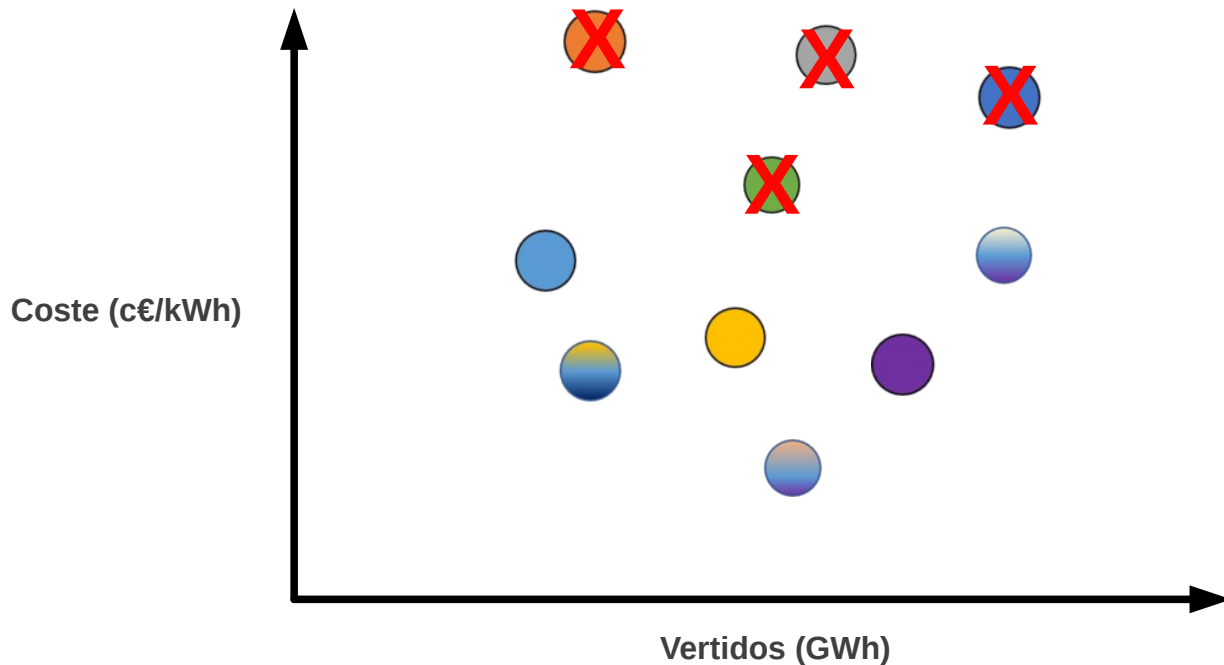
Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

Optimización Multiobjetivo



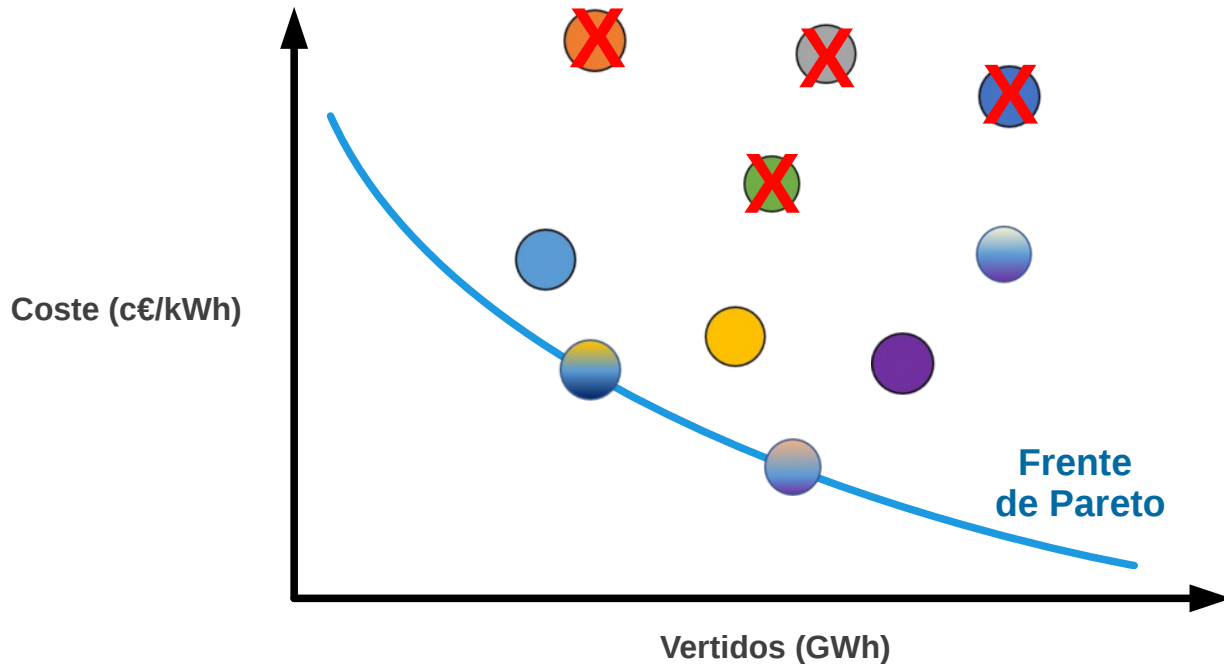
Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

Optimización Multiobjetivo



Inteligencia Artificial: Algoritmos Genéticos

Optimización Multiobjetivo



Herramienta Software

Optimización

Datos

Resultados

Web de resultados

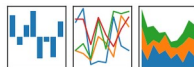


esios
SISTEMA DE INFORMACIÓN
DEL OPERADOR DEL SISTEMA



pandas

$$y_{it} = \beta' x_{it} + \mu_i + \epsilon_{it}$$



NumPy



plotly



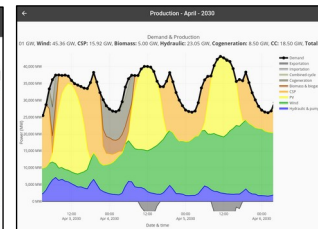
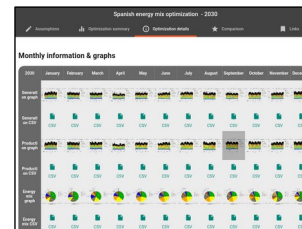
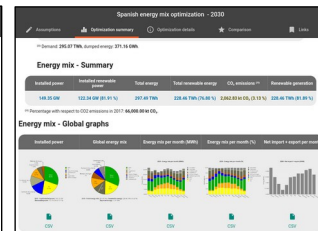
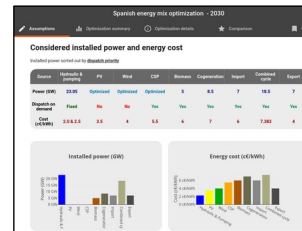
Requests



