

El Instituto de
Energía Solar

40 años liderando la
energía solar fotovoltaica

Gráficos significativos energía solar fotovoltaica

Actualización: Enero 2017



POLITÉCNICA

Instituto de Energía Solar

Actualización: Enero 2017

La energía solar fotovoltaica está en constante evolución y cambio. El objetivo de esta presentación es mantener un repositorio actualizado que incluya los datos mas importantes relativos a esta tecnología y su implementación en España.

Si tienes alguna sugerencia de mejora escribe a marta.victoria@ies.upm.es, i.ramiro@ies.upm.es y rodrigo.moreton@ies.upm.es

Resumen de los aspectos más destacados

- Los resultados de diferentes estudios coinciden en señalar que el coste de la energía solar fotovoltaica resulta similar, y en algunos casos inferior, al de otras tecnologías de producción de electricidad renovables y convencionales. El coste medio de la energía producida (conocido como LCOE, siglas del término inglés Levelized Cost of Electricity) para grandes plantas fotovoltaicas se estiman en el rango 0,04-0,07 €/kWh.
- A finales de 2015 había instalados 227 GW fotovoltaicos en el mundo. De ellos, 43,5 GW en China, 39,7 GW en Alemania, 34,4 GW en Japón, 25,6 GW en EE.UU, 18,9 GW en Italia y 5,4 GW en España*.
- En 2016, la fotovoltaica cubrió el 3% de la demanda eléctrica de España. En el momento en que se produjo el pico de demanda (13-14h del 6 de septiembre de 2016) la fotovoltaica representó el 7,2% de la generación.
- El tiempo de retorno energético para una instalación fotovoltaica en Europa se estima entre 1,5 y 3,5 años. Las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de electricidad de origen fotovoltaico son aproximadamente 46 gr CO₂/kWh.

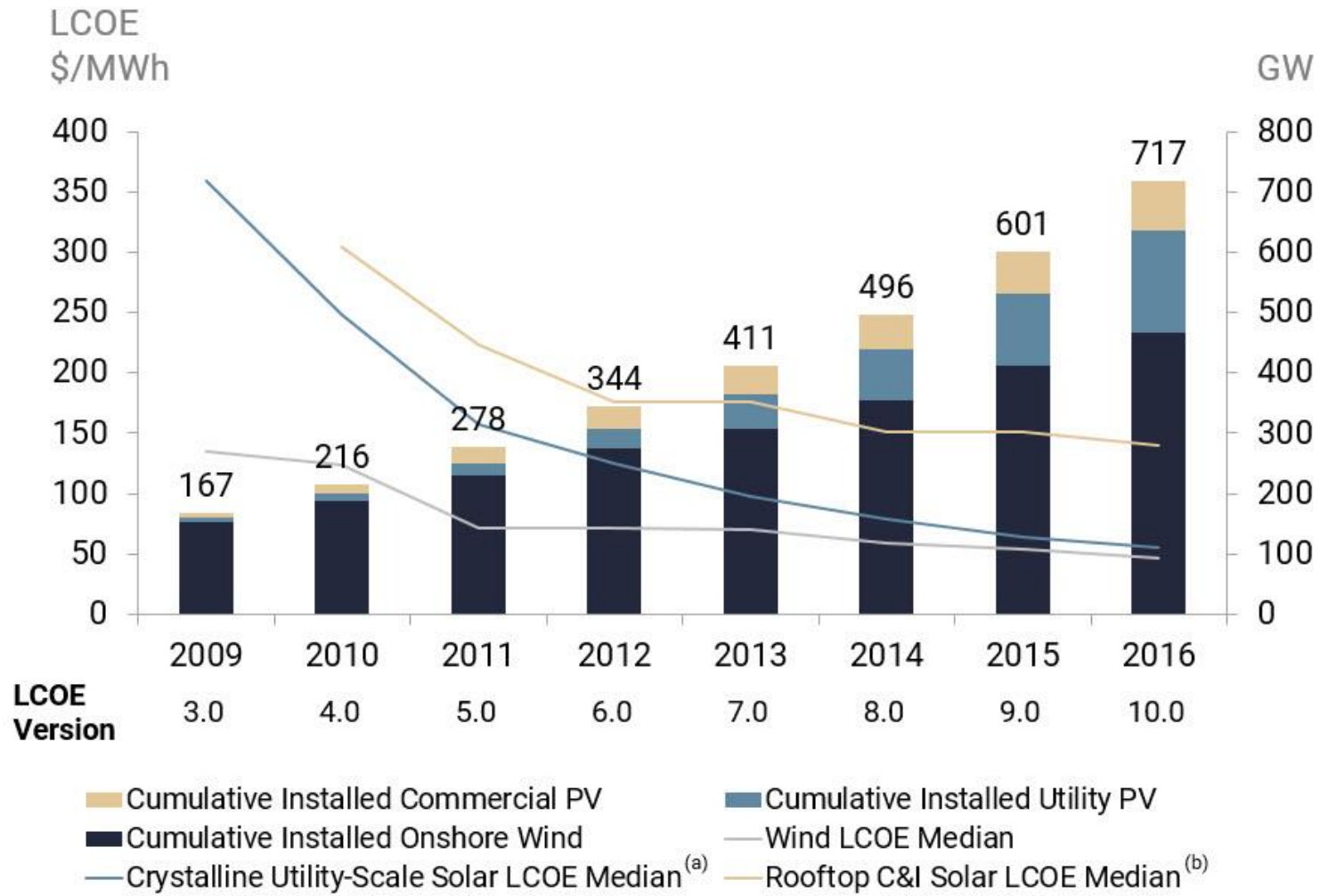
*La potencia fotovoltaica instalada en España reportada por REE es la correspondiente en AC (4,4 GW). La tendencia habitual en otros países es reportar esta potencia en DC, por ello se indica el valor correspondiente para la potencia fotovoltaica instalada en España en DC (5,4 GW).

Índice

1. Precios y coste de la tecnología fotovoltaica
2. Generación fotovoltaica, potencia instalada en España, Europa y resto del mundo
3. Tiempo de retorno energético
4. Superficie ocupada por fotovoltaica
5. Diferentes tecnologías fotovoltaicas
6. Energía solar fotovoltaica de concentración

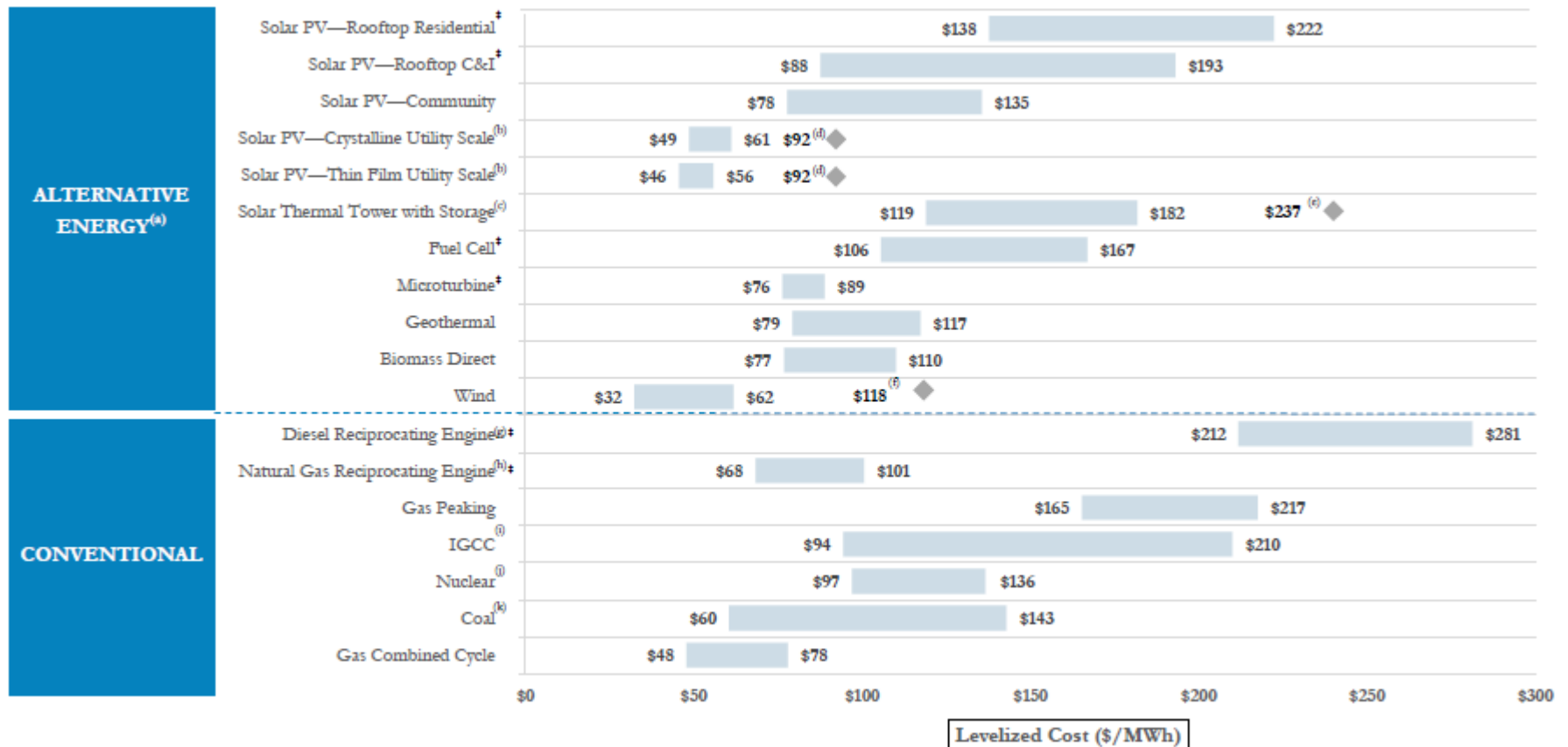
Precios y coste de la tecnología

El coste del kilovatio-hora producido con fotovoltaica ya compite con el resto de fuentes de generación tradicionales.



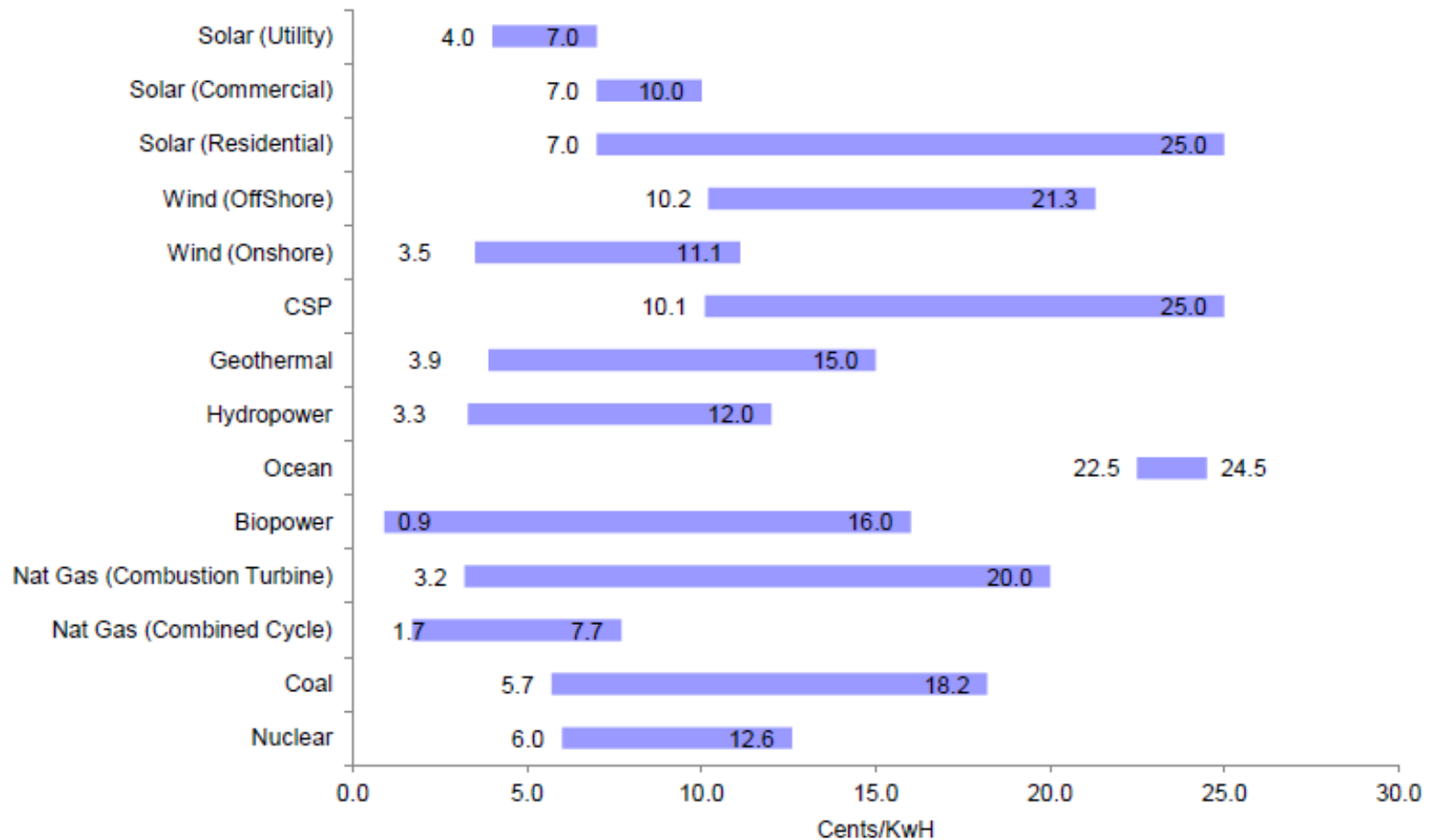
El coste del kilovatio-hora producido con fotovoltaica ya compite con el resto de fuentes de generación tradicionales.

Unsubsidized Levelized Cost of Energy Comparison



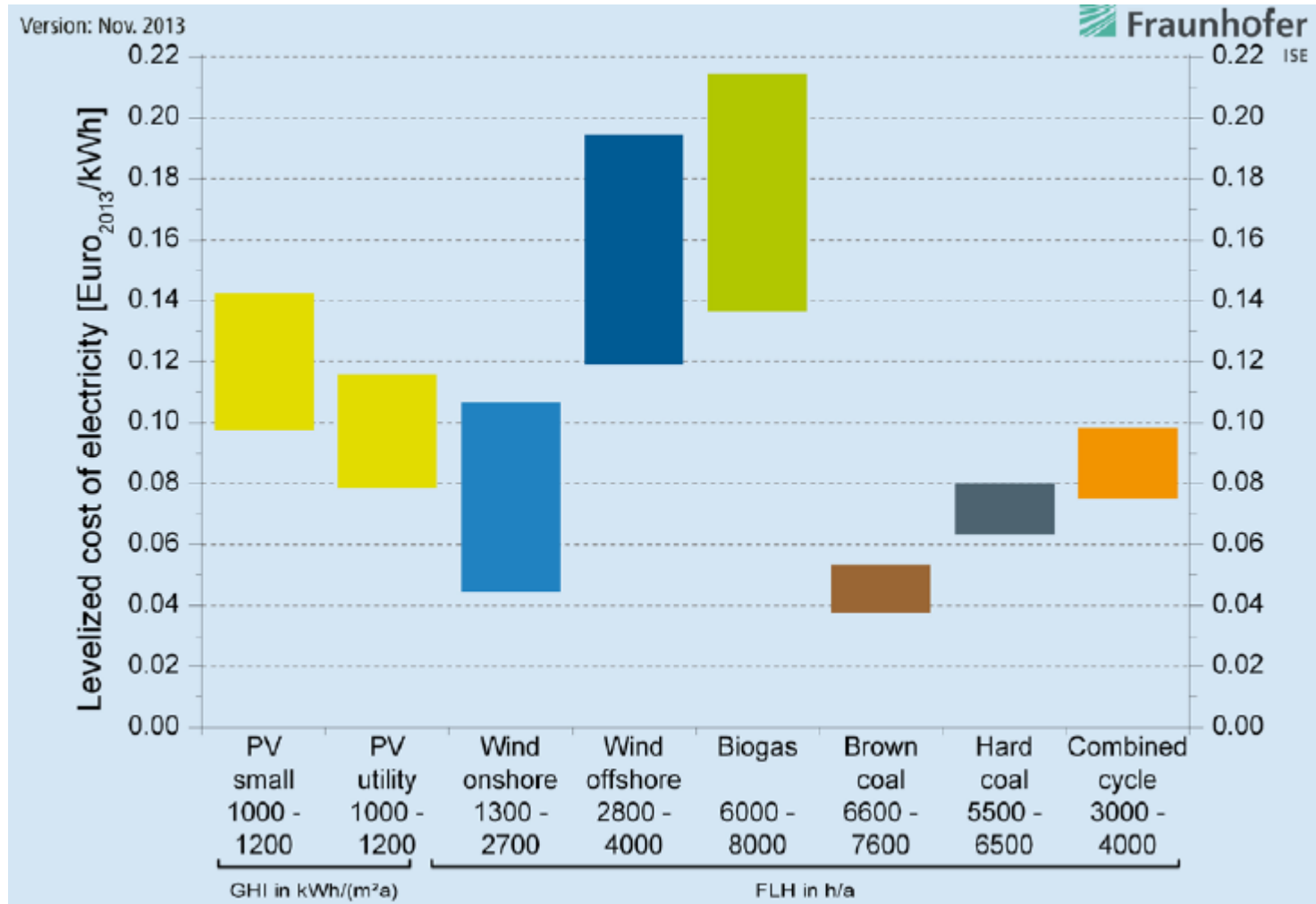
Fuente: [Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - version 10.0](#), diciembre 2016

El coste del kilovatio-hora producido con fotovoltaica ya compite con el resto de fuentes de generación tradicionales.



