

# Solar Termoeléctrica: mercados gestionables

---

Gonzalo Martín

[gonzalomartin@protermosolar.com](mailto:gonzalomartin@protermosolar.com)

31 mayo 2022

# Agenda



1

Introducción a termosolar y panorama mundial

2

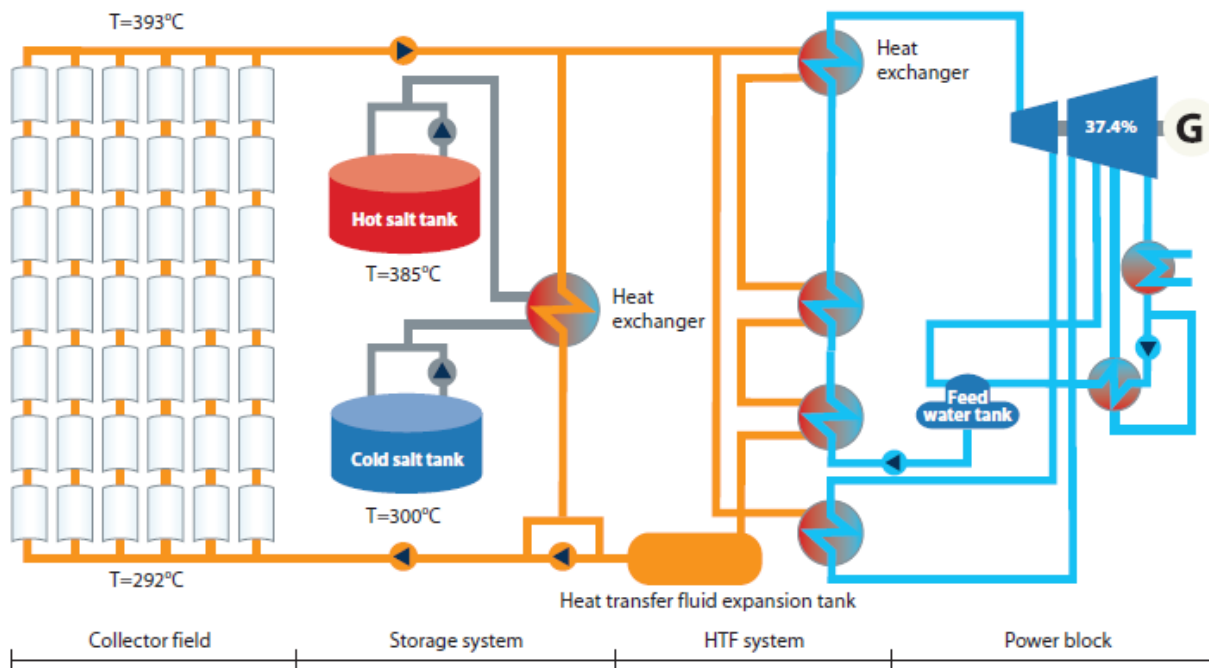
Mercados gestionables

3

El futuro

# 1. Funcionamiento de la tecnología termosolar

*Dos diseños muy extendidos: torre y colectores cilindro-parabólicos*



Source: Adapted from IRENA (2016).

Note: The heat transfer fluid, shown in orange, is thermal oil; the storage medium, shown in gray, is molten salt. The water/steam circuit is in blue. HTF = heat transfer fluid. G = Generator.



Izquierda: diseño de sistema cilindro-parabólico extraído de World Bank (2021). Concentrating Solar

Power: Clean Power on Demand 24/7. Washington, DC: World Bank.

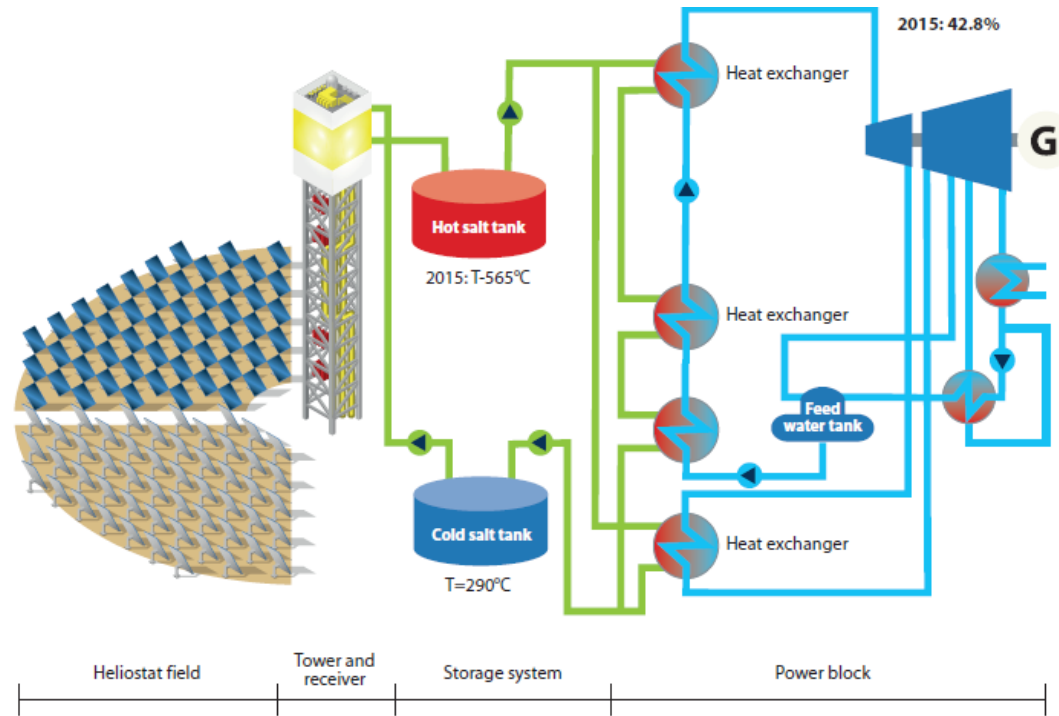
Derecha: Central Termosolar de Extresol en Badajoz, incluye Sistema de Almacenamiento Térmico.

- Hay un fluido de transferencia de calor (HTF "Heat Transfer Fluid") que se calienta en el campo solar.
- La energía térmica puede almacenarse en el tanque de sales calientes mediante el intercambio de energía entre el HTF y las sales fundidas.
- La energía térmica (directamente desde el campo solar o desde el sistema de almacenamiento) genera vapor que va a una turbina.
- La salida es energía síncrona que puede funcionar tanto de día como de noche.



# 1. Funcionamiento de la tecnología termosolar

*Dos diseños muy extendidos: torre y colectores cilindro-parabólicos*



Source: Adapted from IRENA (2016).

Note: Molten salts, shown in green, serve as the heat transfer fluid and storage medium. The water/steam circuit is in blue. G = generator

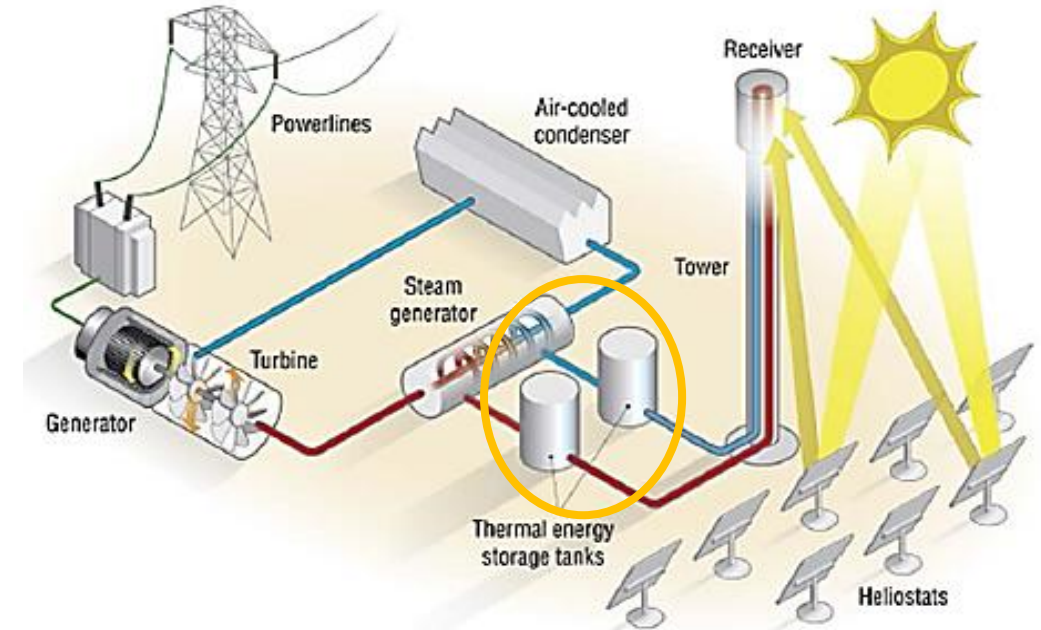
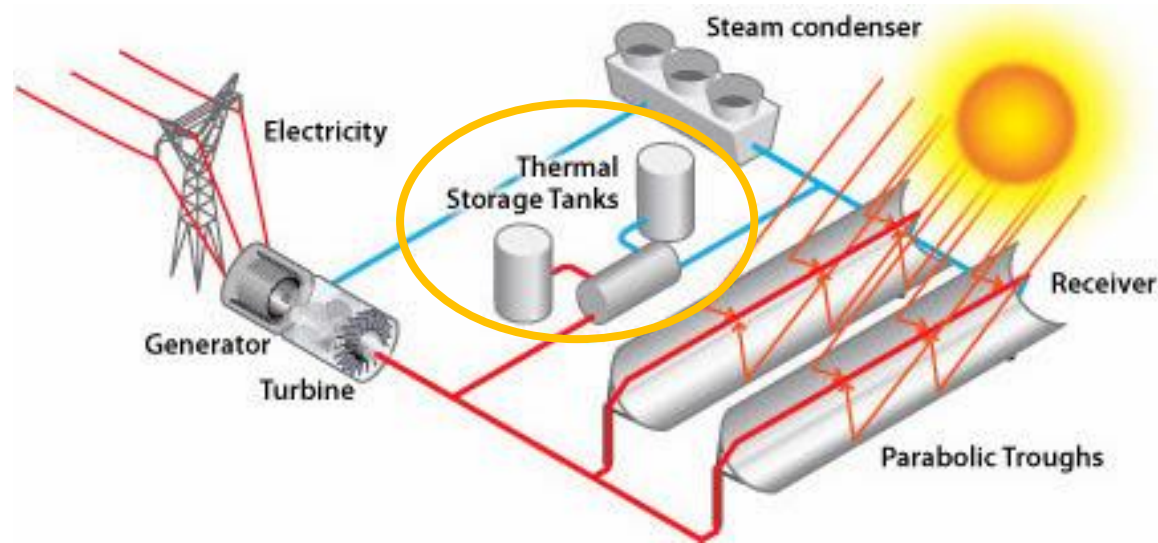