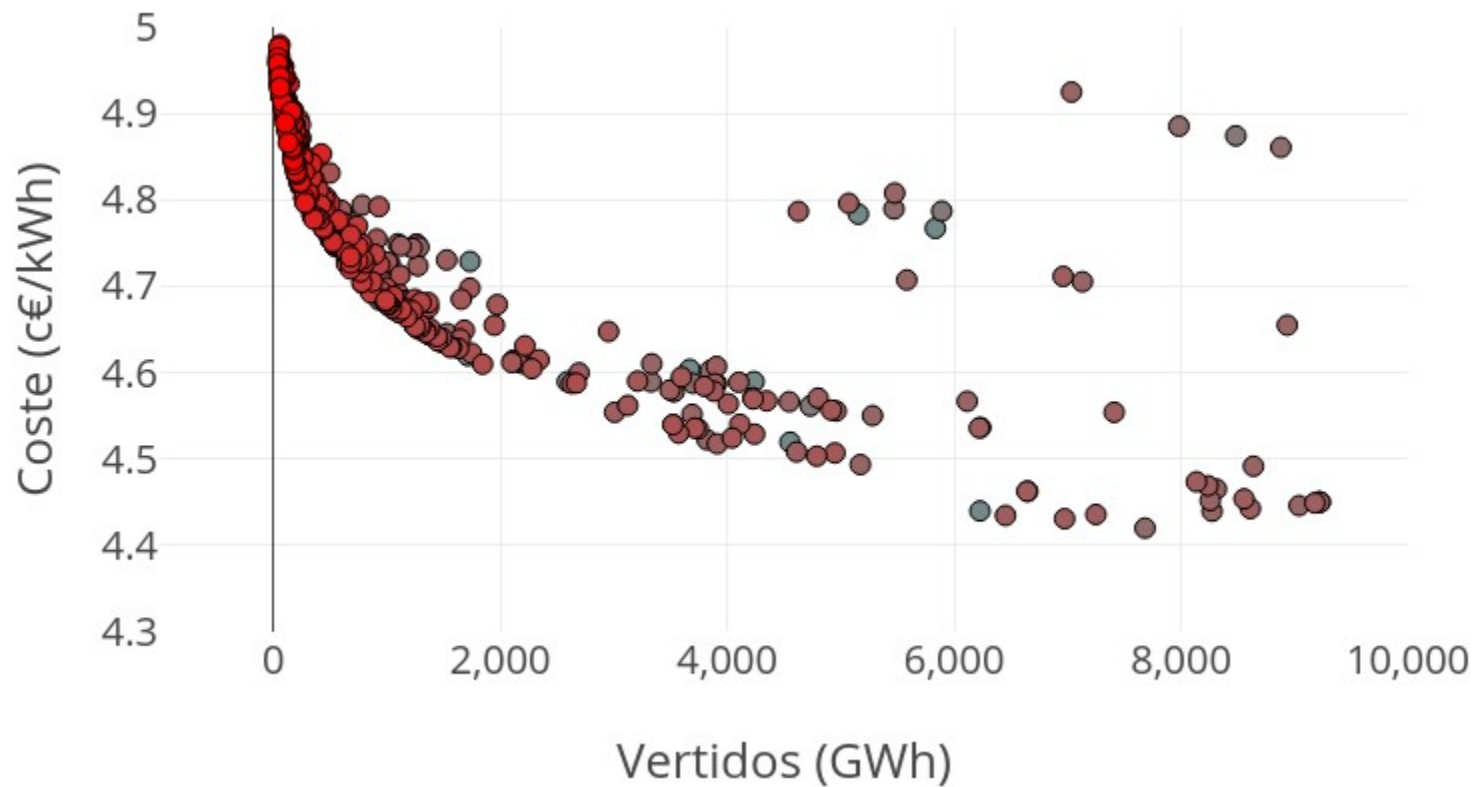
Multiprocessing

NSGA-II

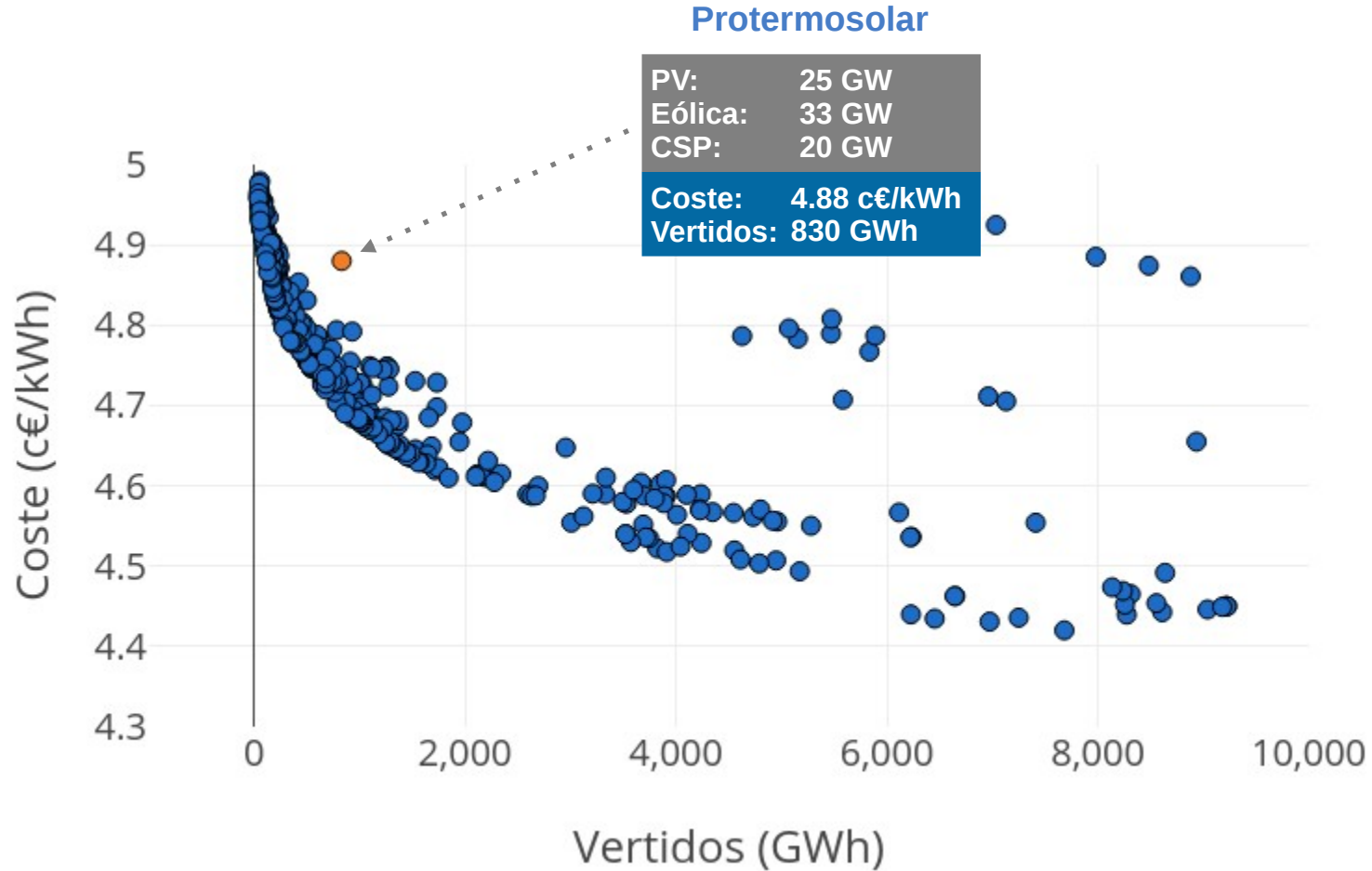
- Algoritmo genético
- Multiobjetivo
- Eficiente
- Preciso