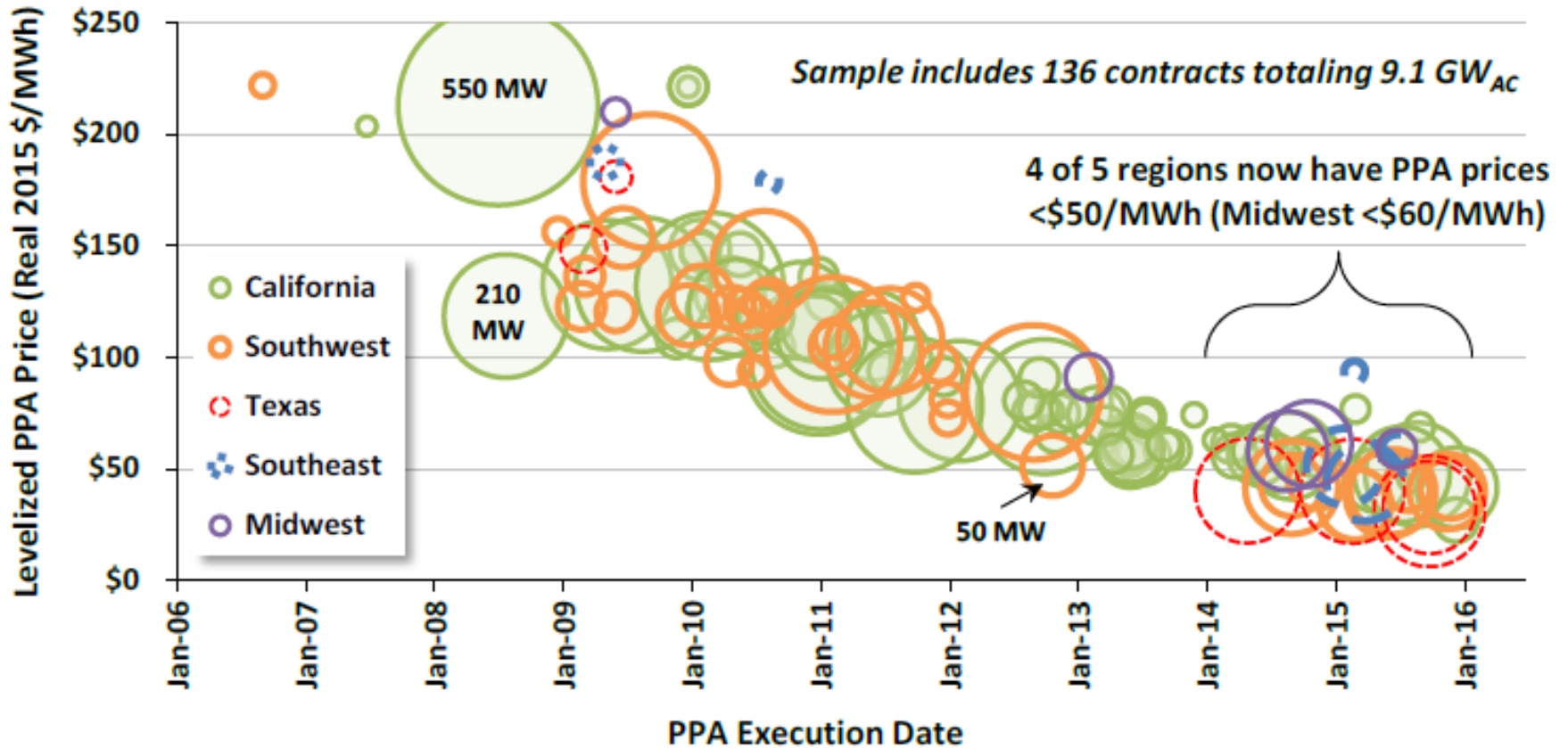
Fuente: Deutsche Bank, febrero 2015, [“Solar Grid Parity in a Low Oil Price Era”](#)

El coste del kilovatio-hora producido con fotovoltaica ya compite con el resto de fuentes de generación tradicionales.

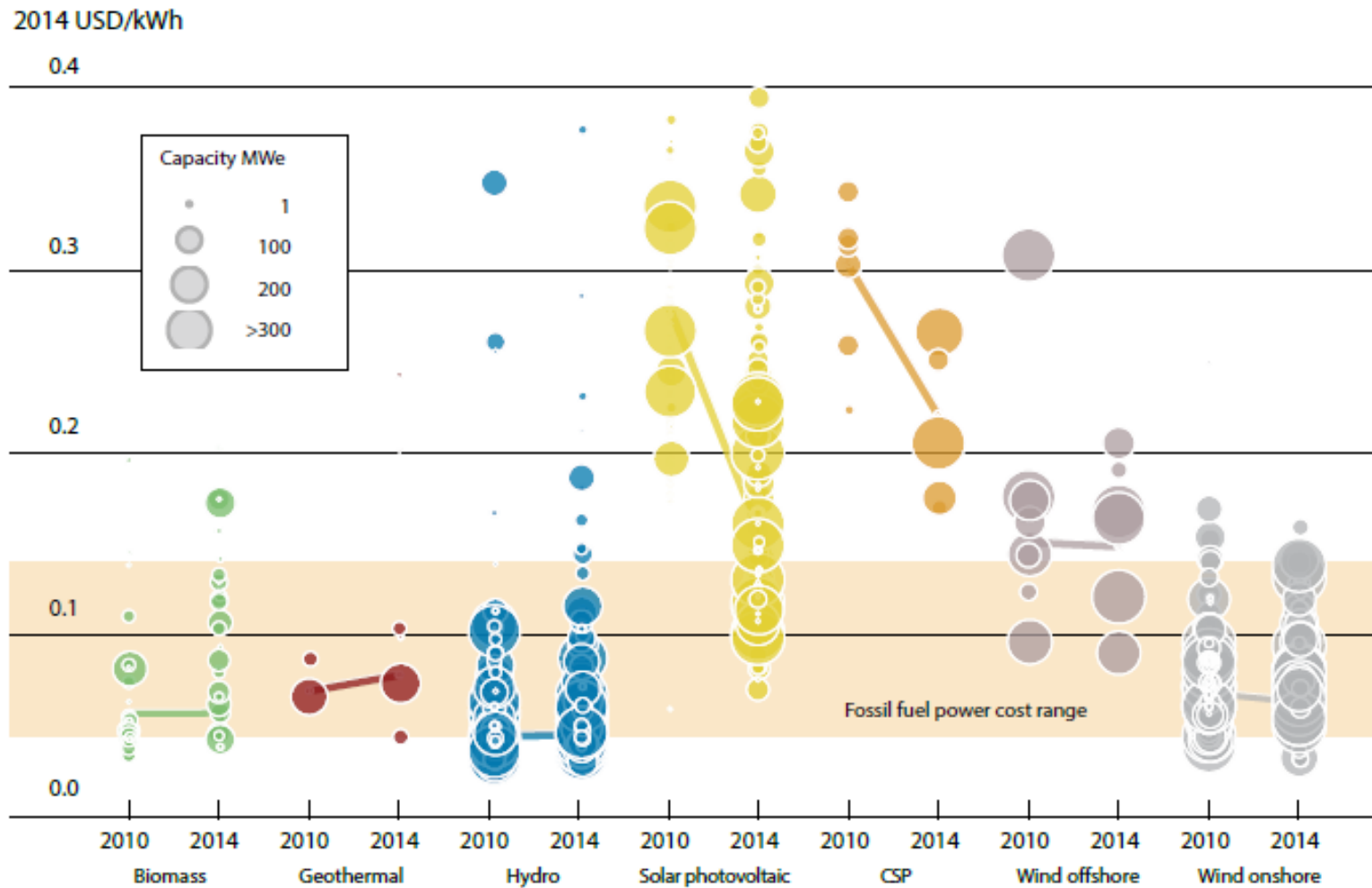


Fuente: Fraunhofer- ISE, November 2013, [Levelized cost of electricity renewable energy technologies](#)

Evolución del precio en EEUU de los contratos de venta de electricidad (PPA, siglas del término Power Purchase Agreement) basados en tecnología fotovoltaica (\$/MWh).



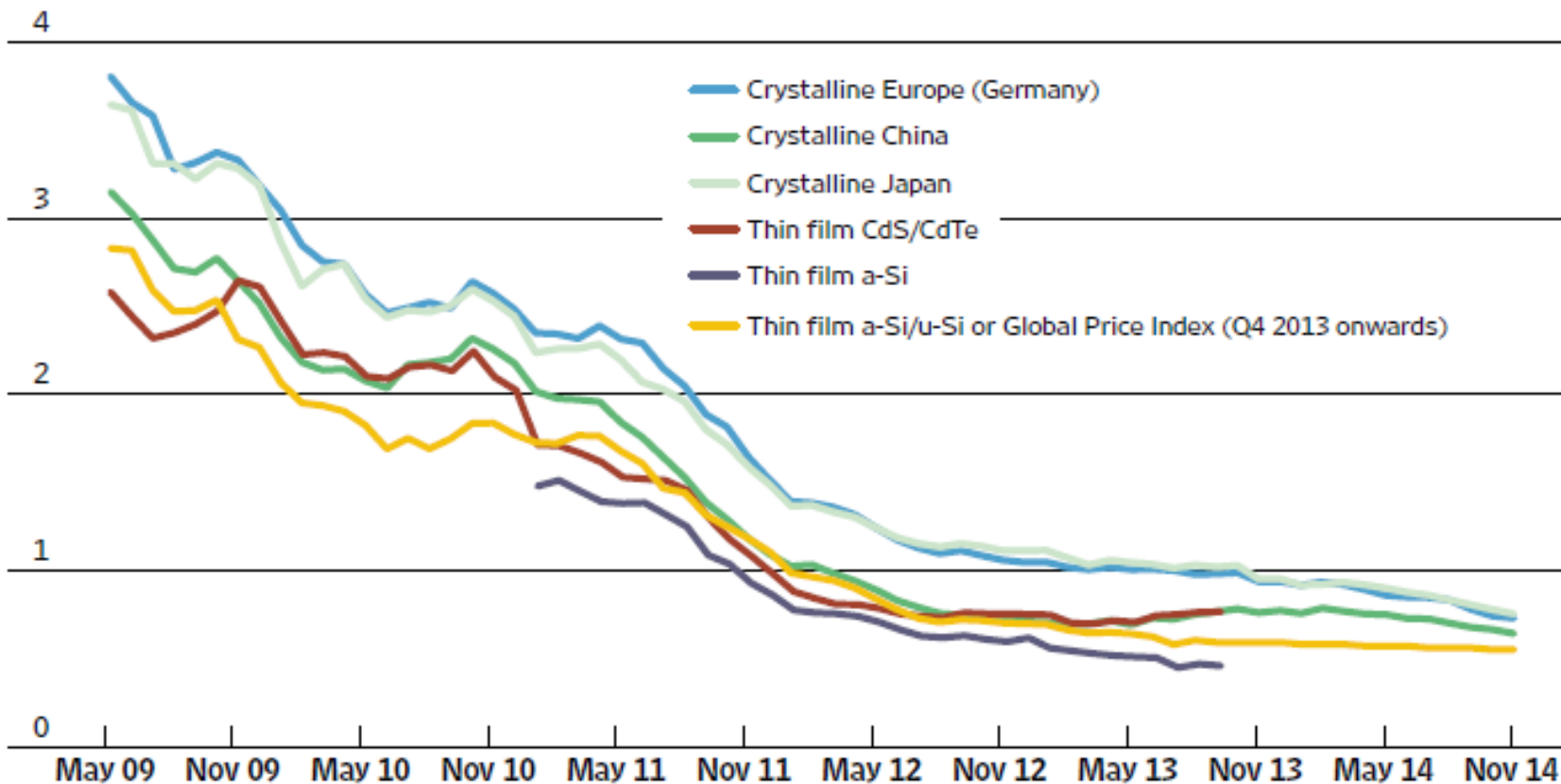
El coste del kilovatio-hora producido con fotovoltaica ya compite con el resto de fuentes de generación tradicionales.



Evolución del precio de las diferentes tecnologías fotovoltaicas.

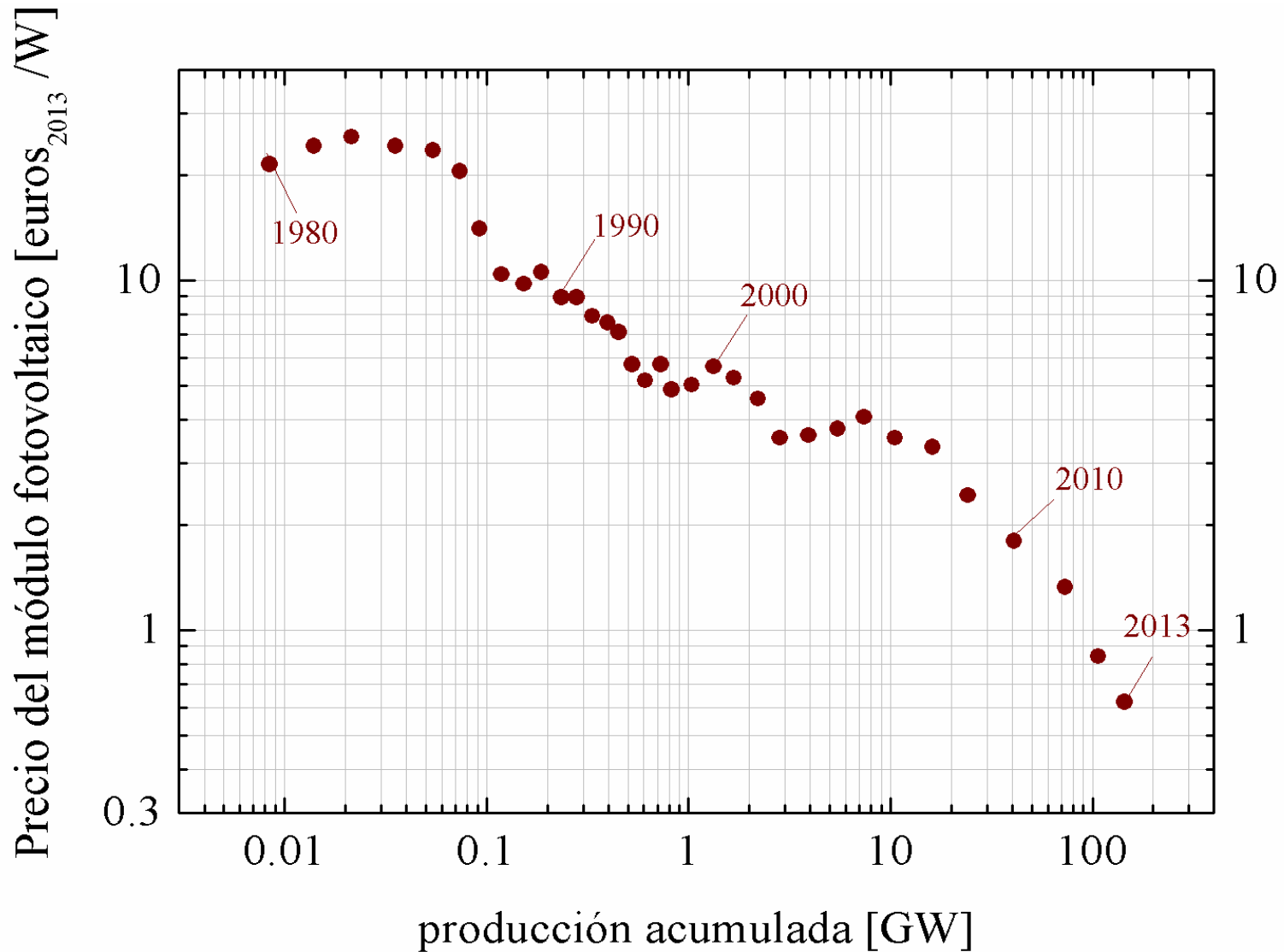
FIGURE 5.2: AVERAGE MONTHLY SOLAR PV MODULE PRICES BY TECHNOLOGY AND MANUFACTURING COUNTRY SOLD IN EUROPE, 2009 TO 2014

2014 USD/W



Sources: GlobalData, 2014 and pvXchange, 2014.

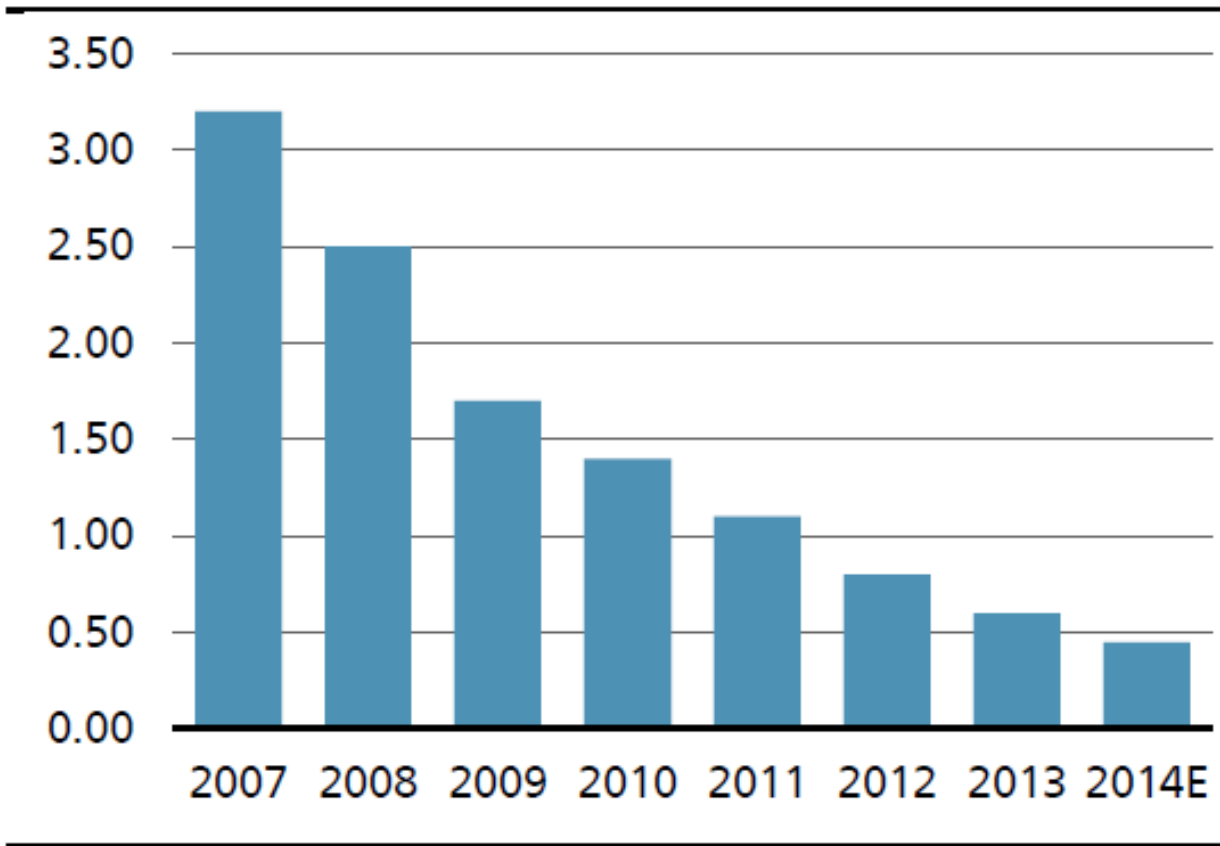
Evolución del precio del módulo fotovoltaico de panel plano.



