



**Jornada**  
**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**  
**El despegue de una gran oportunidad.**

# **Economía de la Energía Fotovoltaica**

## **Angel Arcos Vargas**

**Dr. Ingeniero Industrial y Dr en Economía.**

**Profesor Titular de Universidad – U.S.**

**Visiting Research Fellow- Oxford Institute of Energy Studies**

**Director de la Cátedra Ingeniería y Modelos de Negocios – U.S  
Power Engineering Group.**



## Economía de la Energía Fotovoltaica.

Hoy vamos a hablar de:

Costes del sistema.

Mercado de la generación.

Los costes de producción.  
LCOE

Impacto en el mercado de la PV.

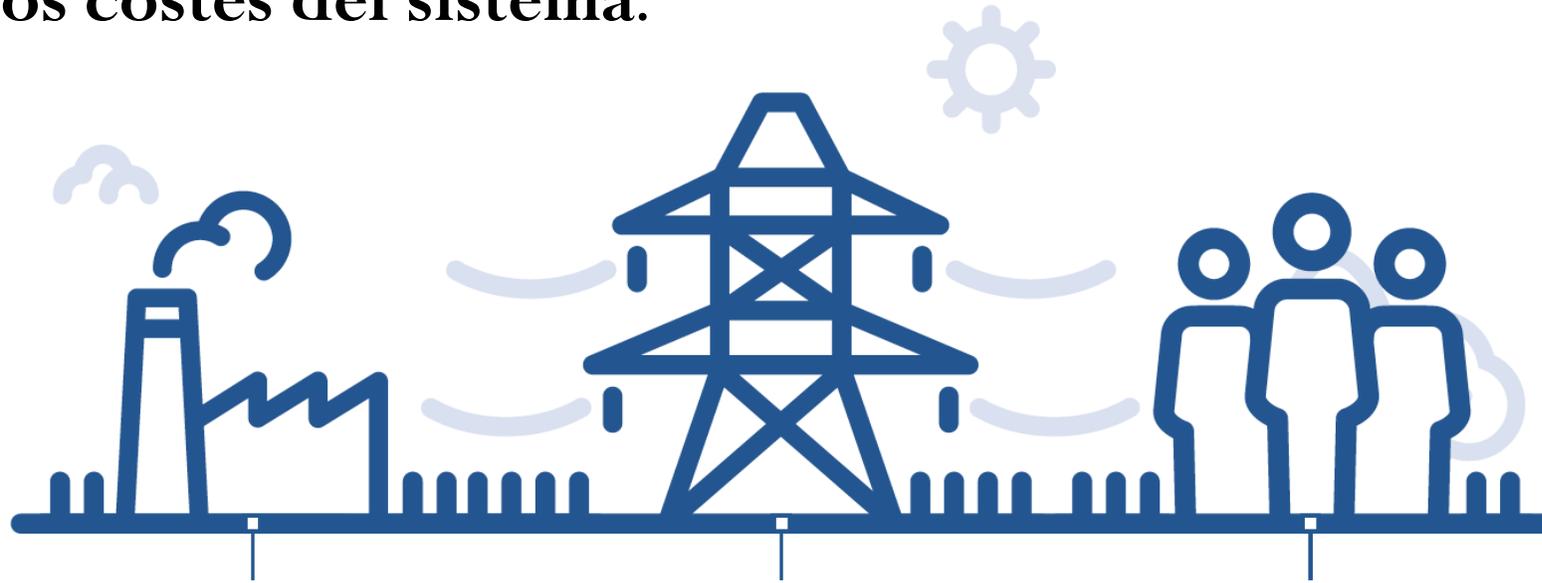
Tecnologías más eficientes..

Almacenamiento y autocomsumo.

.....Y todo esto en 20 minutos.



## Los costes del sistema.



### Generación Actividad liberalizada\*

- Convencional
- Retribución específica

### + Transporte Actividad regulada

- REE

### + Distribución Actividad regulada

- Distribuidoras

### + Comercialización Actividad liberalizada\*

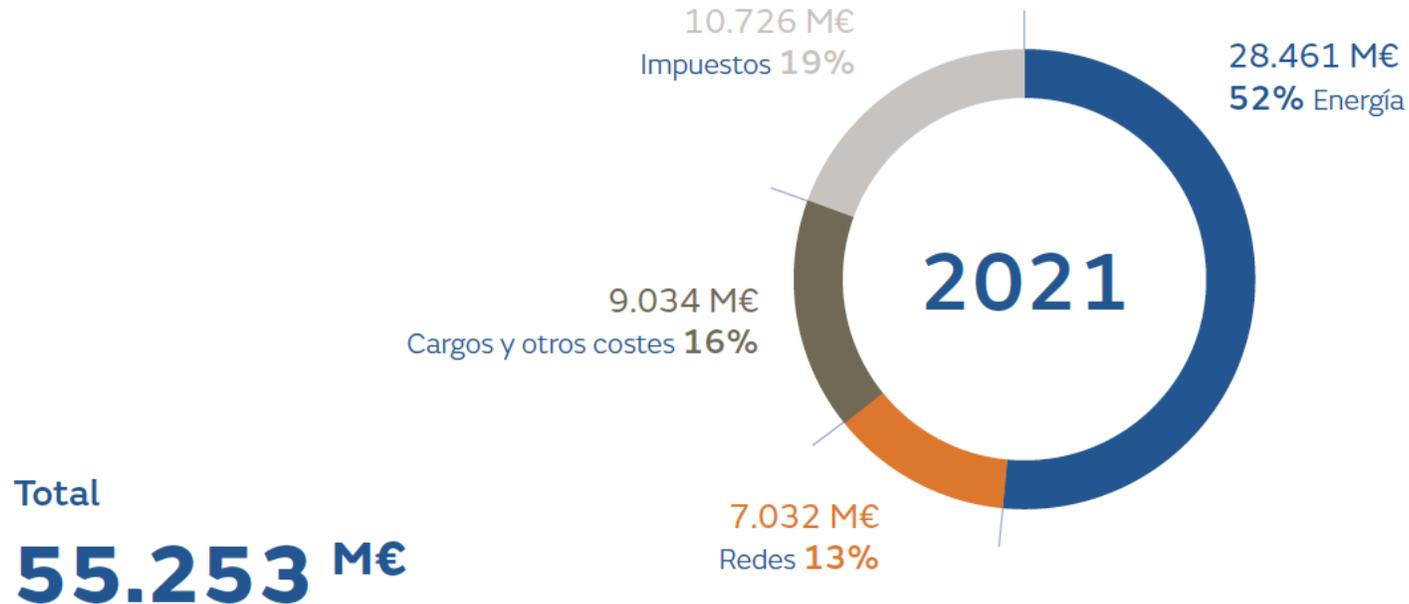
- Mercado liberalizado
- Mercado con tarifas reguladas





## Los costes del sistema.

### Coste total del sistema 2021 (con impuestos)\*



- Casi un 5 % del PIB
- Más que el PIB de 100 países

77	Uzbekistán	59 929	2020
78	Angola	58 375	2020
79	Croacia	57 203	2020
80	Lituania	56 546	2020
81	Panamá	53 977	2020
82	Uruguay	53 628	2020
83	Eslovenia	53 589	2020
84	Serbia	53 335	2020

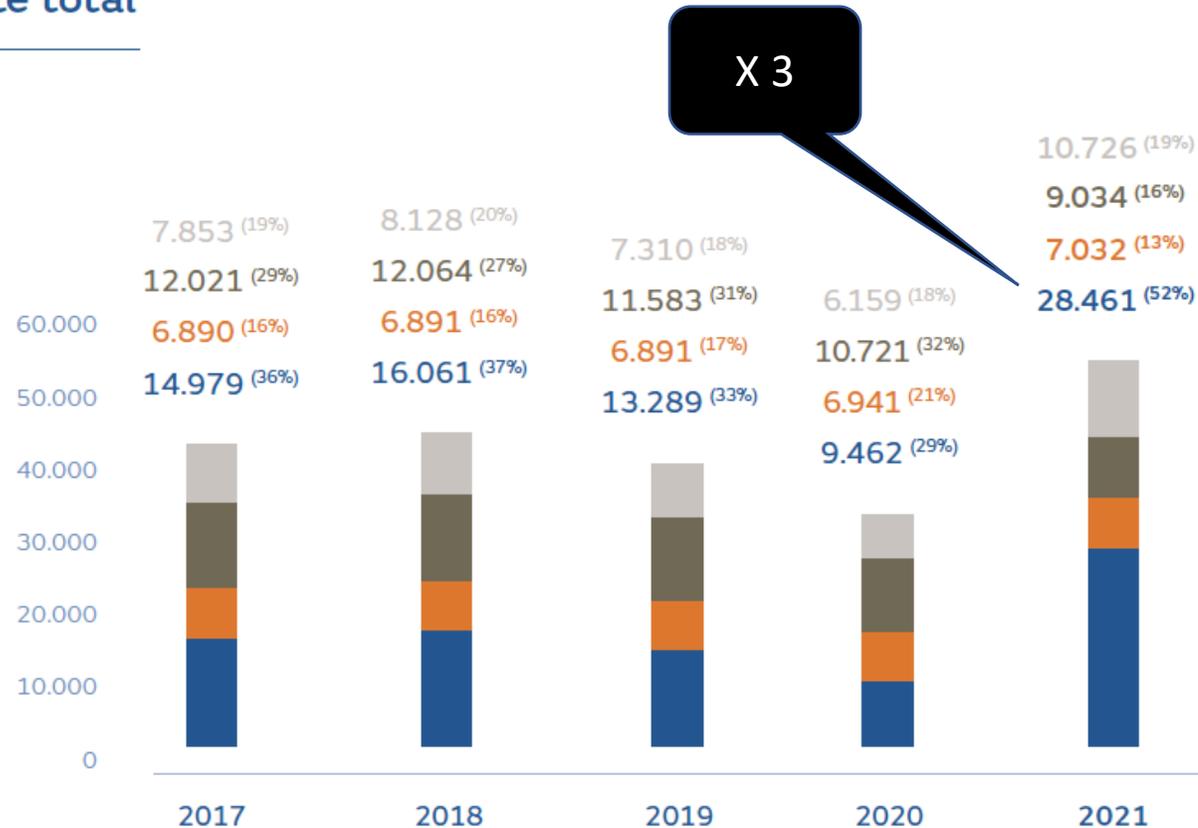


# Los costes del sistema.

## Evolución coste total

- Energía
- Redes
- Cargos y otros costes
- Impuestos

Incluye regularizaciones de ejercicios anteriores.  
Fuente: CNMC y estimación propia del coste energía e impuestos basadas en los datos de REE, OMIE y CNMC.



El mismo producto ha costado 16 kM€ en 2021 que en 2019.

➔ Inductor de inflación.

Millones de €

	2017	2018	2019	2020	2021
Total	41.743	43.144	39.073	33.283	55.253
Variación anual (%)	+12,82%	+3,36%	-9,44%	-15,56%	66,01%



## Mercado de la generación.

Costes del  
sistema.

