

# La Energía Solar en el Sistema Eléctrico Español *ca* 2050

**Prof. Antonio Gómez-Expósito, *IEEE Fellow***

**Dpto. Ingeniería Eléctrica**

**Universidad de Sevilla**

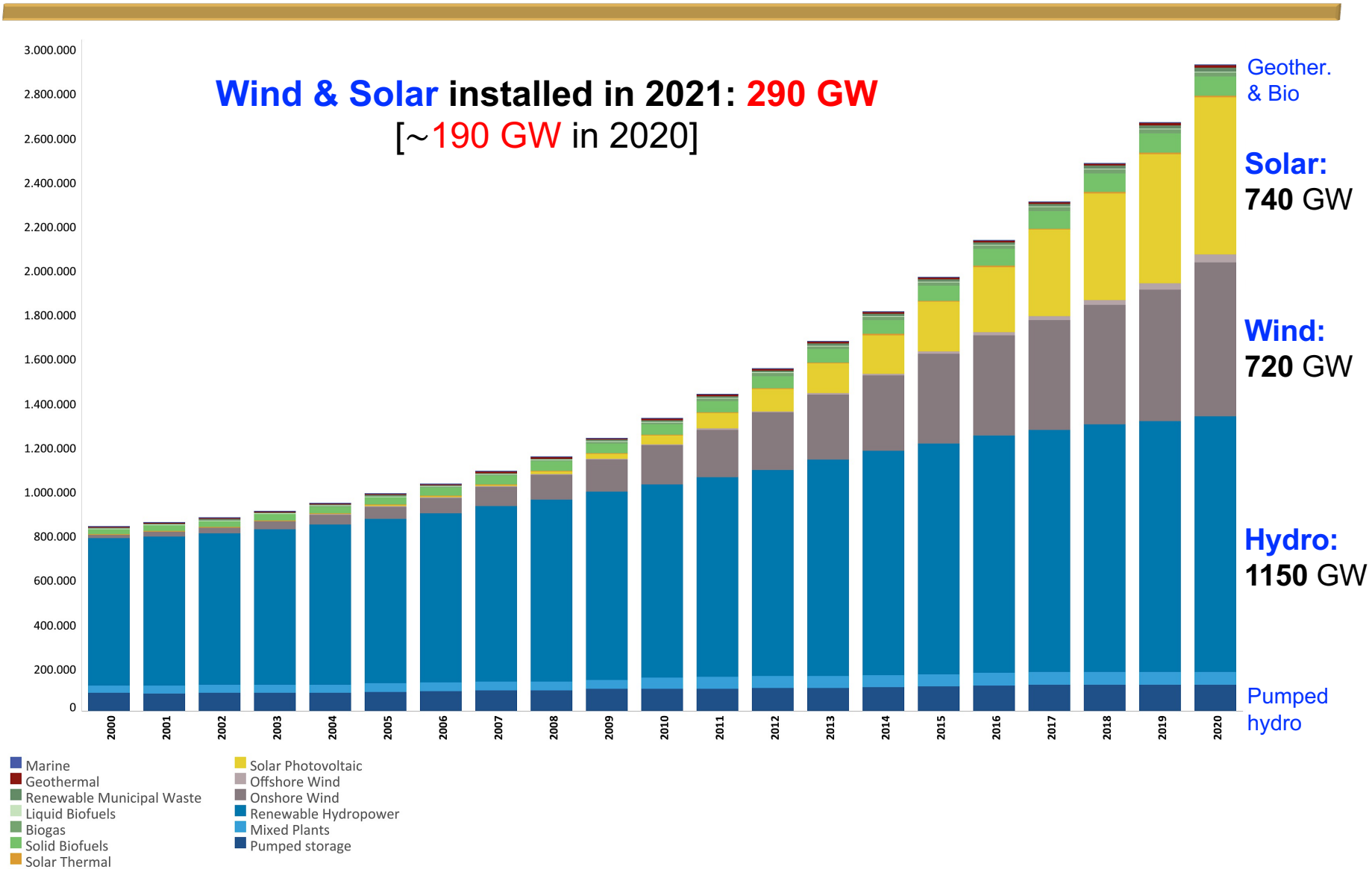


# Contenido

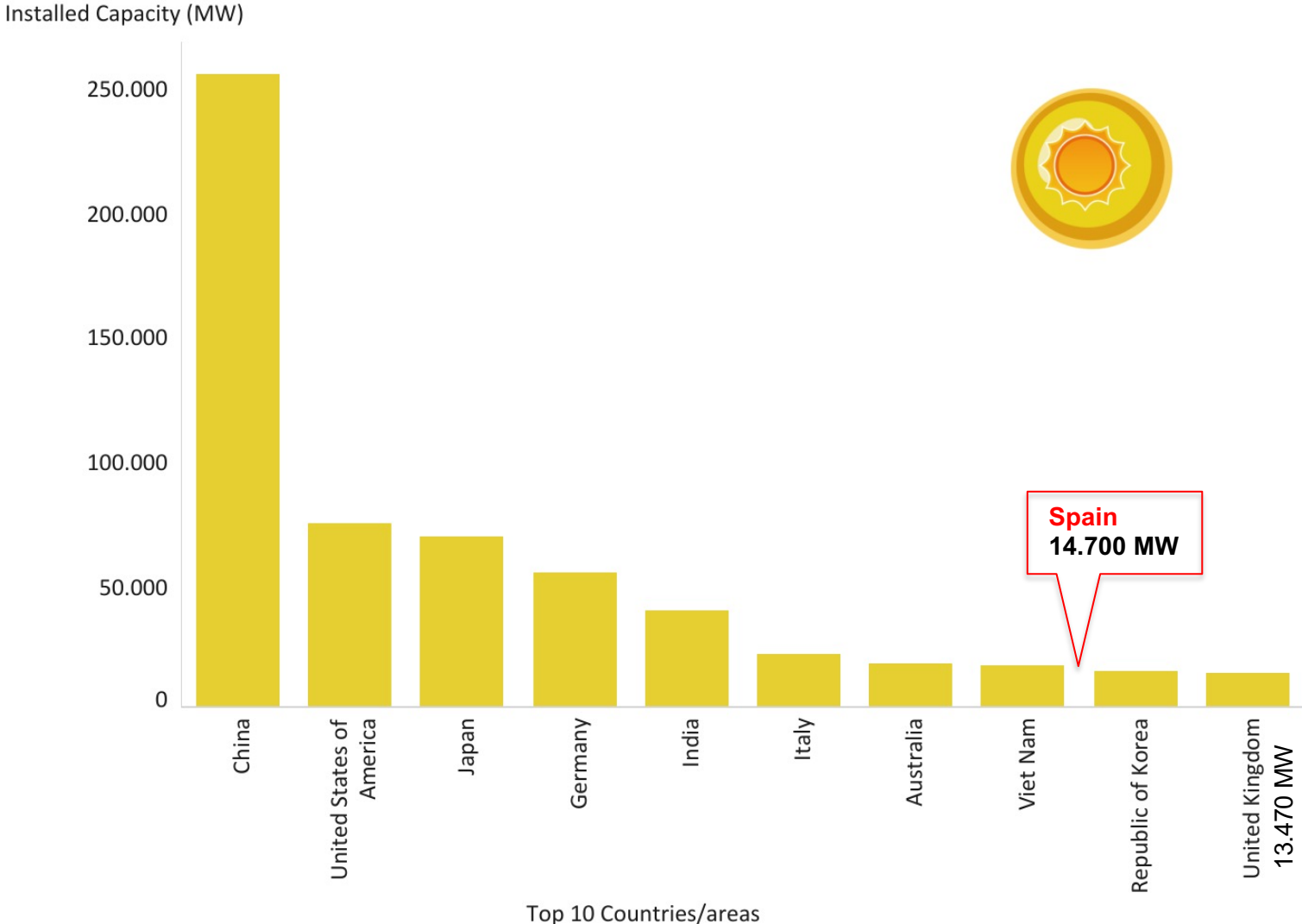
---

- Energía solar en el mundo
- Energía solar en España
  - Burbuja FV y déficit de tarifa
  - Situación actual
  - El PNIEC (2030)
- Potencial FV en España
- Sistema eléctrico español *ca* 2050
  - Demanda y generación renovable (2010-19)
  - Cobertura óptima del hueco térmico
  - LCOE

# Evolution of global RES installed capacities



# PV installed capacity: top countries

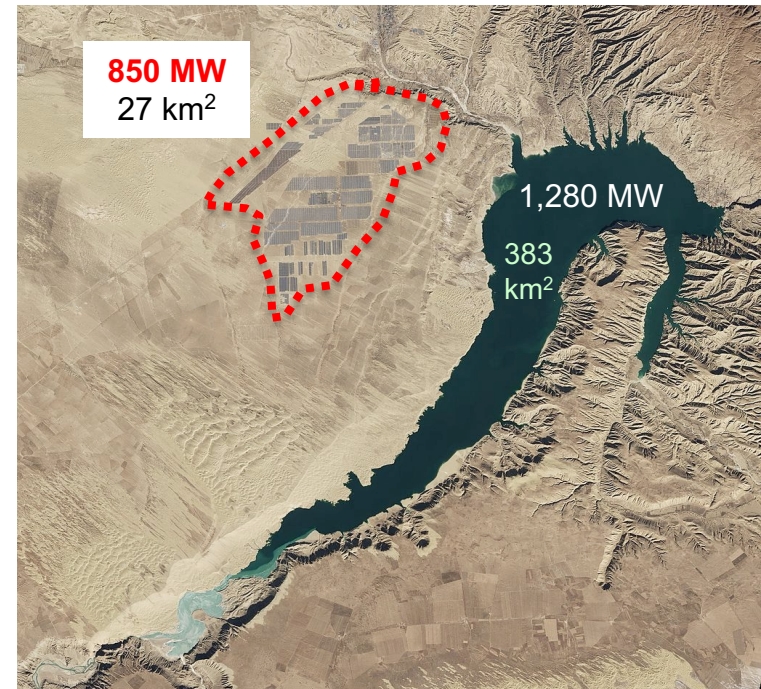


# Generación Fotovoltaica

## UTILITY-SCALE:

- **850 MW** Longyangxia Dam Solar China, 2014 (~ 4M paneles)
- 14% factor utilización,
- Superficie: 27 km<sup>2</sup> (30 m<sup>2</sup>/kWp)

**Record actual:** 1,550MW, Tengger Desert Solar Park, Zhongwei (China), 43 km<sup>2</sup>



## ROOFTOP (DISTRIBUTED):

- Mayor inversión:  
2000-3000 vs 500 €/kWp
- Menor impacto ambiental
- Menor superficie ocupada
- Menores pérdidas
- Menor utilización de red



# Generación Fotovoltaica



**ANSASOL:** Guillena (Sevilla)

- Potencia: **110 MW**
- Producción anual: 180 GWh (19%)
- Inversión: 80M€
- Superficie módulos: 68 ha
- Superficie ocupada: 185 ha

[17 m<sup>2</sup>/kWp]