Fuente: elaboración propia usando datos de [C. Breyer and A. Gerlach., Prog. in Phot.: Res. and App., 21\(1\):121–136, 2013](#), y [Navigant Consulting](#).

Evolución del precio del módulo fotovoltaico de panel plano.

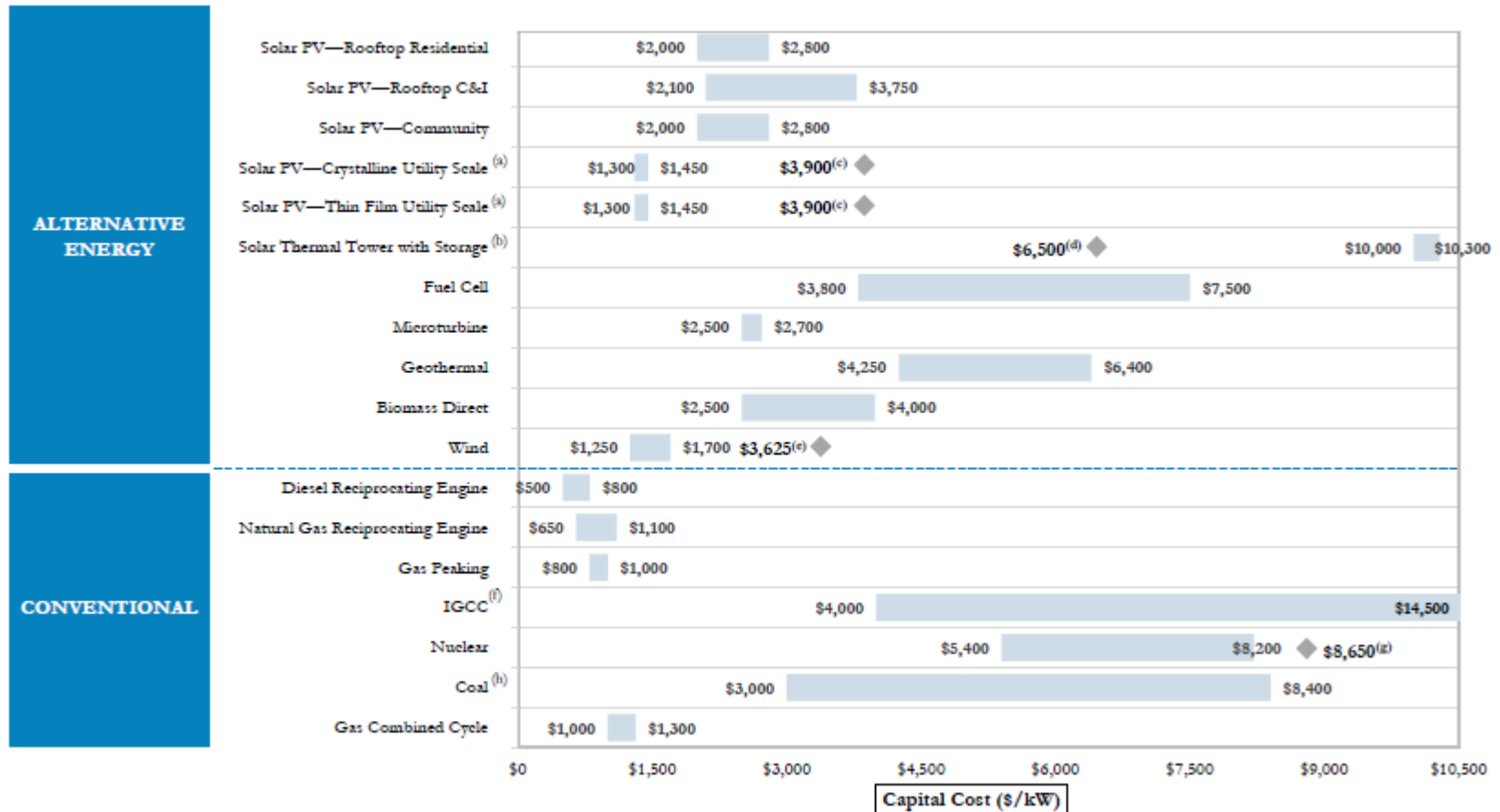
Figure 18: Solar panel prices have dropped c85% since 2007 (€/W) on innovation and economies of scale



Source: UBS estimates

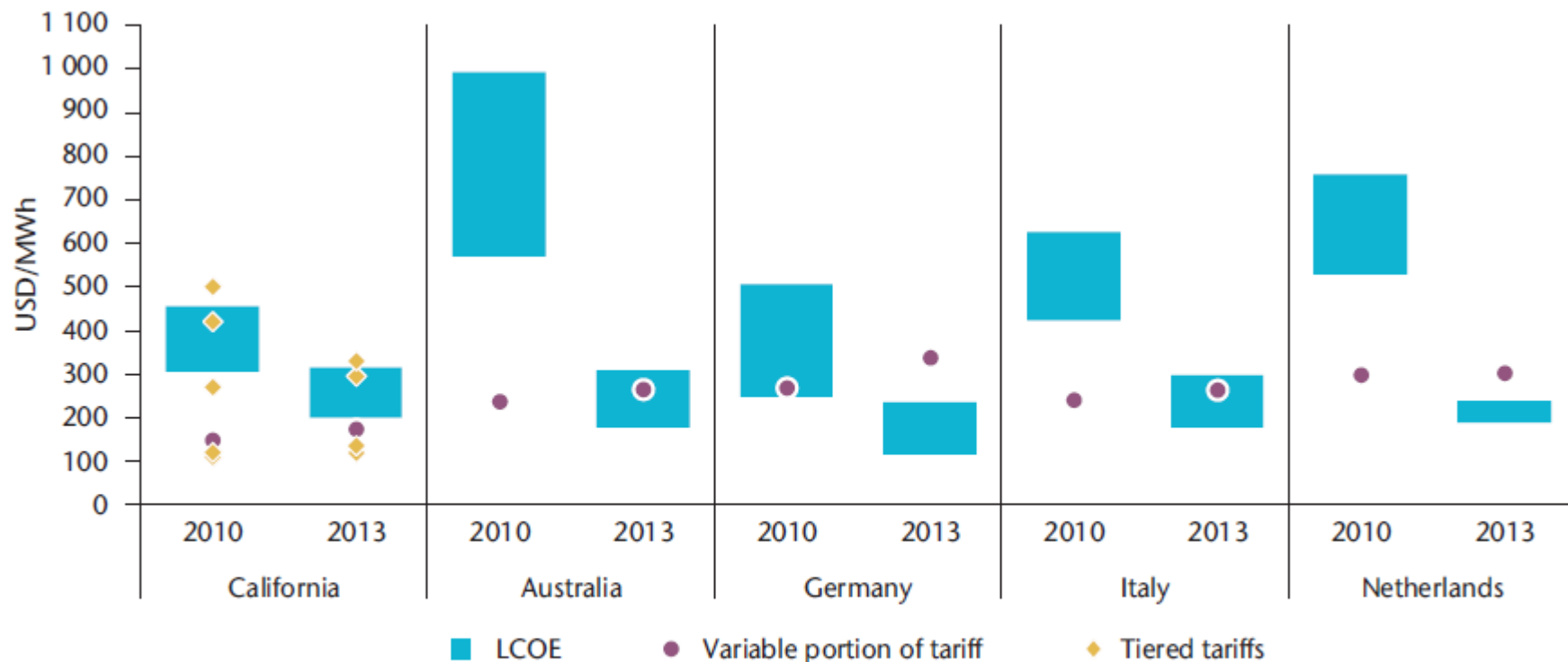
Fuente: UBS, Agosto 2015, [Will solar, batteries and electric cars re-shape the electricity system?](#)

El coste de instalación (por kW) de la fotovoltaica compite con el resto de fuentes de generación tradicionales.



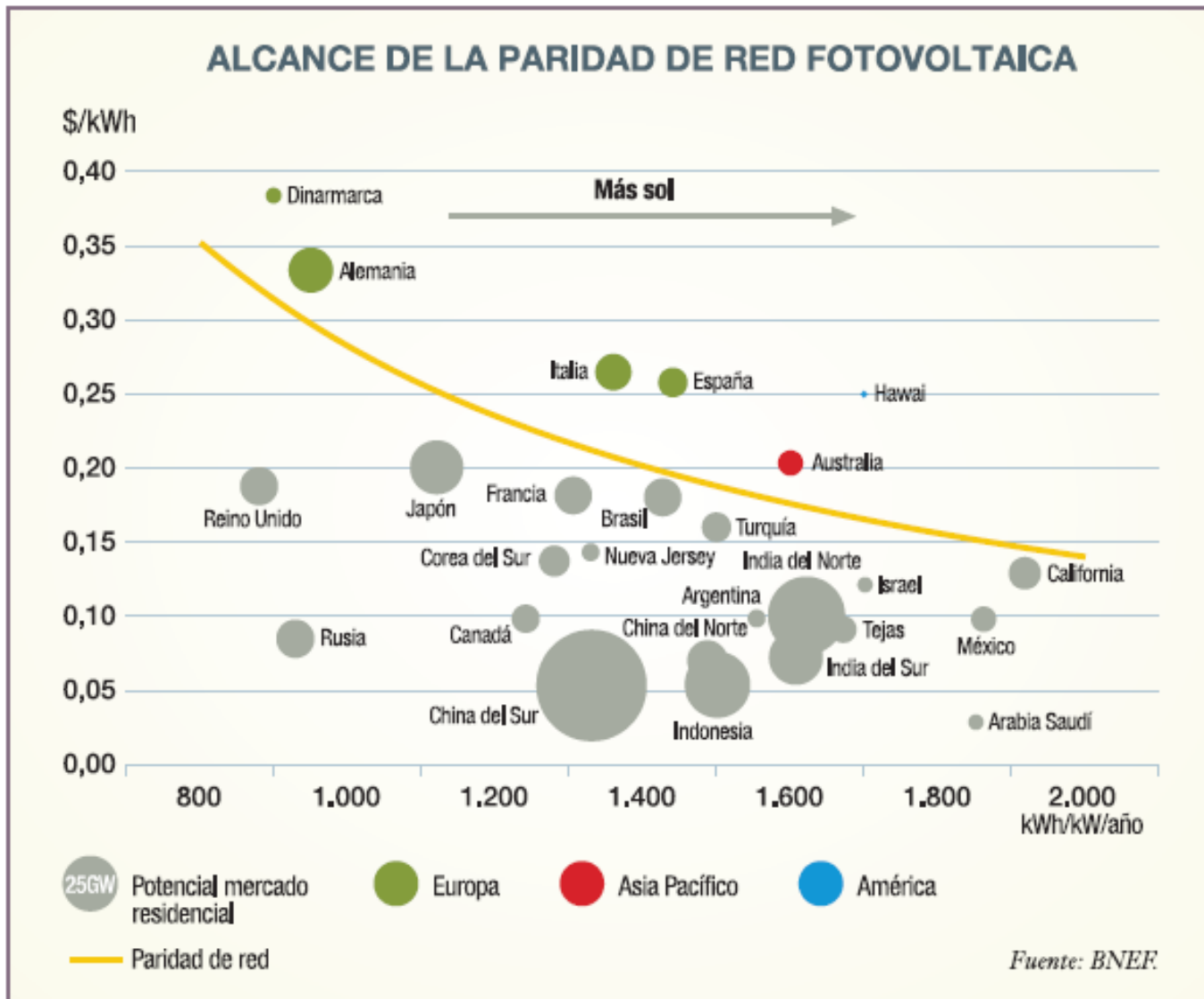
Fuente: [Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - version 10.0](#), diciembre 2016

En 2013 ya se había alcanzado la paridad con la red en varios países.

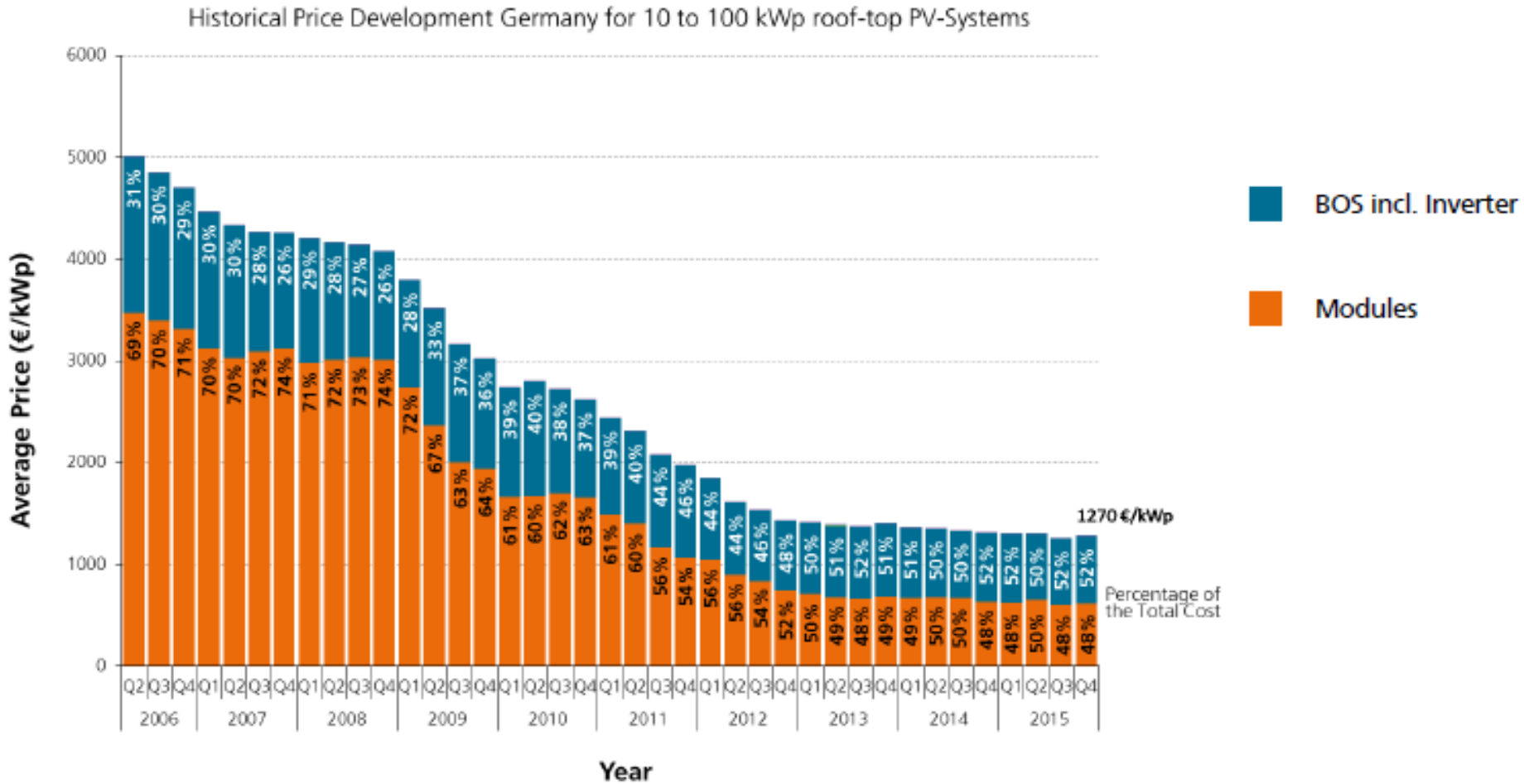


Note: Household electricity tariffs exclude fixed charges. LCOEs are calculated using average residential system costs (including value-added tax and sales tax in where applicable, and investment tax credit in California); ranges mostly reflect differences in financing costs. The tiered tariffs in California are those of Pacific Gas and Electric. Tiers 3 to 4 or 5 are tariffs paid on monthly consumption when it exceeds given percentages of a set baseline. All costs and prices are in 2012 USD.

En Dinamarca, Alemania, Italia y España ya se ha alcanzado la paridad con la red.

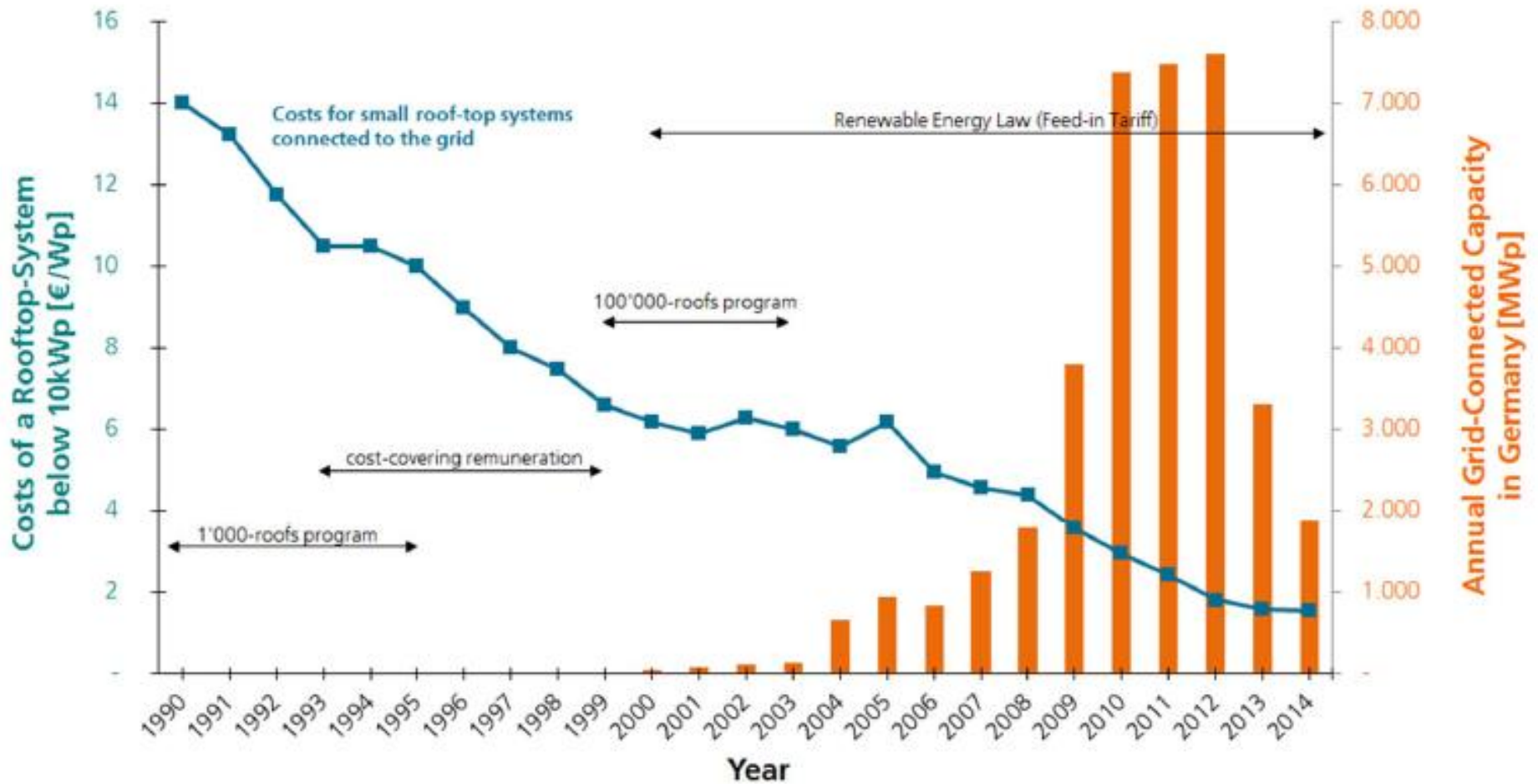


Evolución del precio medio de sistemas fotovoltaicos instalados en tejados en Alemania (10-100kWp).