Mercado de la  
generación.

Los costes de  
producción.  
LCOE

Impacto en el  
mercado de la PV.

Tecnologías  
más  
eficientes..

Almacenamiento y  
autocomsumo.

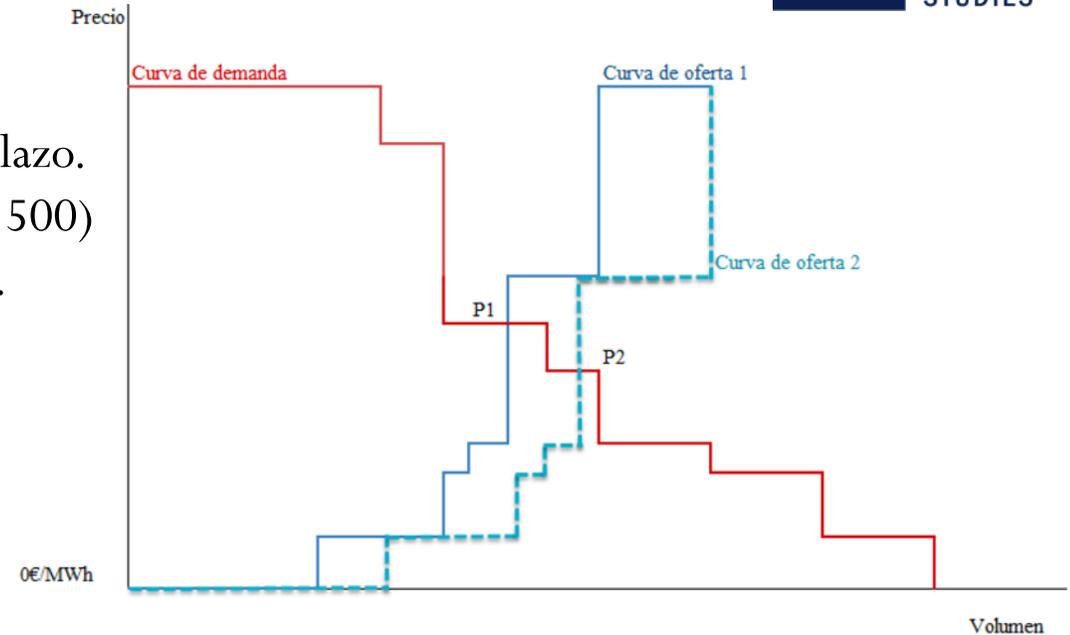


- Generación**  
Actividad liberalizada\*
  - Convencional
  - Retribución específica
- Transporte**  
Actividad regulada
  - REE
- Comercialización**  
Actividad liberalizada\*
  - Mercado liberalizado
  - Mercado con tarifas reguladas
- Distribución**  
Actividad regulada
  - Distribuidoras



## El mercado de la generación.

- Mercado liberalizado. Ley del Sector Eléctrico 54/1997.
- Operado por el OMEL. Conjuntamente con Portugal.
- Se estructura en tres mercados: A plazo, diario y de corto plazo.
- Si se dan las condiciones de competencia perfecta ( $HHI < 1500$ ) la oferta a corto plazo debe coincidir con su coste marginal.
- $HHI\ 2020 = 1190$



$$Q(p) = \begin{cases} Q_e & \text{si } p > \min CVMe \\ 0 & \text{si } 0 < p < \min CVMe \end{cases}$$

donde  $Q_e / p = CMa(Q_e)$

**Coste Marginal (  $CM(Q)$  ):** Variación que experimenta el coste total por unidad de variación de producto a largo plazo.

$$CM(Q) = dC(Q)/dQ$$



# El mercado de la generación.

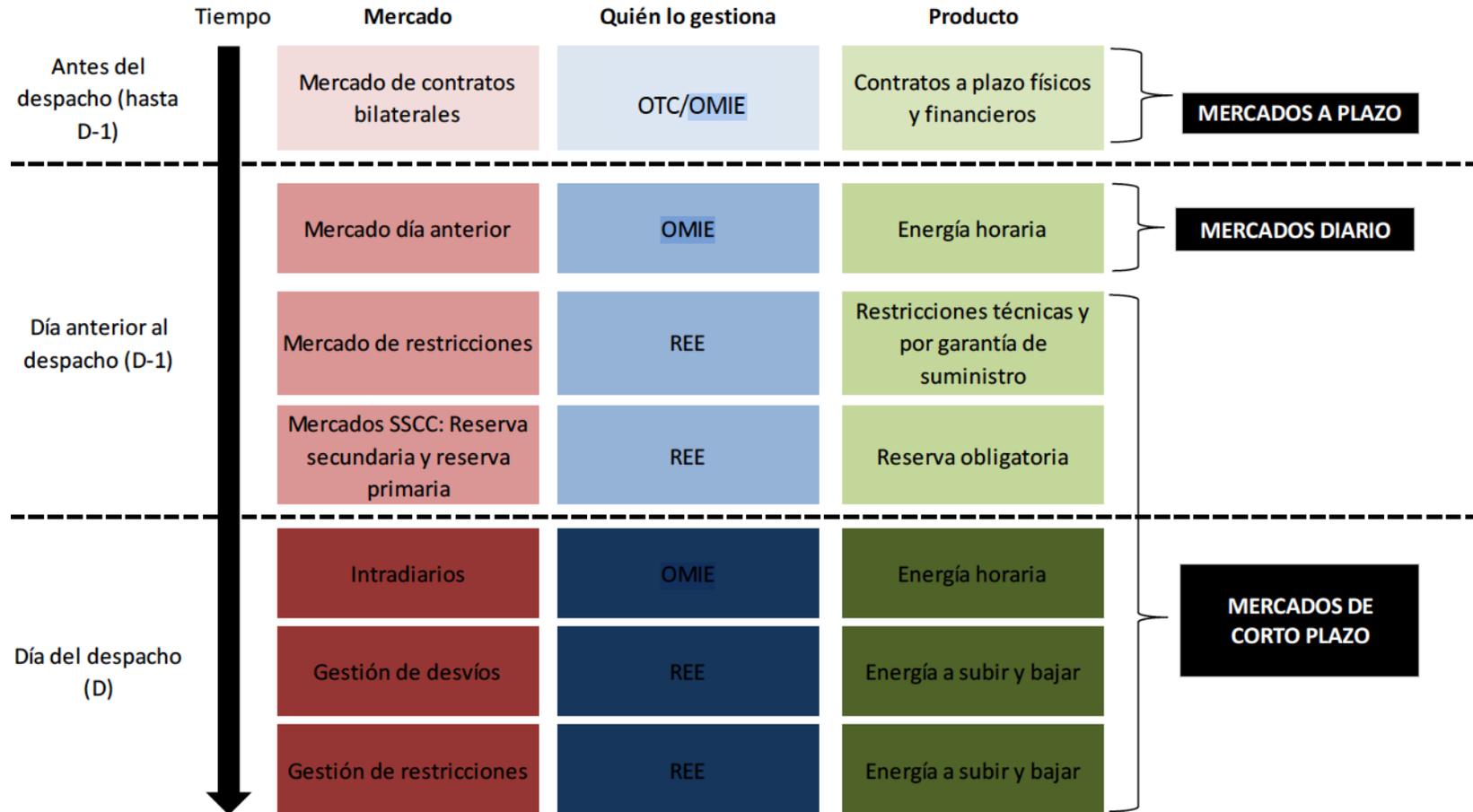


Figura 24. Secuencia de mercados en el mercado ibérico de la electricidad (MIBEL)



# El mercado de la generación.

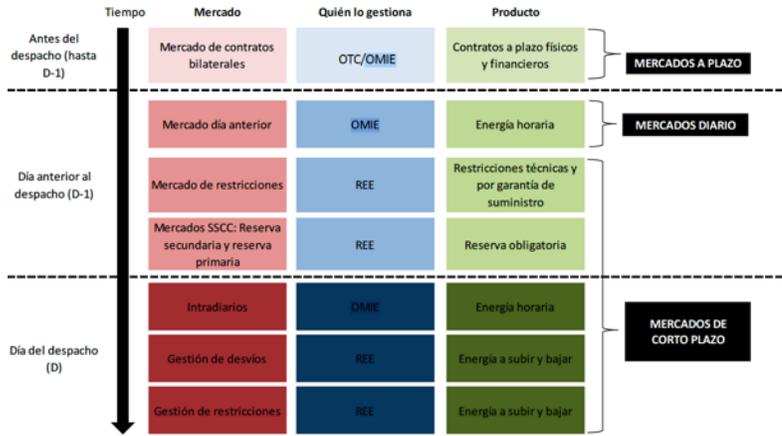
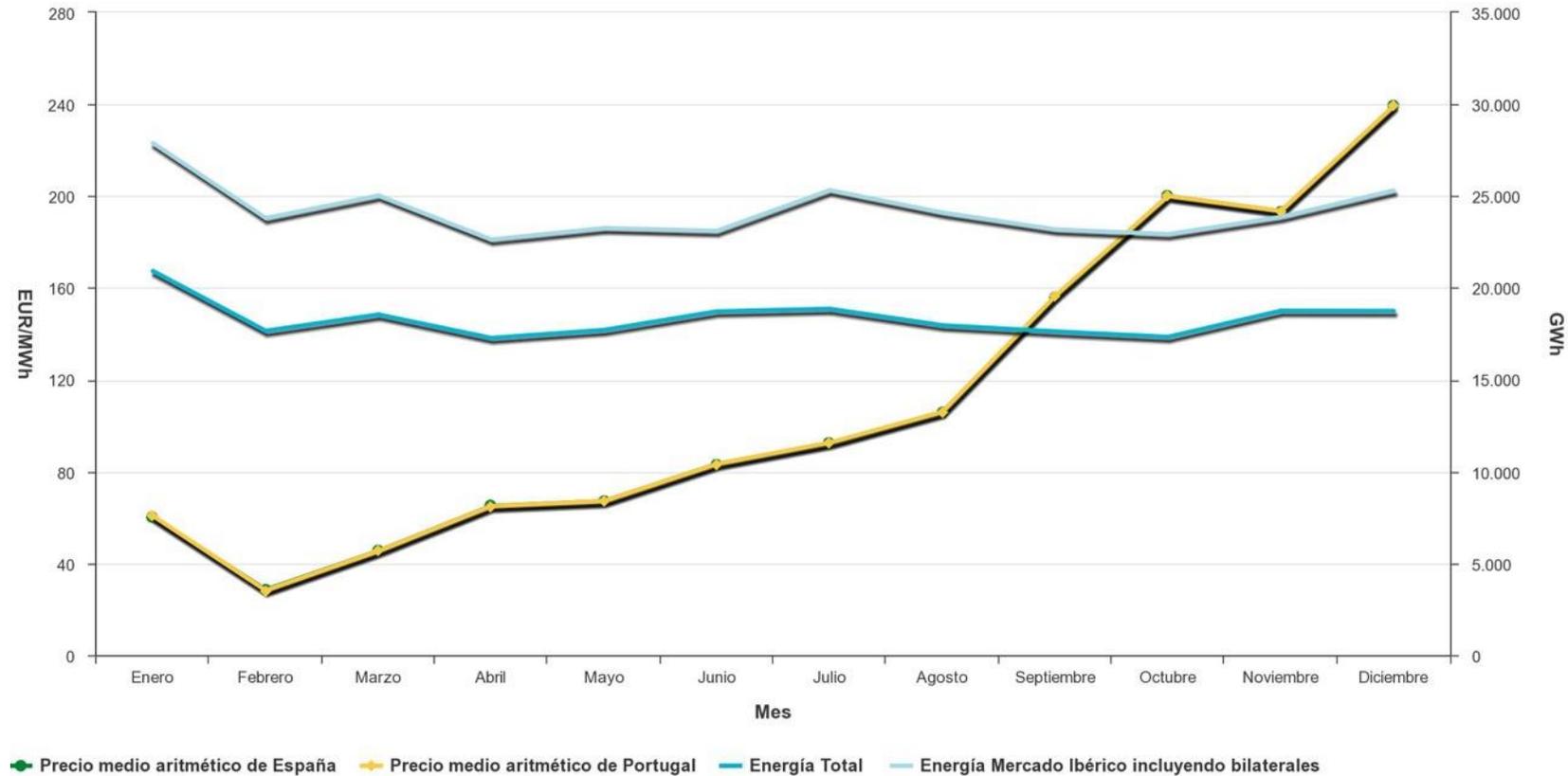