Resultados



Resultados



Resultados

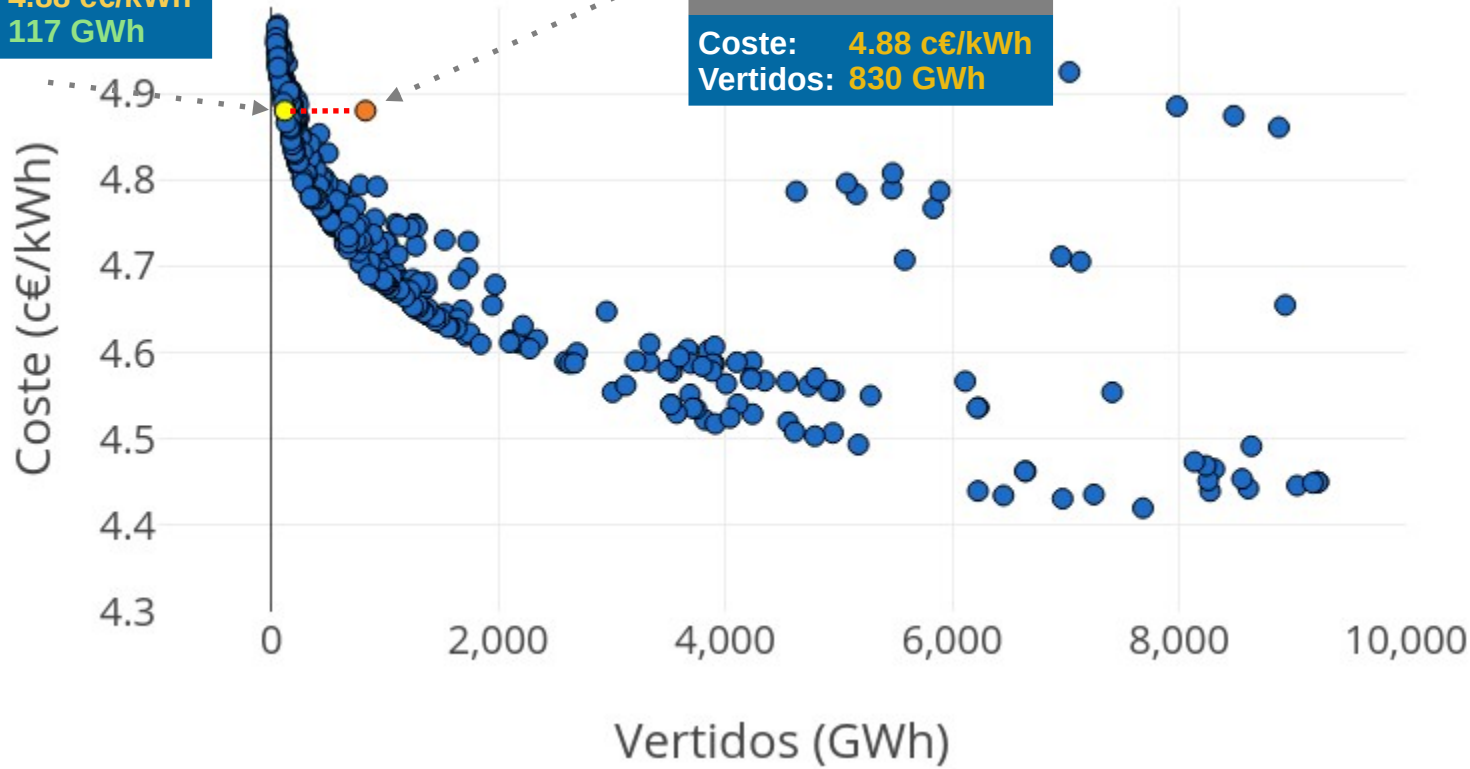
PV: 19.2 GW
Eólica: 38.7 GW
CSP: 15.4 GW