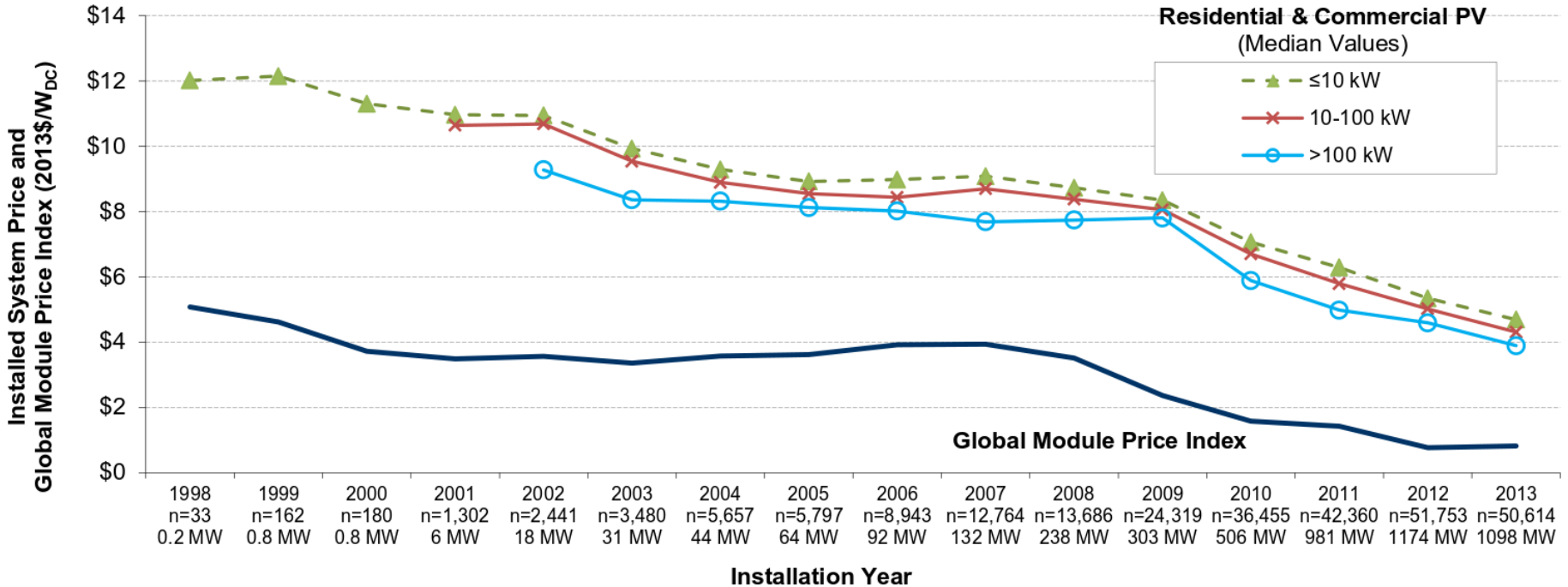


Fuente: [Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report, updated: 17 November 2016](#)

Evolución de la potencia instalada, precio del sistema y esquemas de financiación vigentes en Alemania.

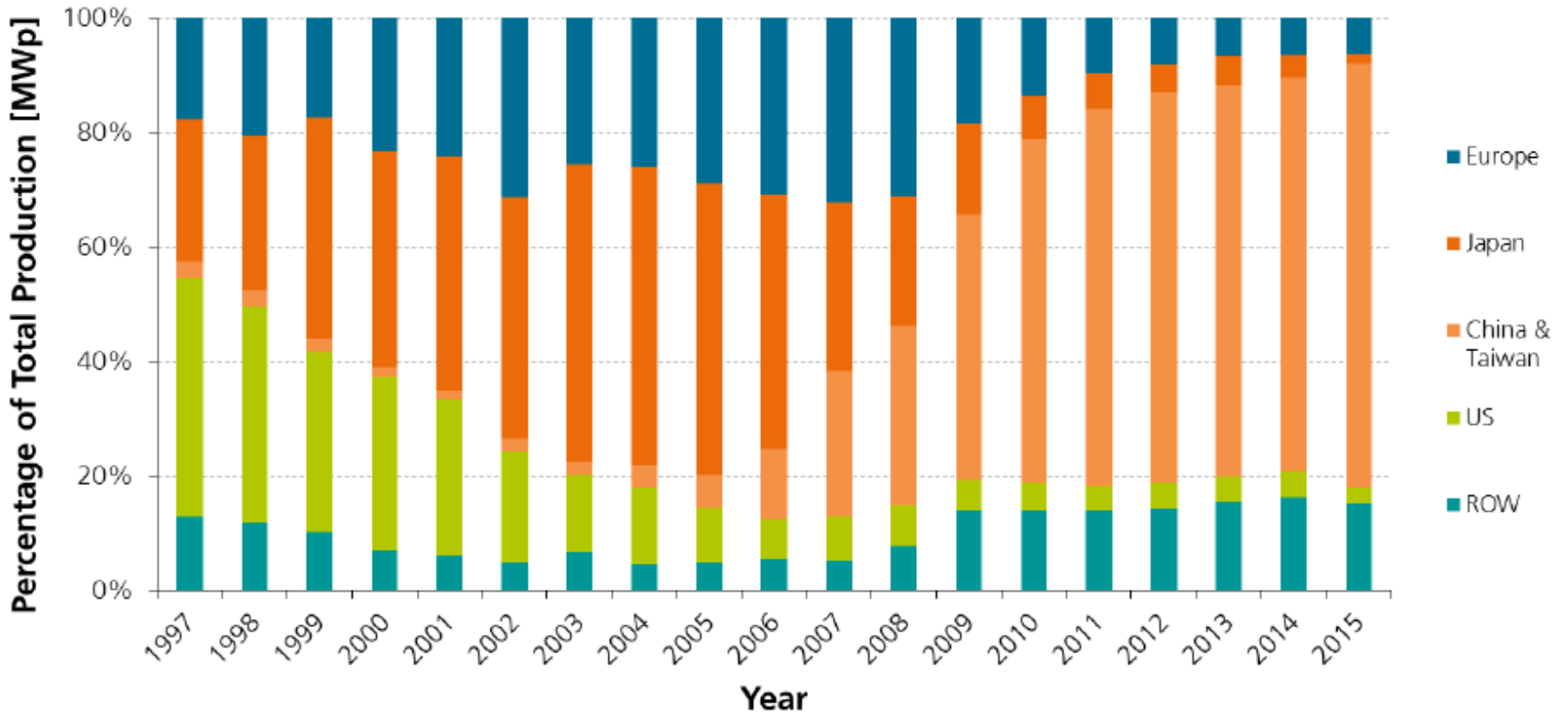


Evolución del precio medio de sistemas fotovoltaicos instalados en tejados en Estados Unidos.



Note: Median installed prices are shown only if 15 or more observations are available for the individual size range. The Global Module Price Index is SPV Market Research's average module selling price for the first buyer (P. Mints).

Producción de células/módulos fotovoltaicos por región (1997-2015).



Generación fotovoltaica, potencia instalada en España, Europa y resto del mundo

En 2016 la energía solar fotovoltaica cubrió el 3% de la demanda eléctrica anual de España.

COBERTURA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA AÑO 2016

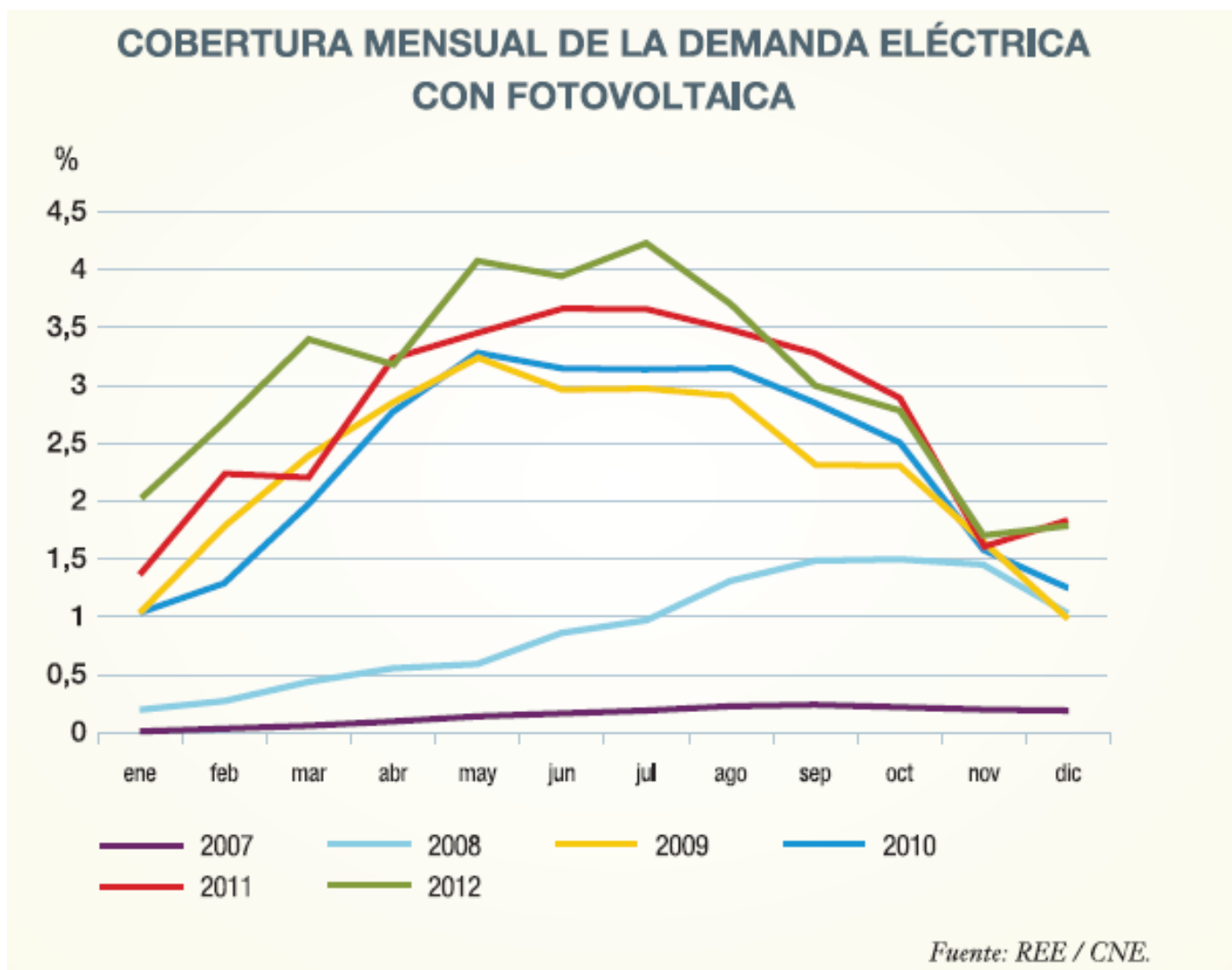
%

■ Nuclear	22,0	■ Eólica	19,2
■ Carbón	13,7	■ Hidráulica [1]	14,1
■ Ciclo combinado	10,4	■ Solar fotovoltaica	3,0
■ Cogeneración	10,1	■ Solar térmica	2,0
■ Residuos	1,2	■ Otras renovables	1,4
		■ Saldo importador de intercambios internacionales	2,9

[1] No incluye la generación de bombeo.



En los meses de verano la fotovoltaica cubre más del 4% de la demanda eléctrica de España.



A finales de 2016 había instalados 5,4 GW fotovoltaicos en España*.

POTENCIA INSTALADA A 31 DE DICIEMBRE 2016

100.088 MW

Nuclear	7,6	Eólica	22,8
Carbón	9,5	Hidráulica [1]	20,3
Ciclo combinado	24,9	Solar fotovoltaica	4,4
Cogeneración	6,8	Solar térmica	2,3
Residuos	0,7	Otras renovables	0,7

[1] Incluye la potencia de bombeo puro [3.329 MW].



Fuente: [El sistema eléctrico español, Informe REE, avance 2016](#)

*La potencia fotovoltaica instalada en España reportada por REE es la correspondiente en AC (4,4 GW). La tendencia habitual en otros países es reportar esta potencia en DC, por ello se indica el valor correspondiente para la potencia fotovoltaica instalada en España en DC (5,4 GW).

En el pico de demanda que tuvo lugar el 6 de septiembre de 2016 entre las 13 y 14 horas, la fotovoltaica aportó el 7,2% de la generación eléctrica.

COBERTURA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MÁXIMA HORARIA

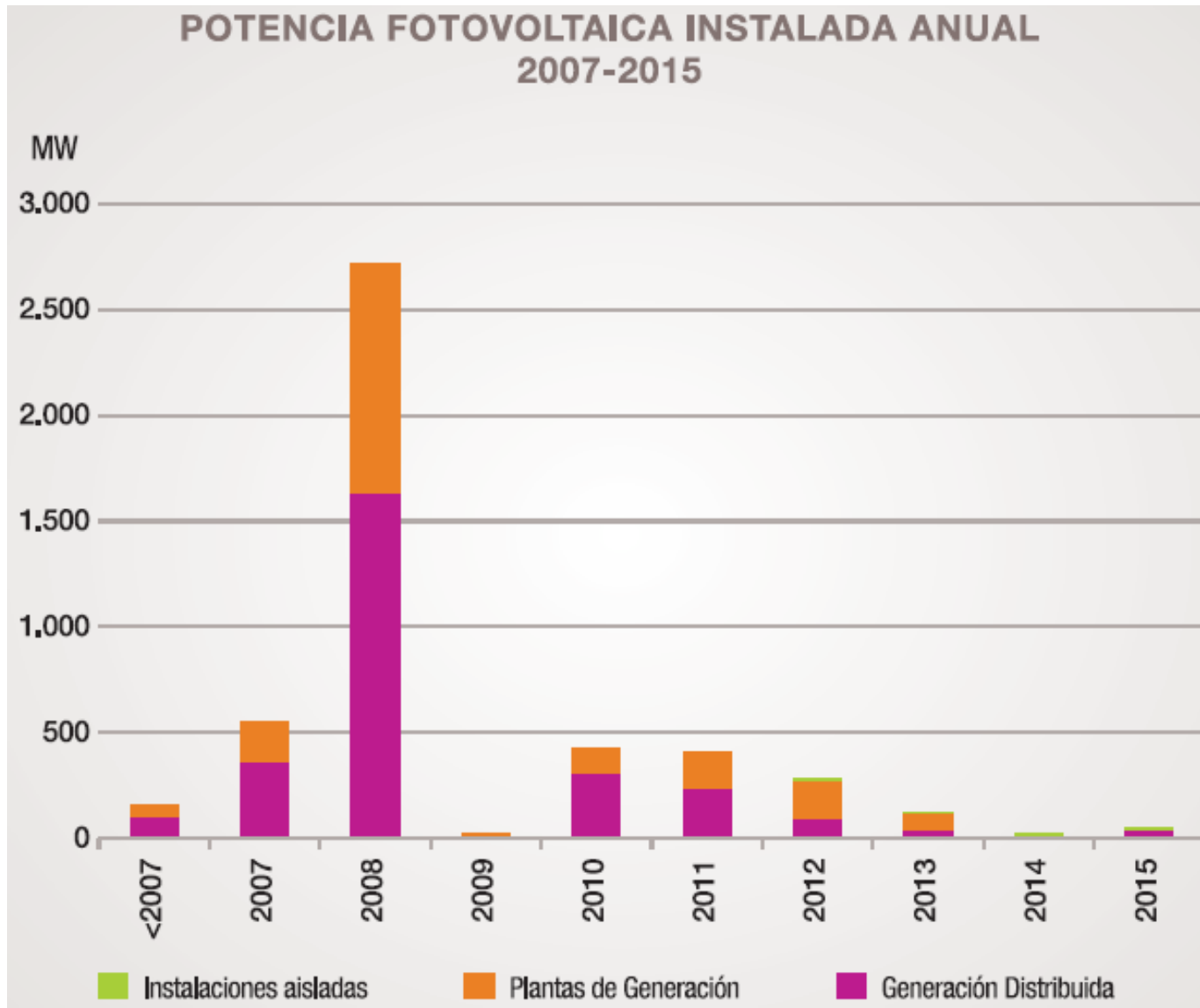
40.144 MW / 06 Sep 2016 (13-14 h)

Nuclear	16,7	Eólica	2,8
Carbón	17,2	Hidráulica [1]	13,7
Ciclo combinado	18,6	Solar fotovoltaica	7,2
Cogeneración	7,6	Solar térmica	4,7
Residuos	0,9	Otras renovables	1,1
		Saldo importador de intercambios internacionales	9,5

[1] No incluye la generación de bombeo.