Figura 24. Secuencia de mercados en el mercado ibérico de la electricidad (MIBEL)

Fuente: Energía y Sociedad

Mínimo, medio y máximo precio de la casación del mercado diario

Mibel - 2021



*El mercado diario representa un 75% de la demanda total*



# El mercado de la generación.

Índice Herfindahl-  
Hirschman

$$HHI = \sum_{i=1}^N S_i^2$$

$S_i$  es la cuota de mercado de la  $i$ -ésima entidad  
 $N$  es el número de entidades del mercado

La medida de concentración más conocida y usada. Muchas veces sirve de benchmark para evaluar otros indicadores de concentración.

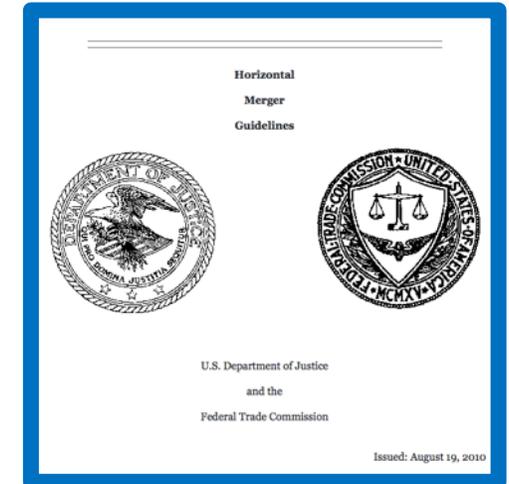
Captura datos del total de entidades del mercado al ser igual a la suma de los cuadrados de las cuotas de mercado de todas las entidades. En este sentido, HHI da más peso a los bancos más grandes.

HHI toma un valor máximo de 10.000 para un monopolio. De acuerdo con el US Department of Justice y The Federal Trade Commission la concentración del mercado varía dependiendo de los siguientes niveles:

- Menor de 100: Mercado muy competitivo.
- Entre 100 y 1.500: Mercado desconcentrado
- Entre 1.500 y 2.500: Mercado concentrado.
- Más de 2.500: Mercado altamente concentrado



THE OXFORD  
INSTITUTE  
FOR ENERGY  
STUDIES



**Cuadro 9. Cuotas de generación de los principales grupos empresariales e índices HHI en el PDBF en el ámbito del MIBEL considerando todas las tecnologías**

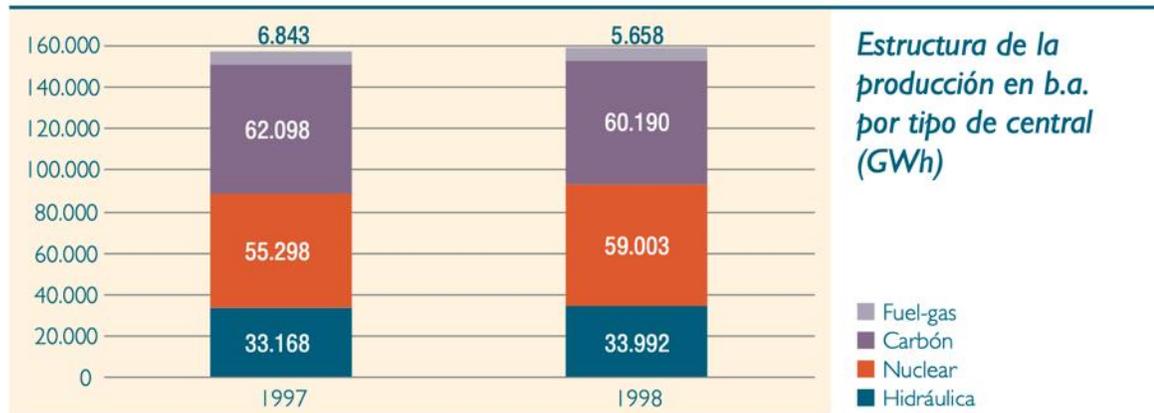
AÑO	ENDESA	IBERDROLA	EDP	NTGY	VIESGO	AXPO	ACCIONA	REPSOL	ENERGYA VM	CEPSA	WIND TO MARKET	NEXUS	OTROS	HHI
2008	27%	22%	13%	16%	1%	4%	3%	0%	1%	2%	1%	1%	9%	1.484
2009	20%	23%	13%	11%	4%	7%	3%	0%	2%	2%	2%	1%	11%	1.176
2010	19%	24%	12%	9%	3%	8%	5%	0%	2%	2%	2%	2%	11%	1.255
2011	23%	21%	12%	7%	2%	9%	5%	0%	3%	3%	2%	2%	11%	1.251
2012	23%	18%	16%	8%	2%	9%	5%	0%	3%	2%	2%	2%	9%	1.236
2013	21%	19%	20%	7%	1%	8%	6%	0%	3%	2%	3%	2%	7%	1.407
2014	22%	21%	20%	6%	1%	7%	5%	1%	2%	2%	3%	2%	7%	1.445
2015	22%	18%	19%	8%	2%	7%	5%	1%	2%	2%	3%	2%	8%	1.384
2016	19%	21%	19%	7%	2%	8%	5%	1%	3%	2%	3%	2%	8%	1.337
2017	23%	17%	18%	6%	3%	8%	6%	1%	3%	3%	2%	2%	9%	1.306
2018	20%	19%	20%	6%	3%	6%	6%	1%	3%	2%	3%	2%	9%	1.314
2019	17%	19%	19%	6%	0%	8%	5%	5%	3%	3%	2%	2%	11%	1.190
2020	16%	20%	18%	6%	0%	8%	5%	4%	3%	3%	2%	3%	11%	1.190

Based on their experience, the Agencies generally classify markets into three types:

- Unconcentrated Markets: HHI below 1500
- Moderately Concentrated Markets: HHI between 1500 and 2500
- Highly Concentrated Markets: HHI above 2500

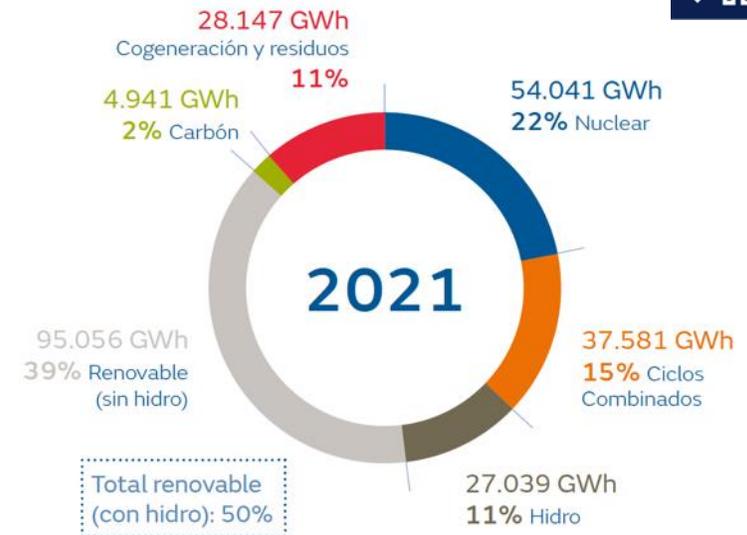


## El mercado de la generación.



Fuente: REEE 1999

[https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/inf\\_oper\\_ree\\_98\\_1.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/inf_oper_ree_98_1.pdf)



El mercado se diseña con unas reglas pensadas en una tecnología térmica, gestionable, síncrona y de elevados costes marginales (Carbón)