Izquierda: diseño de sistema de torre, extraído de World Bank (2021). Concentrating Solar Power: Clean Power on Demand 24/7. Washington, DC: World Bank.  
Derecha: central termosolar PS10, en Sevilla.

- El fluido caloportador puede ser vapor o sales fundidas con almacenamiento de muy larga duración.
  - En teoría podrían ser más eficientes (debido a las  $T^a$  más altas), pero hay un menor historial a nivel mundial.
- Tanto los diseños de torre como los de colectores cilindro-parabólicos pueden adaptarse a la demanda de la red en términos de potencia y almacenamiento.

# 1. Funcionamiento de la tecnología termosolar

*El sistema de almacenamiento (TES) permite funcionamiento continuado*



📅 4 julio, 2011

La planta de 19,9MW Gemasolar alcanza las 24 horas de producción ininterrumpida

Bokpoort Breaks a Solar Record – CSP Operating Round the Clock 13 Days:

October 28, 2020

# 1. Funcionamiento de la tecnología termosolar



*Qué es, y qué no, la tecnología termosolar*

1

CSP no es la alternativa al uso de PV → CSP es en realidad una alternativa a los *combustibles fósiles*

2

Tampoco es una fuente renovable “cara” → de hecho Termosolar mejora la dinámica de costes del sistema

3

Termosolar es una fuente renovable gestionable que, junto con Hidráulica o Biomasa, proporciona el respaldo necesario a las renovables intermitentes para descarbonizar por completo la generación de electricidad.

Acrónimos:

CSP (Concentrating Solar Power): energía termosolar

PV (Photovoltaics): fotovoltaica

# 1. Funcionamiento de la tecnología termosolar

*Dónde están las centrales nacionales...*



Fuente: <https://www.protermosolar.com/proyectos-termosolares/mapa-de-proyectos-en-espana/>

50 plantas que suman una potencia de 2,3 GW

Con potencias de <50 MW

En municipios de <50k habitantes

- ❖ 44 plantas CCP + 1 CCP con biomasa
- ❖ 2 Fresnel
- ❖ 3 de torre: 2 de vapor saturado + 1 de sales fundidas

De las 44 de CCP:

- 27 sin almacenamiento
- 17 con un almacenamiento de 6,5 GWh

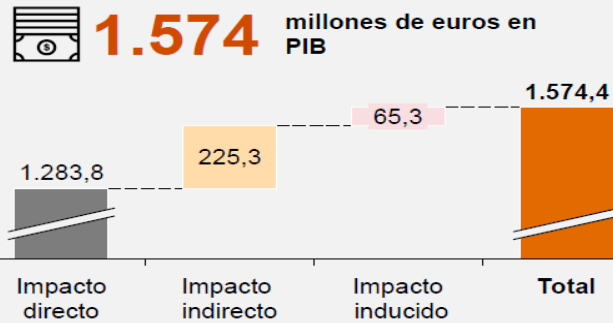
El almacenamiento podría doblarse instalándolo en las plantas preparadas para ello



# 1. Funcionamiento de la tecnología termosolar

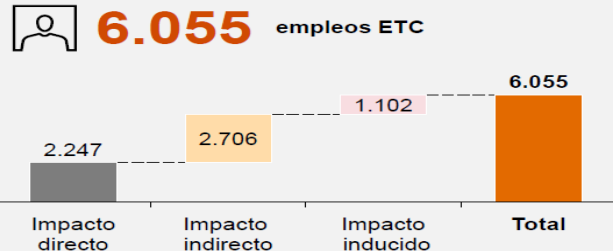
... y qué aportan a la economía nacional.

## Impacto total en PIB



**x3** veces el impacto medio por MW del total de energías renovables en España

## Impacto en empleo



**+33%** más que el empleo medio por MW generado por las tecnologías renovables

Las plantas termosolares contribuyen al desarrollo de municipios que están más afectados por la despoblación, el desempleo y niveles de renta inferiores a la media nacional