Coste: 4.88 c€/kWh
Vertidos: 117 GWh

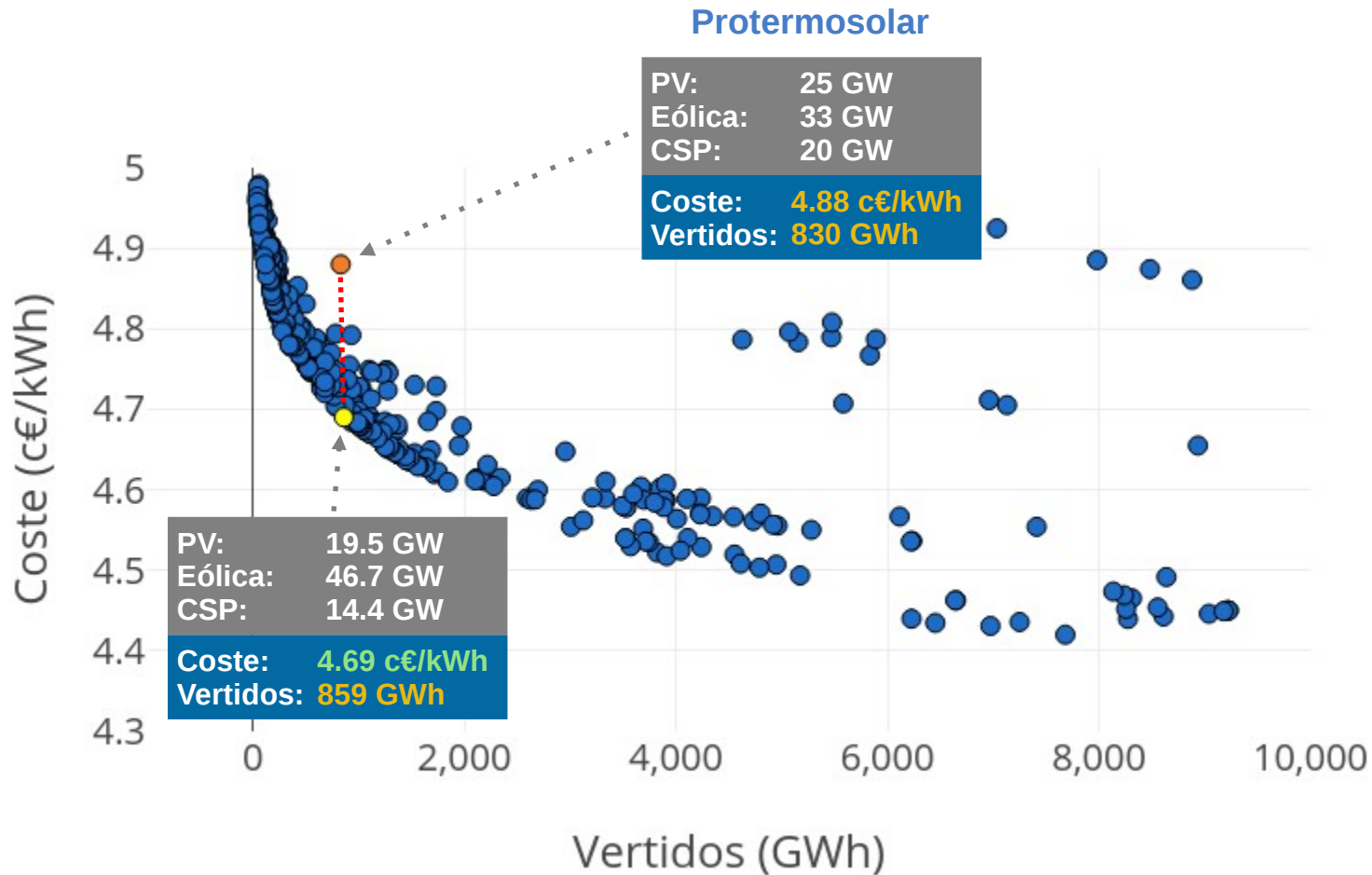
Protermosolar

PV: 25 GW
Eólica: 33 GW
CSP: 20 GW

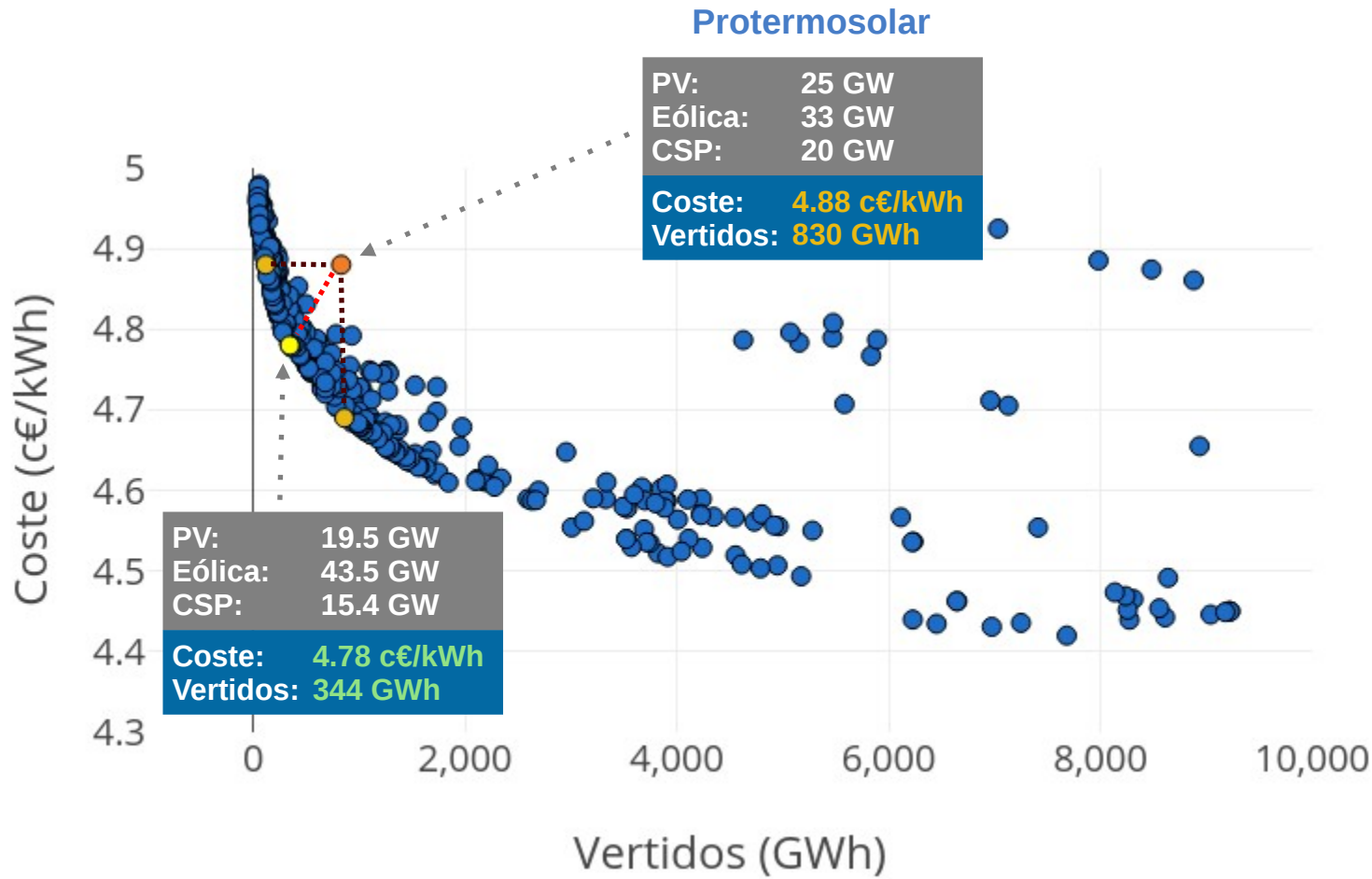
Coste: 4.88 c€/kWh
Vertidos: 830 GWh



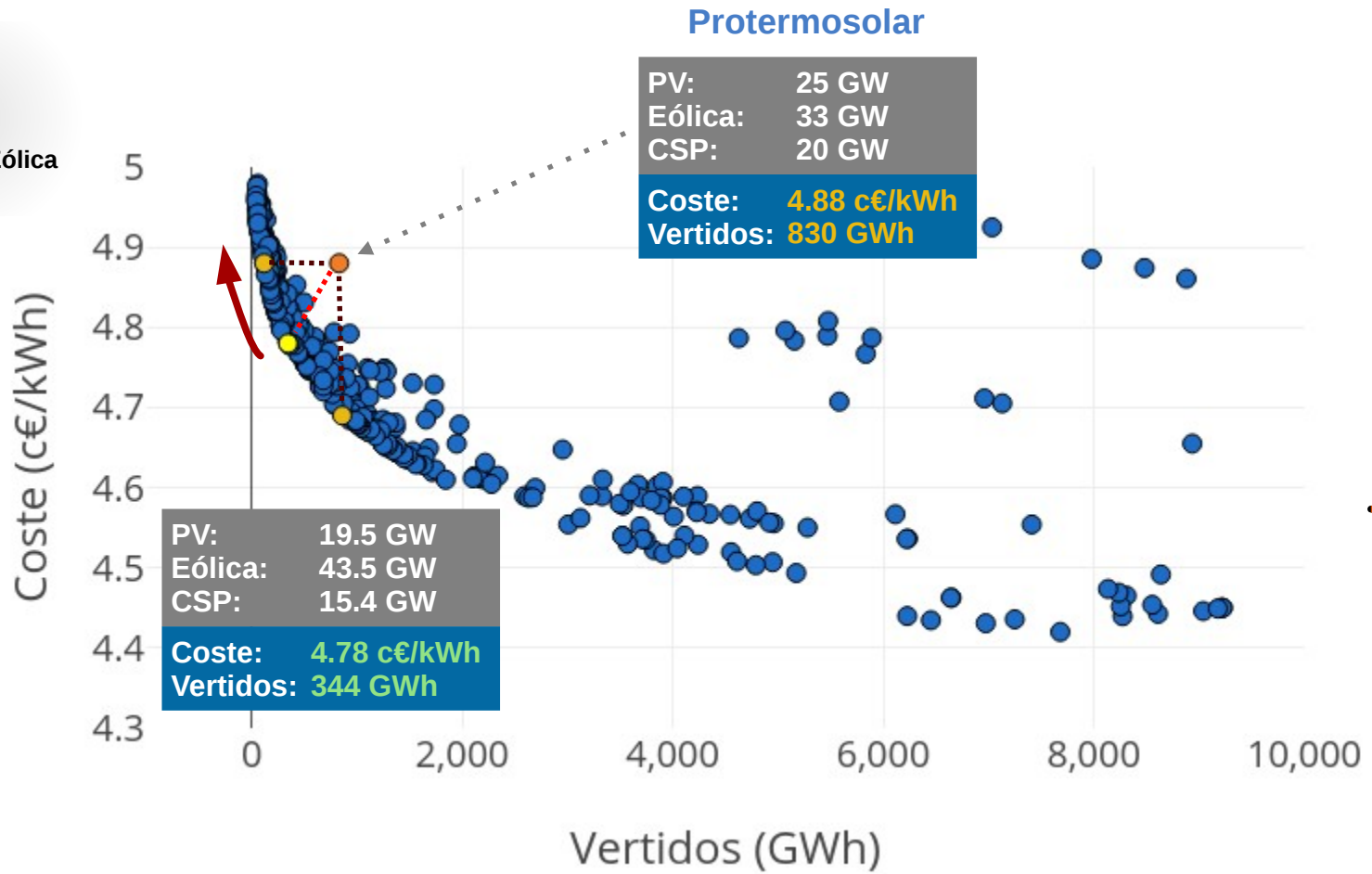
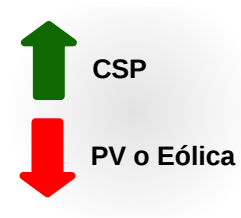
Resultados