## Los costes de producción. LCOE



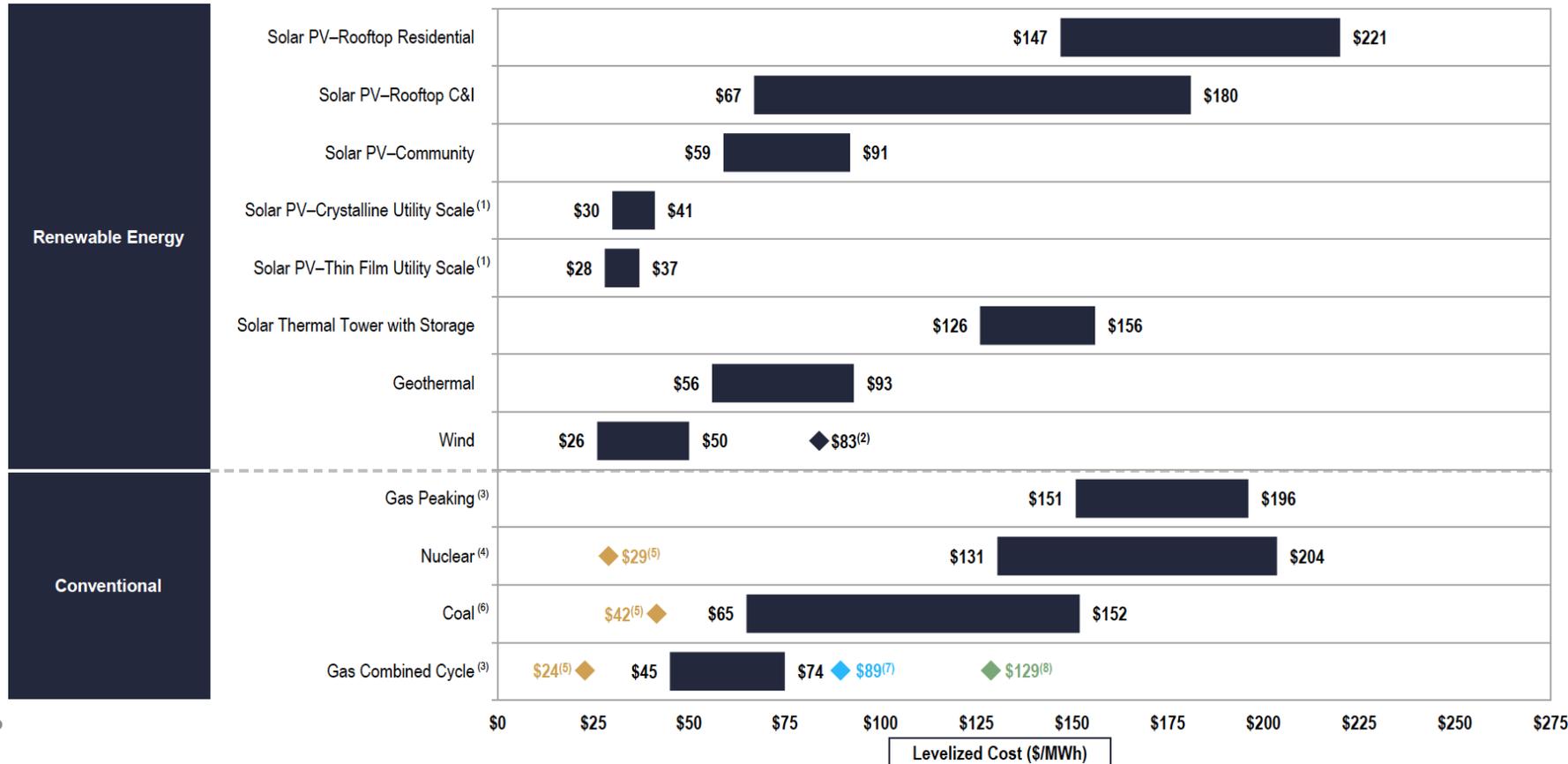


LAZARD

LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS—VERSION 15.0

## Levelized Cost of Energy Comparison—Unsubsidized Analysis

Selected renewable energy generation technologies are cost-competitive with conventional generation technologies under certain circumstances



$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

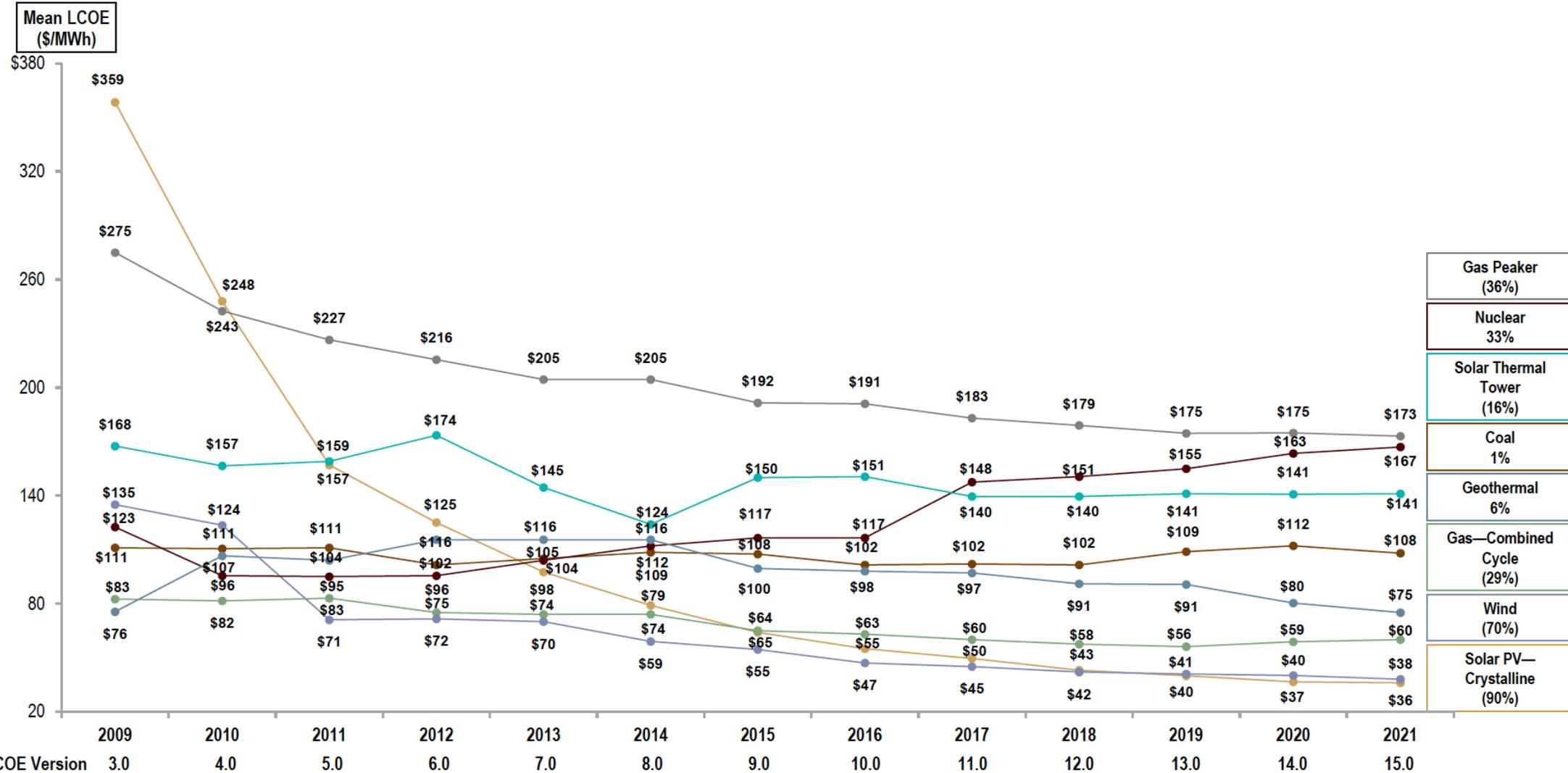
El LCOE es el valor del coste total actual de construir y operar una instalación generadora de energía a lo largo de toda su vida útil.

# Levelized Cost of Energy Comparison—Historical Utility-Scale Generation Comparison

Lazard’s unsubsidized LCOE analysis indicates significant historical cost declines for utility-scale renewable energy generation technologies driven by, among other factors, decreasing capital costs, improving technologies and increased competition

Selected Historical Mean Unsubsidized LCOE Values<sup>(1)</sup>

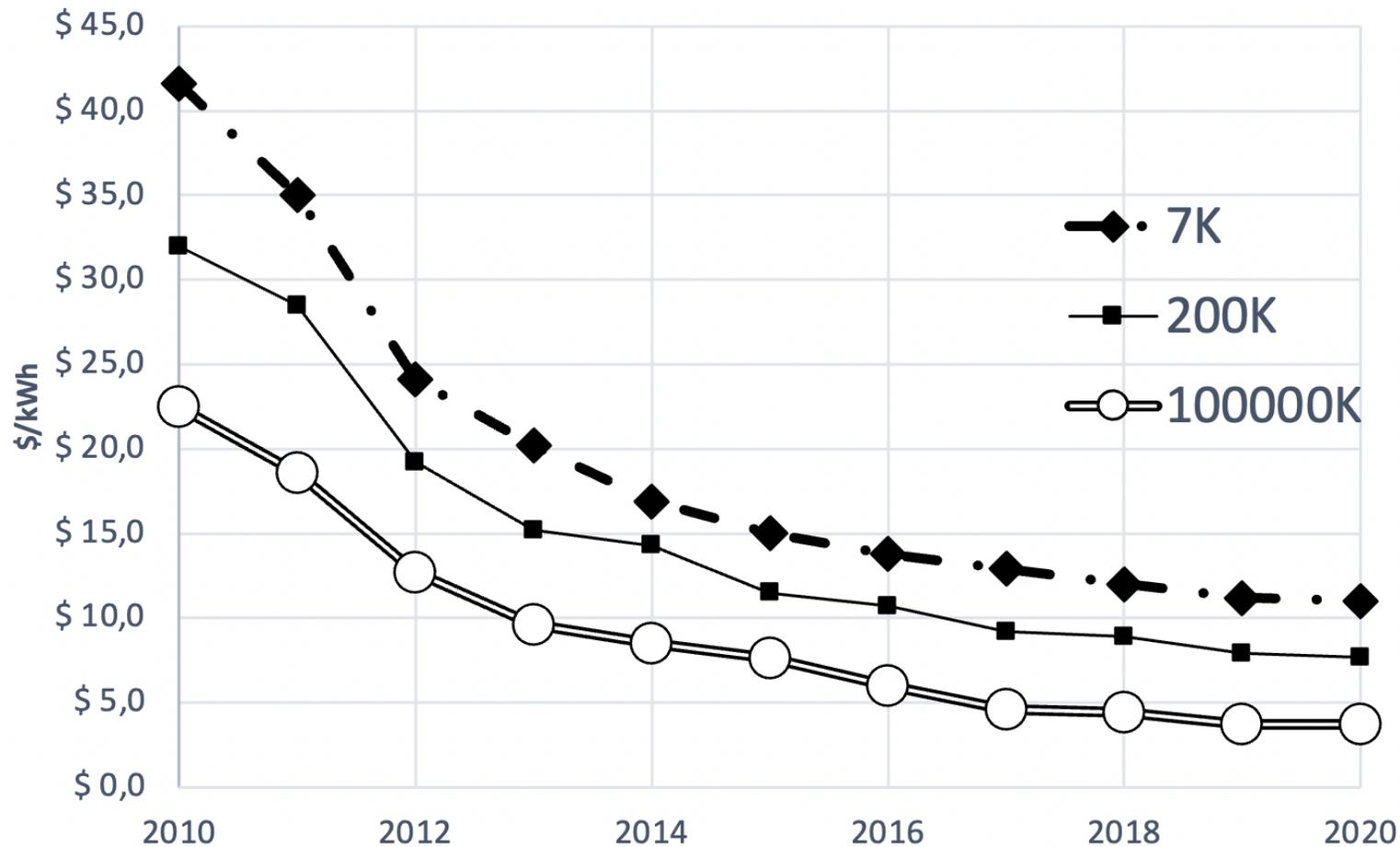
Los  
costes de  
producción. LCOE





# Los costes de producción. LCOE. EL TAMAÑO IMPORTA

## Evolución LCOE



**U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmark: Q1 2020**

David Feldman, Vignesh Ramasamy, Ran Fu, Ashwin Ramdas, Jal Desai, and Robert Margolis