## Radiografía económica de los municipios donde se ubican las plantas termosolares

### Densidad media

57 hab/km<sup>2</sup> **-39%** Media nacional

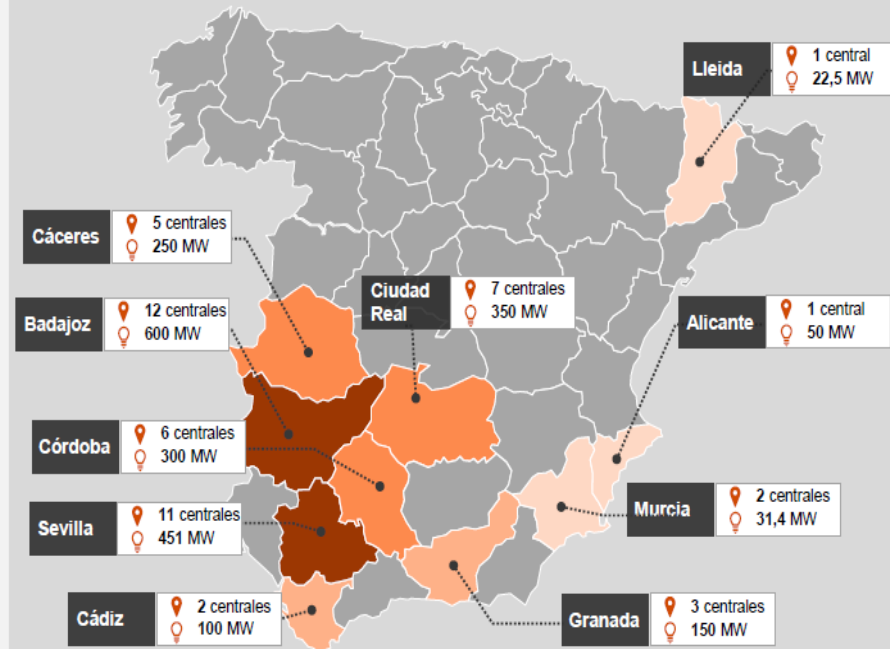
### Tasa de desempleo

22,4% **+8,5 p.p.** Media nacional

### Renta neta anual por persona

8.772 € **-25%** Media nacional

## N.º de centrales termosolares en España por provincia y potencia



Fuente: Protermosolar

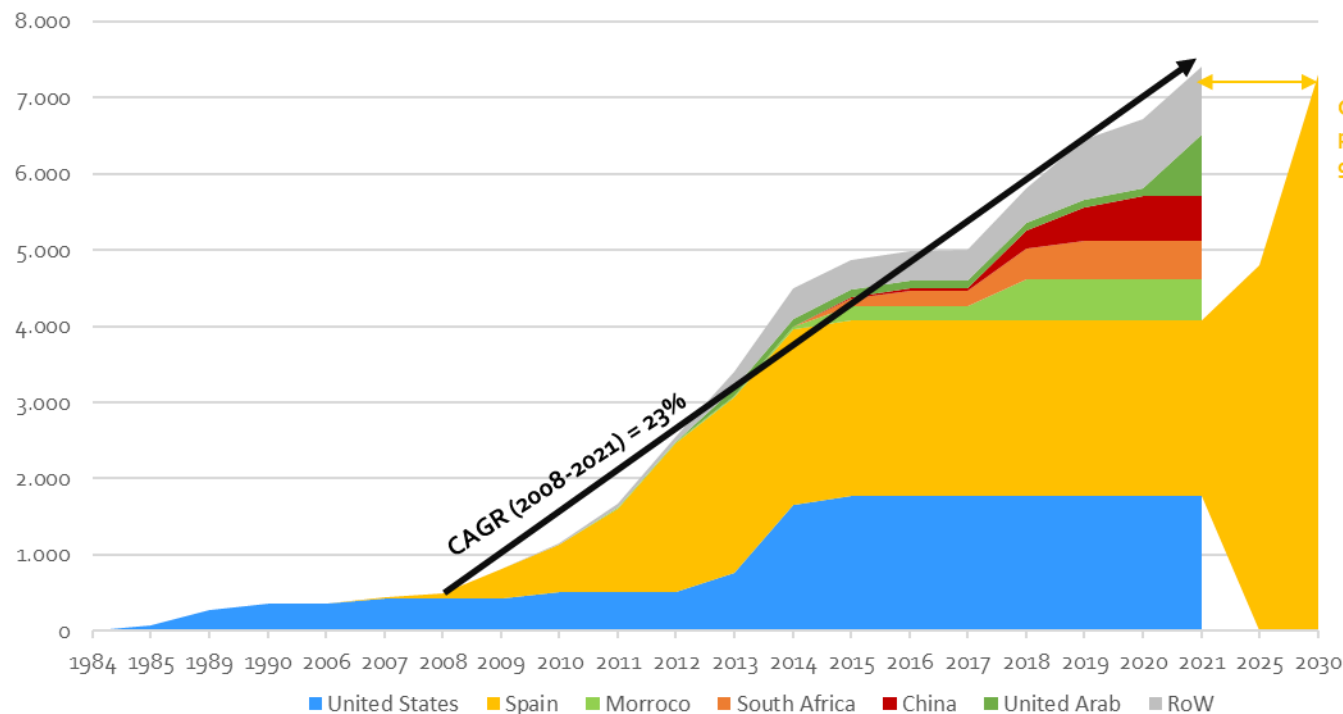
Fuente: PwC. La industria termosolar como motor económico en España. Junio 2021



# 1. Panorámica mundial

*Crecimiento diversificado en nuevos países...*

**Concentrating Solar Thermal Power Global Capacity [MW]**  
Includes 154 MW non-operational and 860 MW under construction with expected COD in 2021  
Period 2021-2030 only includes the 5 GW of the Spanish national plan



1 España lideró el crecimiento global de CSP en 2008-2013 con 2.3 GW

2 A pesar del parón español en 2014, otros países continuaron instalando CSP

3 España ha presentado a la CE su plan para reducir las emisiones de CO2 en 2030 que incluye 5 GW de nueva Termosolar.

4 Esta "nueva" CSP debe incluir un almacenamiento significativo para alcanzar un número de horas de funcionamiento >3.000 y hasta 4.000 al año

# 1. Panorámica mundial


... con una tendencia a mayores plantas y presencia de PV...

+


Desarrollo

-


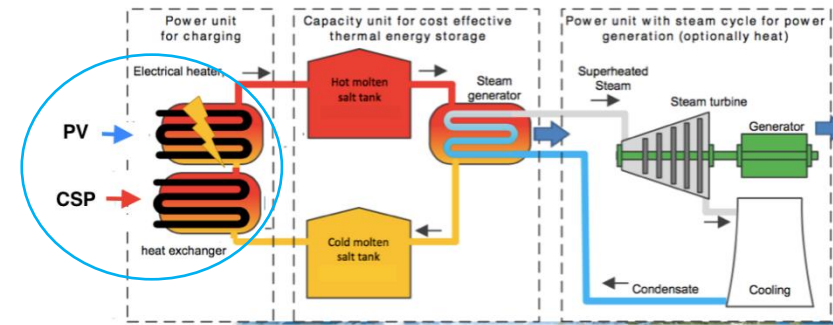
**NooRo I, II y III (Marruecos) → 510 MW**  
 PPA 25 años  
 CCP: 160 MW + 3h @ 18c\$/kWh  
 CCP: 200 MW + 7h @ 13c\$/kWh  
 Torre: 150 MW + 7h @ 15c\$/kWh





**700 MW + 250 MW ← Noor I (DEWA, EAU)**  
 PPA 35 años, 15h de almacenamiento  
 3x200 MW CCP  
 1x100 MW Torre  
 250 MW PV  
 7,3c\$/kWh CSP y 2,4c\$/kWh PV




**Midelt (Marruecos) → 800 MW**  
 PPA 25 años  
PV integrada en el almacenamiento  
 7 c\$/kWh


**Redstone (Sudáfrica) → 100 MW**  
 Torre con 12h almacenamiento  
 Tarifa 20 años con perfil horario



**Likana (Chile)**  
 Contrato financiero  
 PV diurna, CSP nocturna



**China**  
 5\*100 MW  
 Adjudicados en octubre





# 1. Panorámica mundial

... multiplicando por casi 20x el tamaño de las primeras plantas

DEWA

## Solar Field Plot





# Agenda

1

Introducción a termosolar y panorama mundial

2

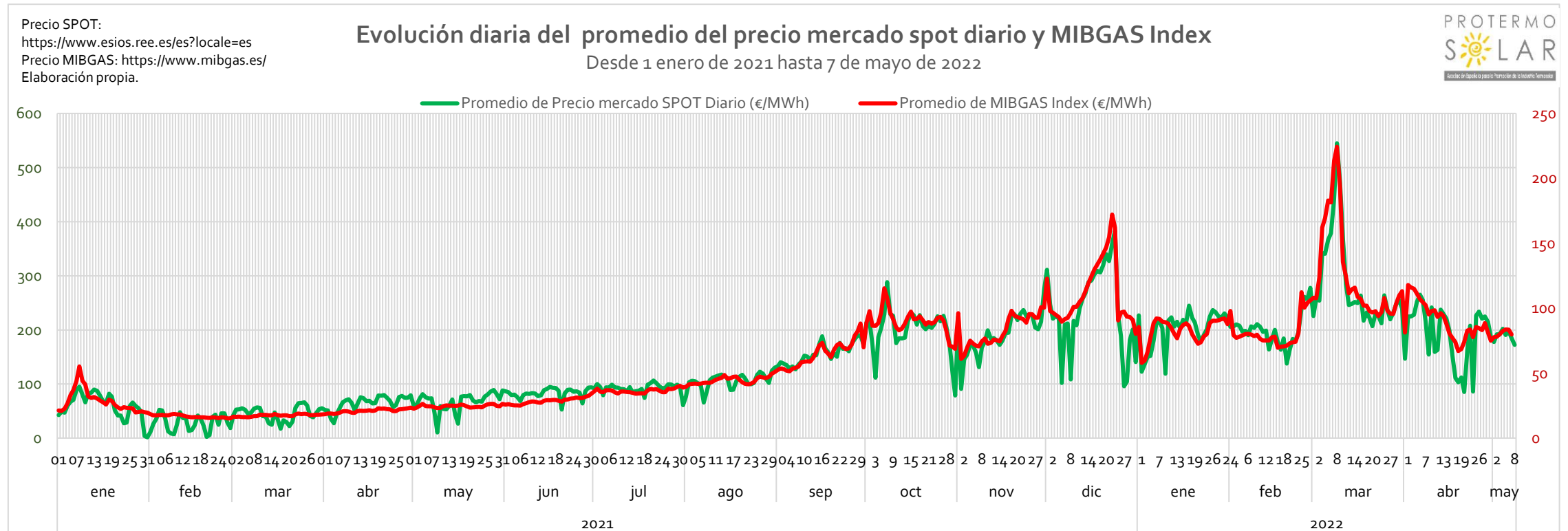
Mercados gestionables

3

El futuro

## 2. Mercados gestionables

*El mercado marginalista estaba diseñado para altos costes operativos*



### Spain

Spain has the most significant shares of excess capacity of all the countries included in this report, where 13 GW or 36% of fossil fuels installed in the country was not required to service peak demand in 2019.

Retiring excess fossil fuel capacity would yield total annual savings of €425 million EUR (\$476 million USD) from FOM costs. The early retirement of the aging coal capacity alone would save nearly €361 million EUR (\$405 million USD) per year.