# The Australian singularity

**Australia:** 25,7 millones habitantes  
 $P_{\text{total}} = 75 \text{ GW}$  (265 TWh, 25% renovable)

## Datos a diciembre de 2020:

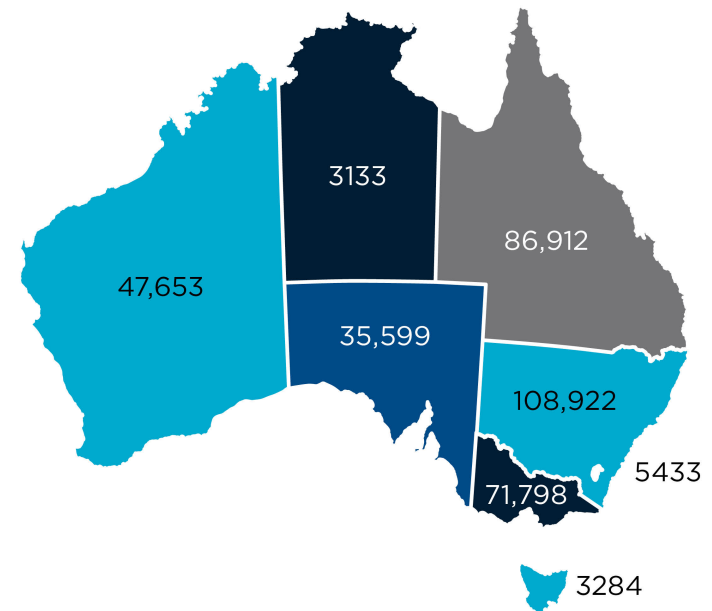
$P_{\text{FV-total}} = 20 \text{ GW}$  (24 TWh, 9,5%)  
 $P_{\text{rooftop-total}} = 15 \text{ GW}$  (+2,7 millones casas, 25%)  
 $P_{\text{rooftop-2020}} = 3 \text{ GW}$  (370.000 instalaciones)



## Datos a septiembre de 2021:

$P_{\text{FV-total}} = 24 \text{ GW}$   
 $P_{\text{rooftop-total}} = 18 \text{ GW}$  (+3 millones casas)

## Instalaciones tejado 2020



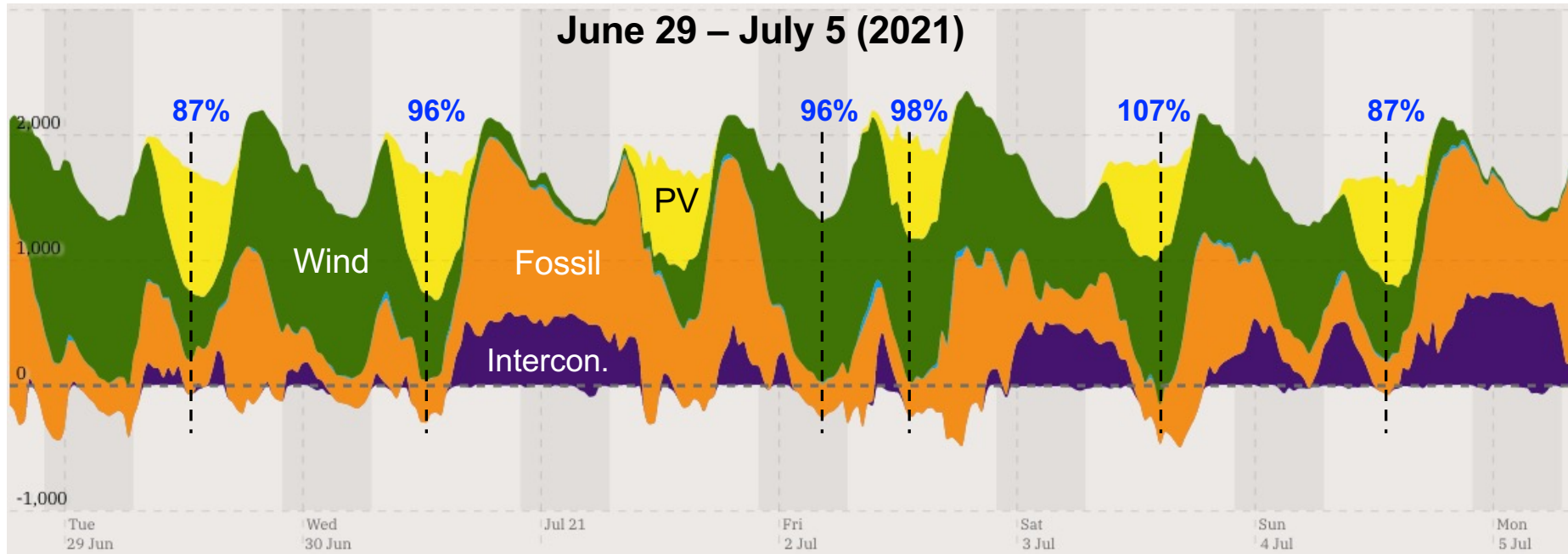
# Example of RES penetration: South Australia

Wind:	2140 MW
Rooftop Solar:	1500 MW (35% households)
Utility-scale Solar:	380 MW
Bio:	20 MW
<b>RES:</b>	<b>4000 MW</b>

Gas:	2950 MW
Other:	380 MW
Coal:	0
<b>Fossil:</b>	<b>3300 MW</b>

Batteries:	160 MW
------------	--------

Interconnectors:	800 MW (10%)
------------------	--------------

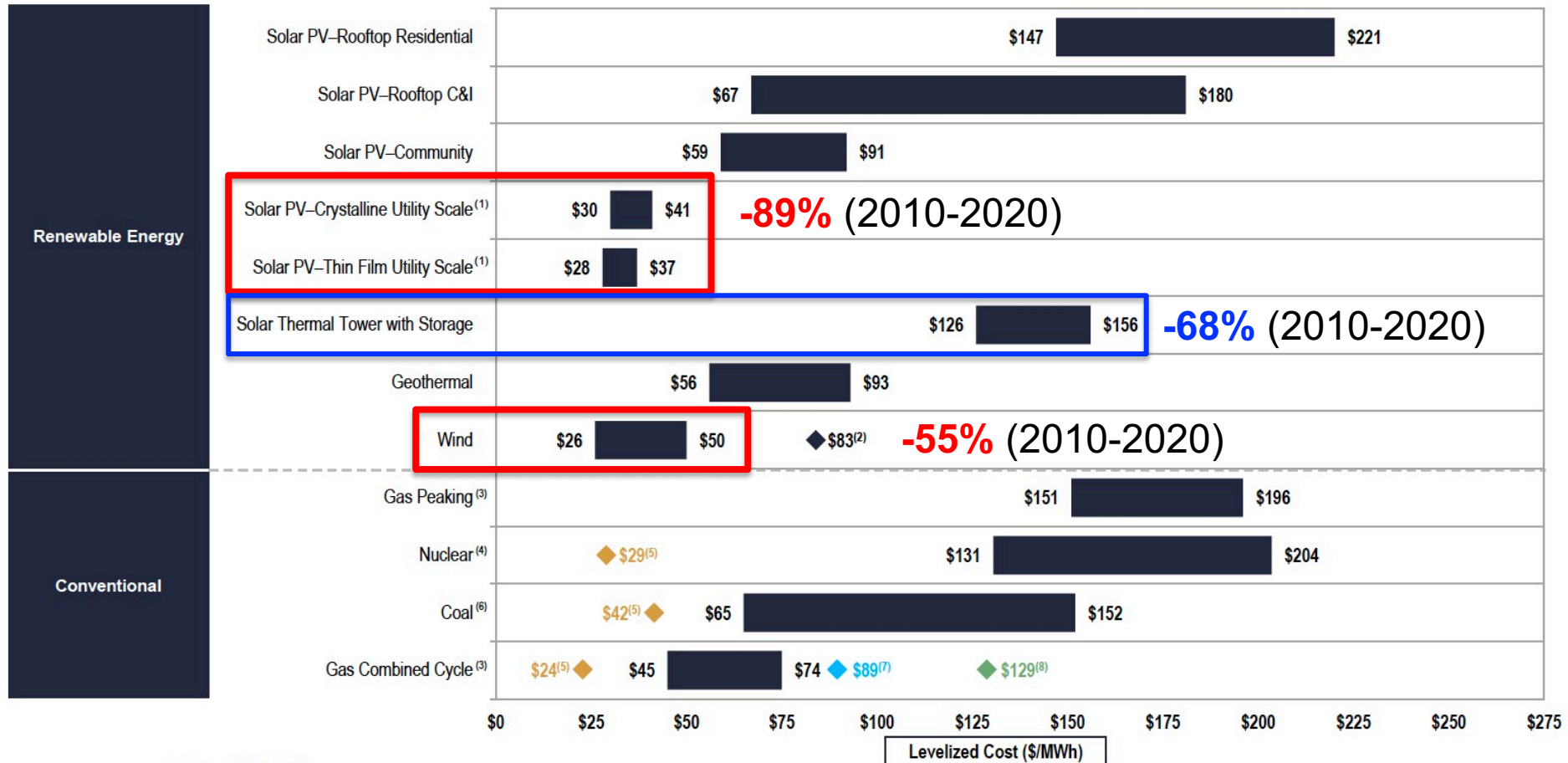


**PV (mostly rooftop) + Wind: 60% share in 2020**

Source: openNEM (<https://opennem.org.au/>)



# Reducción de costes de renovables



Source: Lazard estimates.

Source: LAZARD Levelized Cost of Energy Analysis v. 15.0

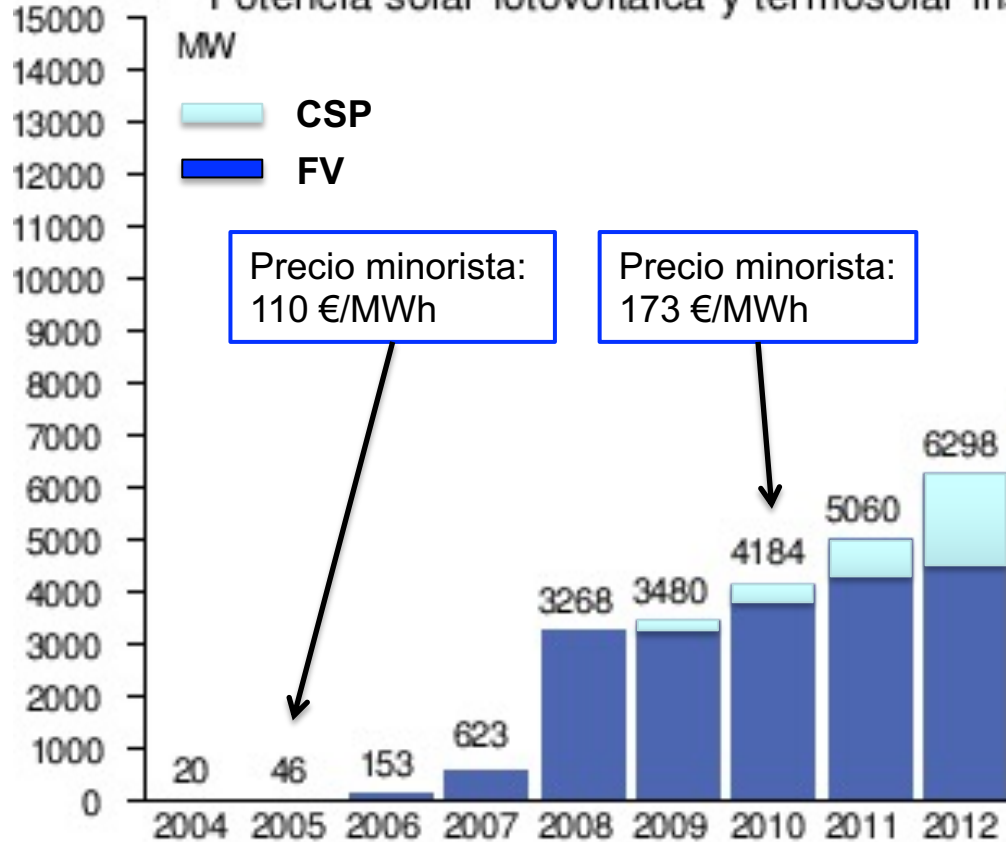
# Contenido

---

- Energía solar en el mundo
- **Energía solar en España**
  - Burbuja FV y déficit de tarifa
  - Situación actual
  - El PNIEC (2030)
- Potencial FV en España
- Sistema eléctrico español *ca* 2050
  - Demanda y generación renovable (2010-19)
  - Cobertura óptima del hueco térmico
  - LCOE