*National Renewable Energy Laboratory*



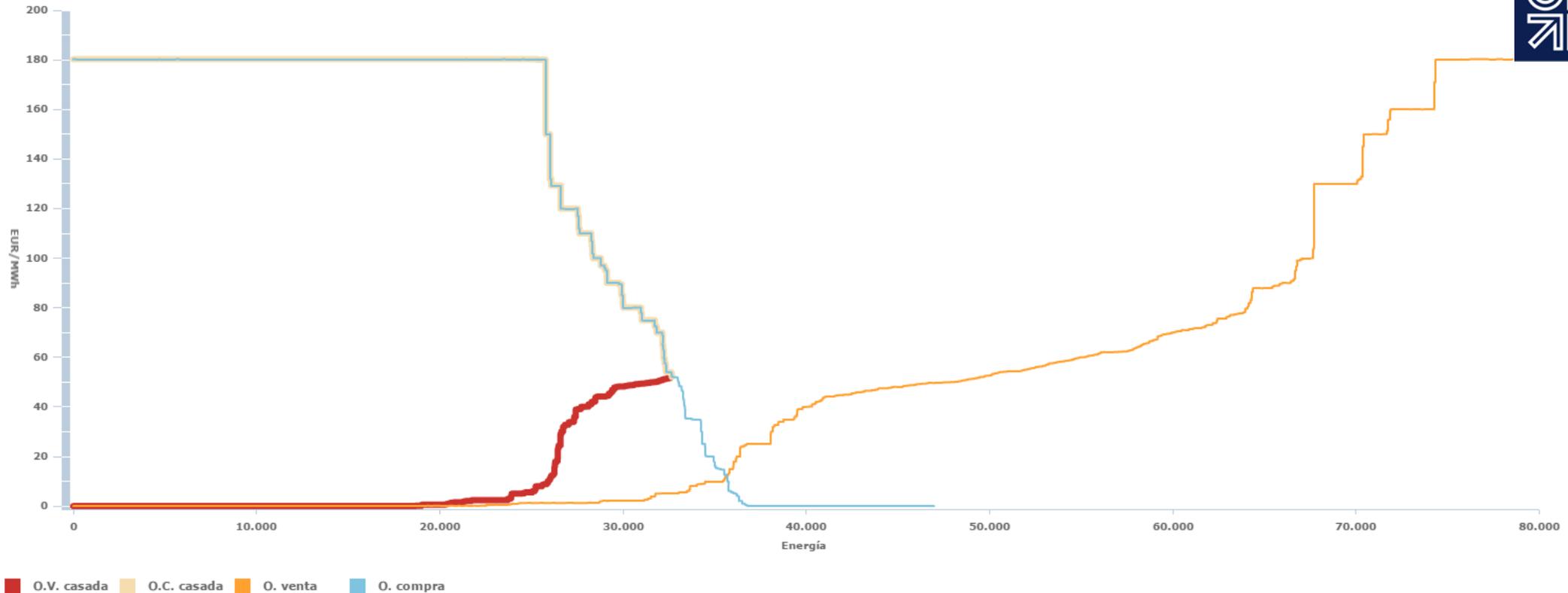


## Impacto en el mercado de la PV.





## Impacto en el mercado de la PV.

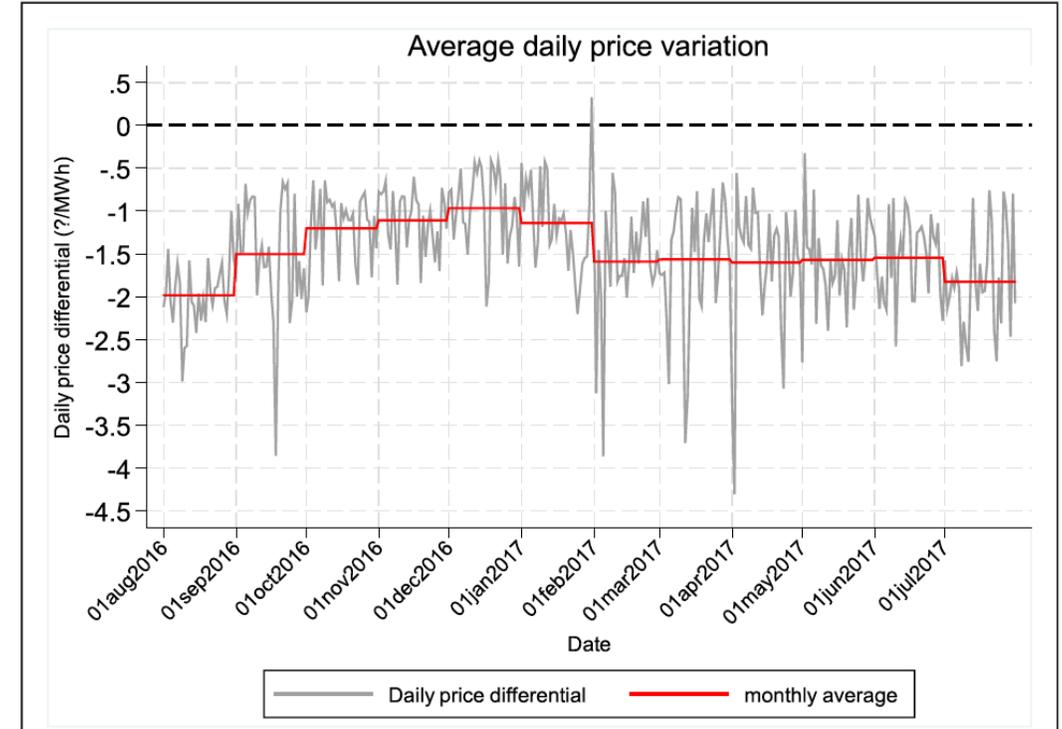


Se incorporan al mercado unidades de oferta a coste marginal 0, lo que provoca una reducción del precio del mercado.



## Impacto en el mercado de la PV.

*On the one hand, a positive supply shock consisting of the introduction of 1 MWh of PV electricity will reduce the electricity price by 0.002 €/MWh on an hourly average (in the hours of sun). Likewise, 25 MW of new PV power would be needed to reduce the average hourly price by 0,01€. This price reduction will be greater (in absolute values) in the hours of more irradiation, being zero at night and presenting an average value of 1.7 c€ in the hours of sunshine.*



Short-term effects of PV integration on global welfare and CO<sub>2</sub> emissions. An application to the Iberian electricity market

A. Arcos-Vargas <sup>a,\*</sup>, F. Nuñez <sup>a</sup>, R. Román-Collado <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Sevilla, Spain

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Chile, Chile

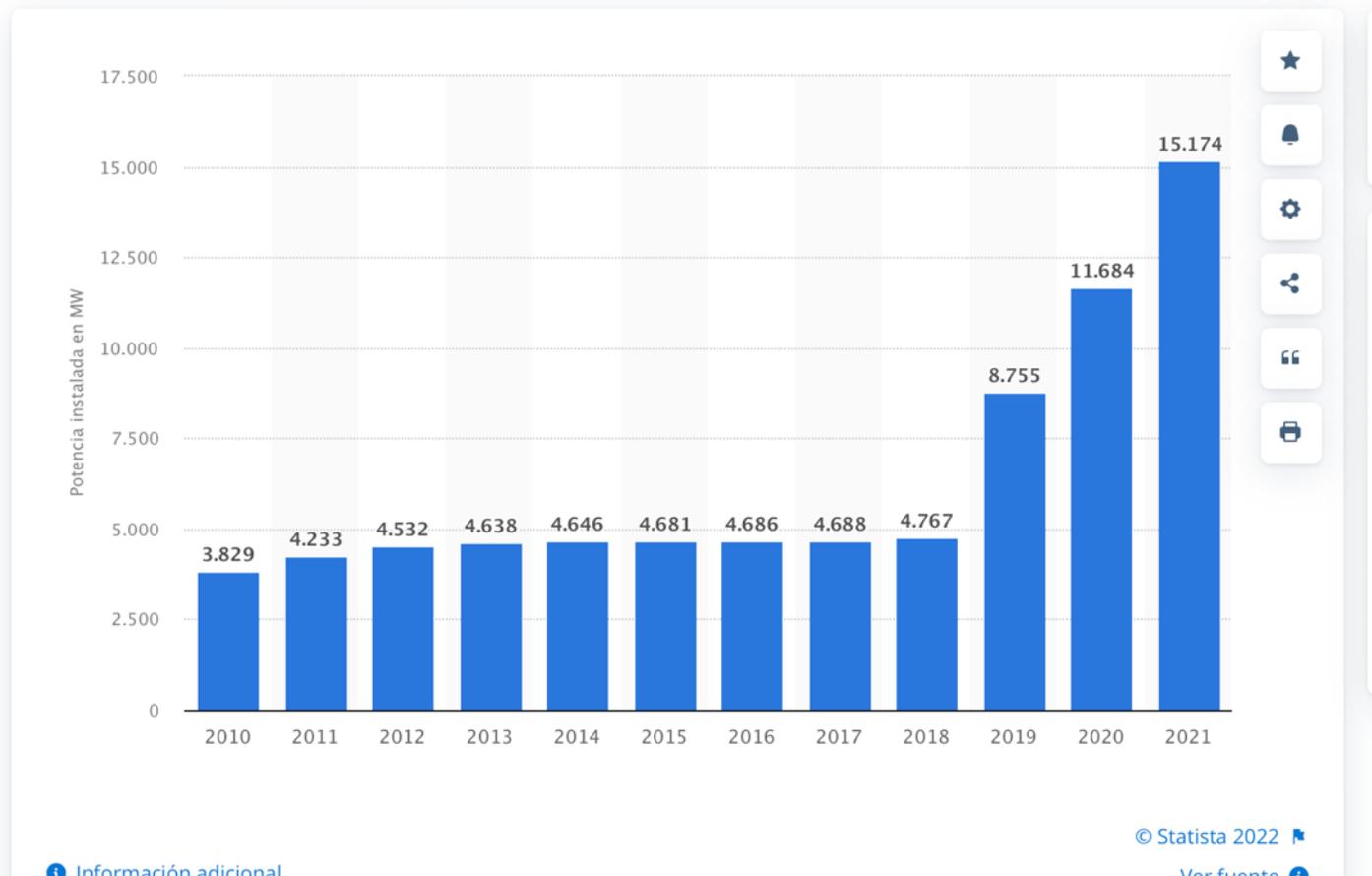




# Impacto en el mercado de la PV.

## Potencia solar fotovoltaica instalada en España de 2010 a 2021

(en megavatios)