Fuente: *Ripe for Closure: Accelerating the energy transition and saving money by reducing excess fossil fuel capacity. September 2021. Centre for Research on Energy and Clean Air.*

# 2. Mercados gestionables

Con las mismas tecnologías marginalistas

Tecnologías que marcan el precio marginal en el mercado diario:

Diciembre 2021																															
Día Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	H/B	G	R	G	R	R	G	H	H	H	H	G	H	B	H	H	G	H/B	H	G	H	H	H	H	H	H	R	R	R	G	G
2	G	G	G	G	C	H	R	R	H	R	R	H	R	H	R/G	G	R	R/G/H	H	H	H	R/B/H	H	H	H	H	R	R	R	H	H
3	G	H	H	R	G	H	R	C	R	R	R	H	R	G	G	R	H	G	H	R	H	H	H	R	R	R	H	H	H	H	H
4	G	R	H	R/H	R	H	R	R	R	H	H	H	R	G	H	G	R	R/G/H	R	G	R	H	R	G	C	G	R	R	H	R	H
5	G	C	R	R/H	R	R	R	R	R	H	H	R	R	R	H	R	R	R	R	R	R	R	H	G	C	C	R	R	H	H	H
6	G	R	H	R/H	R	R	R	R	R	R	H	H	G	R/G	R	R	R	R	R	R	R	G	H	H	G	G	R	R	H	H	H
7	H/G	H	G	G	R	H	H	H	R	H	G	H	G/B	H	G	R	R	H	H	H	H	G	H	G	R	R	R	R	H	H	H
8	H	H	R/H	H	R	H	G	H	B	H	H	H	G	H	B	H	R/G/H	H	H	H	H	G	G	R	R	H	H	H	H	H	H
9	H	H	H	R/H	G	H	H	B	G	H	R	H	H	G	H	B	G	H	H	H	R/G/H	R	G	G	R	R	H	H	R/B/H	H	H
10	H/B	H	G	G	G	H	R	G	G	H	G	H	G	R/H	H	H	H	G	H	H	H	B	H	G	H	H	R	R	H	C	
11	H	G	G	G	G	H	R	G	G	H	H	G	G	B	R	B	G	R	R	G	H	H	H	R	G	H	R	B	H	H	H
12	H	H	G	G	R	G	R/H	G	G	R	R	G	R	H	H	G	G	G	G	G	R/G/H	H	H	R	R	H	H	H	H	H	H
13	H	G	G	R	G	G	R	H	H	G	R	G	H	G	H	H	G	H	H	R/G/H	G	R	G	H	R	H	H	H	H	C	
14	H	G	G	G	R	G	R	R	R	R	G	G	H	G	H	H	H/G	G	G	H	H	G	H	R	R	H	H	H	H	H	H
15	H	R	R	G	R	R	H	R	R	R	R	H	H	R	H	H/G	H	R	R	H	H	B	R	G	H	H	R	H	H	H	H
16	H	G	H	H/B	R	G	H	H	H	H	G	G	H	H	H	R/H	G	G	H	H	H	B	H	R	G	H	H	H	R/B/H	H	H
17	H	H	H	G	G	H	H	R	H	H	R	H	G	H	G	R/H	G	G	H	H	H	B	G	H	H	H	H	H	H	H	H
18	G	H	H	H	R	H	H	B	G	G	R	H	G/B/H	B	G	B	H	H	H	H	H	B	G	H	G	H	H	H	H	B	B
19	H	H	B	H	G	B	G	H	B	R/H	H	B	H	H	H	H	B	B	H	B	H	B	H	B	H	H	H	B	B	B	R
20	H	B	B	H	H	B	G	H	H	R/H	H	H	H	H	H	H	B	H	H	B	H	H	B	H	R	R	H/B	B	H	H	H
21	B	B	H	H	H	H	H	G	B	H	B	G	H/B	H/B	H	R/B	H	H	R/H	H	R	H	H	G	R	H	H	B	R	B	B
22	H	H	H	H	R	G	H	H	R	H	H	R/H	H	H	G	H	H	H	H	H	R/G/H	H	B	H	R	B	H	H	H/B	H	B
23	H	H	G	G	H	H	B	R/H	H/G	H	H	H	H	G	B	H	R	H	B	R/H	H	H	B	G	R/B/H	H	H	R	H	R	H
24	G	R/H	G	R	G	H	R	H	G	R	H	H	H	G	R	G	R	H	R	H	H	H	H	G	H	C	H	R	R/B/H	H	C

Marzo 2022																																	
Día Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	H	G	H	H	H	H	H	G	H	G	G	H	C	H	R	H	R	R	H	C	H	R	G	R	H	R	H	G	H	R	H		
2	H	G	G	H	R/H	H	G	G	N/H	H	H	H	R	H	R	G	H	H	H	G	R	R	R	C	R/H	H	H	G	R	G	H		
3	G	G	H	H	H	R	B	G	G	H	H	H	R	G	R	H	H	C	R	R	R	G	G	R/H	H	H	R	G	R	H	H		
4	G	G	H	H	R	R	G	G	G	G	R	G	R	G	R	H	R	C	R	C	R	R	R	G	R/H	C	R	H	G	R	H		
5	R	G	H	H	R	R	G	G	G	G	R	R	C	R	H	R	C	R	C	R	R	R	H	G	G	R	R	H	G	R	H		
6	R	G	H	H	H	R	G	G	G	G	R	C	G	R	H	R	R	R	R	C	R	G	R	G	R	G	G	R	R	H	H		
7	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	G	R	C	H	C	H	R	R	R	R	G	G	G	H	H	R	R	H	H	H	H		
8	B	H/B	IP	H	H	R	R/B/G	R/B/H	H	B	H	R	C	H	H	R	R	R	R	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	R/H		
9	H	H	H/C	H	G	H	R/B/G	R	H	B	R	G	C	H	H	B	H	H	R	C	H	H	H	H	G	R	R/H	B	H/B	H			
10	H	H	H	R/B/H	G	B	H	H	R	H	H	R	B	H	H	H	H	H	C	H	H	H	H	B	G	G	H	B	B	H			
11	H	H	H	G	G	H	H	H	G	R	R/B	C	C	H	H	H	R	H	G	C	H	H	H	H	C	H	H/B	H	H	H			
12	R	G	H	R	H	R	H	H	G	G	R	R	C	H	H	G	H	H	R	C	H	C	R	G	H	H	R/H	R	R/B/H	R/H	H		
13	R	G	H	H	H	H	N/H	R	R	R	G	C	C	R	H	R/B/H	R	G	R	H	C	G	G	G	B	R	G	H	H	R	C		
14	G	R	H	R	G	R	H	H	H	G	R	C	C	H	R/B/H	R	C	R	G	R	G	G	R	R	H	H	G	G	H	H/B	C		
15	G	G	G	R	H	H	G	G	R	H	G	R	G	G	R/B/H	H	C	R	H	G	R	G	R	G	R	H	H	G	G	H	R		
16	G	G	R	R	G	R	G	G	R	R	R	R	C	G	H	R/B/H	H	C	R	H	G	R	R	R	R	C	R	H	G	R	H	R	
17	G	G	G	H	R	R	R	R	R	R	R	R	G	R	G	R	G	H	H	R	G	R	H	H	G	G	H	R/H	G	R	H	R	
18	H	R	H	B	R	R	N/B/H	H	H	G	R	G	R	G	H	B	C	H	R	H	H	H	H	H	G	H	H	R	G	G	R	R	
19	H	H	H	B	B	H	H	H	H	H	H	H	R/H	C	H	G	G	H	H	R	H	H	H	H	H	H	H	B	H	H	H	R/H	C
20	B	H	H	H	H	H	R/B/G	B	H	H	B	H	H	G	B	H	H	B	B	B	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
21	H	R/H	H	R/G	R/B	H	H	H	H	H	R	H	H	H	H	B	H/B	B	B	R/B/H	H	B	H	H	R/B	R	R	R	H	H	R/B/H	R/H	H
22	H	H	H	B	B	H	N/H	H	H	H	H	B	B	H	B	H	R	B	H	H	H	R/H	B	H	H	H	H	H/B	H	B	H	H	
23	H	H	B	B	H	H	G	R/B	H	H	H	H	B	H	H	H	R	B	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
24	H	G/B	H	G	G	N/B/H/C	G	R/H	G	G	H	G	B	C	R	R/B/H	H	H	H	R	G	G	R	H	H	H		G	G	H	G		

Contribución del gas natural a la demanda total:

	Día	Noche	Total
Sep	20,16%	24,79%	22,47%
Oct	17,24%	22,21%	20,14%
Nov	24,52%	27,02%	26,08%
Dic	19,12%	19,84%	19,57%
Ene	20,75%	22,88%	22,17%
Feb	18,33%	22,57%	20,80%
<b>Total</b>	<b>19,94%</b>	<b>23,16%</b>	<b>21,86%</b>

Aportación del gas natural en las horas en las que casa la demanda:

	Generación CC [MWh]	Contribución CC [%]
Sep	1.353.537,62	24,40%
Oct	616.721,98	24,85%
Nov	1.618.940,90	28,80%
Dic	1.186.561,71	22,27%
Ene	1.325.841,92	23,91%
Feb	949.405,43	22,53%
<b>Total</b>	<b>7.051.009,56</b>	<b>24,53%</b>

B	Bombeo generación
C	Carbón
G	Ciclo combinado
H	Hidráulica
R	Renovable, cog., res.

Elaboración propia con datos de OMIE y REE ESIOS.