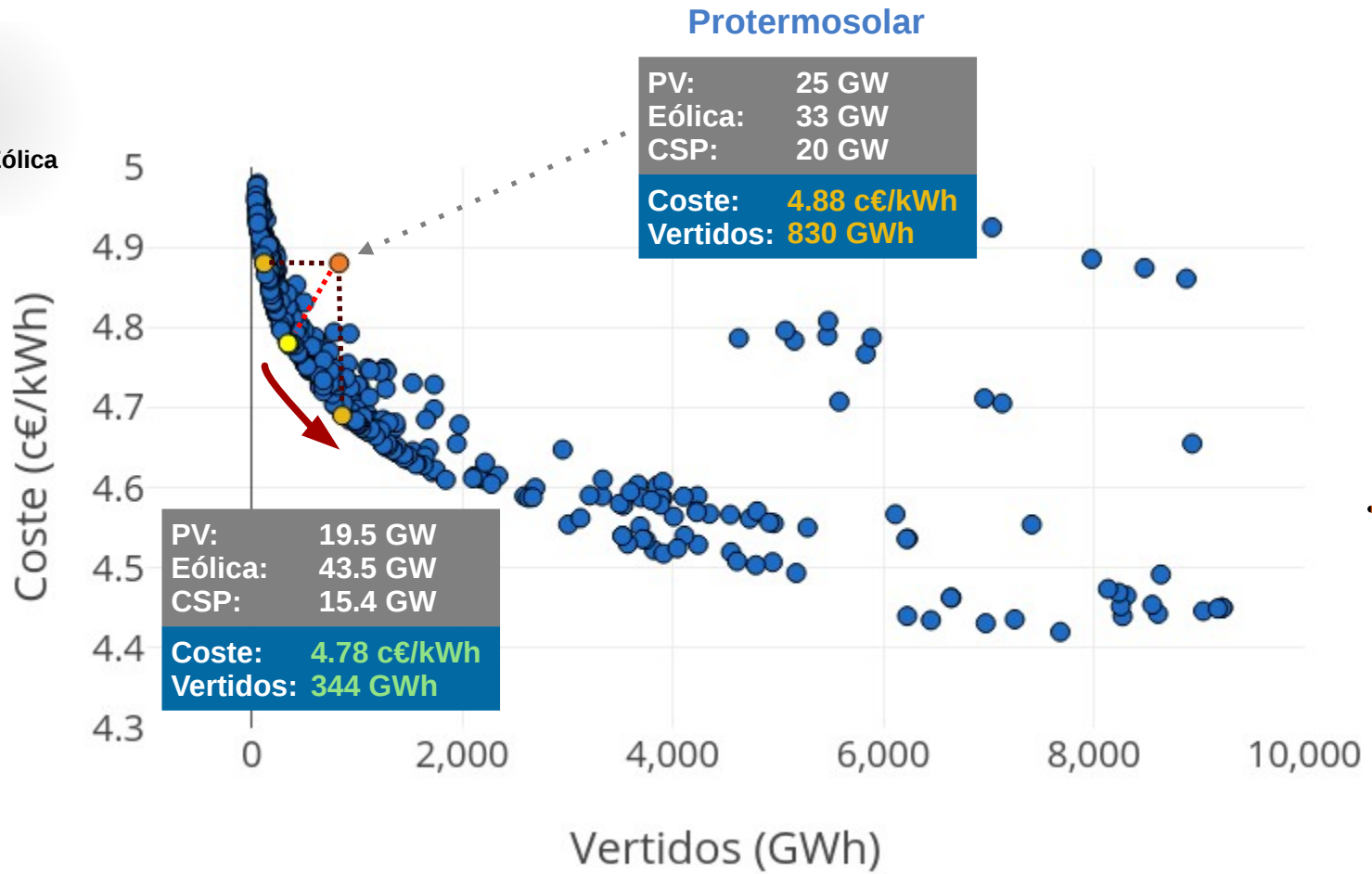
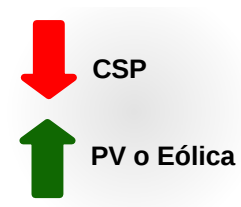
Resultados