Información adicional

© Statista 2022

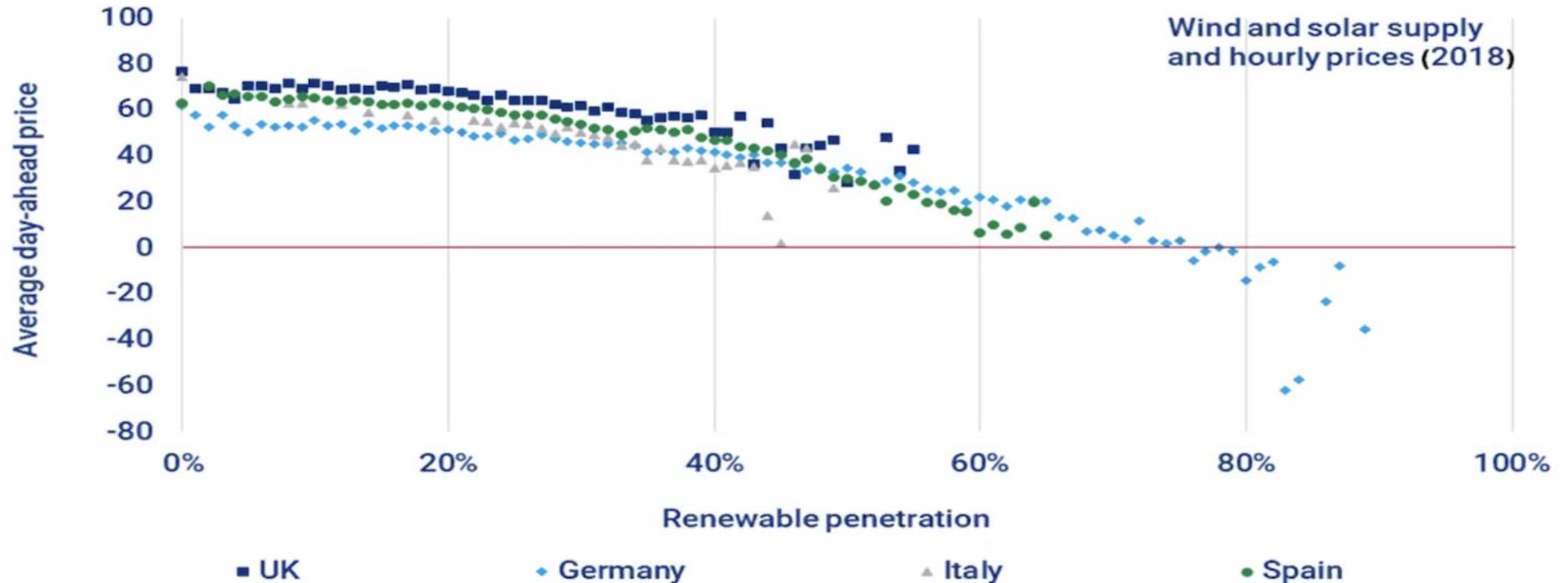
Ver fuente

$$15,174 \text{ MW} \times 0,01 \text{ €/25 MW} = 6 \text{ €}$$



# Impacto en el mercado de la PV.

## Price cannibalisation increases with renewables penetration



Source: Wood Mackenzie. ENTSO-E

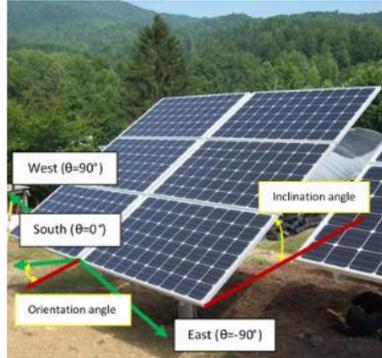


## Tecnologías más eficientes..





Tecnologías más eficientes.



Article

A European Assessment of the Solar Energy Cost: Key Factors and Optimal Technology

Daniel Lugo-Laguna, Angel Arcos-Vargas \* and Fernando Nuñez-Hernandez

Table 10. Levelized Cost of Energy (LCOE) results per location and tracking technology (source: own elaboration).

Country/Group of Countries	Fixed [EUR/MWh]	Vertical Axis [EUR/MWh]	Inclined Axis [EUR/MWh]	Two-Axis [EUR/MWh]
Portugal	36.2337	32.50922	32.3505 (b)	40.21194 (w)
Spain	39.5217	35.16306	35.05983 (b)	43.51782 (w)
Cyprus	39.04112	35.36865	35.21367 (b)	43.66297 (w)
Greece	39.47233	35.83917	35.72191 (b)	44.35575 (w)
Romania	41.4339	38.78028	38.70046 (b)	48.36632 (w)
Bulgaria	41.42474	39.03341	38.9532 (b)	48.51834 (w)
Hungary and Slovakia	42.50919	39.42892 (b)	39.43595	49.25845 (w)
Italy and Malta	46.32328	41.85519	41.8034 (b)	51.92476 (w)
Croatia and Slovenia	45.8143	42.51618	42.46848 (b)	53.01171 (w)
Poland	50.73258	46.96097 (b)	47.02073	58.83019 (w)
Czech Republic	52.19678	48.7958 (b)	48.86529	61.07026 (w)
Latvia, Lithuania and Estonia	54.26215	49.43151 (b)	49.61916	62.0645 (w)
France	64.63869	60.17671 (b)	60.2634	75.11086 (w)
Austria	66.55716	61.91094	61.90883	77.40213 (w)
Sweden and Denmark	75.76658	67.48314 (b)	67.87625	84.79127 (w)
Germany	73.37522	68.05128 (b)	68.20434	85.33294 (w)
United Kingdom	74.18403	69.33581 (b)	69.5894	86.6417 (w)
Finland	78.55951	70.62216 (b)	70.97838	88.96253 (w)
Belgium, Luxembourg and Netherlands	75.69628	70.63932 (b)	70.7378	88.3238 (w)
Ireland	78.43453	73.71098 (b)	74.09617	92.12207 (w)