# La energía solar en España

Potencia solar fotovoltaica y termosolar instalada en España



Precio minorista:  
110 €/MWh

Precio minorista:  
173 €/MWh

**Déficit de tarifa:** Diferencia entre compromisos de pago a la generación y los ingresos por consumo

**38.625 M€** en  
2013 (4% GDP)

(~60% debido a primas)

Primas renovables  
vida útil (sin límites)

RD 661/2007

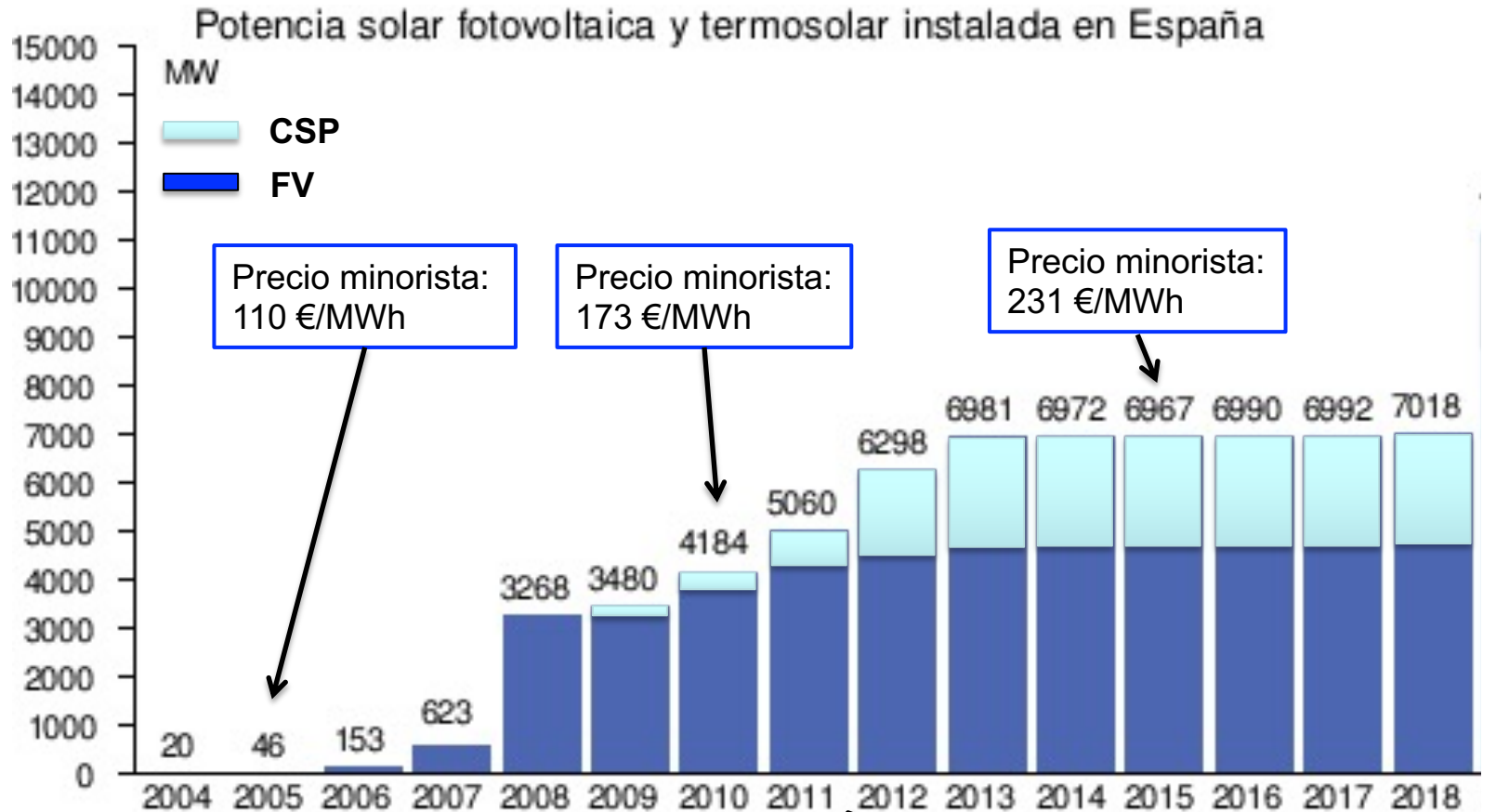
Límite anual  
de potencia  
(pre-registro)

RD 1578/2008

Prima < 25 años  
Límite anual no.  
horas con prima

Ley 14/2010

# La energía solar en España



No primas a nueva FV; 7% impuesto

Ley 1/2012  
Ley 15/2012

Limita beneficios vida útil (7.2%) (deroga RD 661/2007)

RD 2/2013  
RD 9/2013

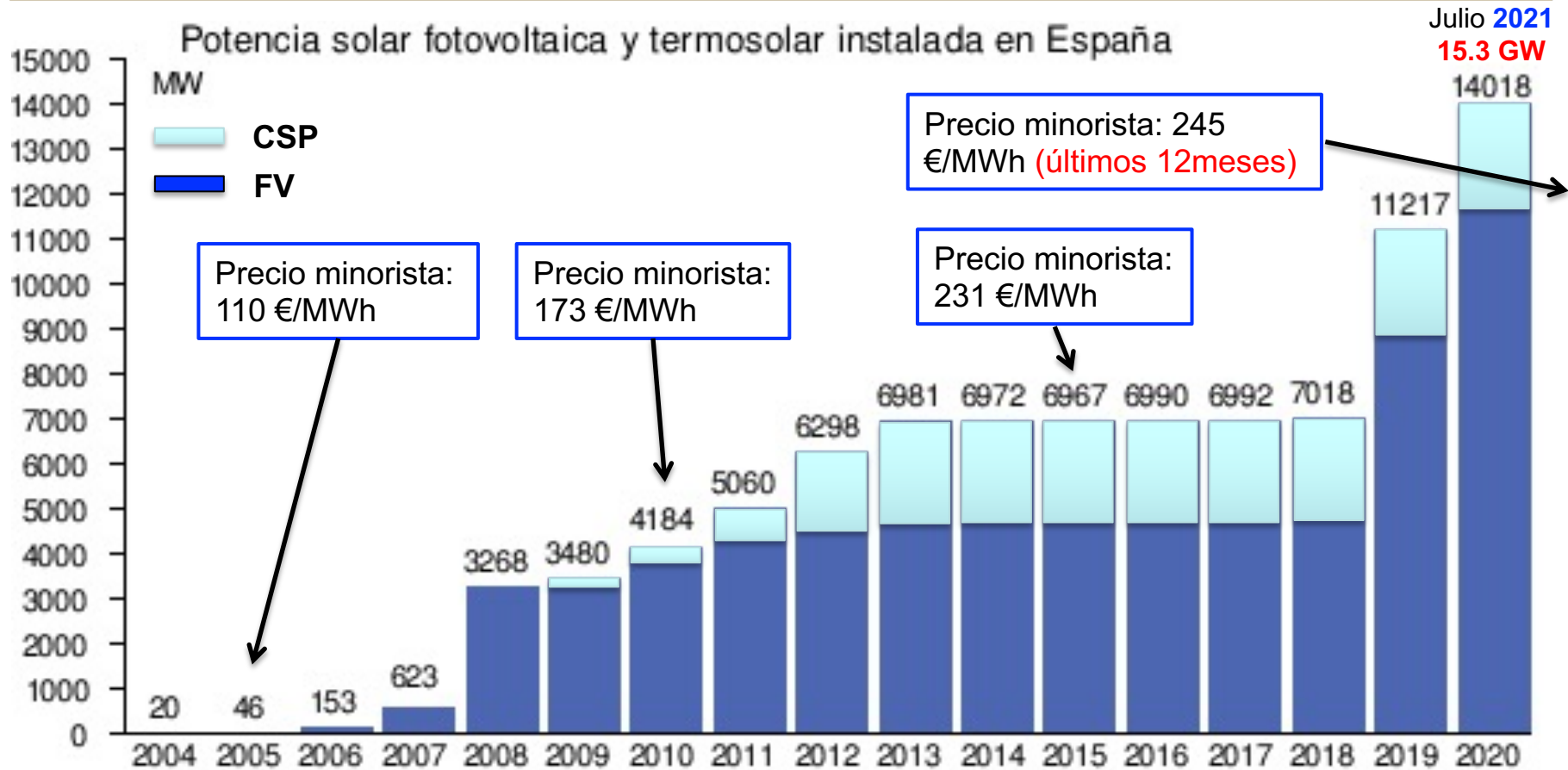
Anula primas FV. Ingresos según mercado. Cancela CESUR. PVPC

Ley 24/2013, RD 413/2014  
RD 216/2014

"Impuesto al sol"

RD 900/2015

# La energía solar en España



**Potencia FV añadida 2019: 6.5 GW**

**3.5% mundial (184 GW)**

**2017- Dos subastas renovables: 8 GW**

**2021- Dos subastas renovables: 6.3 GW**

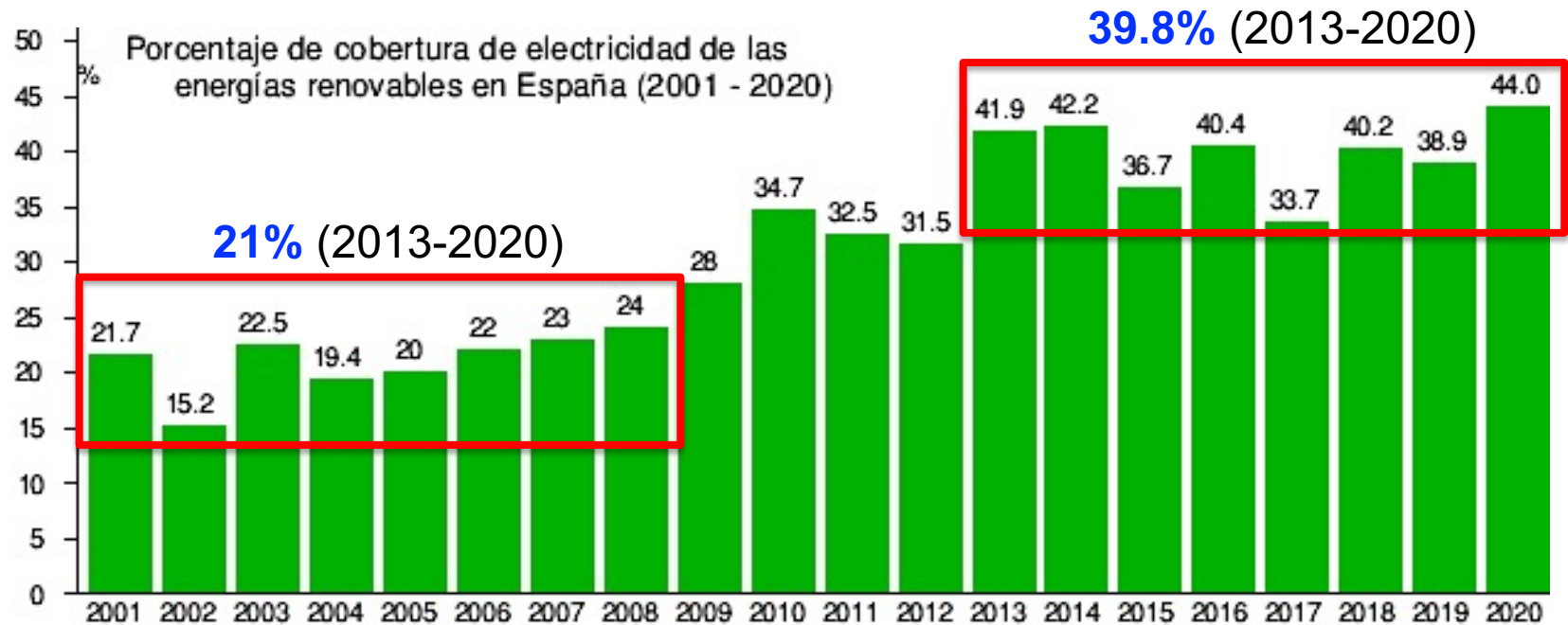
Autoconsumo

RD-ley 15/2018  
RD 244/2019

Minoración  
"windfall profits"