Resultados



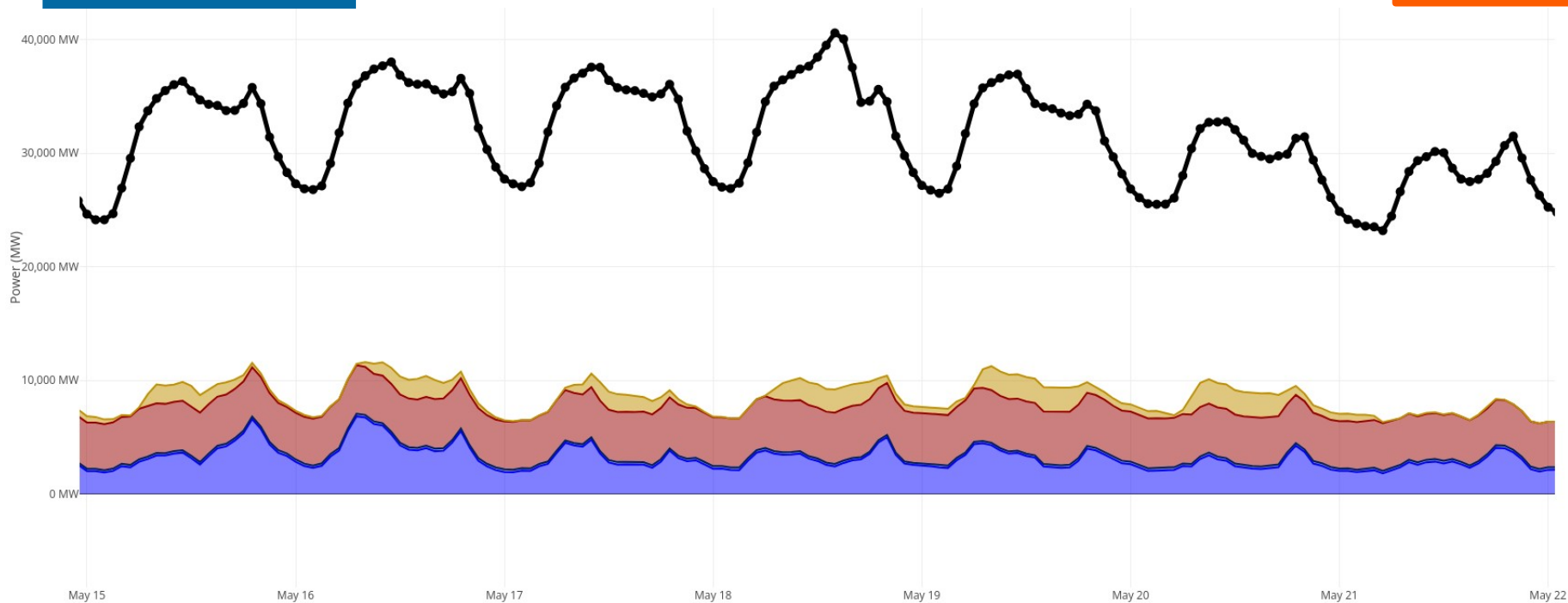
Resultados



Resultados

PV: 19.5 GW
Eólica: 43.5 GW
CSP: 15.4 GW

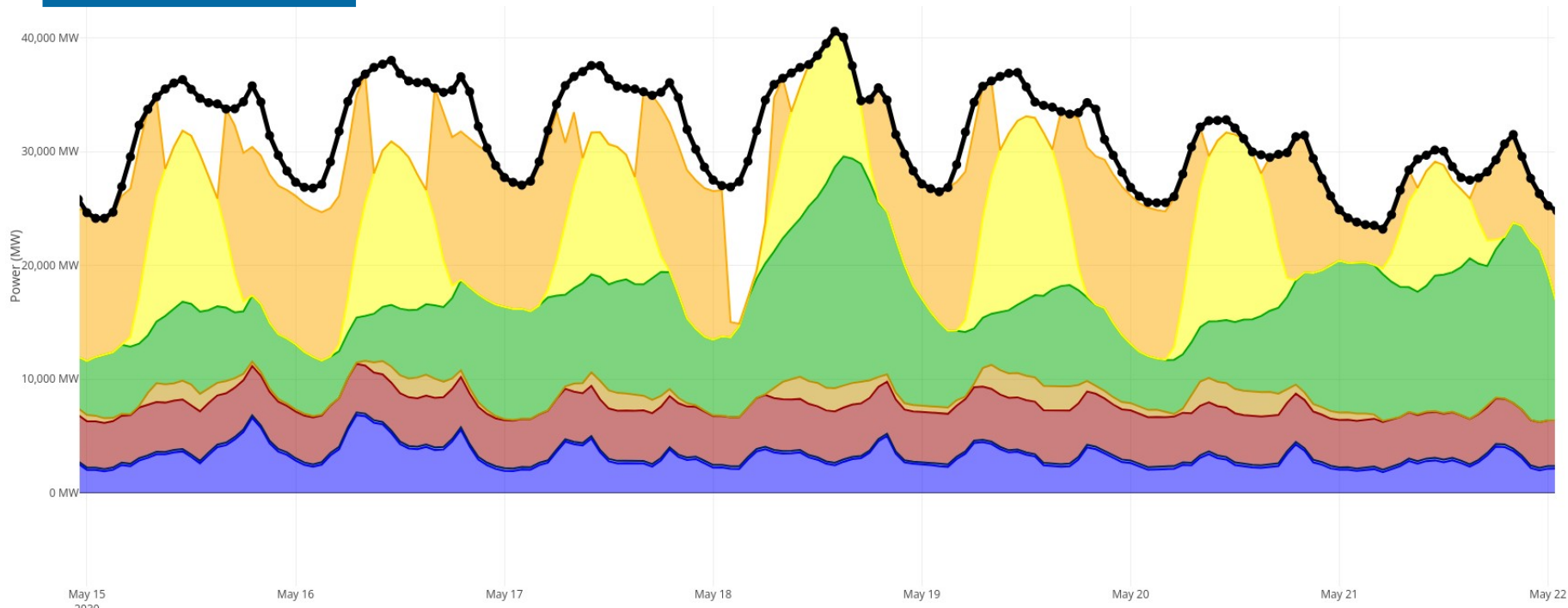
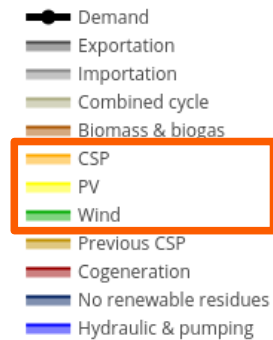
Coste: 4.78 c€/kWh
Vertidos: 344 GWh