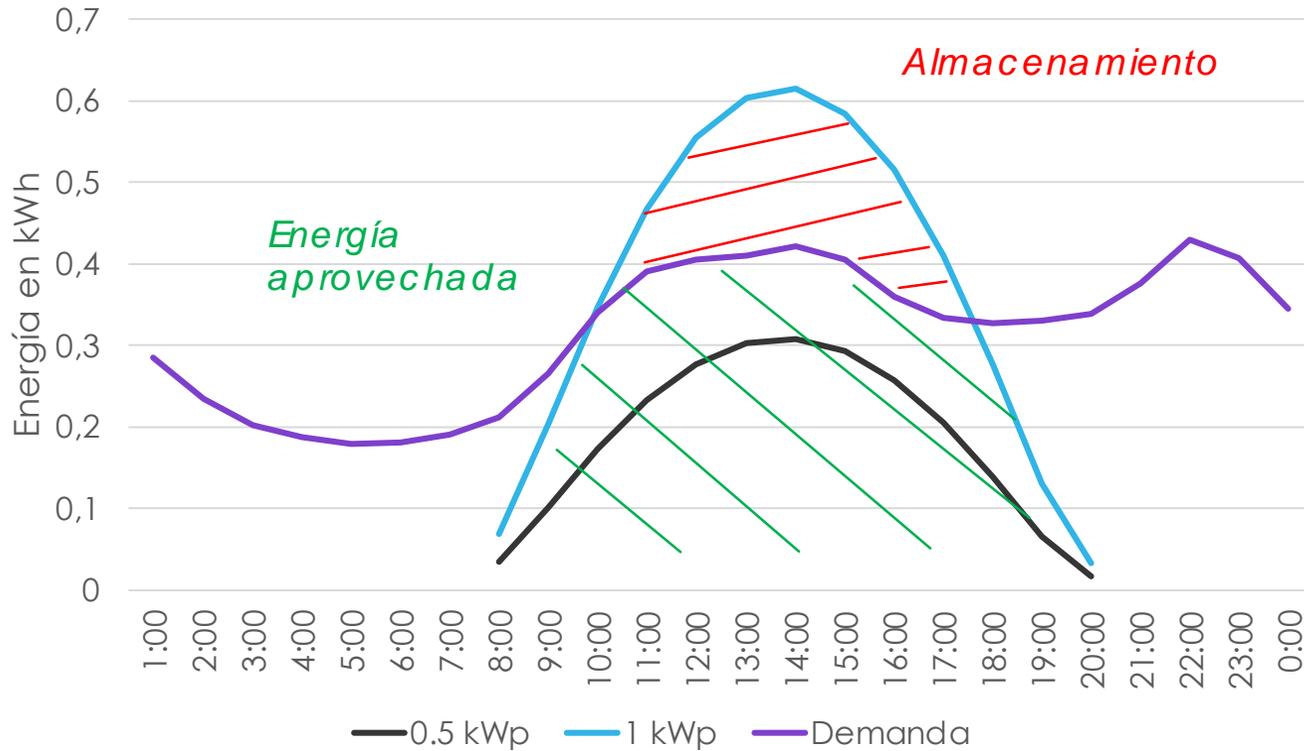


## Almacenamiento y autocomsumo. Nuevos modelos de negocio

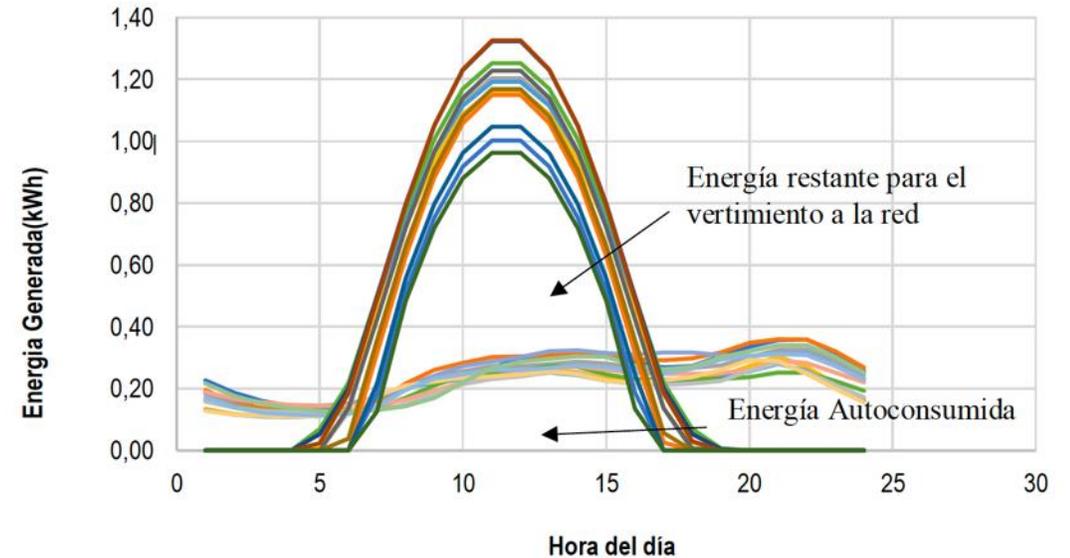




# Almacenamiento: Autoconsumo y oportunidades de negocio



No coincidencia entre demanda y producción

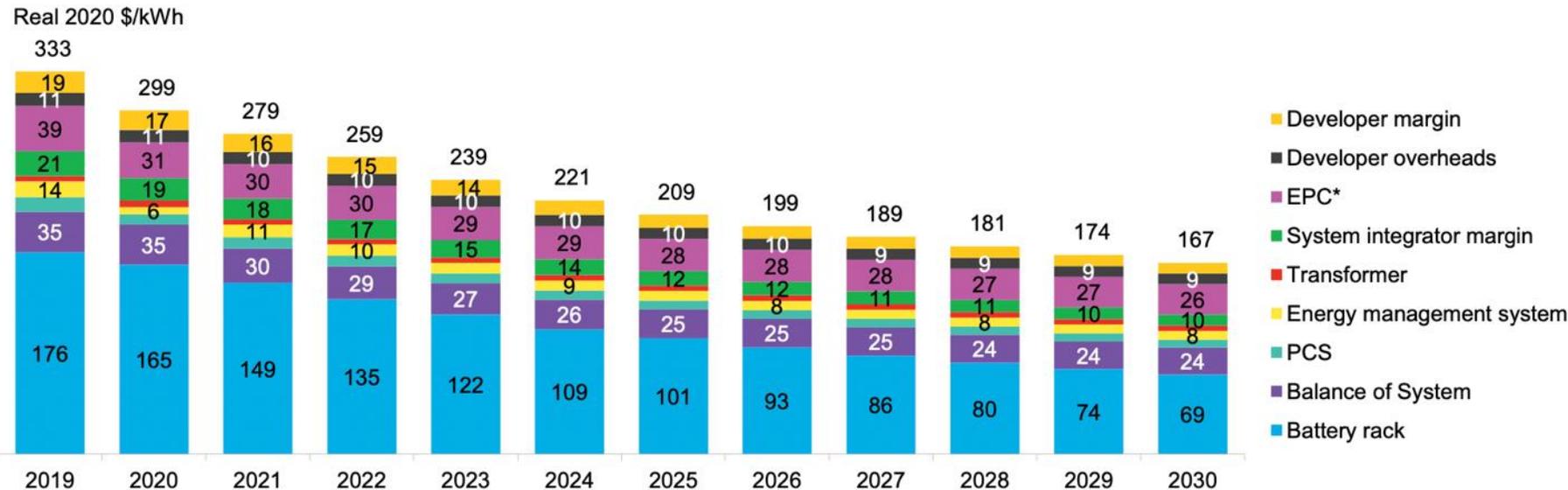




# Almacenamiento: Autoconsumo y oportunidades de negocio.

## Stationary storage system costs halve during the next decade

Capital costs for a fully installed large four-hour duration AC energy storage system, usable basis



Source: BloombergNEF. Note: Excludes warranty costs and do not explicitly include any taxes, although due to a lack of transparency in the market, some may be included and excludes grid connection costs. We consider a large project to be over 100MWh. Excludes warranty costs, which are often paid annually rather than as part of the initial capital expenditure. Includes a 5% EPC margin. 2019 figures adjusted for inflation to convert to real 2020 \$.

Los costes y la eficiencia de las unidades de almacenamiento mejoran año tras año, gracias al progreso tecnológico (18% learning rate)



- Reducción de costes.
- Aumento de la eficiencia (*round trip efficiency*)
- Incremento de la vida útil (ciclabilidad)



# Almacenamiento: Autoconsumo y oportunidades de negocio

¿Qué combinación de PV – Baterías debo instalar?

Potencia (kWp)	S: 0 kWh			S: 0,5 kWh			S: 1 kWh			S: 1,5 kWh			S: 2 kWh			S: 2,5 kWh			S: 3 kWh		
	VAN	TIR	V/I																		
0,5	358,07 €	14,40%	0,80	314,60 €	12,92%	0,63	361,21 €	13,26%	0,66	364,00 €	12,83%	0,61	296,68 €	11,39%	0,46	223,20 €	10,00%	0,32	149,71 €	8,74%	0,20
1	675,97 €	14,00%	0,75	679,43 €	13,69%	0,72	725,45 €	13,83%	0,73	771,17 €	13,96%	0,73	812,54 €	14,03%	0,74	807,42 €	13,72%	0,70	742,09 €	12,95%	0,62
1,5	808,26 €	12,60%	0,60	924,08 €	13,16%	0,66	969,66 €	13,27%	0,67	1.017,40 €	13,39%	0,68	1.070,01 €	13,53%	0,69	1.113,25 €	13,60%	0,70	1.060,37 €	13,12%	0,64
2	892,58 €	11,60%	0,50	1.031,79 €	12,18%	0,56	1.078,09 €	12,30%	0,57	1.127,67 €	12,42%	0,58	1.181,67 €	12,56%	0,59	1.217,57 €	12,60%	0,59	1.186,27 €	12,34%	0,56
2,5	956,22 €	10,90%	0,42	1.115,16 €	11,48%	0,48	1.162,33 €	11,59%	0,49	1.212,80 €	11,71%	0,51	1.267,61 €	11,84%	0,52	1.298,15 €	11,87%	0,52	1.260,65 €	11,64%	0,49
3	1.019,32 €	10,40%	0,38	1.150,24 €	10,83%	0,42	1.198,12 €	10,94%	0,43	1.249,48 €	11,05%	0,44	1.304,14 €	11,17%	0,45	1.327,73 €	11,18%	0,45	1.287,67 €	10,99%	0,43
3,5	1.076,51 €	10,10%	0,34	1.190,77 €	10,38%	0,37	1.239,24 €	10,48%	0,38	1.291,64 €	10,58%	0,39	1.346,21 €	10,70%	0,40	1.362,46 €	10,69%	0,40	1.319,63 €	10,52%	0,38



## Almacenamiento: Autoconsumo y oportunidades de negocio

¿Qué combinación de PV – Baterías debo instalar?

Nivel de Consumo	Potencia PV (kWp)	Batería (kWh)	VAN	TIR	VAN/Inv.
2000 kWh	0,5	1	379,57 €	13,57%	0,69
3500 kWh	1	2	812,54 €	14,04%	0,74
5000 kWh	1,5	3,5	1222,28 €	13,87%	0,84
6500 kWh	2	4	1620,57 €	14,01%	0,85
8000 kWh	2,5	5	2023,79 €	14,01%	0,86



sustainability

Article

### Optimal Design Model for a Residential PV Storage System an Application to the Spanish Case



## Conclusiones.

- 1) Los costes de la electricidad se han visto incrementados en los últimos meses de forma importante.
- 2) Este incremento se ha debido principalmente a los costes de generación, que han aumentado casi tres veces.
- 3) El mercado actual se creó hace 25 años, en el que la configuración tecnológica del sector no contemplaba generación de coste marginal cero.
- 4) Actualmente, la fotovoltaica es la generación que presenta menores costes.
- 5) Los costes de las unidades pequeñas doblan a los de mediano tamaño.
- 6) La mayor parte de las ofertas las hace a 0, lo que no sería sostenible a largo plazo.
- 7) La tecnología fotovoltaica que presenta mayor rentabilidad es la de seguimiento a un eje. Este resultado se verifica para todos los países de Europa.
- 8) Debido a la no gestionabilidad de la PV, y de la no coincidencia de la producción con la demanda, tiene sentido la instalación de unidades de almacenamiento que sincronicen generación y consumo.
- 9) La sostenibilidad del Sistema pasa por su participación en mercados de largo plazo.



**Jornada**  
**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**  
**El despegue de una gran oportunidad.**

**¡ Muchas gracias!**



**aarcos@us.es**

**Angel Arcos Vargas**

**Dr. Ingeniero Industrial.**

**Dr en Economía.**

**Profesor Titular de Universidad – U.S.**

**Director de la Cátedra Ingeniería y Modelos de Negocios – U.S**  
**Power Engineering Group.**

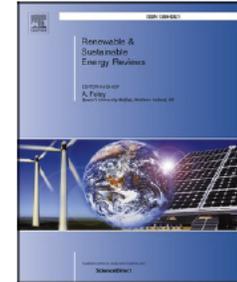


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

## Renewable and Sustainable Energy Reviews

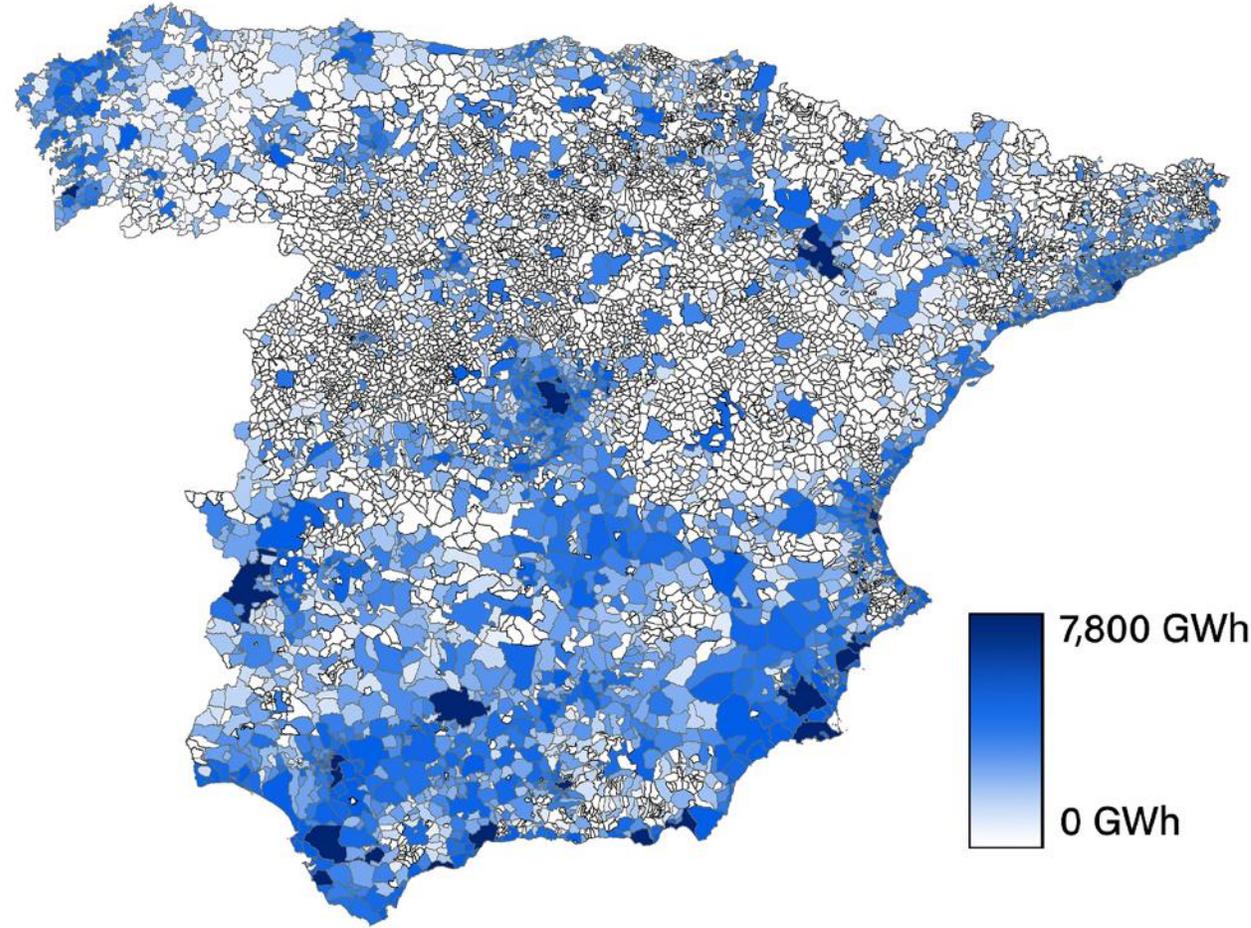
journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/rser>