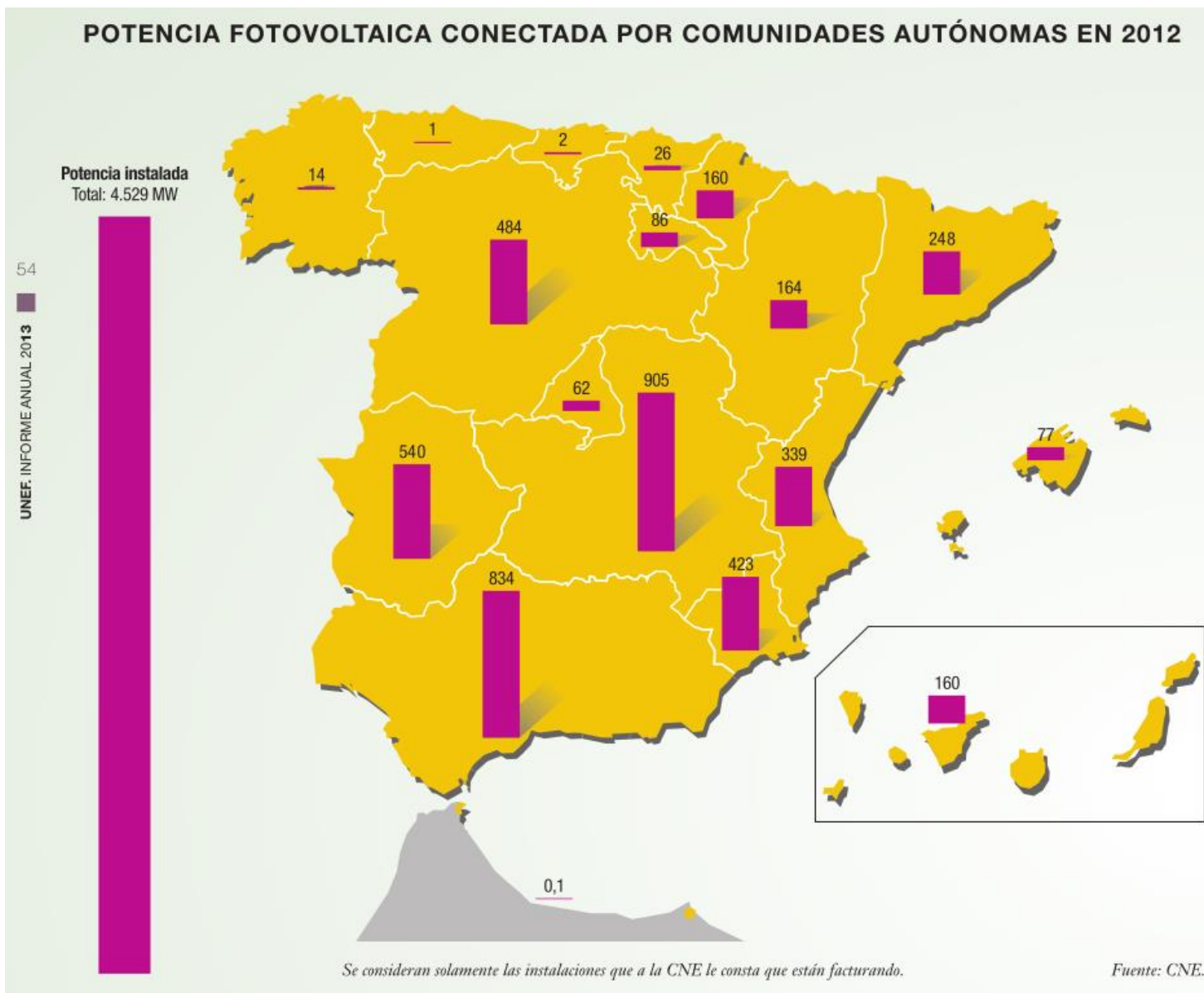


Evolución de la potencia fotovoltaica instalada anualmente en España.

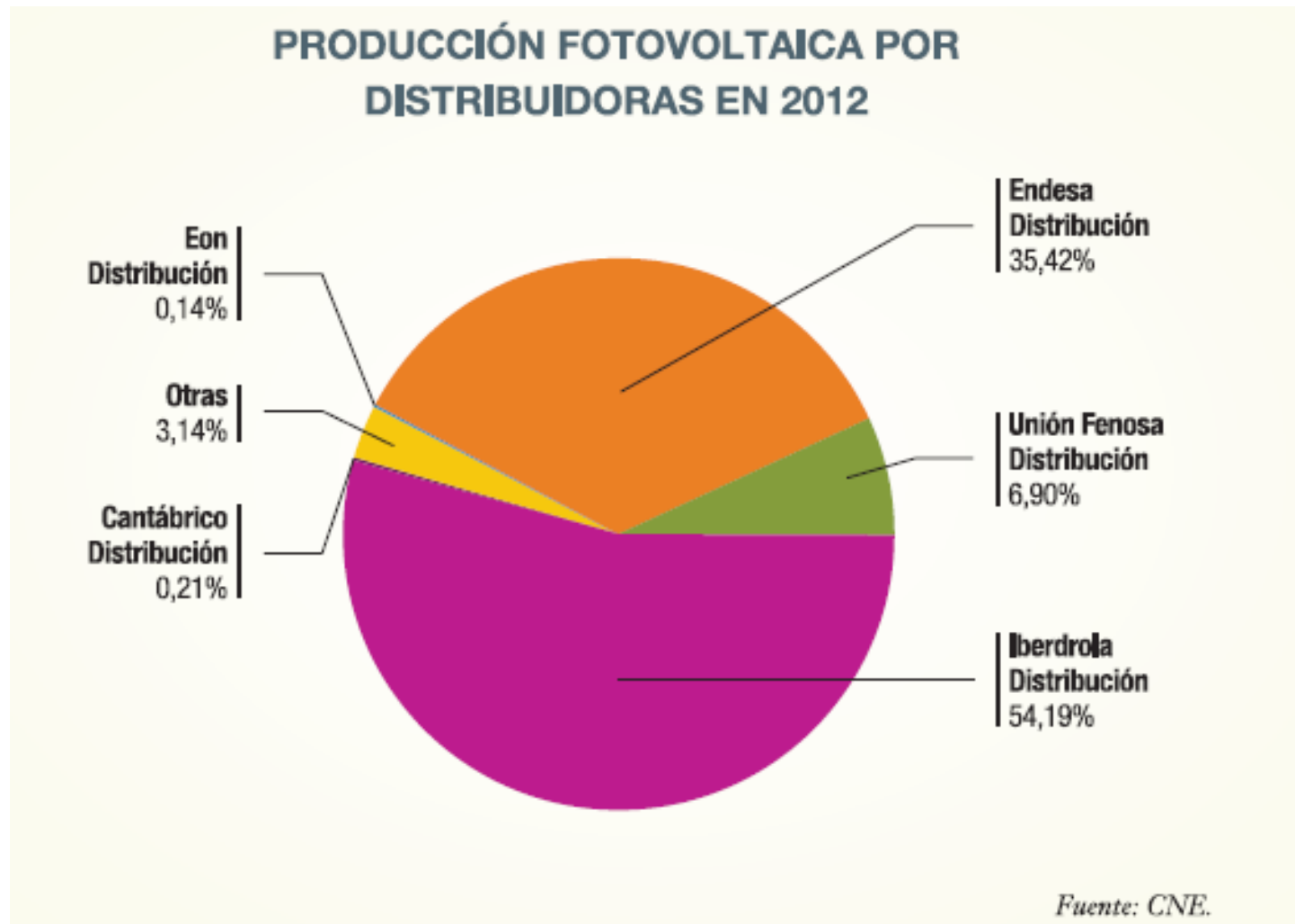


Fuente: [Informe Anual UNEF 2016](#)

Distribución geográfica de la potencia fotovoltaica instalada en España.

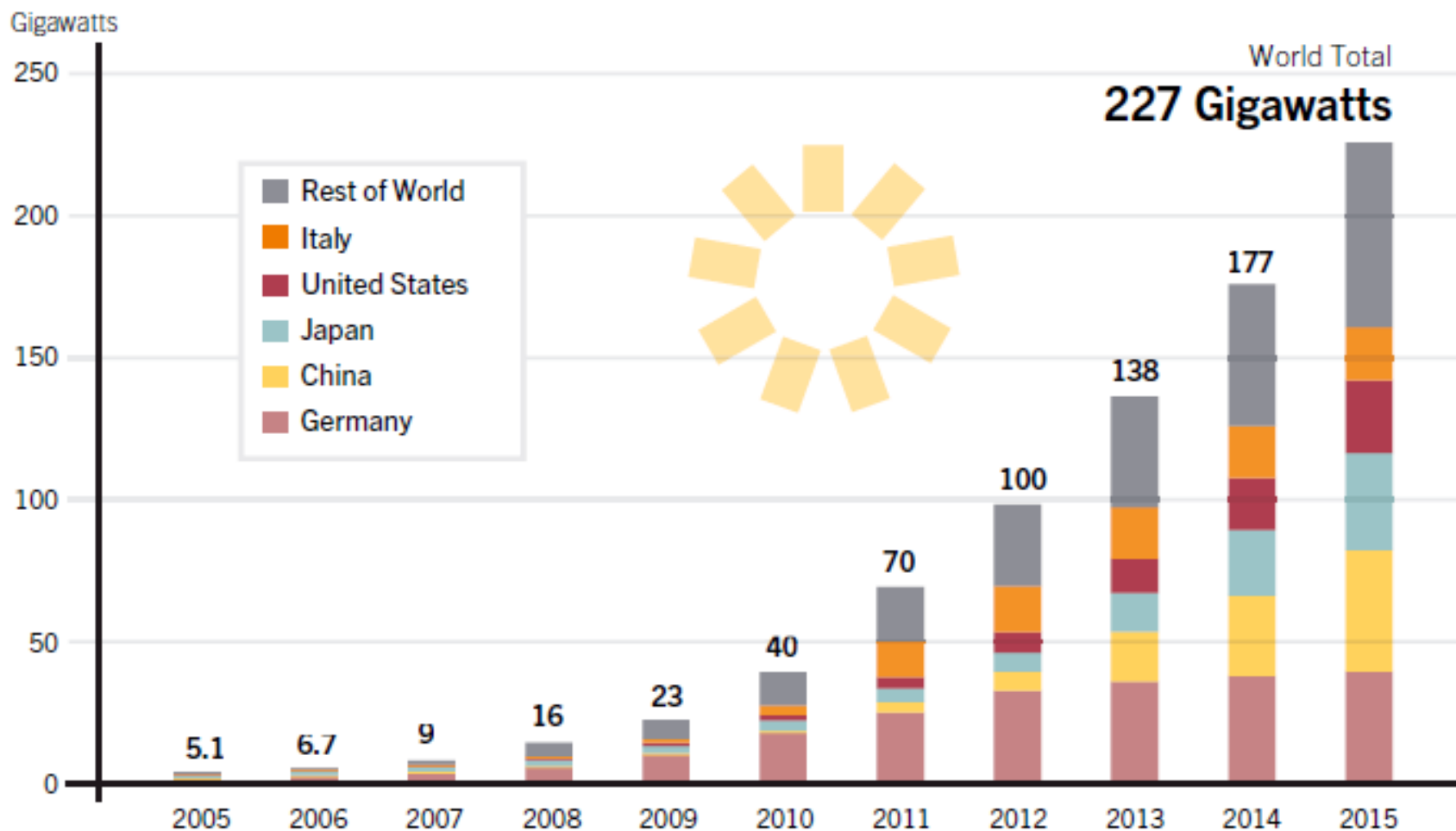


Reparto por distribuidoras de la potencia fotovoltaica instalada en España.



Fuente: [Informe anual UNEF, 2013](#)

A finales de 2015 había instalados 227GW en el mundo. De ellos, 43,5 GW en China, 39,7 GW en Alemania, 34,4 GW en Japón, 25,6 GW en EE.UU, 18,9 GW en Italia y 5,4 GW en España*.



Fuente: [Renewables 2016 - Global Status Report, REN21](#)

*La potencia fotovoltaica instalada en España reportada por REE es la correspondiente en AC (4,4 GW). La tendencia habitual en otros países es reportar esta potencia en DC, por ello se indica el valor correspondiente para la potencia fotovoltaica instalada en España en DC (5,4 GW).





















«Top 10» de países por capacidad instalada y acumulada en 2015.

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2015

TOP 10 COUNTRIES IN 2015 FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				TOP 10 COUNTRIES IN 2015 FOR CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY			
1		China	15,2 GW	1		China	43,5 GW
2		Japan	11 GW	2		Germany	39,7 GW
3		USA	7,3 GW	3		Japan	34,4 GW
4		UK	3,5 GW	4		USA	25,6 GW
5		India	2 GW	5		Italy	18,9 GW
6		Germany	1,5 GW	6		UK	8,8 GW
7		Korea	1 GW	7		France	6,6 GW
8		Australia	0,9 GW	8		Spain	5,4 GW
9		France	0,9 GW	9		Australia	5,1 GW
10		Canada	0,6 GW	10		India	5 GW

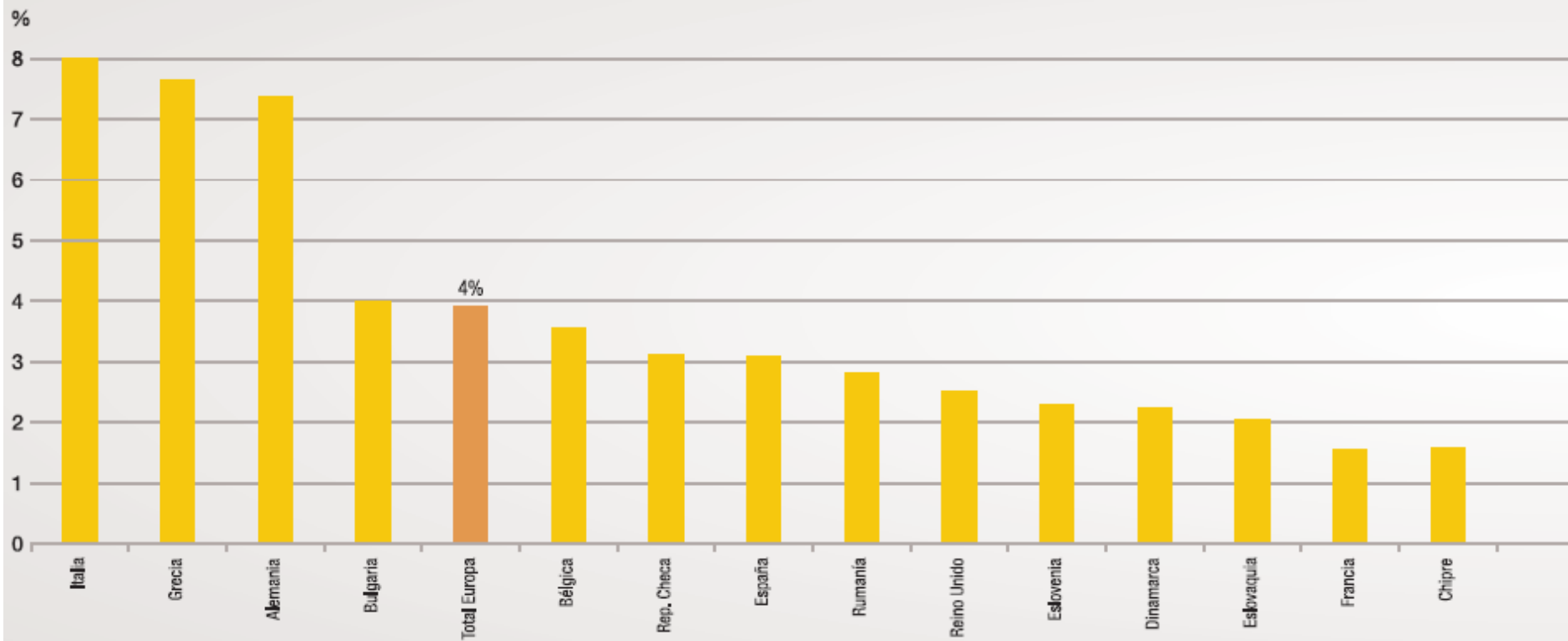


Potencia fotovoltaica instalada en Europa en 2014 y acumulada.

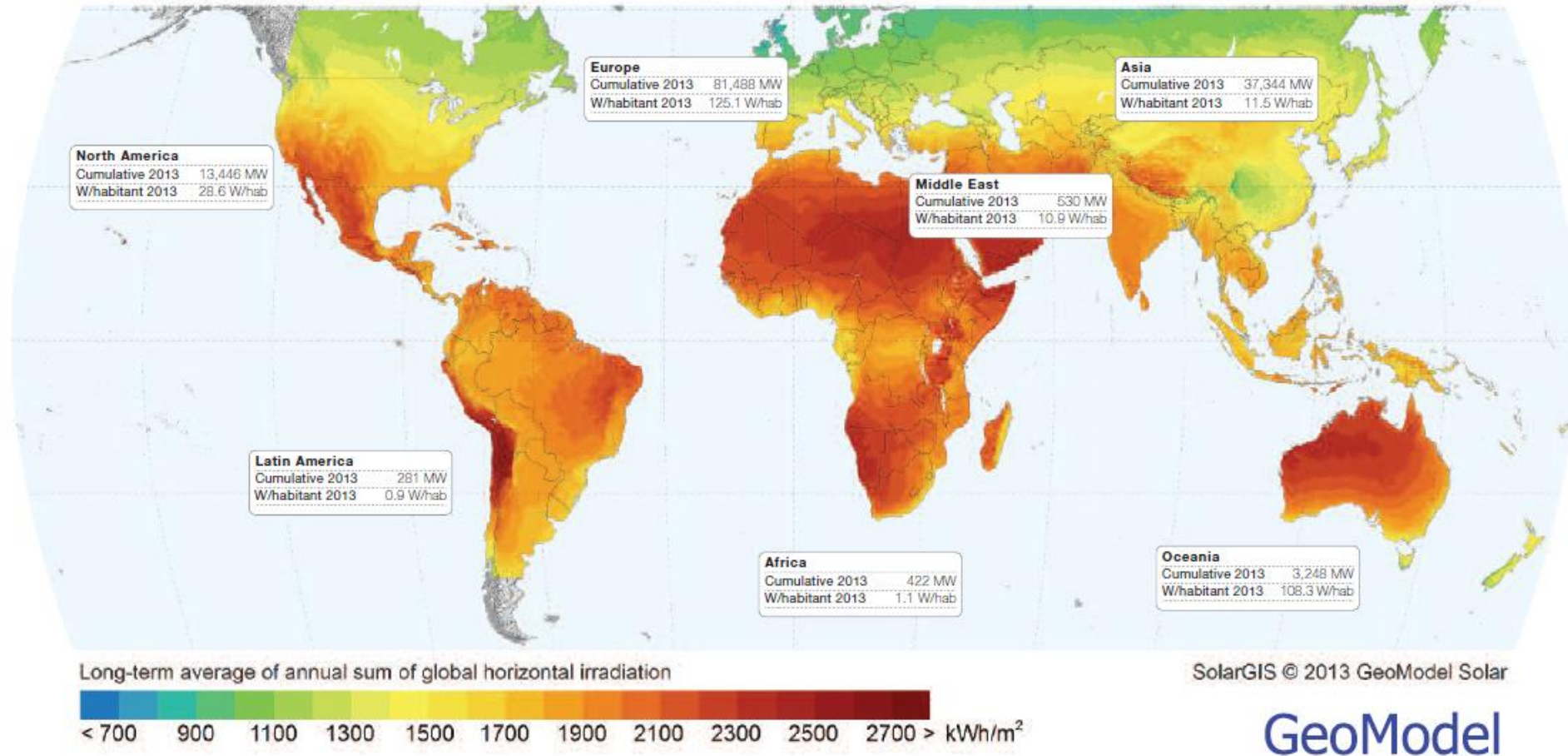
	Annual Installed Capacity 2014 (MW DC)	Cumulative Installed Capacity 2014 (MW DC)	Political support prospects
Austria	140	767	
Belgium	65	3,104	
Bulgaria	2	1,022	
Croatia	13	33	
Czech Republic	2	2,134	
Denmark	47	608	
France	927	5,632	
Germany	1,898	38,235	
Greece	17	2,596	
Italy	385	18,313	
Malta	0	23	
Netherlands	400	1,042	
Poland	27	34	
Portugal	115	414	
Romania	72	1,223	
Slovakia	0.4	524	
Spain	22	5,388	
Switzerland	320	1,046	
Turkey	40	58	
United Kingdom	2,402	5,230	

En 2015 la energía solar fotovoltaica cubrió más del 7% de la demanda eléctrica en tres países (Italia, Grecia y Alemania). En España supuso el 3%.