RD 17/2021

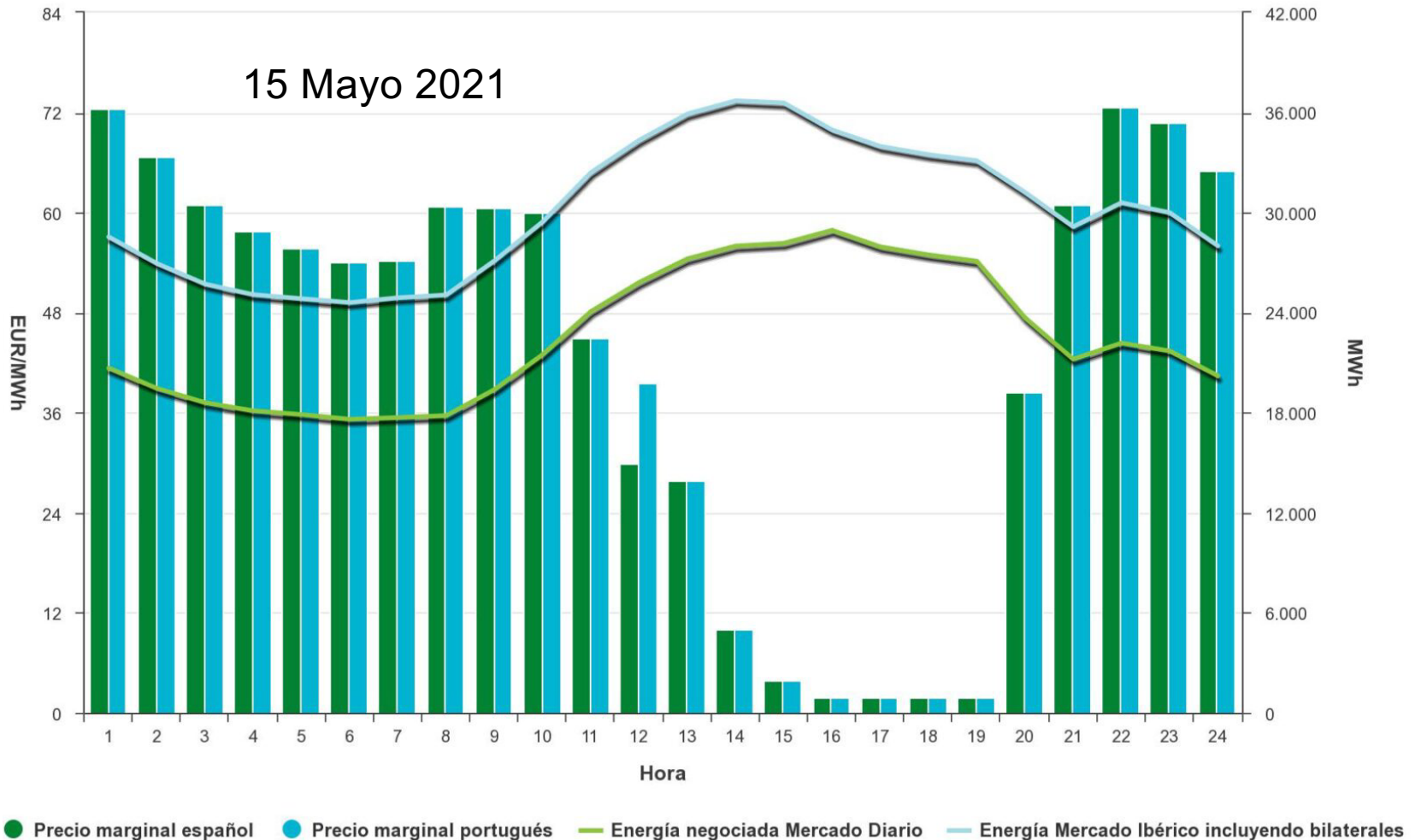
# Share renovable en España



**2021:**  
**46.6%**

# Impacto de FV en precios mayoristas

**Potencia instalada: 13.8 GW FV & 3.5 GW CSP (total 115 GW)**



# Plan Nacional Energía y Clima (2030)

## Potencia instalada

Technology	2020 (MW)	2030 (MW)
Nuclear	7,120	3,180
Coal	6,220	0
Fuel/gas	2,400	1,850
Combined C.	26,250	26,610
Cogeneration	5,710	3,670
Hydraulic	17,100	17,100
Wind	27,110	50,330
Photovoltaic	10,520	39,180
CSP	2,300	7,300
Other renew.	1,250	1,760
Pumped hydro	3,330	6,800
Storage	0	2,500
<b>Total</b>	<b>110 GW</b>	<b>160 GW</b>

**Renovables 120 GW**

## Objetivos:

- 42% de energía final renovable
- **74% de electricidad renovable**  
(100% en 2050)
- 40% mejora eficiencia  
(energía primaria)
- 23% reducción CO2  
(90% in 2050)
- 240,000 M€ inversión, 20% pública  
(150,000 M€ en sector eléctrico)



# Contenido

---

- Energía solar en el mundo
- Energía solar en España
  - Burbuja FV y déficit de tarifa
  - Situación actual
  - El PNIEC (2030)
- **Potencial FV en España**
- Sistema eléctrico español *ca* 2050
  - Demanda y generación renovable (2010-19)
  - Cobertura óptima del hueco térmico
  - LCOE

# Potencial FV en España

## Potencia instalada

Technology	2020 (MW)	2030 (MW)
Nuclear	7,120	3,180
Coal	6,220	0
Fuel/gas	2,400	1,850
Combined C.	26,250	26,610
Cogeneration	5,710	3,670
Hydraulic	17,100	17,100
Wind	27,110	50,330
Photovoltaic	10,520	39,180
CSP	2,300	7,300
Other renew.	1,250	1,760
Pumped hydro	3,330	6,800
Storage	0	2,500
<b>Total</b>	<b>110 GW</b>	<b>160 GW</b>

**Renovables 120 GW**

## Potencial financiero:

### Solicitud puntos de conexión

GW	Concedido	Denegado	Pendiente
Eólica	30.5	17.2	24.3
Fotovoltaica	<b>99.7</b>	100.3	<b>35.7</b>

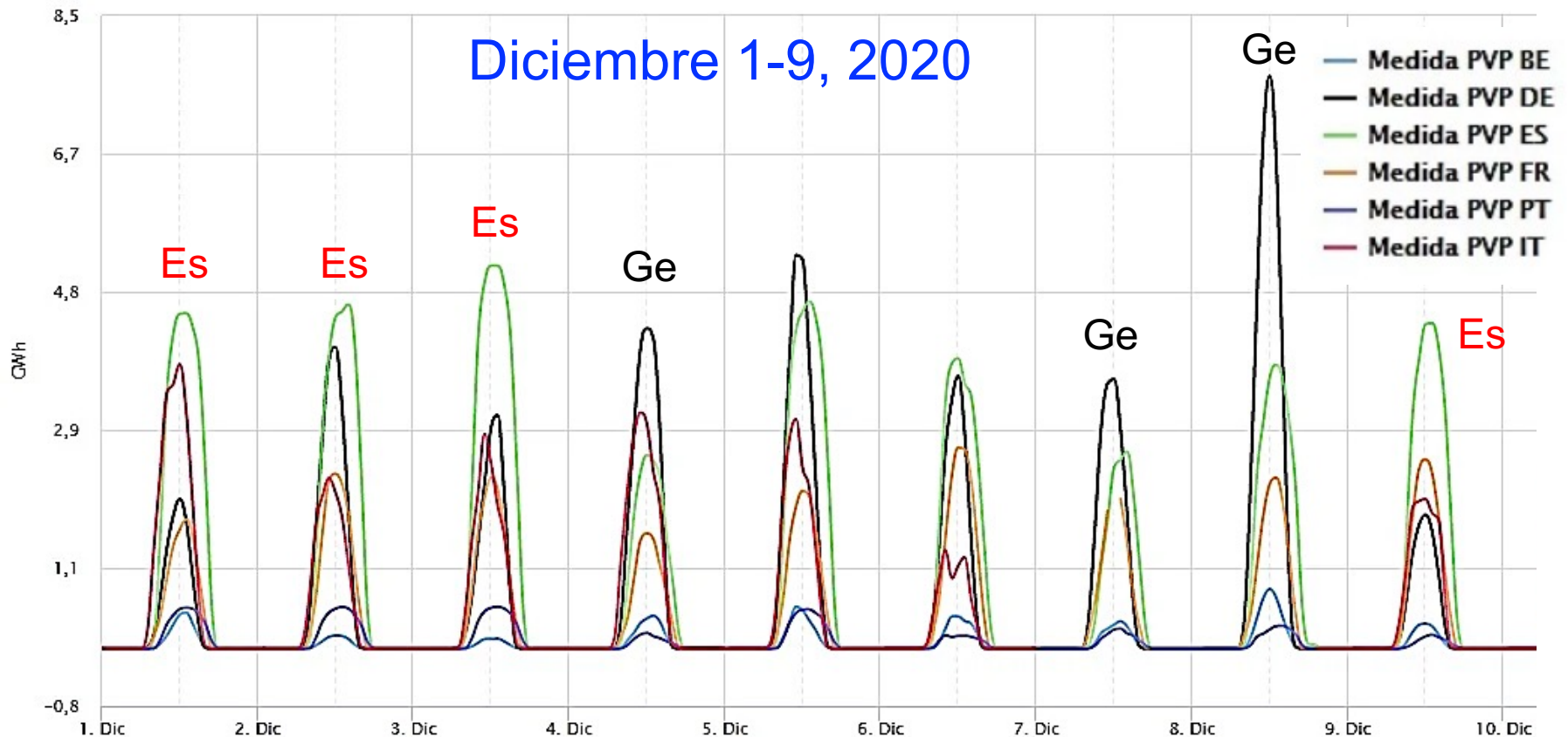
Fuente: REE (September 2020)