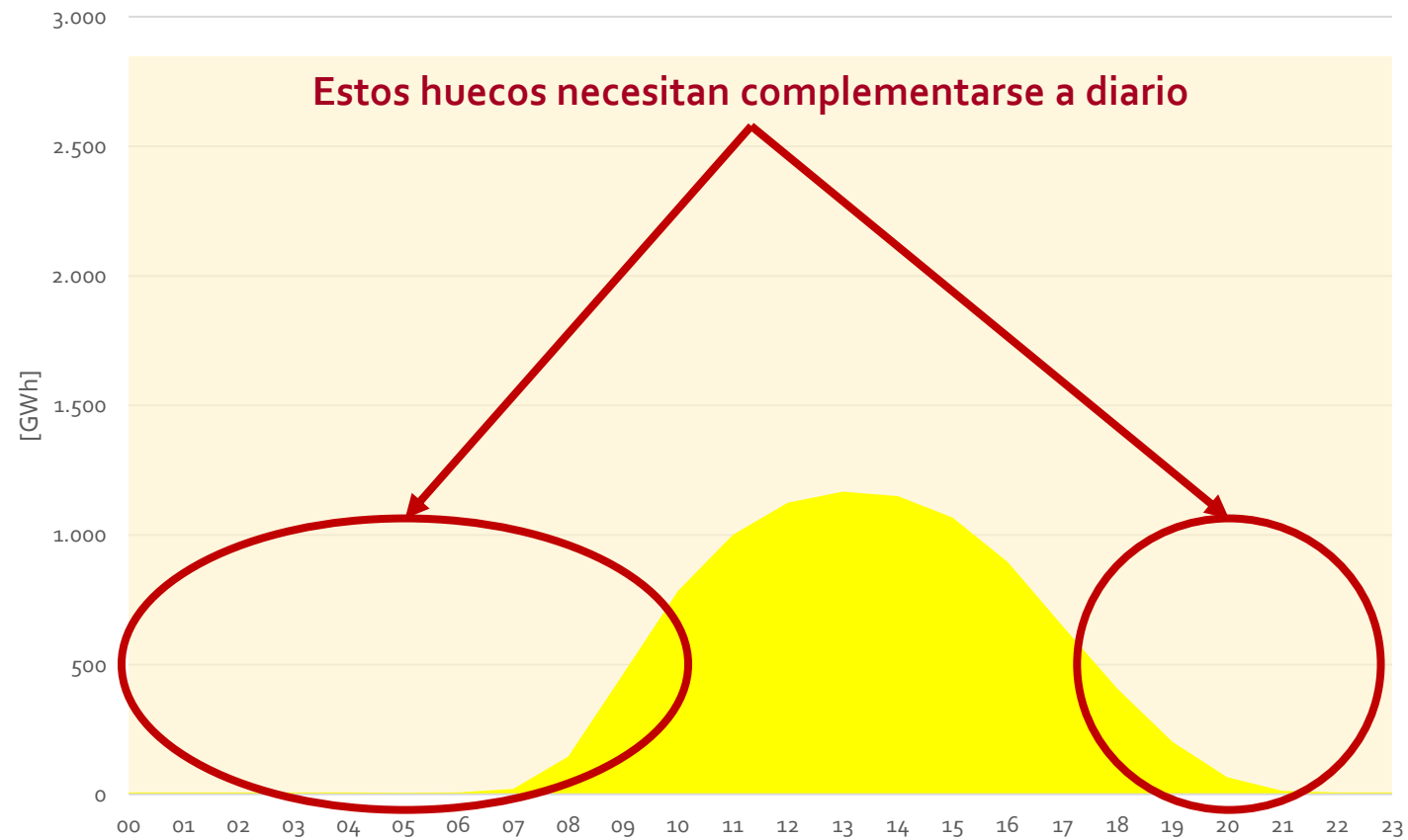
El gas natural (Ciclo Combinado) casa la demanda alrededor del 20-25% de las horas, y aporta en torno al 20-25% de la energía total generada.



## 2. Mercados gestionables

¿Y cómo afecta PV a todo esto?

### Generación PV en España Valor acumulado por hora en 2019



## 2. Mercados gestionables

*La curva de pato ya no es algo de unos "visionarios"*

Curva de pato 2030 - España

Fuente: REE y Análisis PwC

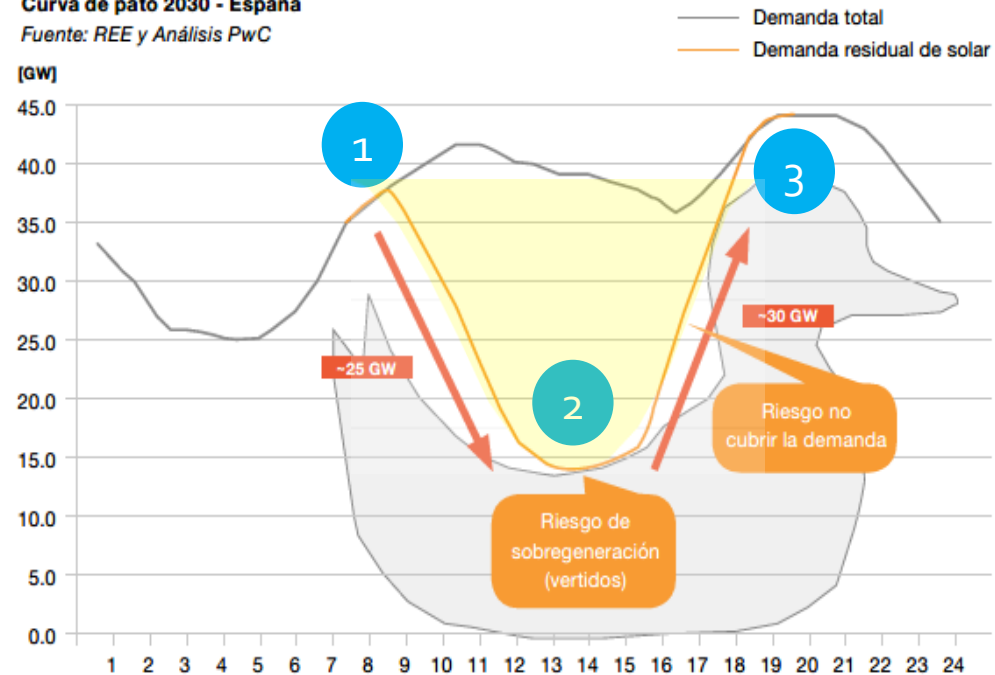
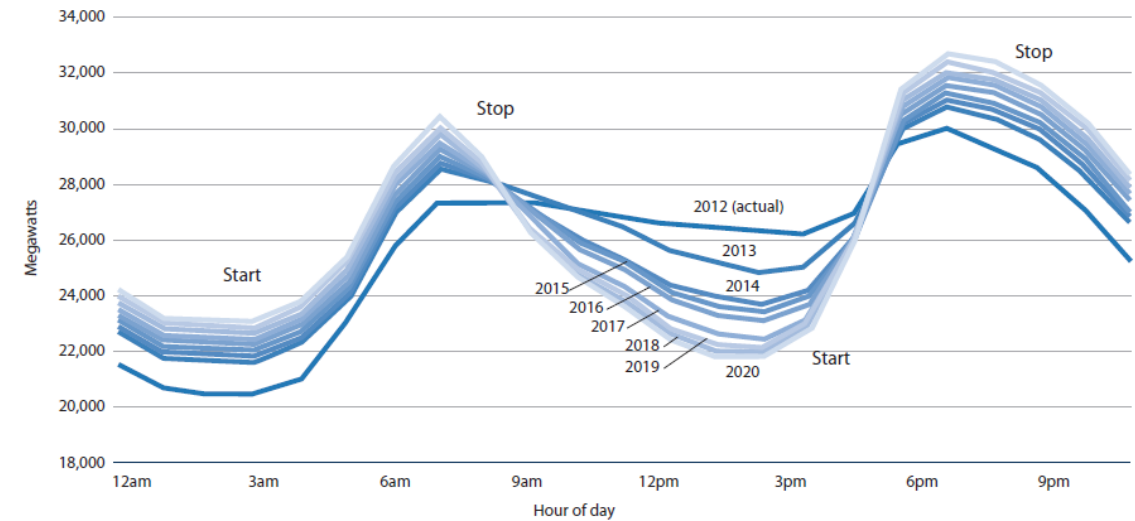


FIGURE 1.5 Peak times of daily net electricity load (after solar PV): California's "duck curve"



Source: CAISO 2016.

Fuente: World Bank. 2021. Concentrating Solar Power: Clean Power on Demand 24/7. Washington, DC: World Bank.