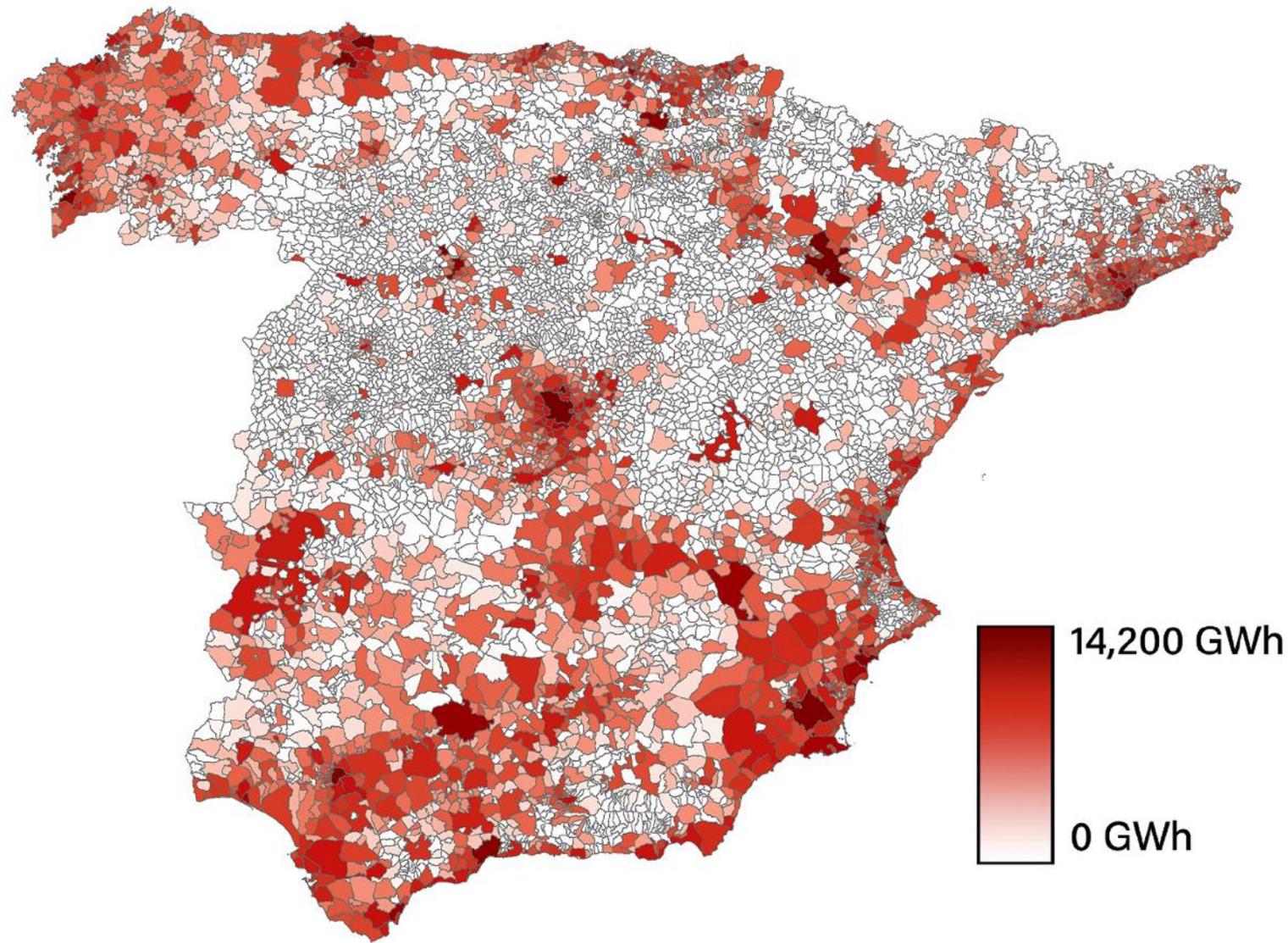


### On the potential contribution of rooftop PV to a sustainable electricity mix: The case of Spain

Antonio Gomez-Exposito<sup>\*</sup>, Angel Arcos-Vargas, Francisco Gutierrez-Garcia

*University of Seville, Spain*



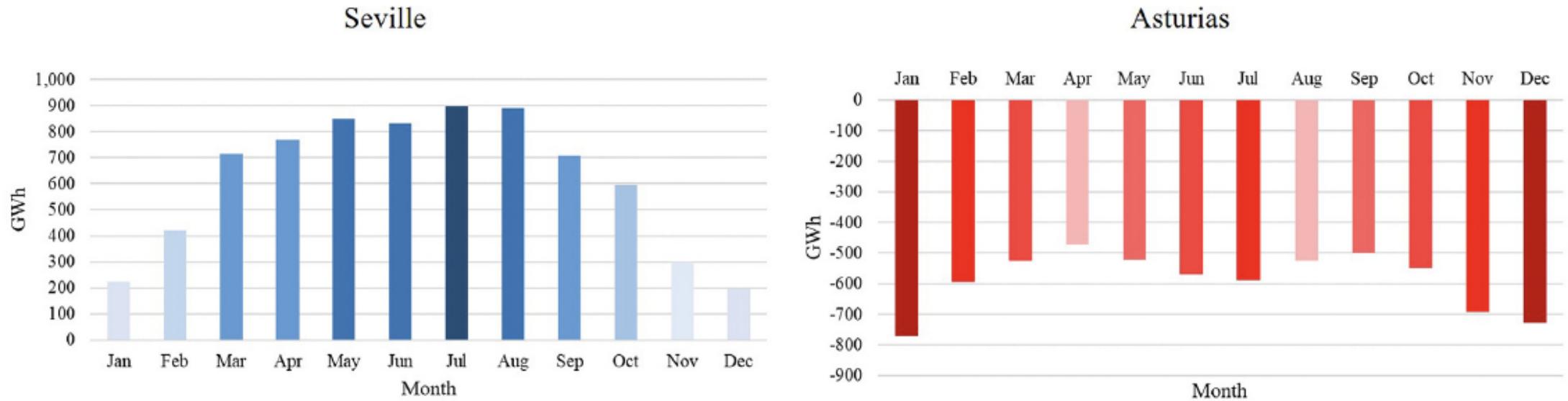


**Fig. 4.** Annual electricity demand at the municipal level (higher demands in red). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

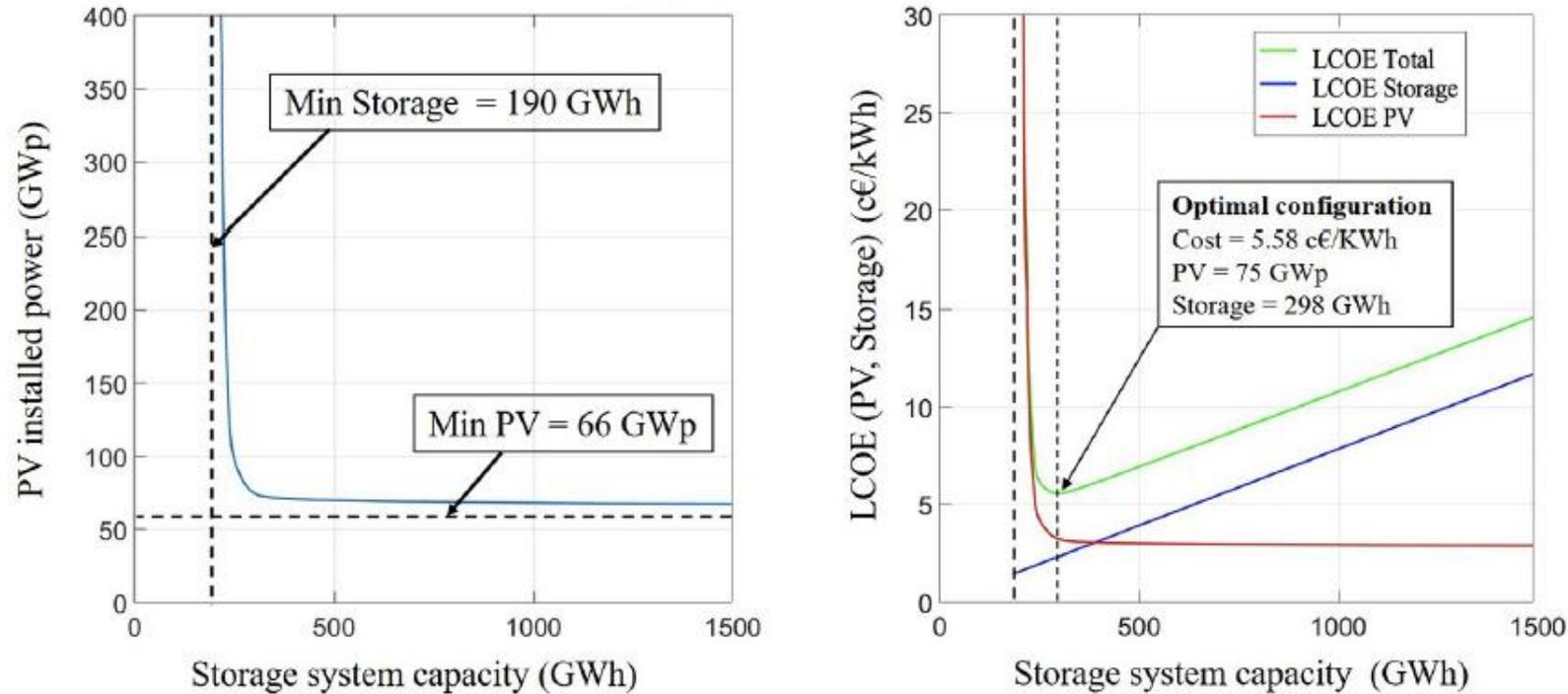




(c)



**Fig. 8.** Annual electricity balance by provinces for the base case (a), monthly electricity balance for the total mainland Spain (b), and for the two provinces with the greatest unbalance, Seville (surplus) and Asturias (deficit), (c).



**Fig. 11.** Isoquant curves showing all possible combinations of rooftop PV and storage capacity serving 100% of the net residual demand in the brownfield scenario (left) and related LCOEs (right). This scenario assumes that 85% of hydro is manageable. The combination leading to minimum LCOE is marked up on the right diagram.