**Está el PNIEC infravalorando el potencial de España en FV?**

# Potencial FV en España

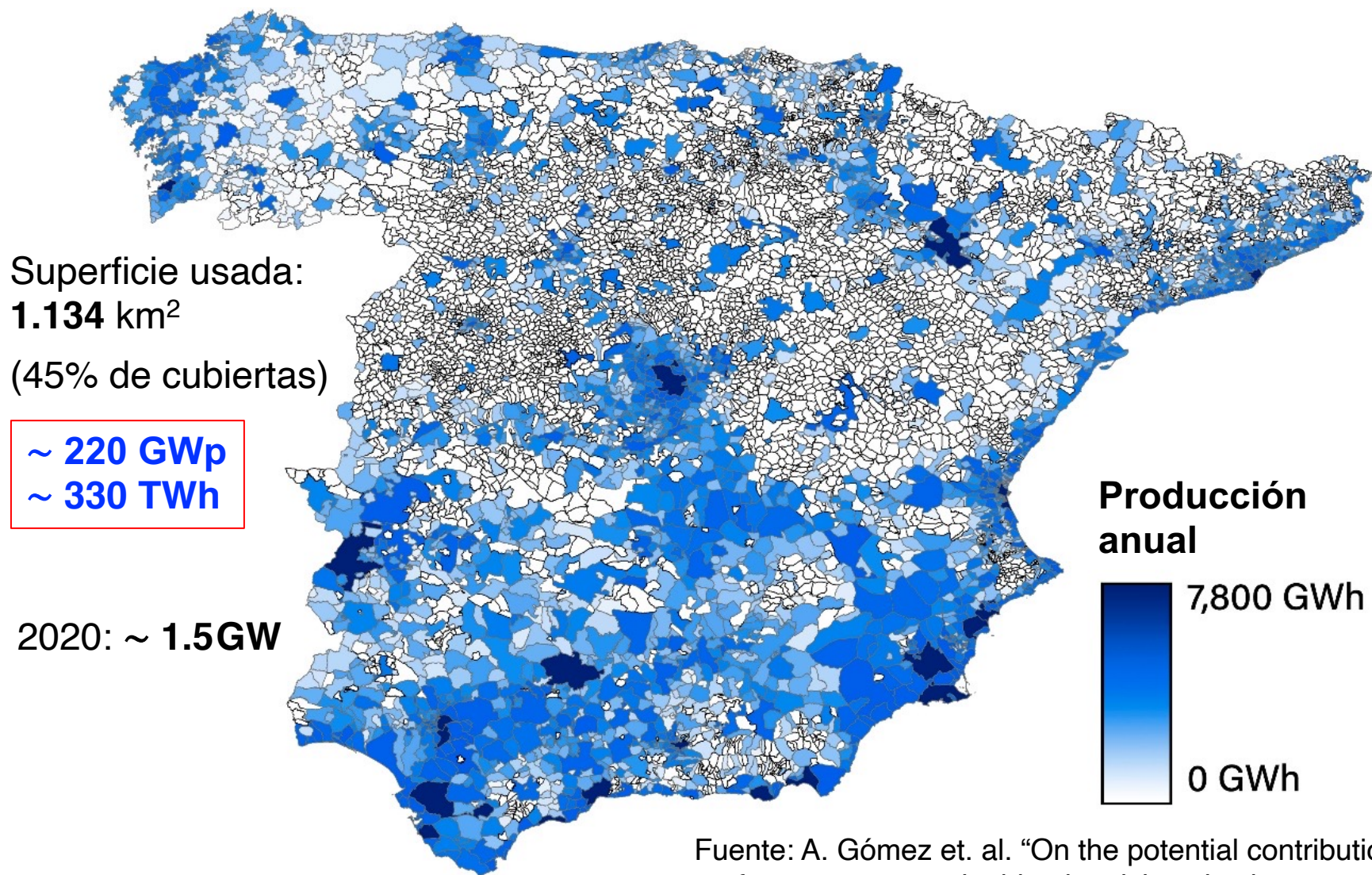
## Potencial geográfico:

“Spain’s 10 GW PV beat Germany’s 40 GW”



# Potencial FV en España

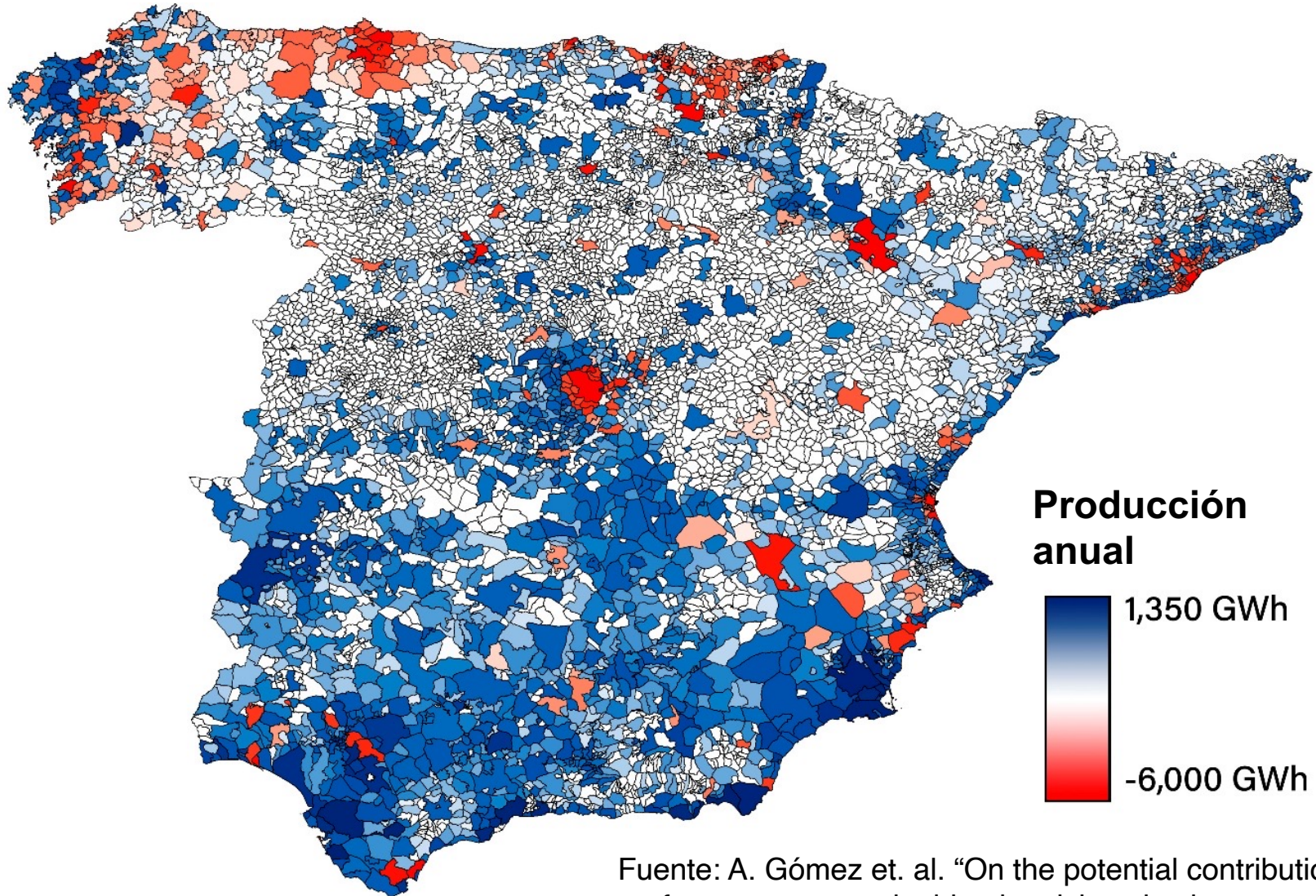
## Potencial FV en cubiertas



Fuente: A. Gómez et. al. "On the potential contribution of rooftop pv to a sustainable electricity mix: the case of spain"

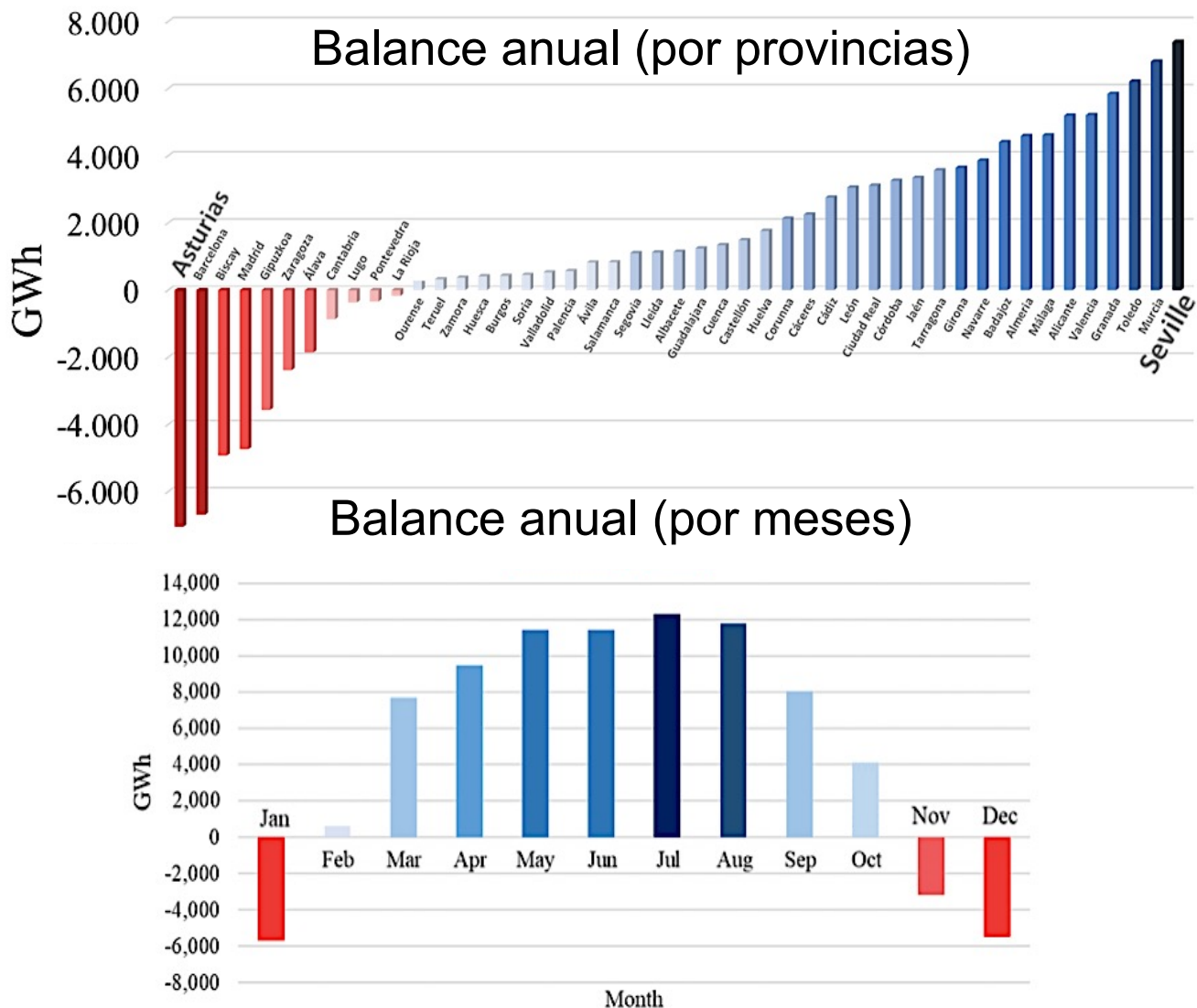
# Potencial FV en España

Balance anual municipal: FV – demanda



Fuente: A. Gómez et. al. "On the potential contribution of rooftop pv to a sustainable electricity mix: the case of spain"