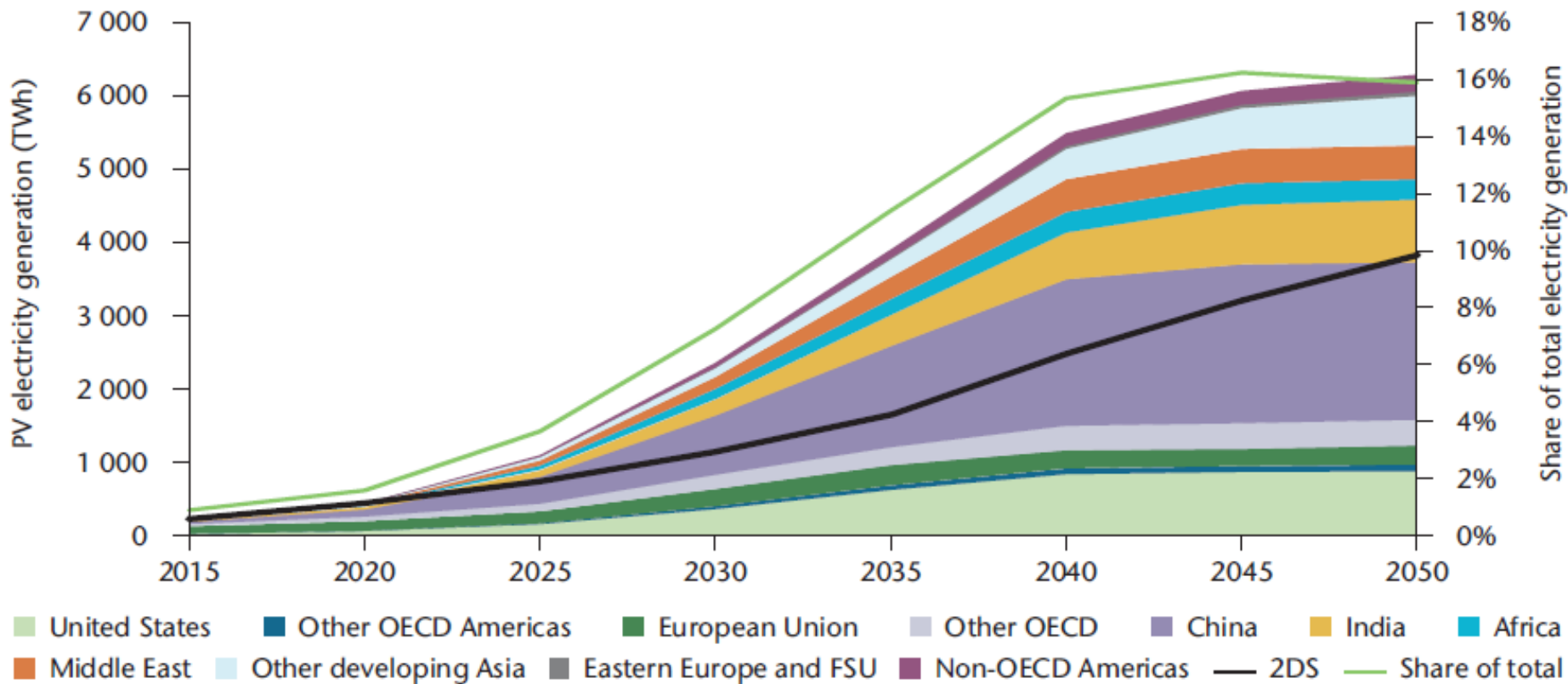
PORCENTAJE DE COBERTURA POR LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA DE LA DEMANDA DE CADA PAÍS



Recurso solar disponible, potencia instalada por regiones, global y per cápita.

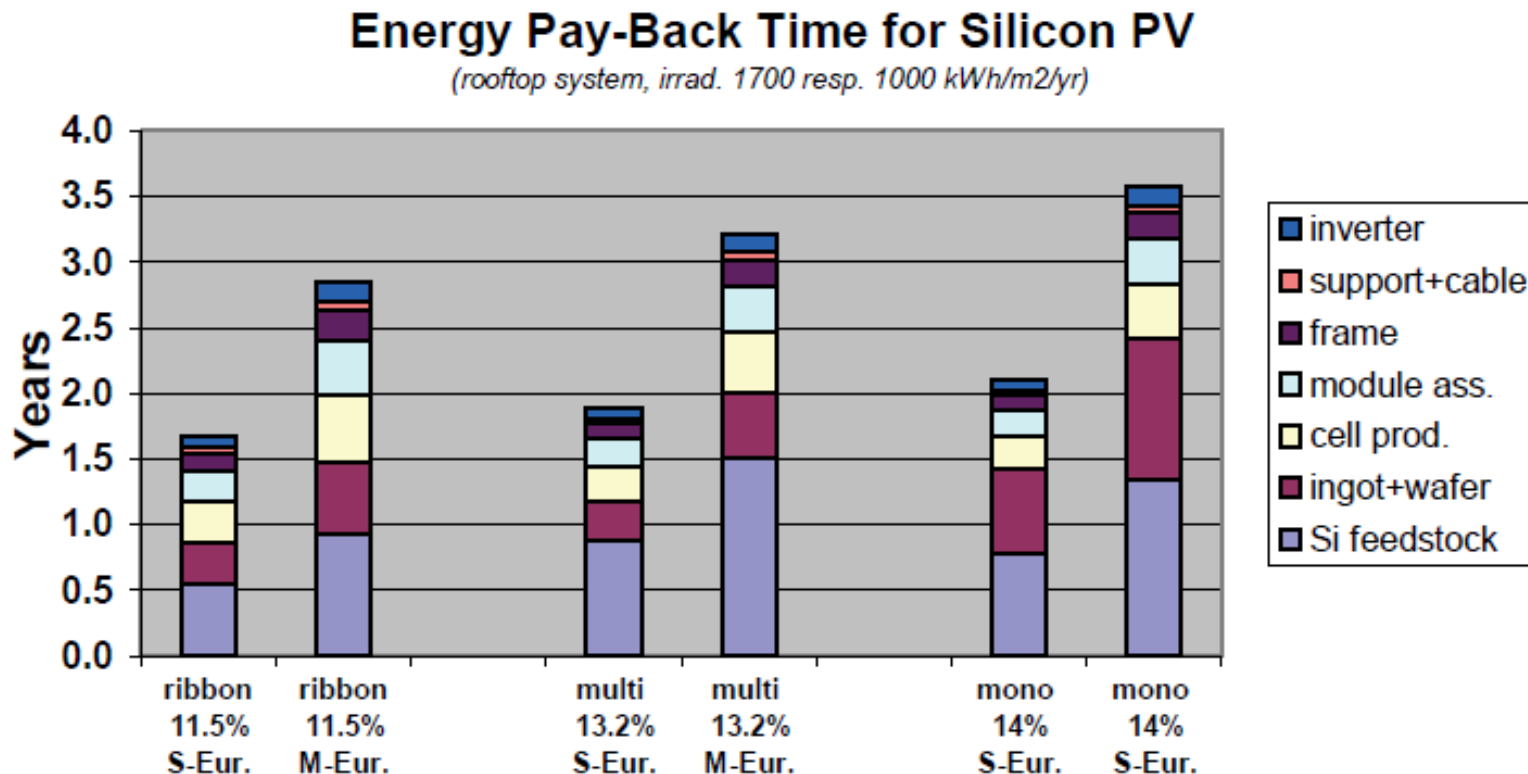


Según la Agencia Internacional de la Energía, es factible un escenario en el que el 16% del consumo eléctrico mundial se genere mediante fotovoltaica en 2050.

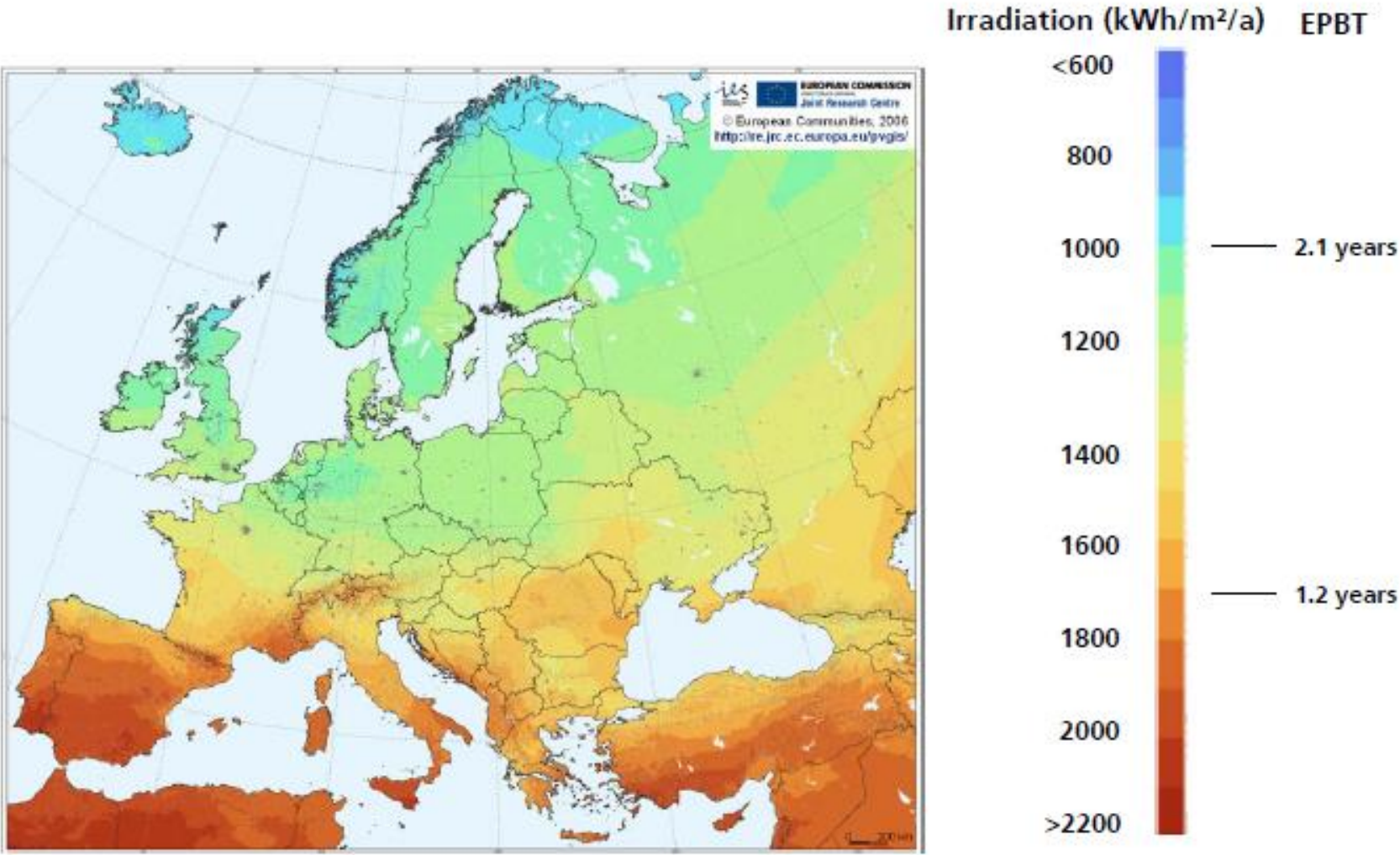


Tiempo de retorno energético

El tiempo de retorno energético (*Energy Payback Time* en inglés) se define como el tiempo necesario para que un sistema genere tanta energía como ha sido empleada para su fabricación. En Europa el tiempo de retorno energético para la fotovoltaica está entre 1,5 y 3,5 años.

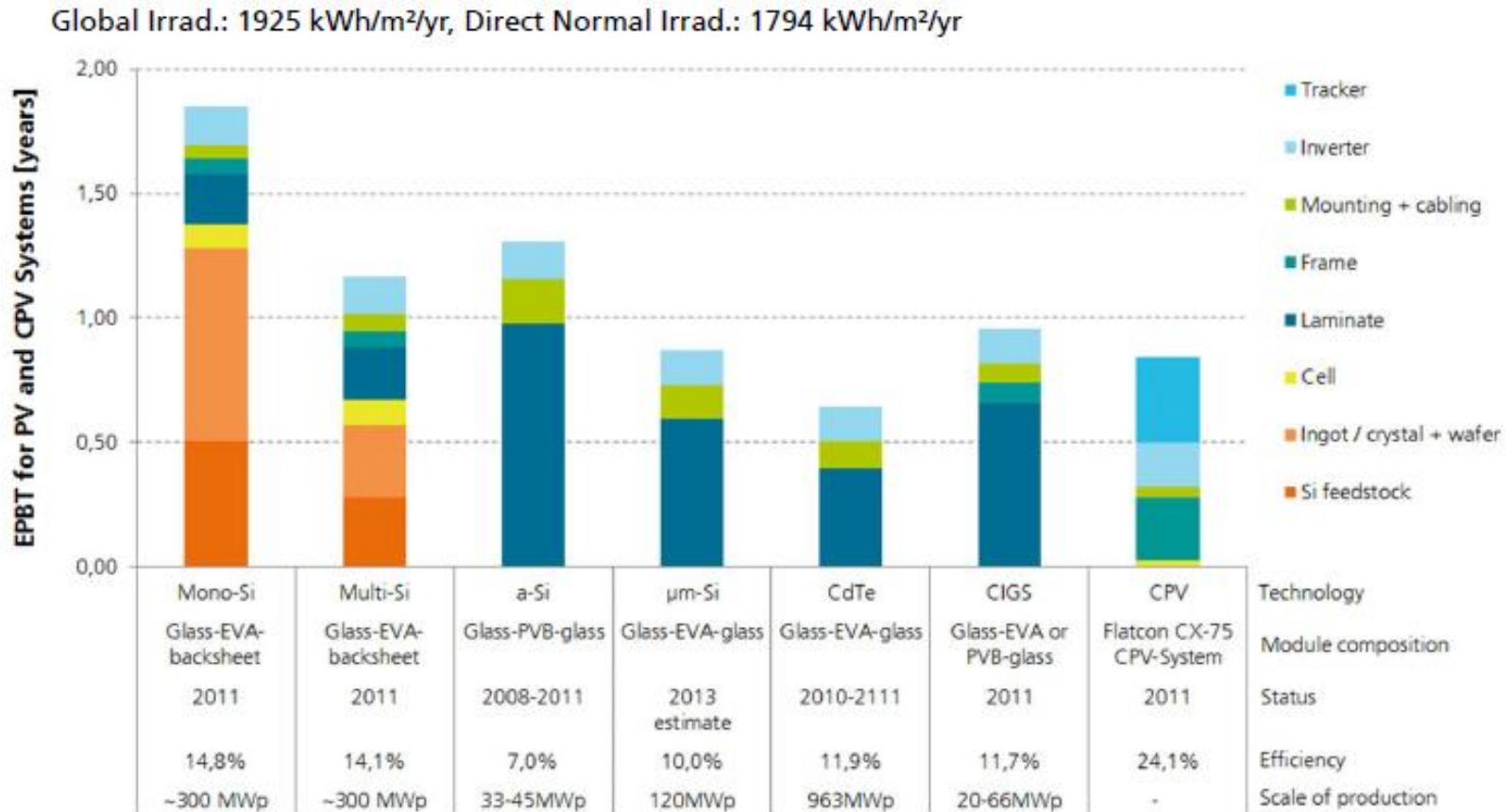


Tiempo de retorno energético para un sistema instalado en tejado que utilice paneles de silicio multicristalino en función del emplazamiento.



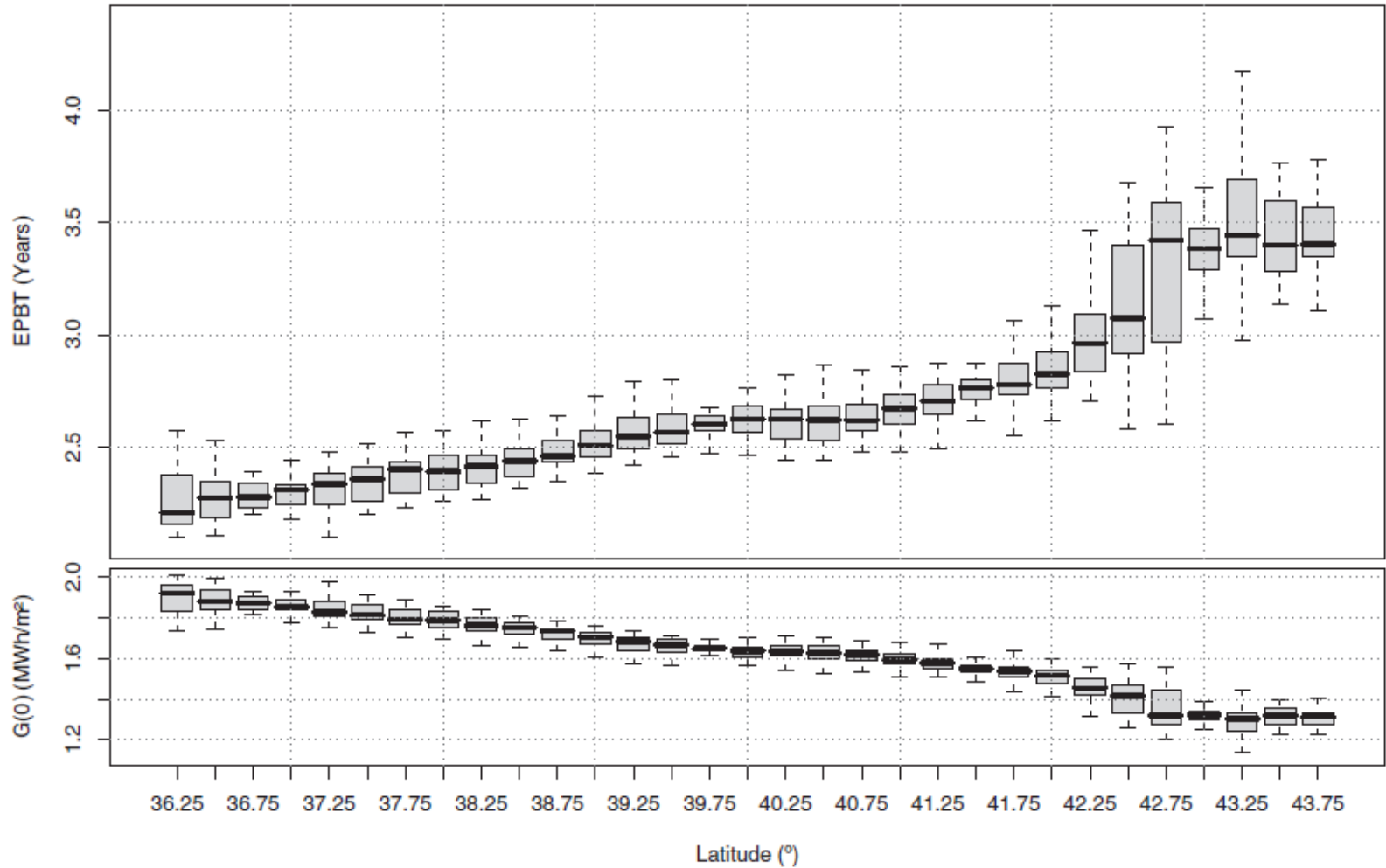
Fuente: Data: M.J. de Wild-Scholten 2013. Image: JRC European Commission. Graph: : PSE AG 2015 [Photovoltaic Report, Fraunhofer ISE, November 2015](#)

Para un sistema instalado en Catania (Sicilia, Italia) el el tiempo de retorno energético es inferior a 2 años para cualquier tecnología fotovoltaica.