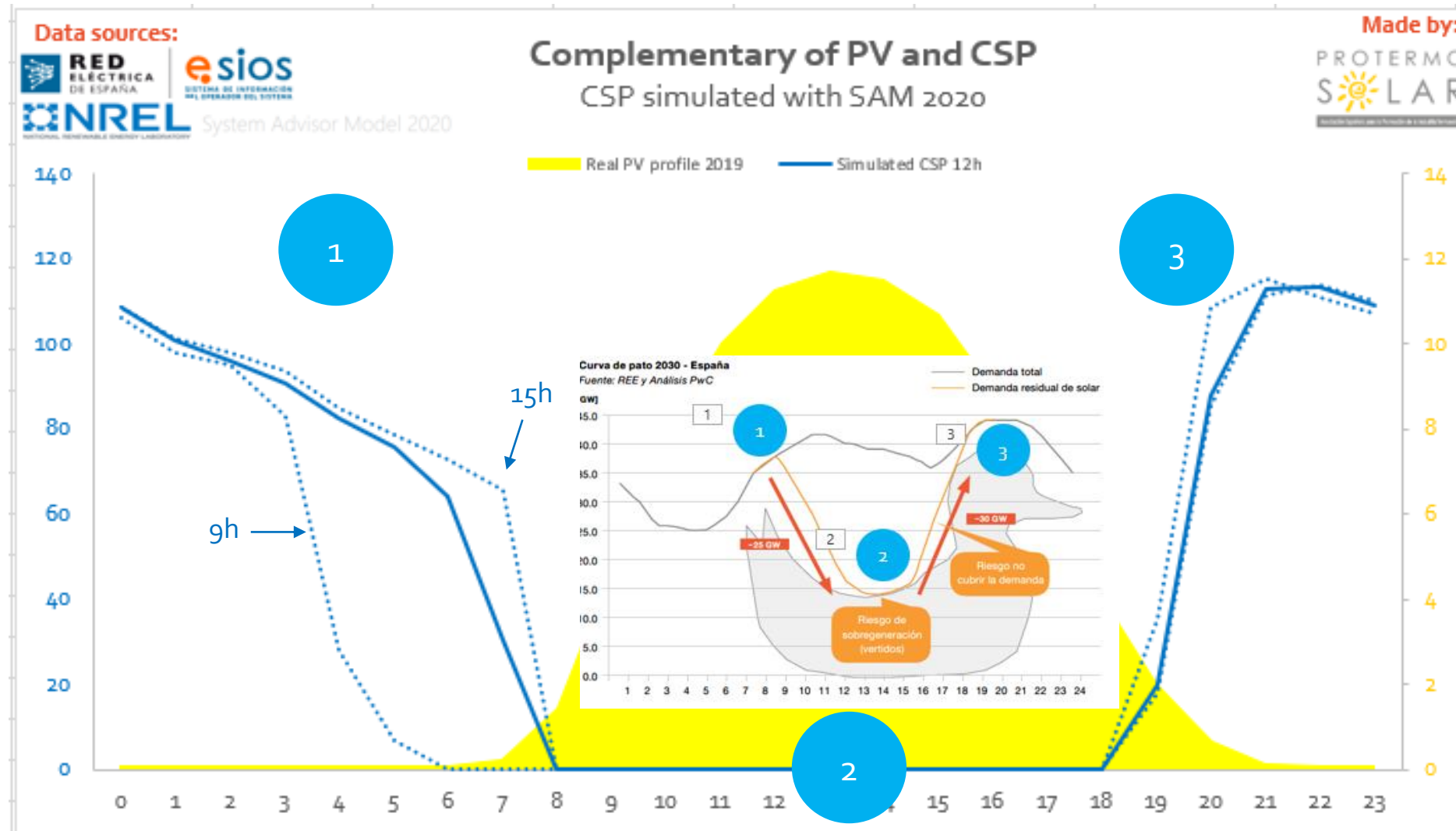
<https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/integracion-de-las-tecnologias-renovables-en-la-transicion-energetica/>

Una gran penetración de Fuentes de energía Renovables intermitentes o no gestionables podría crear una importante disfuncionalidad en el mercado eléctrico:

1. Necesidad de desacoplar el suministro de energía nocturna durante la mañana.
2. Riesgo de restricción/exceso de energía y, por tanto, de precios cercanos a cero.
3. Dificultades para alcanzar el aumento de la demanda al atardecer.

## 2. Mercados gestionables

*Termosolar complementa perfectamente la curva de pato*





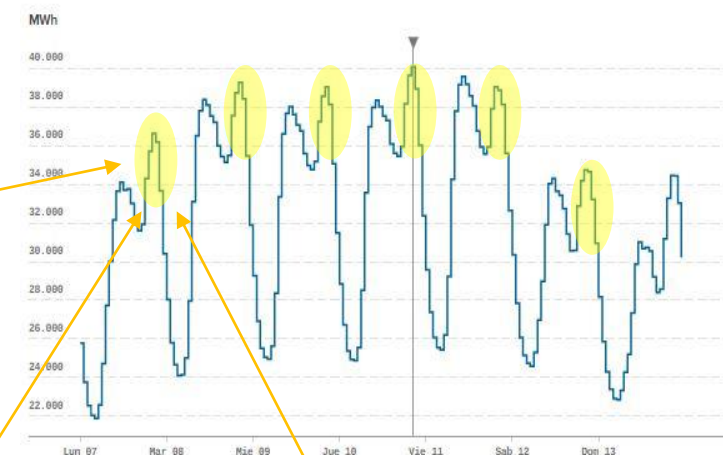
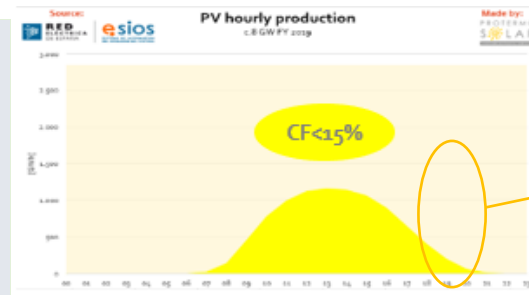
## 2. Mercados gestionables

Y proporciona otros servicios adicionales al sistema eléctrico

1

Con la señal de precio adecuada:

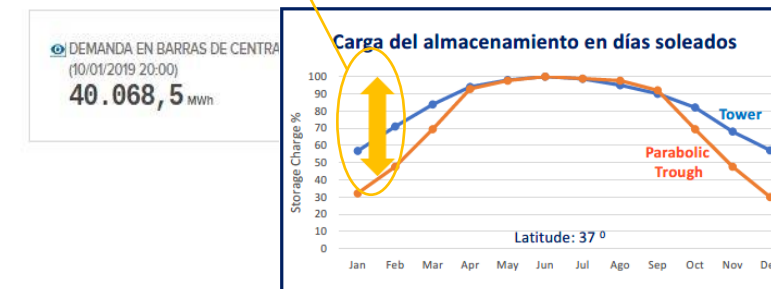
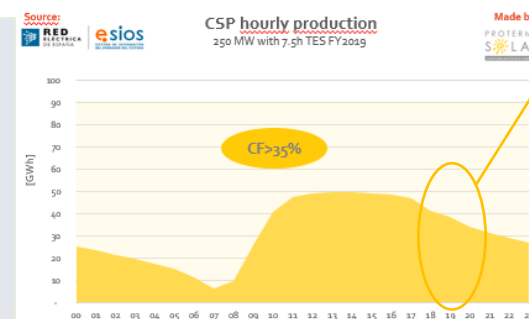
- **Reserva** para las 100h punta anuales
- > 3,5 GWhe actualmente disponibles (podrían ser x2) en invierno para almacenar energía durante días hasta que el sistema la demande



2

Opcional:

- Arbitraje de precios
- Captación de vertidos para su posterior despacho (simplemente añadiendo un calentador eléctrico)



Hay >7 GWhe ya disponibles, fácilmente ampliables a 12-14 GWhe y en 2030, según el PNIEC, serán más de 60 GWhe. Este almacenamiento puede proporcionar servicios adicionales al sistema a un bajo coste.

## 2. Mercados gestionables

¿Es caro introducir termosolar en el sistema?

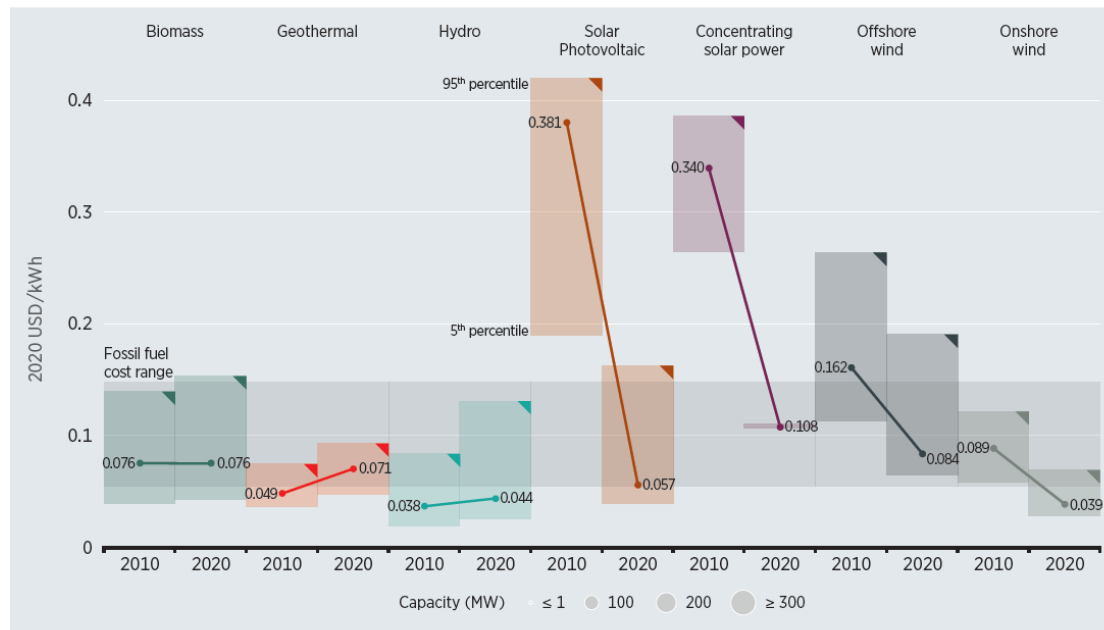
La CSP, debido a sus necesidades de recurso solar, tiene un menor potencial de crecimiento que la PV que afecta a su capacidad instalada global

Sin embargo, para la misma capacidad instalada, la reducción de costes es casi el doble

CSP tiene todavía un importante potencial de reducción de costes, no sólo procedente de la I+D sino también de una mayor capacidad instalada.