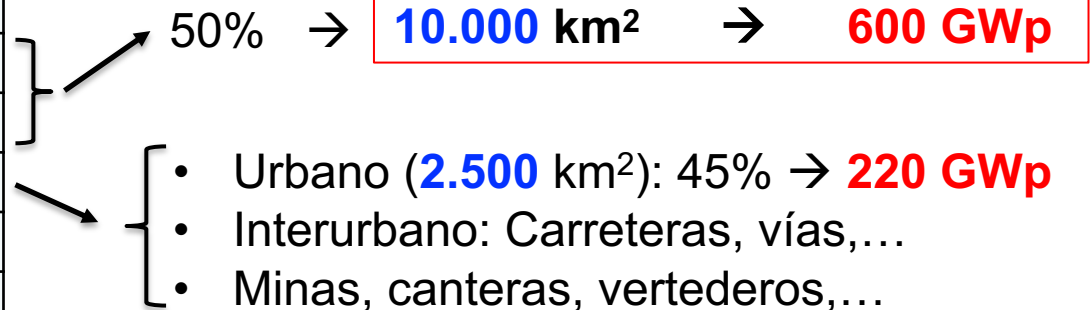
# Potencial FV en España



# Potencial FV en España

- Bosques, matorral, prados, pastizales (55%): 277.184 km<sup>2</sup>
- Tierras de cultivo (33%): 170.000 km<sup>2</sup> → 3.800 km<sup>2</sup> hortalizas  
AGROVOLTAICA
- Suelos no cultivables (12%): **59.500** km<sup>2</sup>

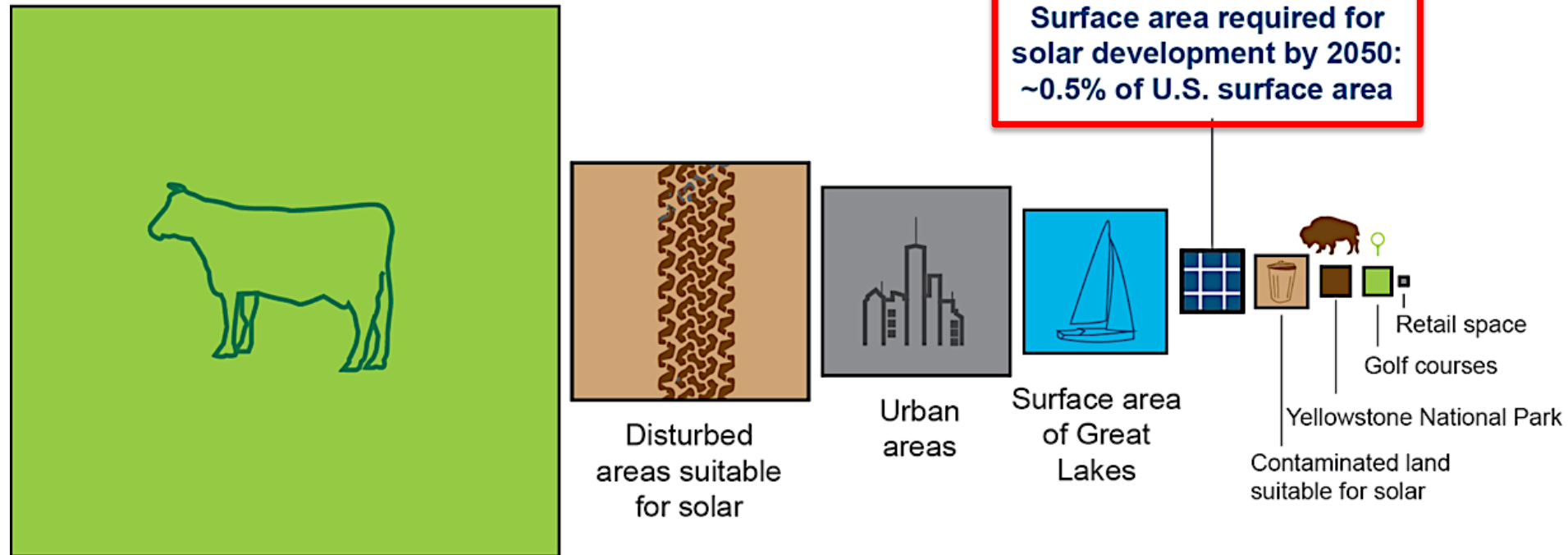
ERIAL	8.442
ESPARTIZAL	2.229
<b>BALDIO</b>	<b>9.087</b>
<b>IMPRODUCTIVO</b>	<b>8.151</b>
<b>NO AGRICOLA</b>	<b>25.168</b>
AGUAS INTERIORES	6.413
<b>TOTAL</b>	<b>59.490</b>



Provincia de Guipuzcoa: **2.000** km<sup>2</sup> → ~ **120 GWp**

# Ocupación de territorio (EEUU)

**EEUU:** 1600 GW FV en 2050 (45% del consumo)



Source: DoE, Solar Futures Study, 2021

~ 0,5% Superficie España: **2.500 km<sup>2</sup>** → **150 GWp**

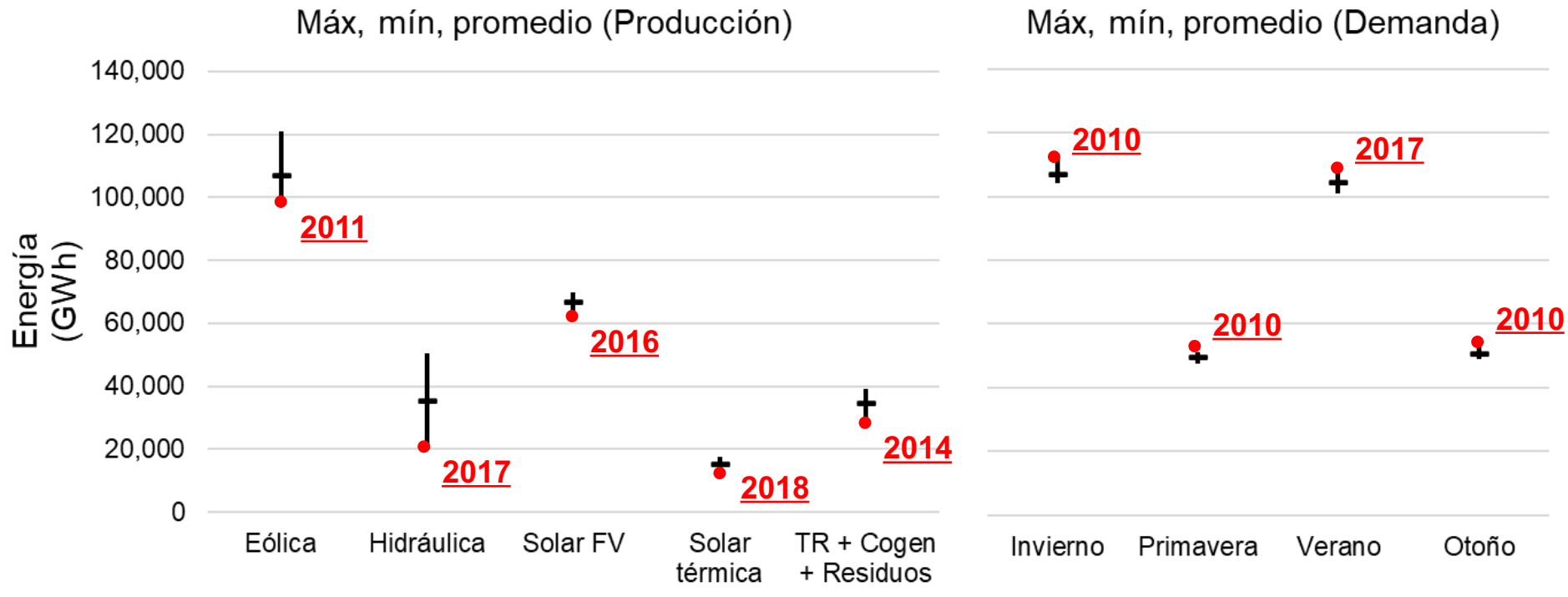


# Contenido

---

- Energía solar en el mundo
- Energía solar en España
  - Burbuja FV y déficit de tarifa
  - Situación actual
  - El PNIEC (2030)
- Potencial FV en España
- **Sistema eléctrico español ca 2050**
  - Demanda y generación renovable (2010-19)
  - Cobertura óptima del hueco térmico
  - LCOE

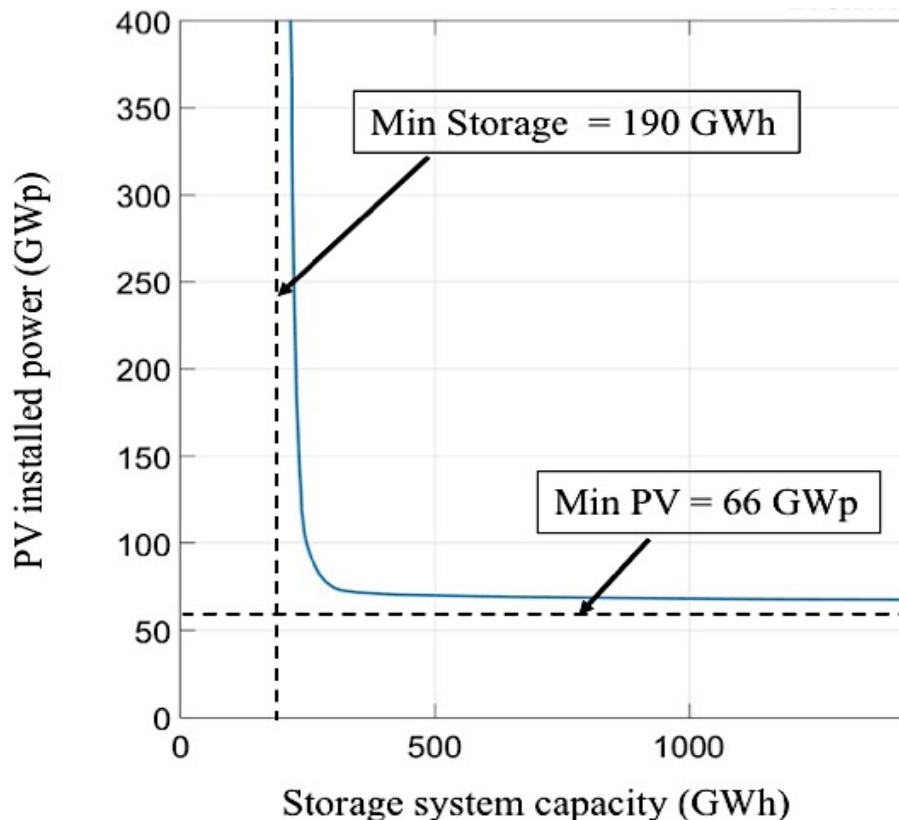
# Demanda y generación renovable (2010-19)