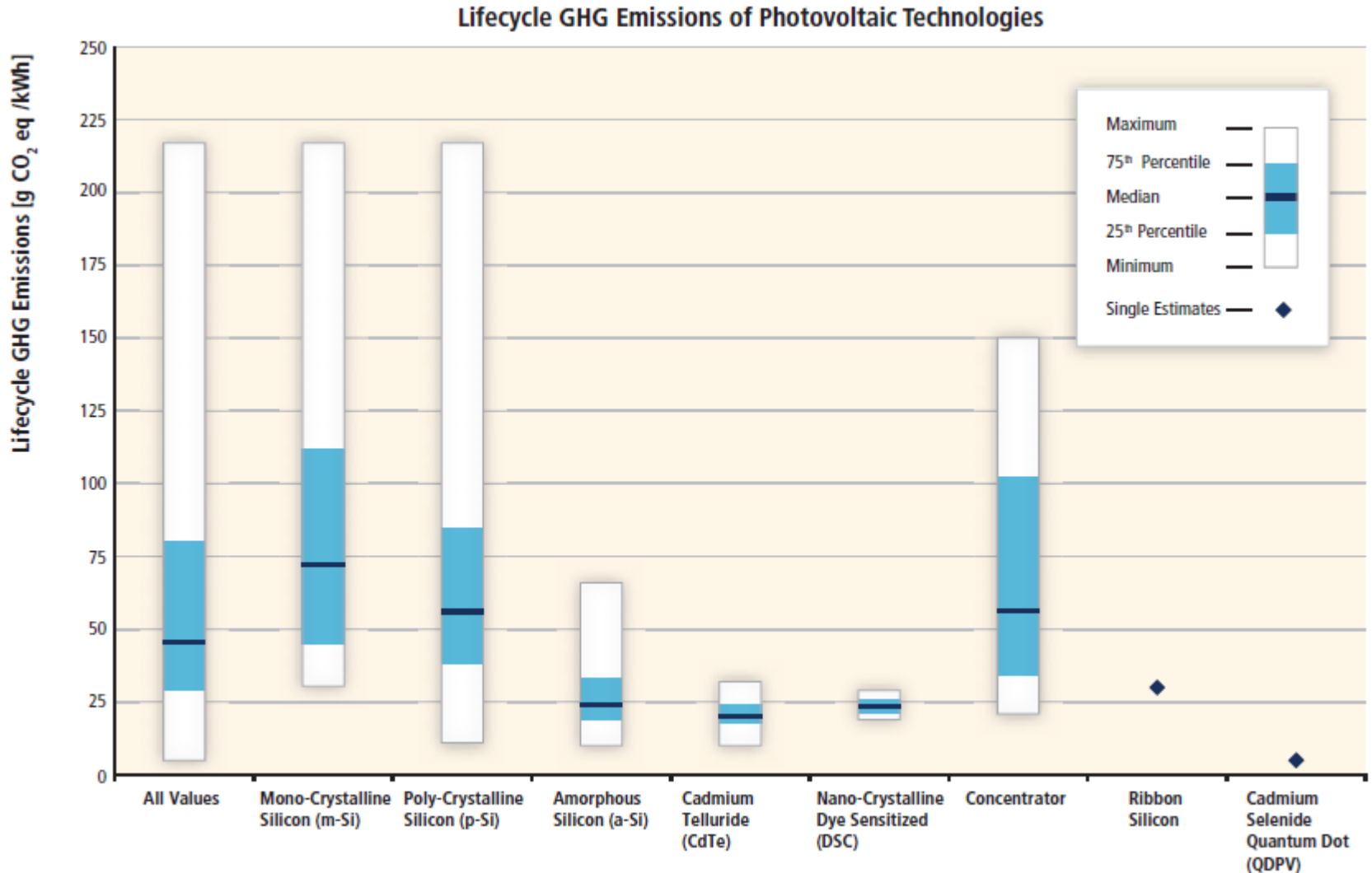
Fuente: Data: M.J. de Wild-Scholten 2013; CPV data: "Environmental Sustainability of Concentrator PV Systems: Preliminary LCA Results of the Apollon Project" 5th World Conference on PV Energy Conversion, 2010 Graph: PSE AG 2015 [Photovoltaic Report, Fraunhofer ISE, November 2015](#)

El tiempo de retorno energético para una instalación fotovoltaica de panel plano con seguimiento en dos ejes y latitud entre 30 y 45° está comprendido entre 2 y 3.5 años.



Fuente: [O. Perpiñan et al., Energy payback time of grid connected PV systems. Comparison between tracking and PV systems. Prog. In Phot.: Res. And App. Vol17, p.137-147, 2009](#)

Emisiones de gases de efecto invernadero por kilovatio-hora generado mediante distintas tecnologías fotovoltaicas. El análisis de ciclo de vida incluye las emisiones asociadas a la fabricación, instalación, operación y desmantelamiento.



Fuente: [Renewable Energy in the Context of Sustainable Energy. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011.](#)

Evolución del coste, tiempo de retorno energético y emisiones de gases de efecto invernadero publicadas en un reciente artículo del grupo Nature.

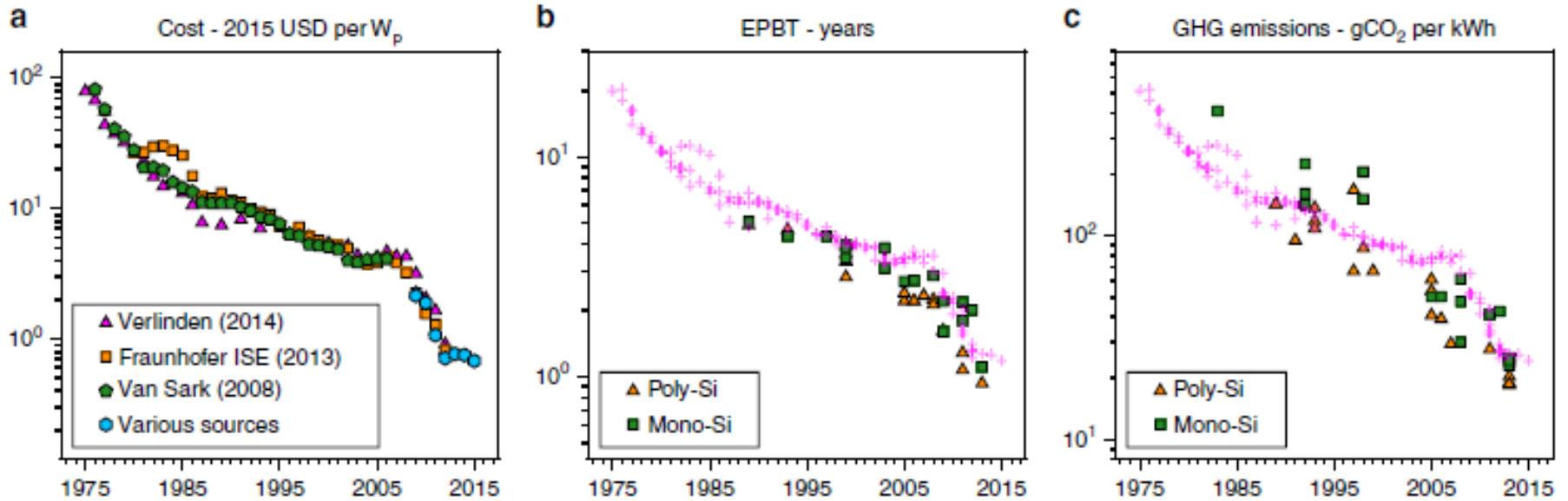
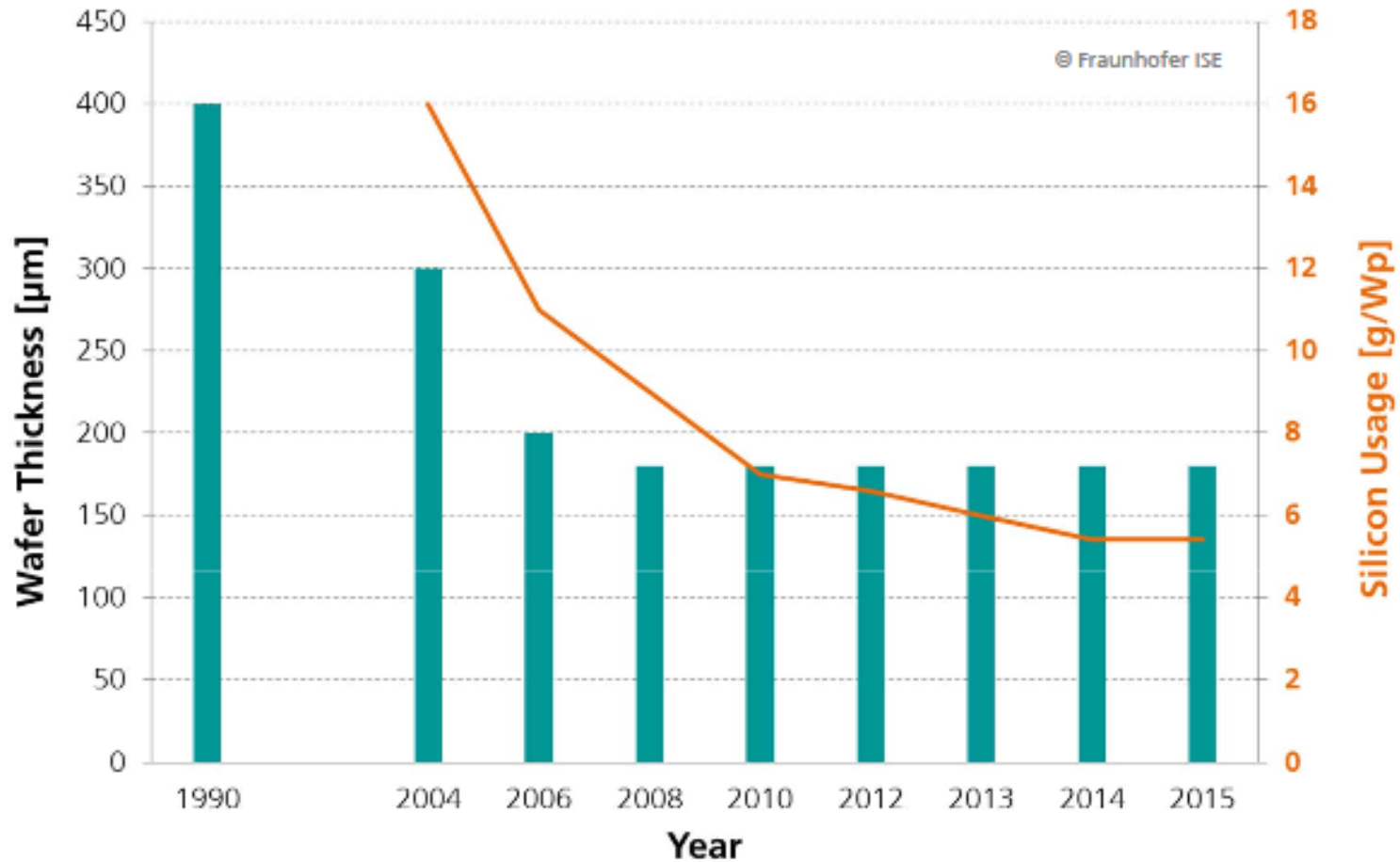


Figure 2 | Development of cost and environmental impact of PV. (a) Development of average module selling price over time, in 2015 USD per W_p . Data from^{16,25,26,34,35}. (b) Development of energy payback time over time. (c) Development of greenhouse gas emissions from PV electricity over time. The magenta crosses in (b,c) are an overlay of the cost data from (a).

Fuente: [A. Louwen et al., Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development, *Nature Communications*,13728 \(2016\)](#)

Evolución del espesor de la oblea de silicio (μm) y uso de silicio (g/Wp).

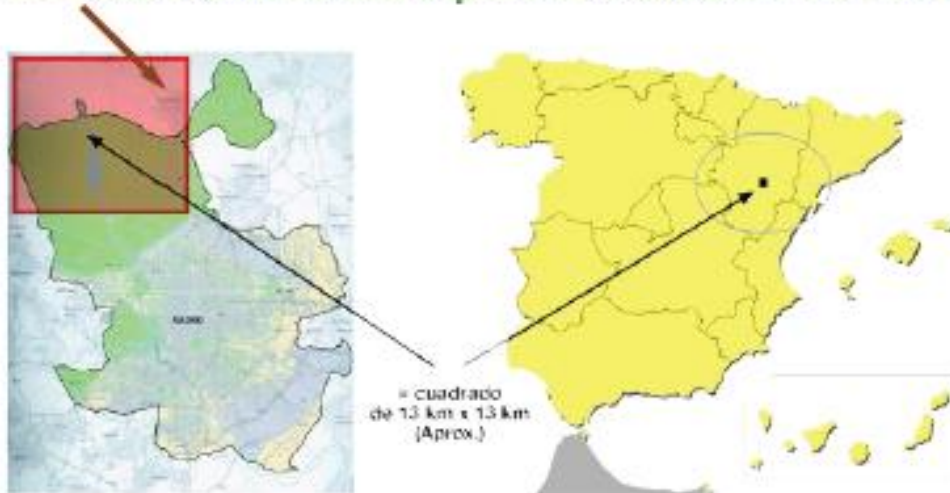


Fuente: Data: until 2012: EU PV Technology Platform Strategic Research Agenda, from 2012: c-Si Roadmap ITRPV; 2015.
Graph: [Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report, updated: 17 November 2016](#)

Superficie ocupada por
fotovoltaica

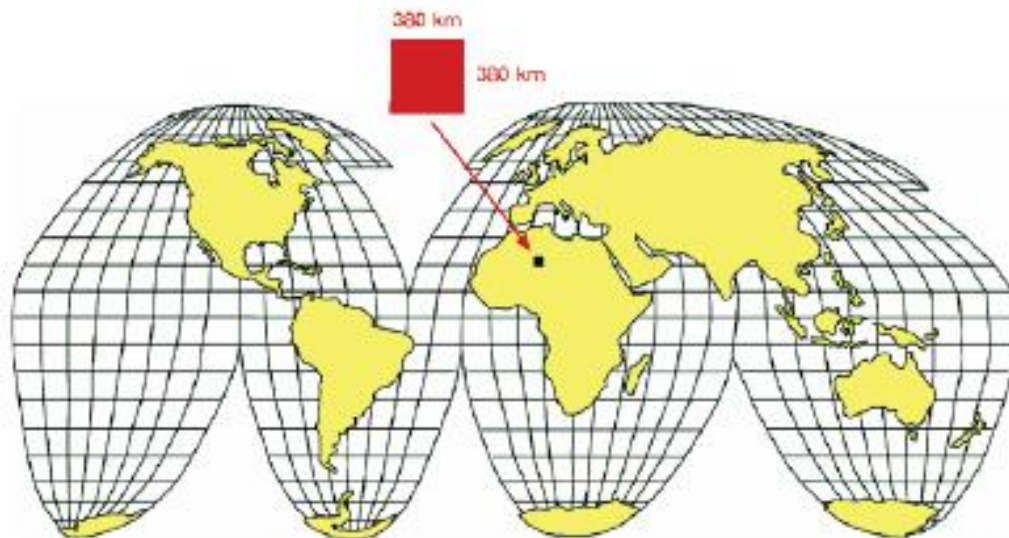
- Necesidades de superficie para cubrir el 8% (*) de las necesidades eléctricas en España:

necesidades eléctricas españolas = cuadrado de 13 km x 13 km



- La energía eléctrica consumida mundialmente se atiende con 0,15 millones de km² de fotovoltaica(*):

necesidades eléctricas mundiales = cuadrado de 380 km x 380 km



**Superficie necesaria para cubrir
con energía solar fotovoltaica la
demanda eléctrica en España
(53x53 km²) ¹**

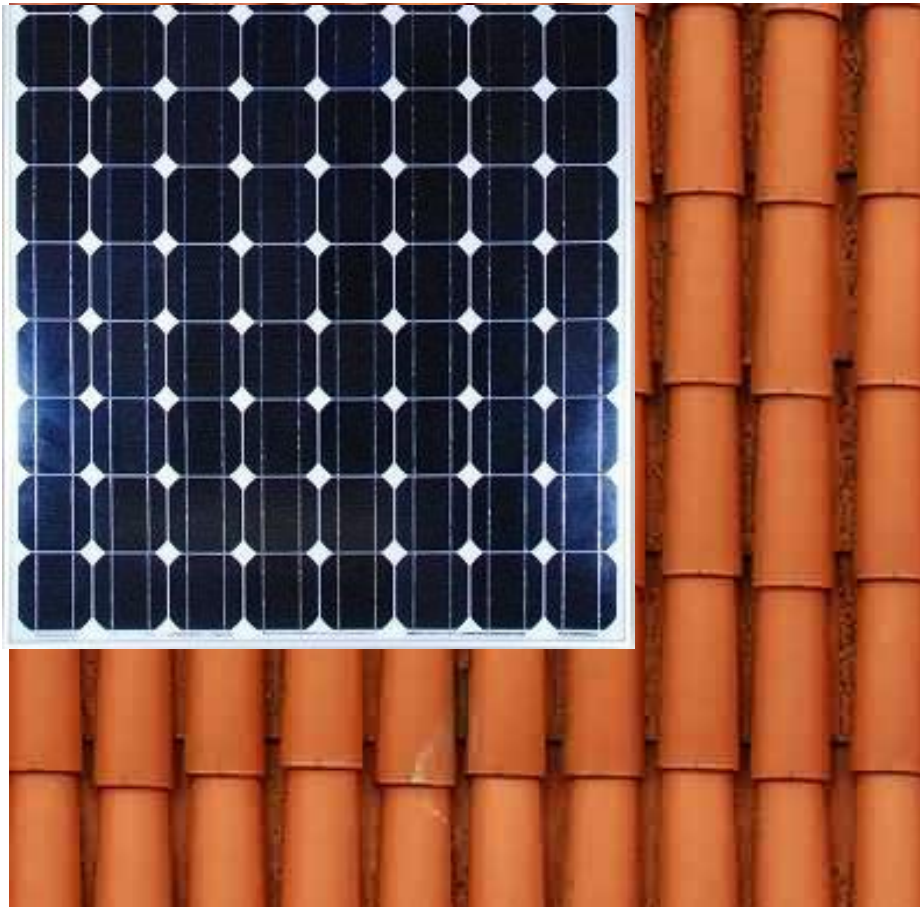
**Superficie cubierta por carreteras
en España (86x86 km²) ²**



¹)Asumiendo eficiencia de panel FV del 15%, porcentaje de uso del suelo del 55%, PR=0,75, degradación anual de módulo 0,7%, 1.500 horas equivalentes, y demanda total de electricidad en 2013, 246TWh.