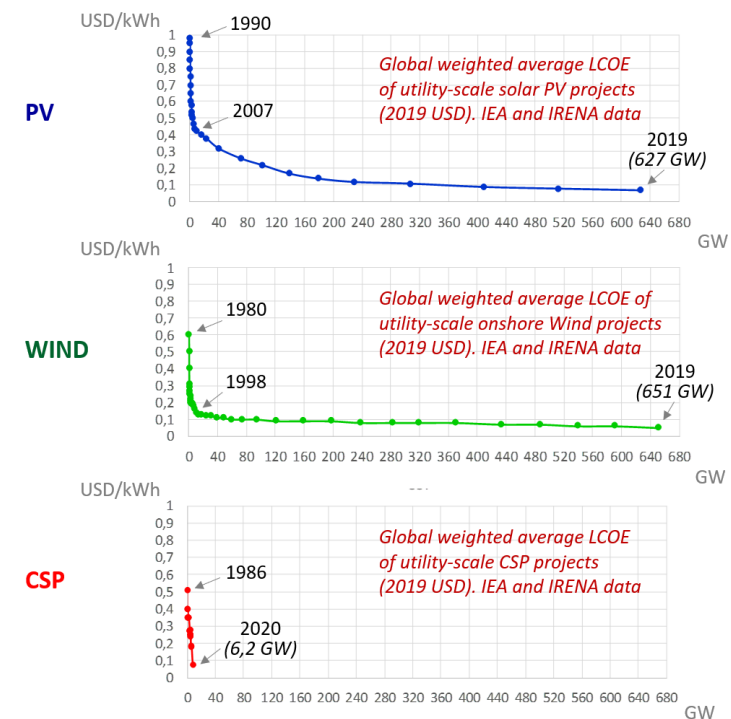
No obstante, la PV y la CSP no competirán, sino que se complementarán

Figure ES.2 Global LCOEs from newly commissioned, utility-scale renewable power generation technologies, 2010-2020



Source: IRENA Renewable Cost Database

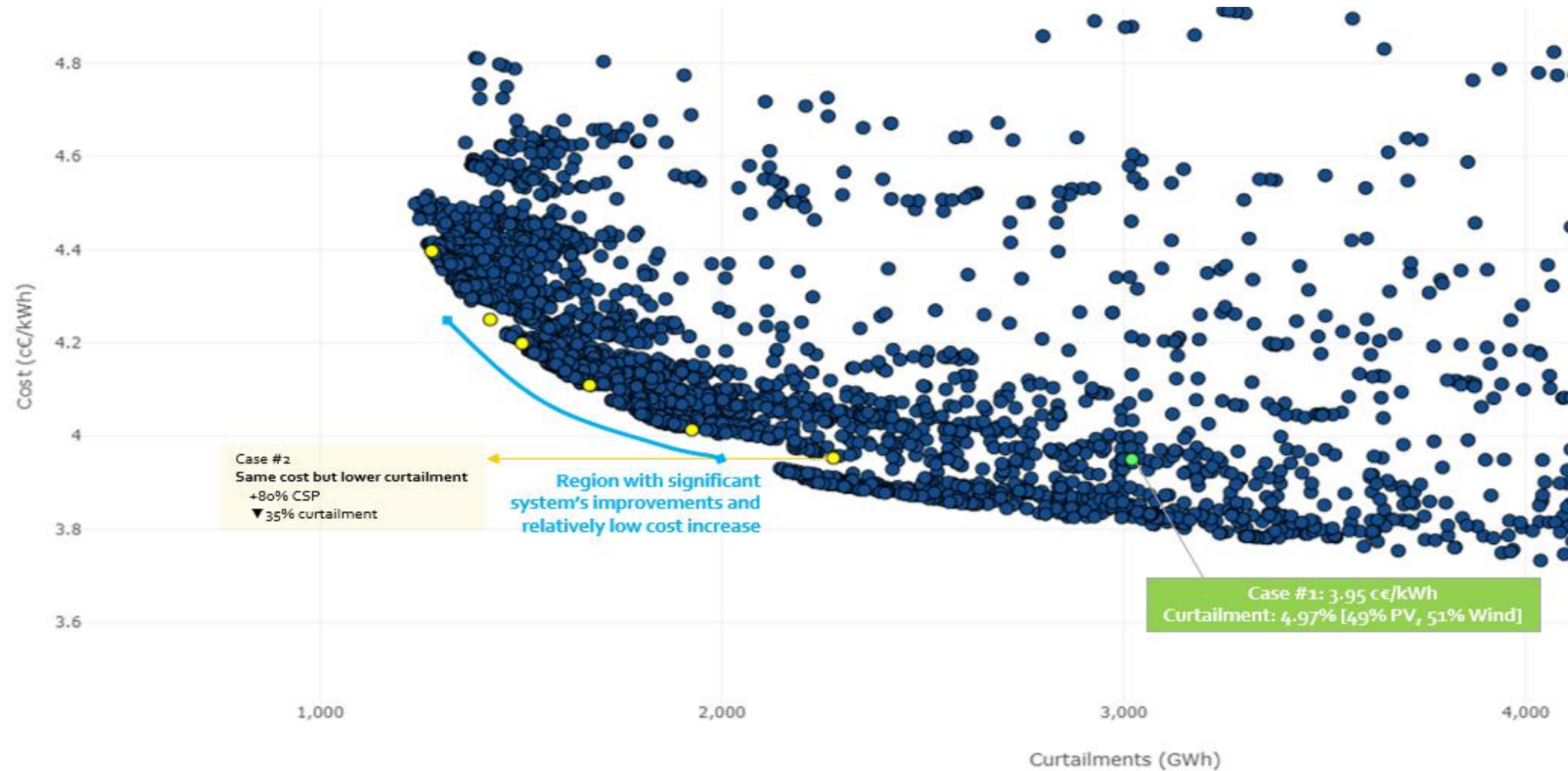
Note: This data is for the year of commissioning. The thick lines are the global weighted-average LCOE value derived from the individual plants commissioned in each year. The project-level LCOE is calculated with a real weighted average cost of capital (WACC) of 7.5% for OECD countries and China in 2010, declining to 5% in 2020; and 10% in 2010 for the rest of the world, declining to 7.5% in 2020. The single band represents the fossil fuel-fired power generation cost range, while the bands for each technology and year represent the 5th and 95th percentile bands for renewable projects.