Demanda vehículos ligeros (23 millones): **65 TWh**

# Cobertura óptima del hueco térmico

- **Sin Nucleares ni Ciclos Combinados** (solo cogeneración):  
**>95% renovable**
- Infinitas combinaciones **renovables & almacenamiento**

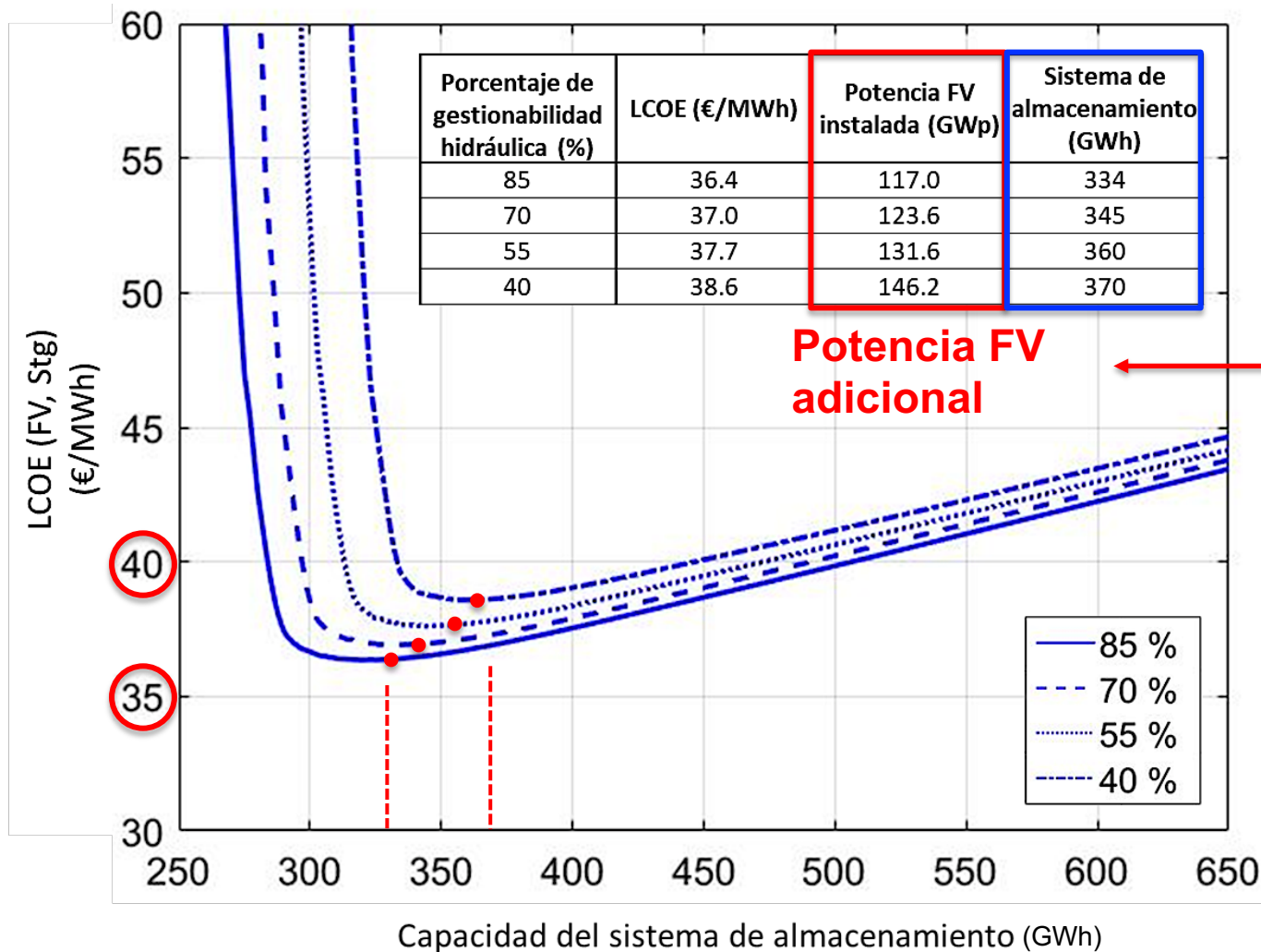


Ejemplo: Año 2019

**FV versus almacenamiento**  
(85% hidráulica gestionable)

# Cobertura óptima del hueco térmico (LCOE)

## Escenario “Frankenstein” más desfavorable (2010-19)



Potencia prevista según **PNIEC**:

50 GW Eólica  
**39 GW FV**  
 17 GW Hydro  
 5 GW Cogen.

# Sistema eléctrico español ca 2050

Tecnología	Potencia 2021 (GW)	Potencia 2050 (GW)	Energía anual (TWh)
Cogeneración	5,7	5	11
Hidráulica	17,1	18	31,5
Eólica	27	50	109,5
<b>Fotovoltaica</b>	<b>13</b>	<b>170</b>	<b>285</b>
CSP	2,3	5	9,7
Otra renovable	1,1	2	4,3

↑  
 97% Ren.  
 90% W+S  
 65% Solar  
 ↓

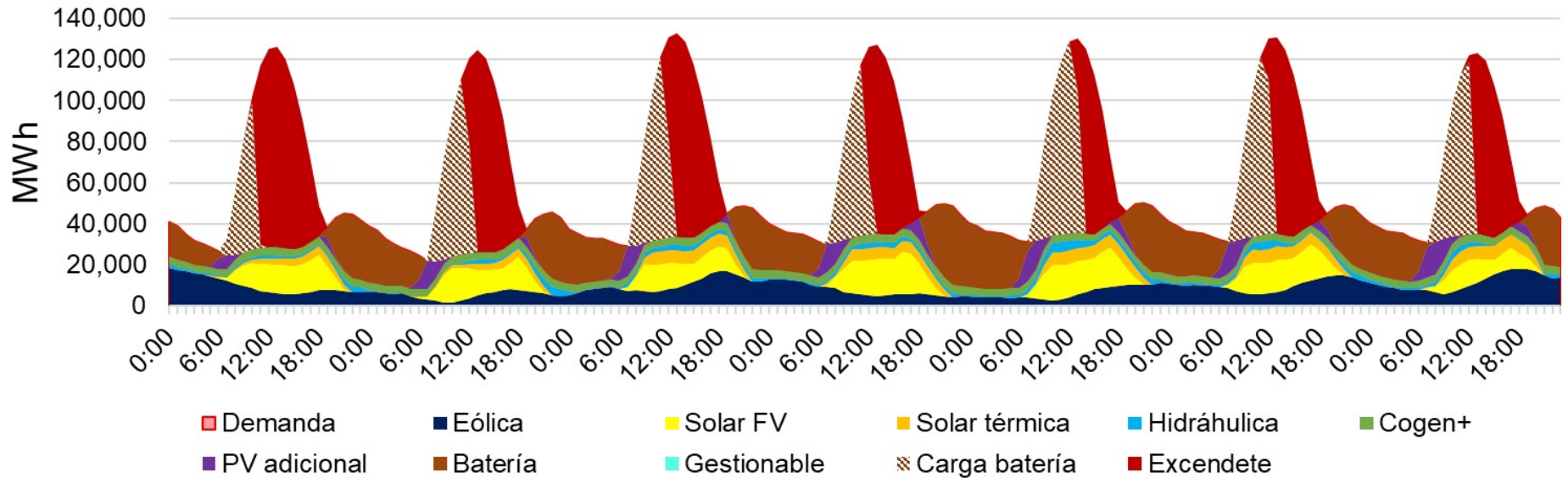
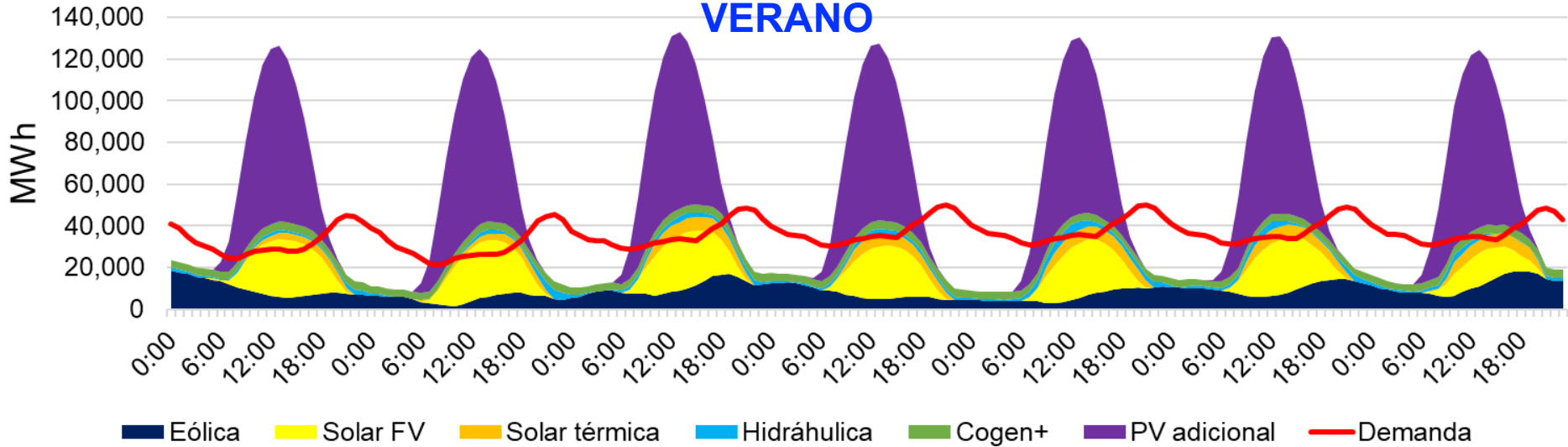
Hidrógeno  
 Desaladoras  
 Industria  
 Interconexiones

Capacidad total: **66/110 GW** | **250 GW** | **450 TWh** = 320 + 130 (vertidos)  
 Demanda punta: 45 GW  
 Demanda media: 30 GW  
**255 TWh + 65 TWh VEs**