Resultados

PV: 19.5 GW
Eólica: 43.5 GW
CSP: 15.4 GW

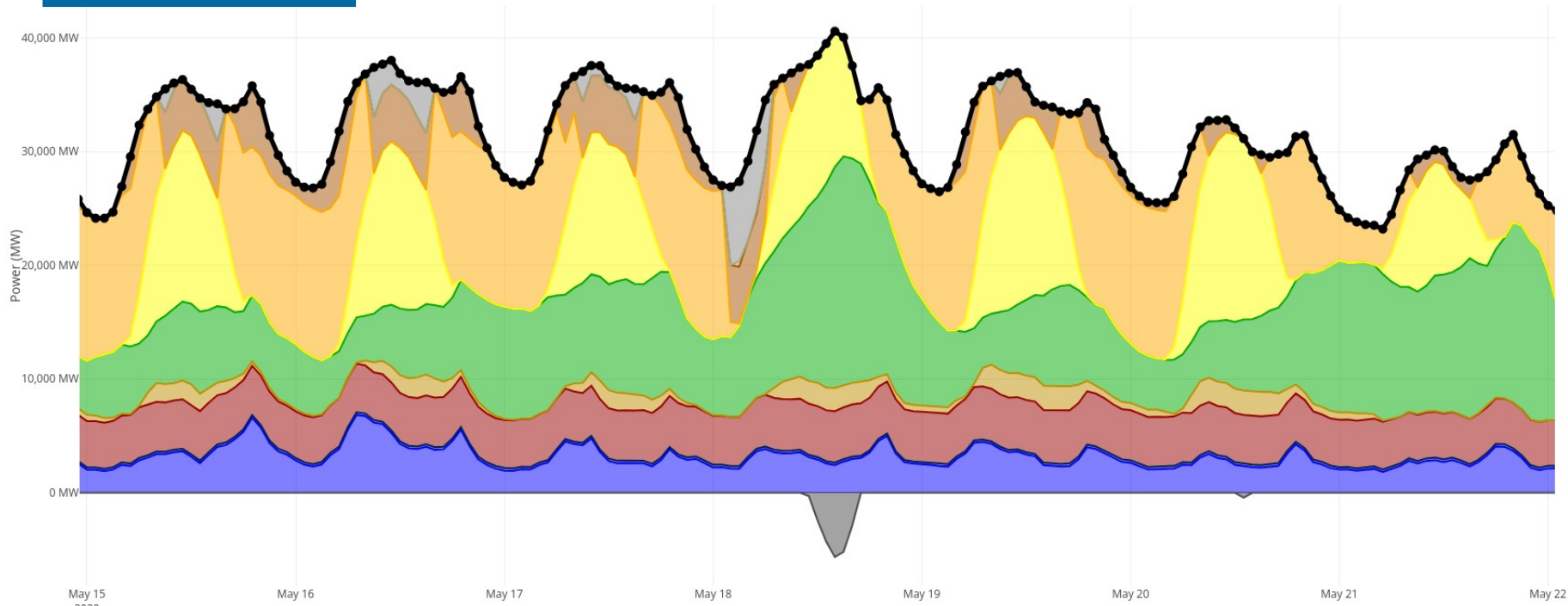
Coste: 4.78 c€/kWh
Vertidos: 344 GWh



Resultados

PV: 19.5 GW
Eólica: 43.5 GW
CSP: 15.4 GW

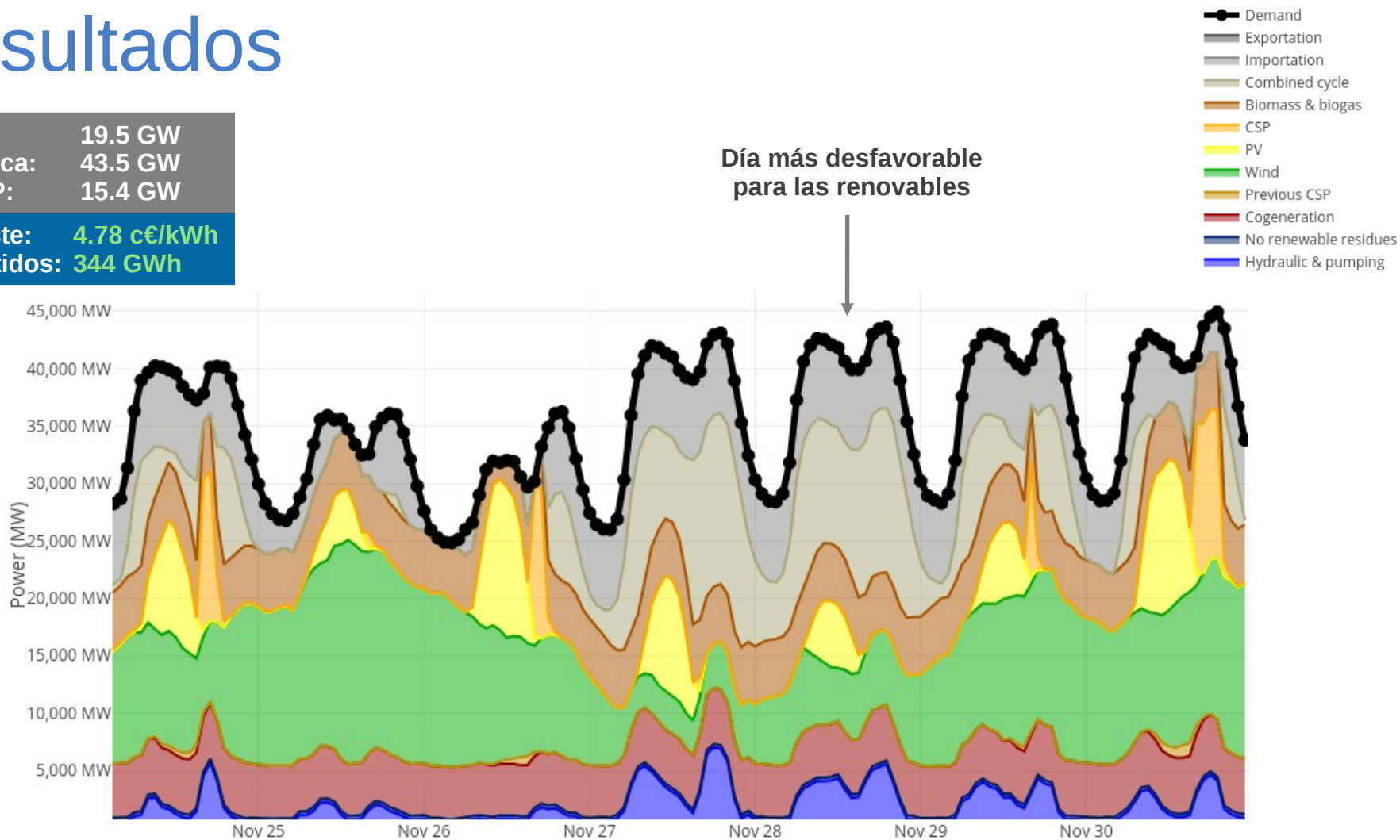
Coste: 4.78 c€/kWh
Vertidos: 344 GWh



Resultados

PV: 19.5 GW
Eólica: 43.5 GW
CSP: 15.4 GW

Coste: 4.78 c€/kWh
Vertidos: 344 GWh

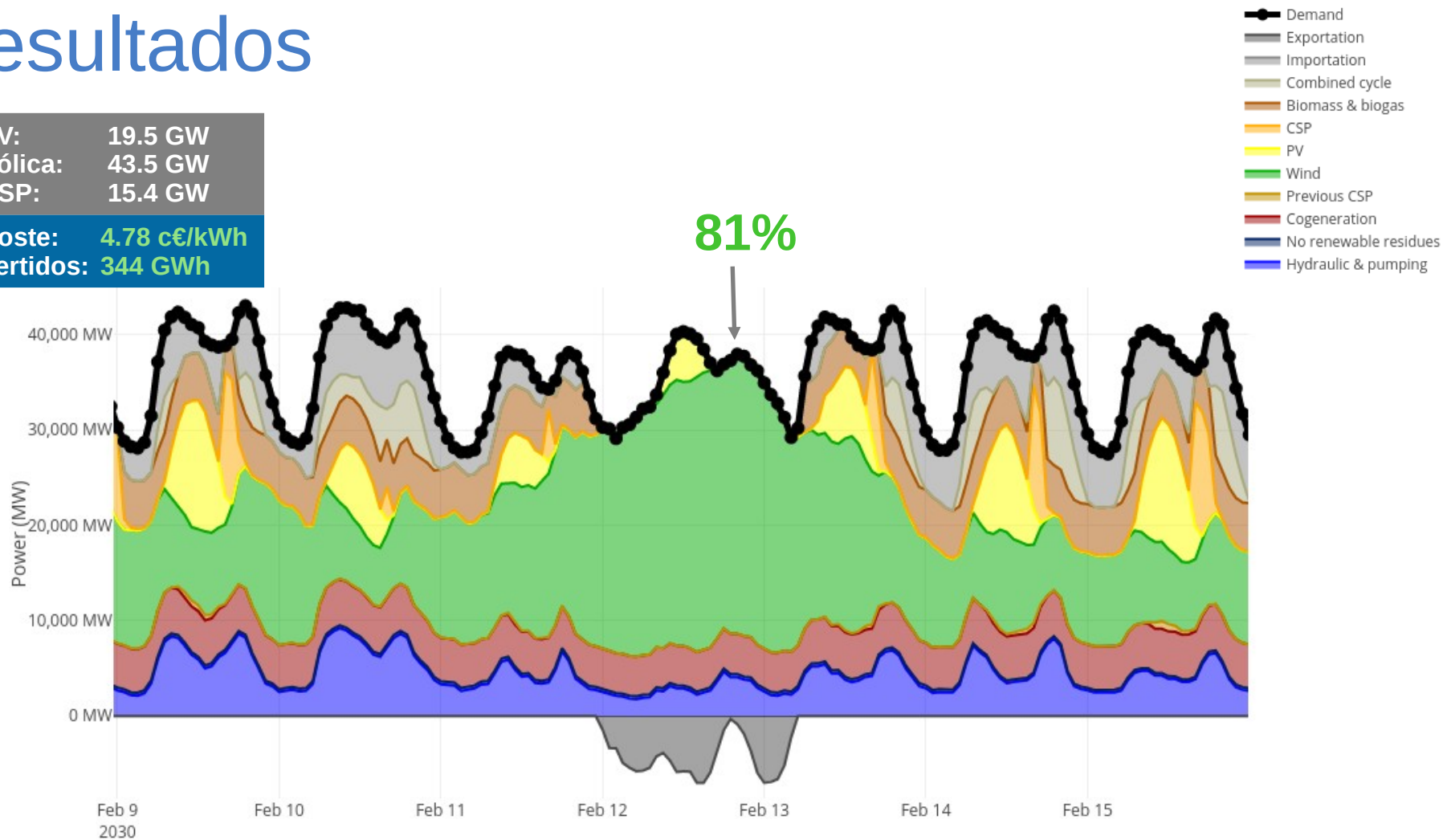


Resultados

PV: 19.5 GW
Eólica: 43.5 GW
CSP: 15.4 GW

Coste: 4.78 c€/kWh
Vertidos: 344 GWh

81%



Resultados



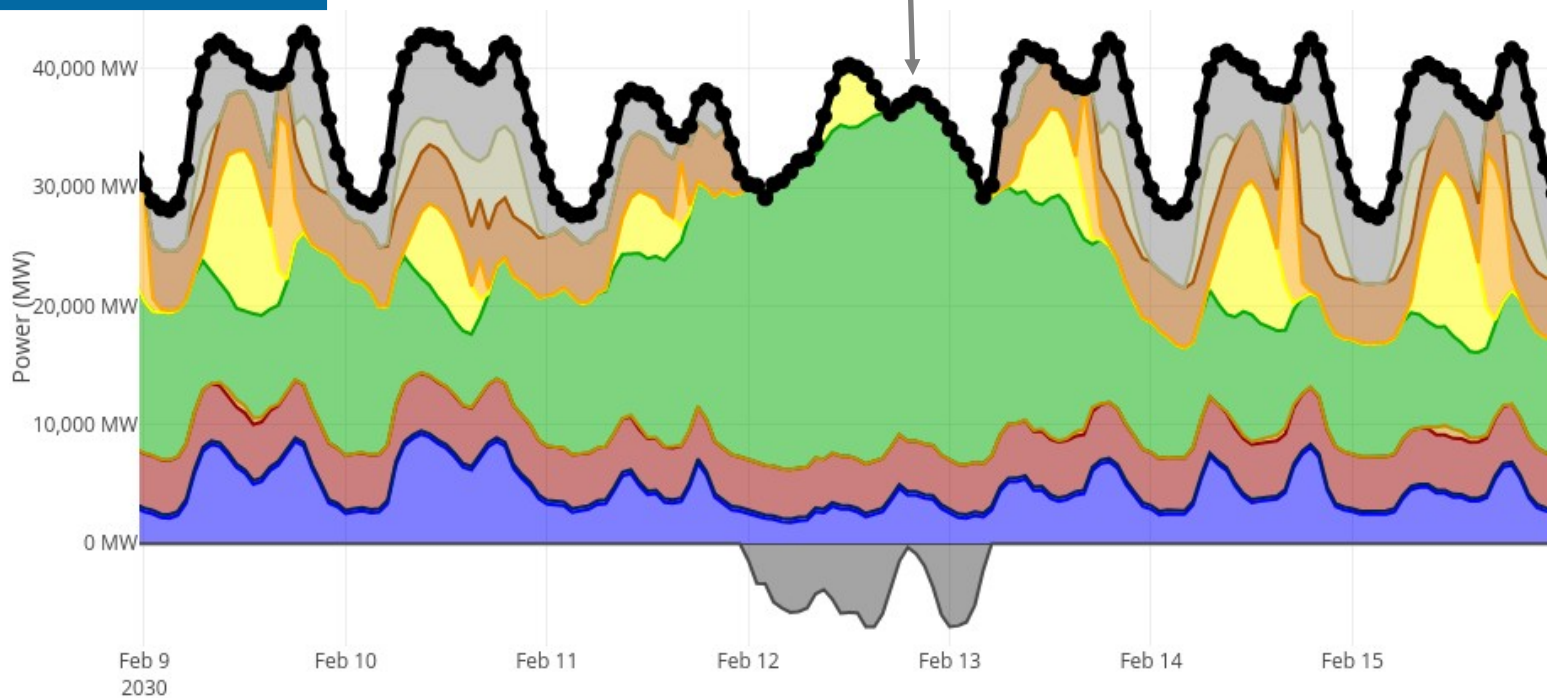
Optimización con
más datos históricos

PV: 19.5 GW
Eólica: 43.5 GW
CSP: 15.4 GW

Coste: 4.78 c€/kWh
Vertidos: 344 GWh

- Demand
- Exportation
- Importation
- Combined cycle
- Biomass & biogas
- CSP
- PV
- Wind
- Previous CSP
- Cogeneration
- No renewable residues
- Hydraulic & pumping

81%



Resultados

Mix eléctrico - 2030

	Protermosolar	Inteligencia Artificial - 2017
Demanda eléctrica	296 TWh	296 TWh
Potencia instalada	130 GW	130.4 GW
Potencia renovable	106 GW ^{81,5 %}	106.4 GW ^{81,6 %}
Potencia fotovoltaica	25 GW	19,5 GW
Potencia eólica	33 GW	43,5 GW
Potencia termosolar	20 GW	15,4 GW
Potencia biomasa	5 GW	5 GW