Fuente: Julian Blanco. PSA Documento interno de trabajo

## 2. Mercados gestionables

*Termosolar no encarece el sistema, reduce vertidos al mismo coste*





# Agenda

1

Introducción a termosolar y panorama mundial

2

Mercados gestionables

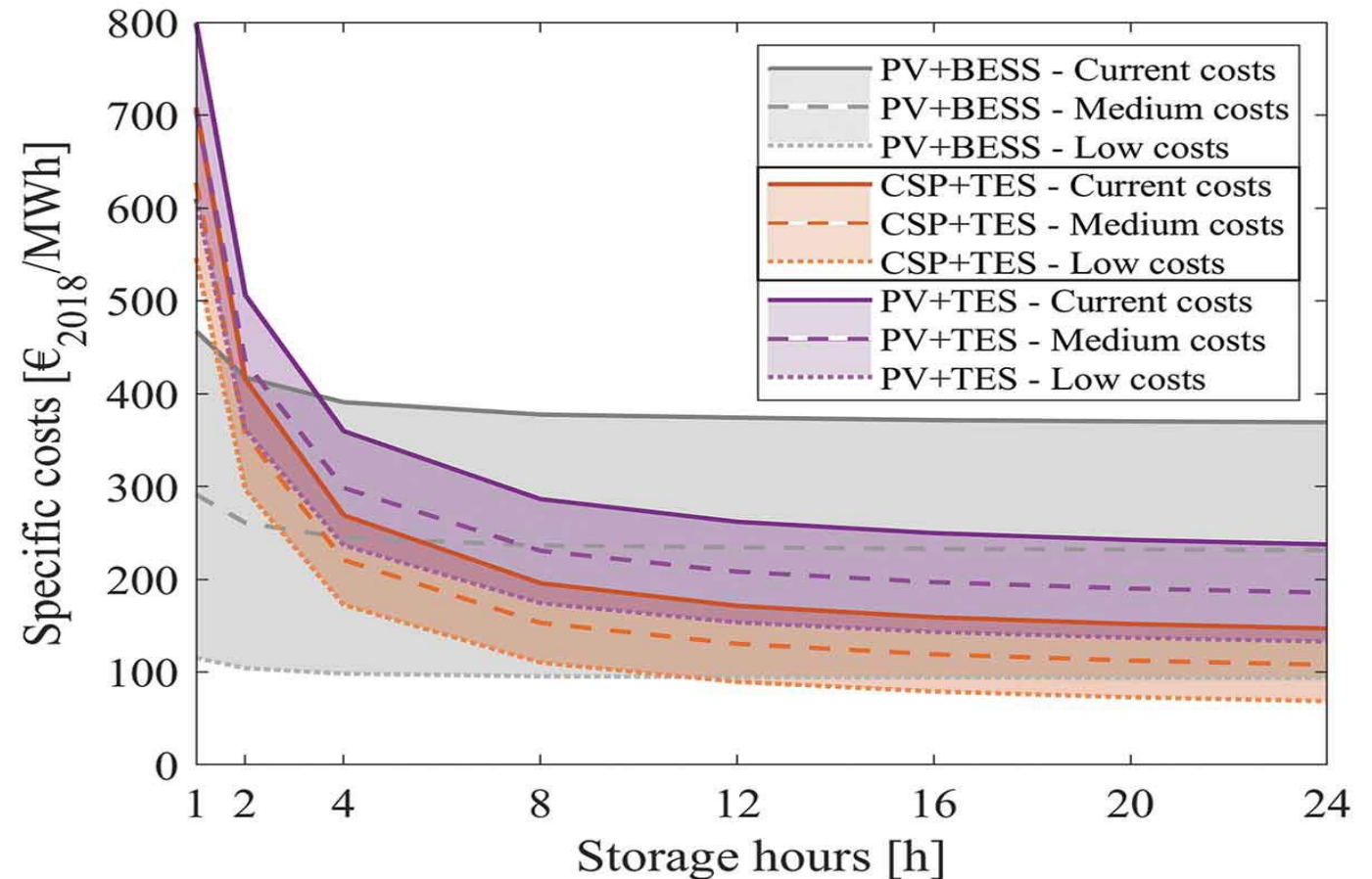
3

El futuro

### 3. El futuro – las baterías

*La comparación no debe ser el break-even sino los servicios, vida útil, materiales, etc.*

1. PV+BESS es más barato que CSP+TES para duraciones cortas de almacenamiento de hasta 2-3 horas.
2. La CSP+TES es y sigue siendo más barata para más de 4 horas de almacenamiento, excepto en el caso de "bajo coste FV+BESS", en el que se supone un aprendizaje muy fuerte de FV+BESS, y el punto de inflexión se desplaza a 10 horas de almacenamiento.

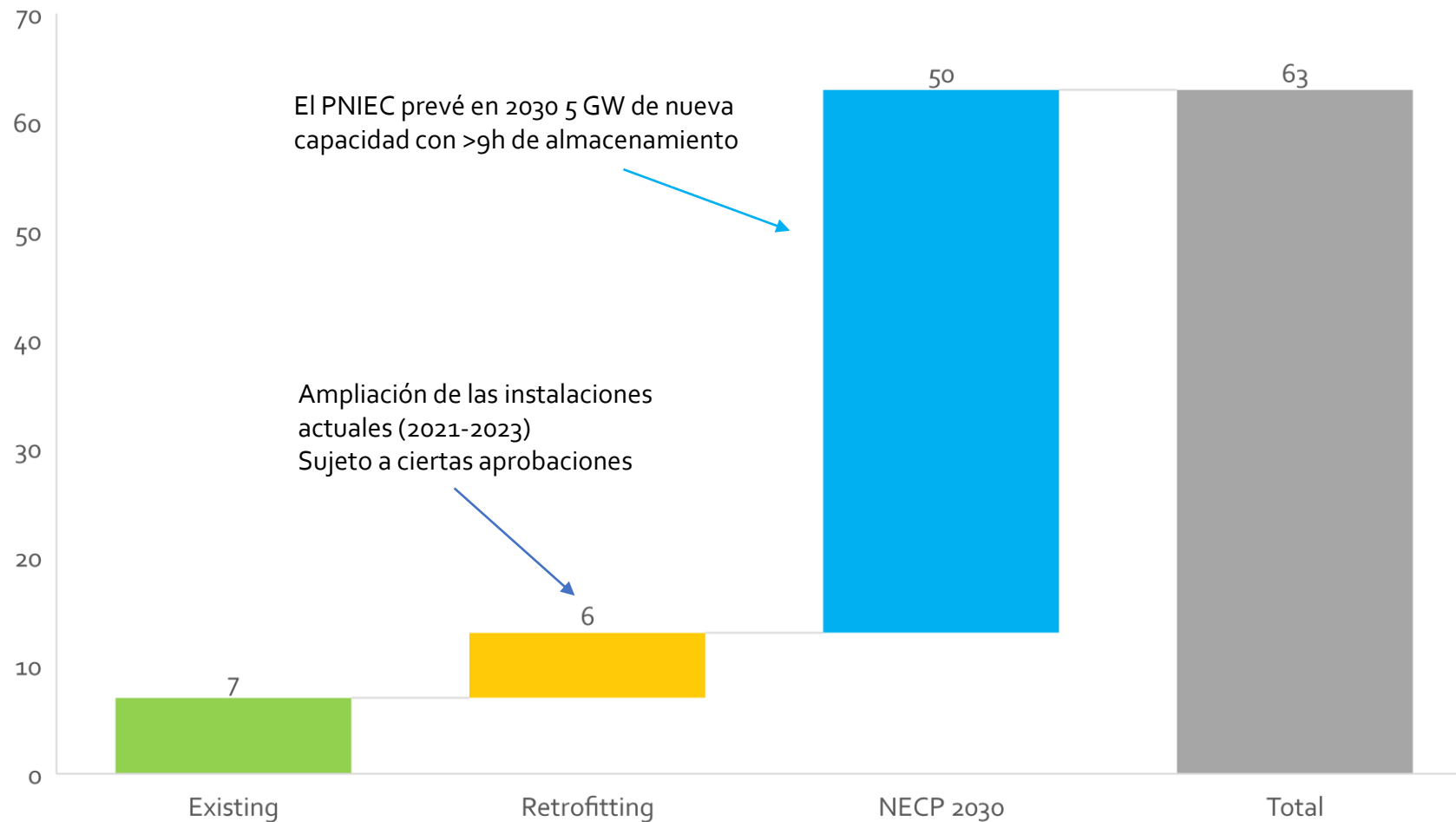


Franziska Schöniger, Richard Thonig, Gustav Resch & Johan Lilliestam (2021) Making the sun shine at night: comparing the cost of dispatchable concentrating solar power and photovoltaics with storage, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, DOI: 10.1080/15567249.2020.1843565 <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567249.2020.1843565>

### 3. El futuro – almacenamiento térmico

¿Cuántas horas de casación con gas natural desplazan 63 GWhe?

Capacidad potencial del almacenamiento térmico en España en 2030  
[GWhe]



### 3. El futuro – almacenamiento térmico

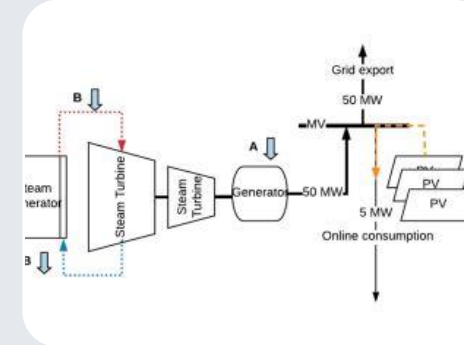
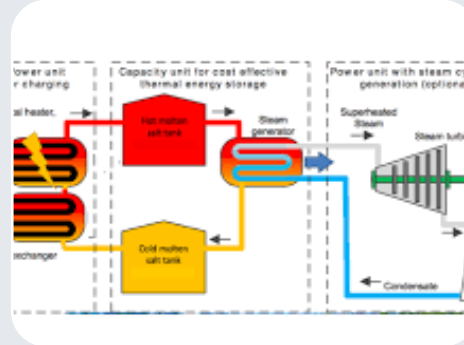
*Reutilización de centrales existentes*





# 3. El futuro – hibridación PV + CSP

Optimizando el diseño en cada caso



## Generación a la red

1. Mejorar el diseño teniendo en cuenta las horas anuales de funcionamiento y los factores de capacidad
2. Sistema de control para mantener la carga máxima a la red
3. Mejora de la fracción de CSP (nuevos diseños de campos solares)

## Integración en el proceso

4. Análisis de la PV integrada en el sistema de almacenamiento térmico - desarrollar nuevos sistemas de carga eléctrica
5. Investigación sobre el sistema de control para permitir carga térmica y eléctrica
6. Impacto en los cimientos de los tanques

## Consumo auxiliar

7. Nuevos diseños eléctricos de la instalación
8. Integración de la tecnología, uso de PV, PV flotante, baterías, etc. en el balance de la planta.

*Se necesitan prototipos, ya que los acreedores y las instituciones financieras no facilitarían un FOAK a escala comercial*

*Termosolar contribuye a respaldar renovables intermitentes, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles, reduciendo vertidos y fomentando la economía y el empleo nacional en la España Vacía.*



1

## Termosolar

- Tecnología comercial desde los años 80.
- Almacenamiento que permite operación continuada.
- Evolución a mayores tamaños y adaptarse al perfil de demanda.

2

## Mercados

- Complemento a PV.
- Reducción de vertidos sin aumentar el coste del sistema.
- Menor dependencia fósil → menor precio de casación del mercado marginalista.

3

## Futuro

- Convivencia con baterías, cada uno aportando sus servicios.
- Capacidad de duplicar almacenamiento sobre plantas existentes a coste marginal.
- Cumpliendo el PNIEC, se desplazan los combustibles fósiles muchas horas todas las noches.