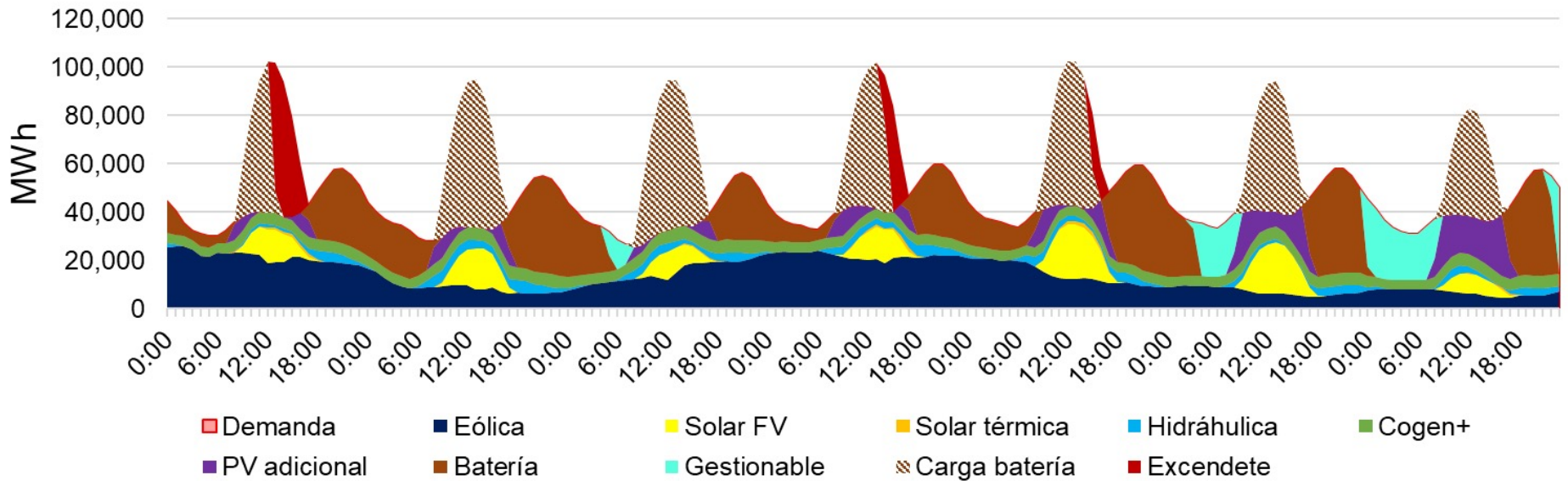
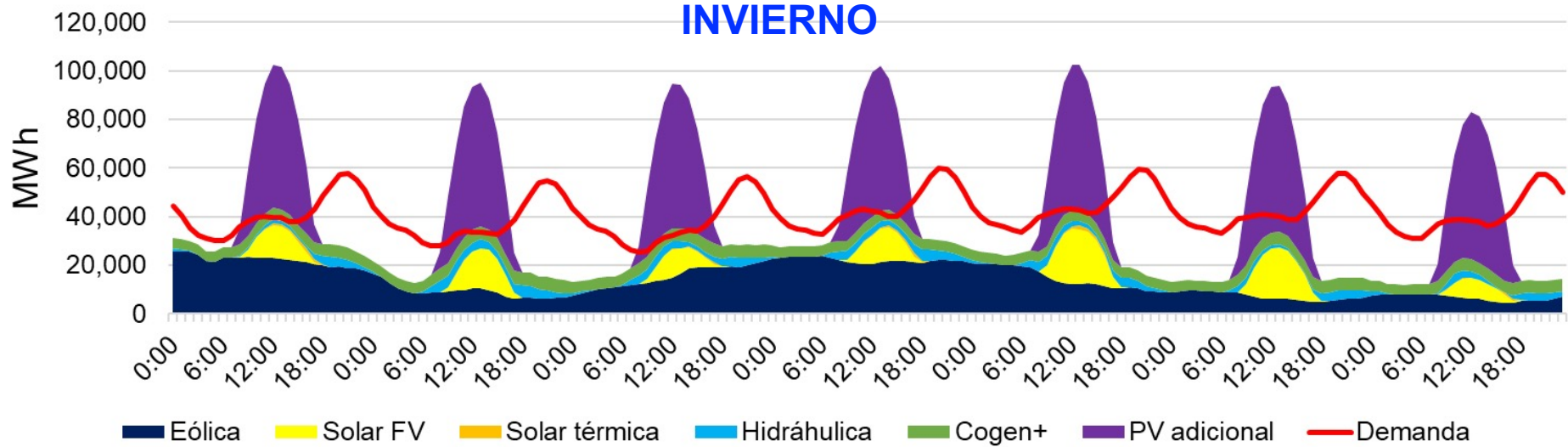
Almacenamiento necesario para balance horario: **300-350 GWh**  
 (depende del uso de la **hidráulica**: **gestionable ≥ 40%**)

Coste medio resultante: **35-40 €/MWh**

# Sistema eléctrico español ca 2050



# Sistema eléctrico español ca 2050



# Volumen de inversiones

## Inversiones estimadas (2021-2050): 97% RES

### - Eólica:

$$25,000 \text{ MW} \times 0.8 \text{ M€/MW} = 20,000 \text{ M€}$$

### - FV:

$$160,000 \text{ MW} \times 0.5 \text{ M€/MW} = 80,000 \text{ M€}$$

### - Almacenamiento:

$$375 \text{ GWh} \times 320 \text{ M€/GWh} = 120,000 \text{ M€}$$

Renovables & almacen.: **220,000 M€**

Redes: **80,000 M€**

**Total: 300,000 M€**

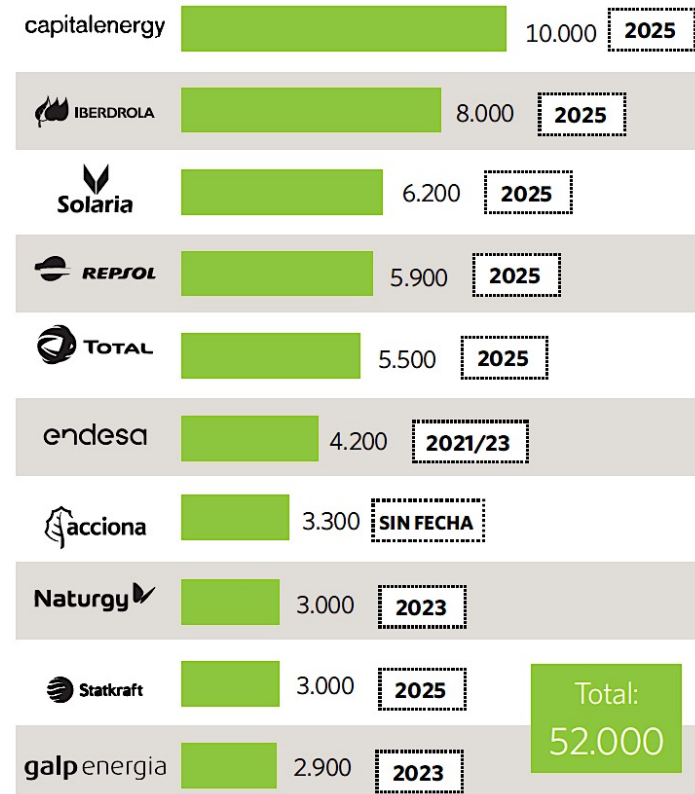
## Estimación PNIEC (2021-2030): 74% RES

- Renovables: **92,000 M€**

- Redes & electrificación: **58,000 M€**

**Total: 150,000 M€**

## Inversiones anunciadas (2020-25)

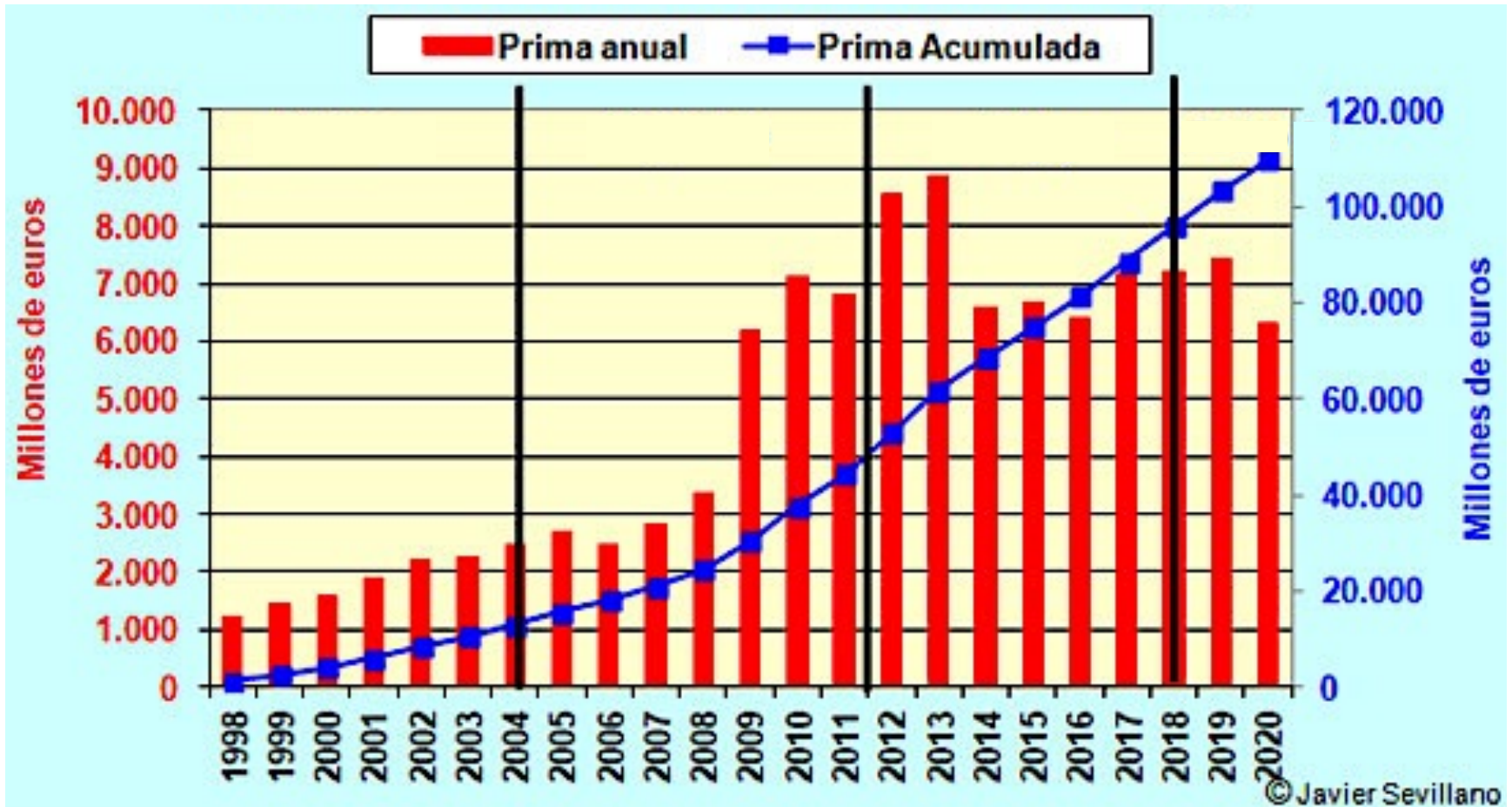


Fuente: El Economista 26/11/2020

~ **10,000 M€/año**

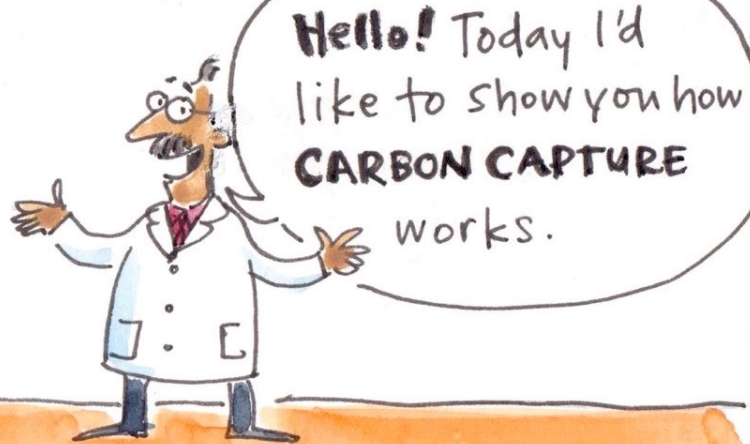


# Evolución primas RECORE



# Gracias !!

## TOWARDS COP26 Glasgow - A primer



Wilcox



# La Energía Solar en el Sistema Eléctrico Español *ca* 2050

**Prof. Antonio Gómez-Expósito, *IEEE Fellow***

**Dpto. Ingeniería Eléctrica**

**Universidad de Sevilla**



Enero 2022