Emisiones ⁽¹⁾	4.991 kt CO ₂	4.356 kt CO ₂
Vertidos	830 GWh	344 GWh
Coste	4,88 c€/kWh	4,78 c€/kWh

⁽¹⁾ El cálculo de las emisiones consiera ciclo combinado y residuos (no se considera cogeneración)

Resultados

Mix eléctrico - 2030

	Protermosolar	Inteligencia Artificial - 2017
Demanda eléctrica	296 TWh	296 TWh
Potencia instalada	130 GW	130.4 GW
Potencia renovable	106 GW ^{81,5 %}	106.4 GW ^{81,6 %}
Potencia fotovoltaica	25 GW	19,5 GW
Potencia eólica	33 GW	43,5 GW
Potencia termosolar	20 GW	15,4 GW
Potencia biomasa	5 GW	5 GW
Emisiones ⁽¹⁾	4.991 kt CO ₂	4.356 kt CO ₂
Vertidos	830 GWh	344 GWh
Coste	4,88 c€/kWh	4,78 c€/kWh



Conclusiones

- Herramienta útil para el análisis
- Permite optimización y evaluación



Futuros trabajos

- Optimizar mix en varios años
- Otras hipótesis
- Distintos objetivos: costes, emisiones, etc.

⁽¹⁾ El cálculo de las emisiones consiera ciclo combinado y residuos (no se considera cogeneración)

Herramienta para optimizar el mix eléctrico aplicando técnicas de inteligencia artificial

Javier Bonilla

**Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
Plataforma Solar de Almería (PSA)**



**5-7
Feb.
2020**
Madrid, España



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