²) Asumiendo anchura media de carreteras y autovías de 20 y 50 m respectivamente

Superficie necesaria para cubrir con energía solar fotovoltaica el 100% de la demanda eléctrica doméstica en España (21x21 km²)¹



Superficie de tejado en España (32x32 km²)²

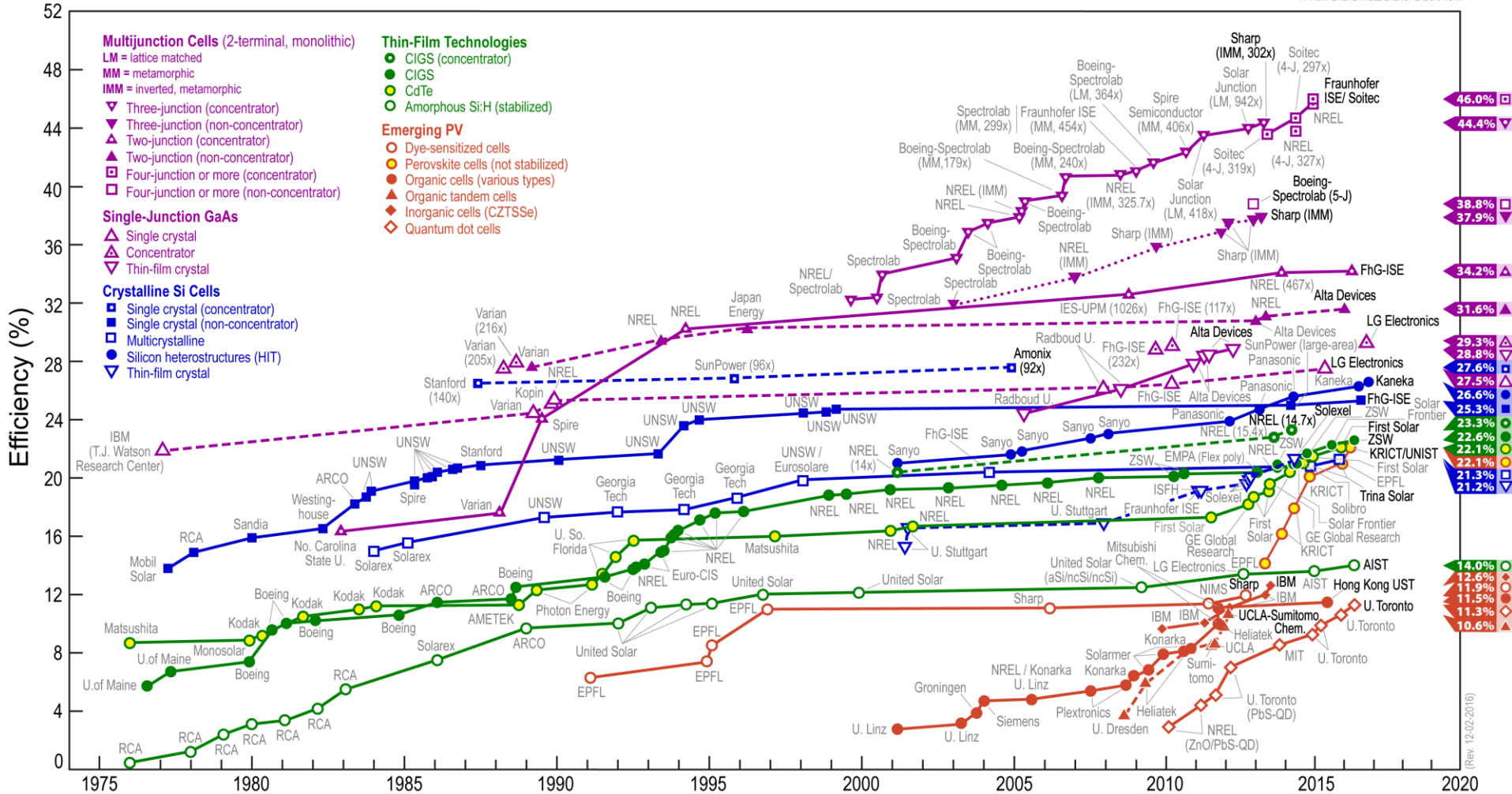
¹)Asumiendo eficiencia de panel FV del 15%, 1.300 horas equivalentes y demanda doméstica de electricidad en 2013, 84TWh.

²)Calculado utilizando el Censo de Población y Vivienda 2011

Diferentes tecnologías fotovoltaicas

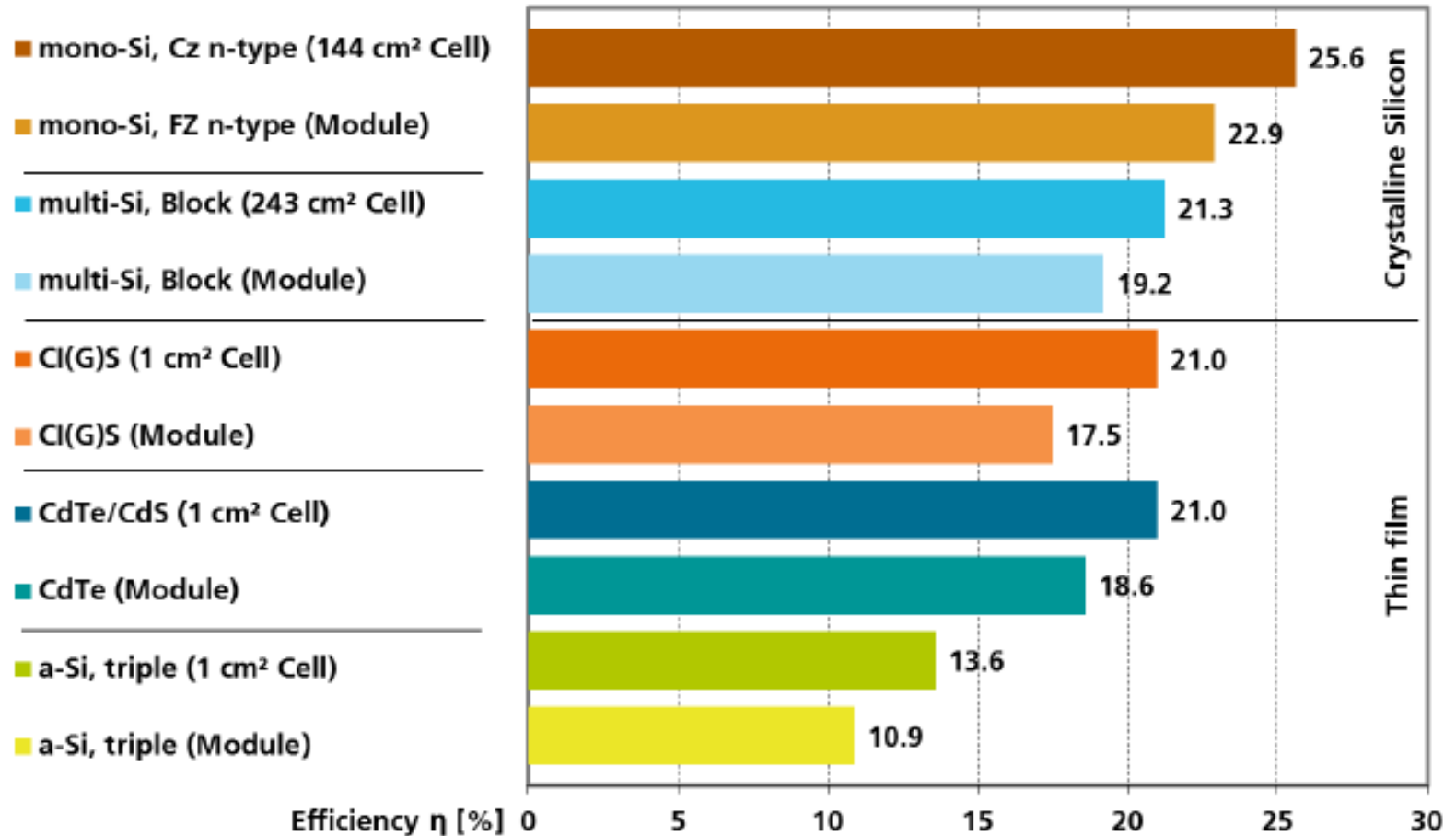
Evolución de la eficiencia de células de diferentes tecnologías.

Best Research-Cell Efficiencies



Fuente: [Best Research-Cell Efficiencies](#), National Renewable Energy Laboratory, EEUU

Comparación de eficiencias de diferentes tecnologías: Mejor eficiencia de módulo vs. Mejor eficiencia de célula.



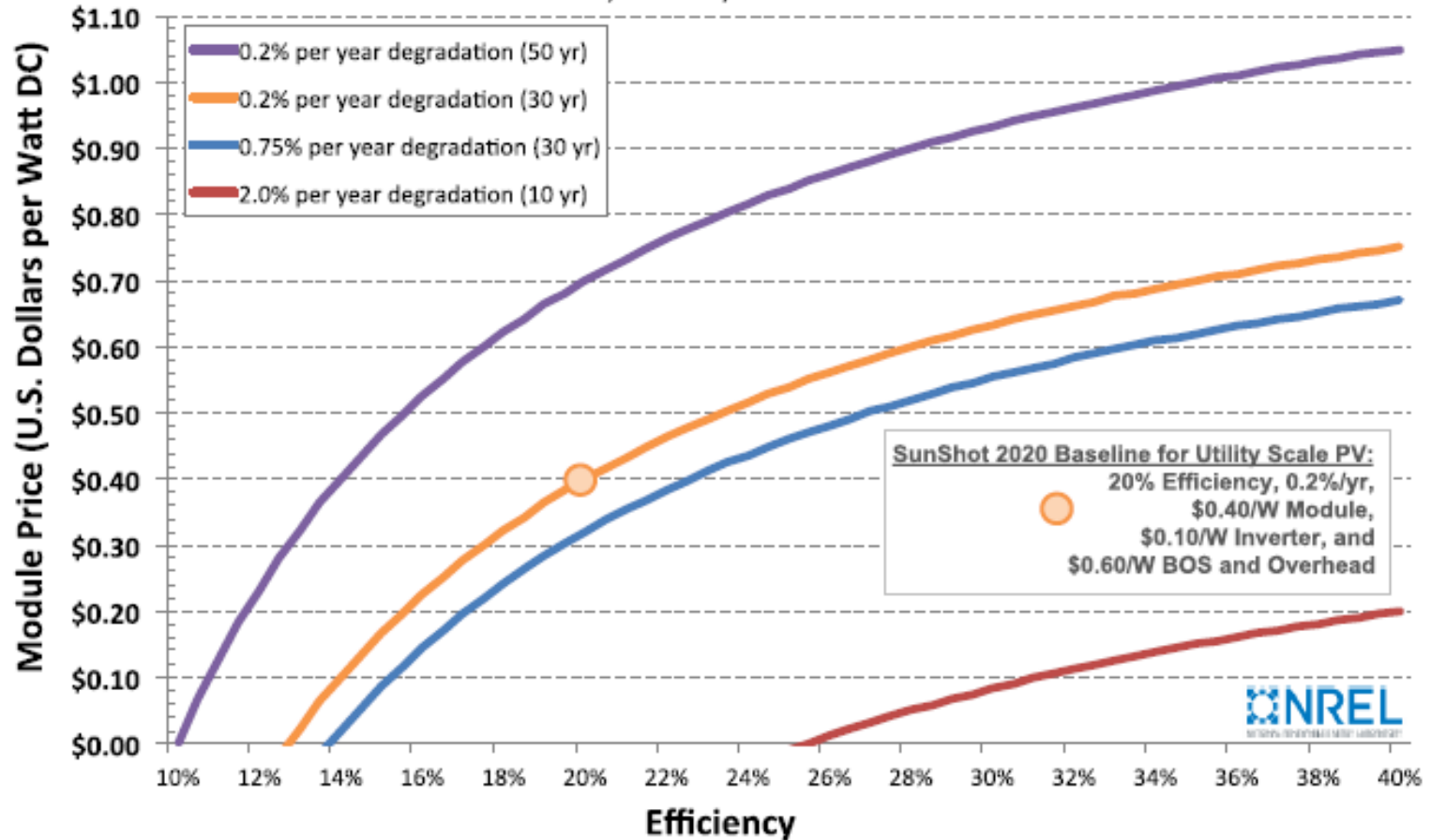
Fuente: [Green et al., Solar Cells Efficiency Tables \(Version 49\) Prog. in Phot.: Res. And App. 2015](#)

Graph : [Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report, updated: 17 November 2016](#)

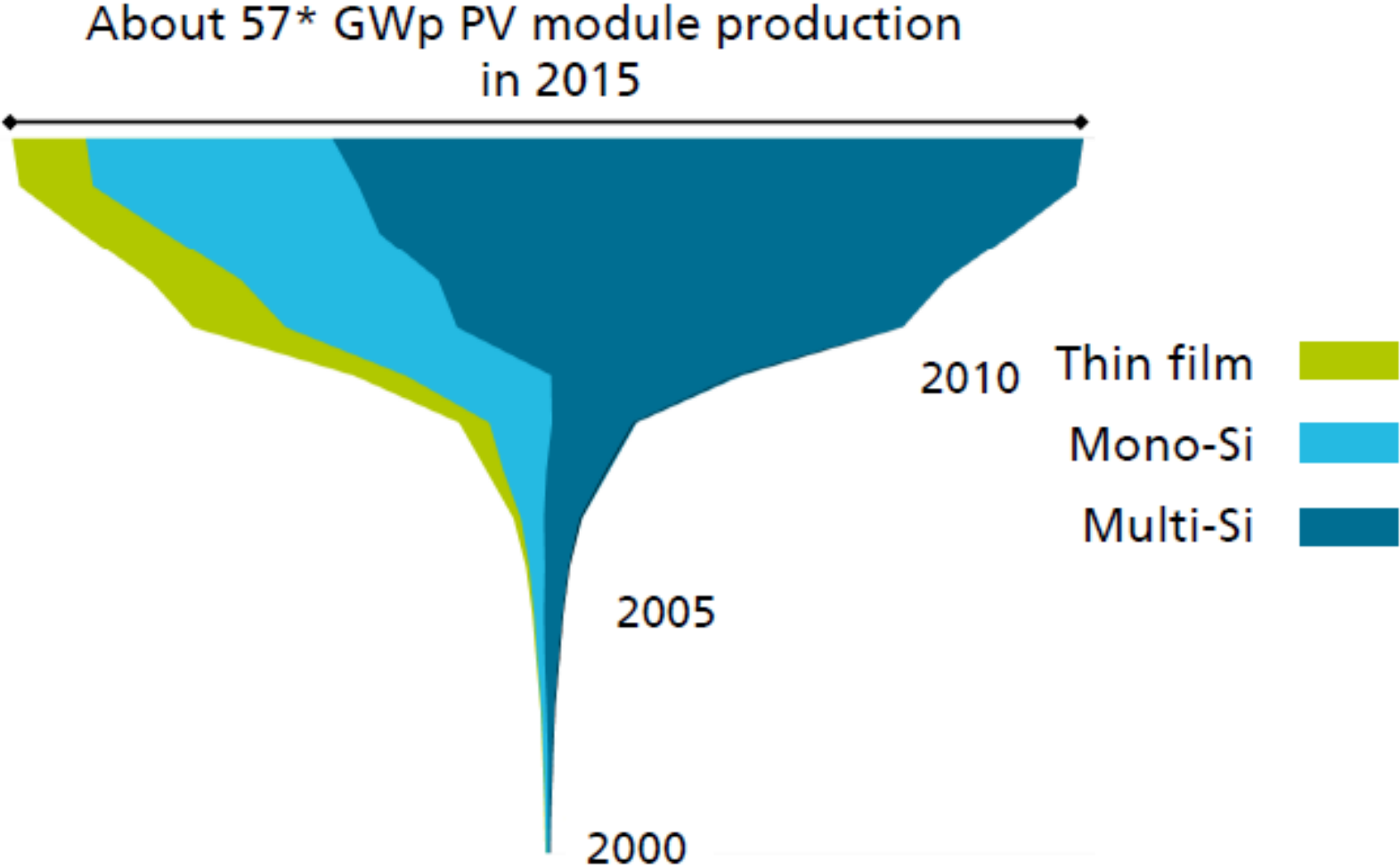
Permutaciones entre los valores de eficiencia de módulo, coste por vatio, vida útil y degradación que pueden darse para alcanzar el objetivo de \$0,06/kWh (estimaciones del programa SunShot de EEUU).

Metric Sets to Achieve the Utility Scale SunShot Goal

Iso-LCOE Curves of 6 cents per kWh Without Federal or State Incentives
and With 1,480 kWh/kW First-Year Performance



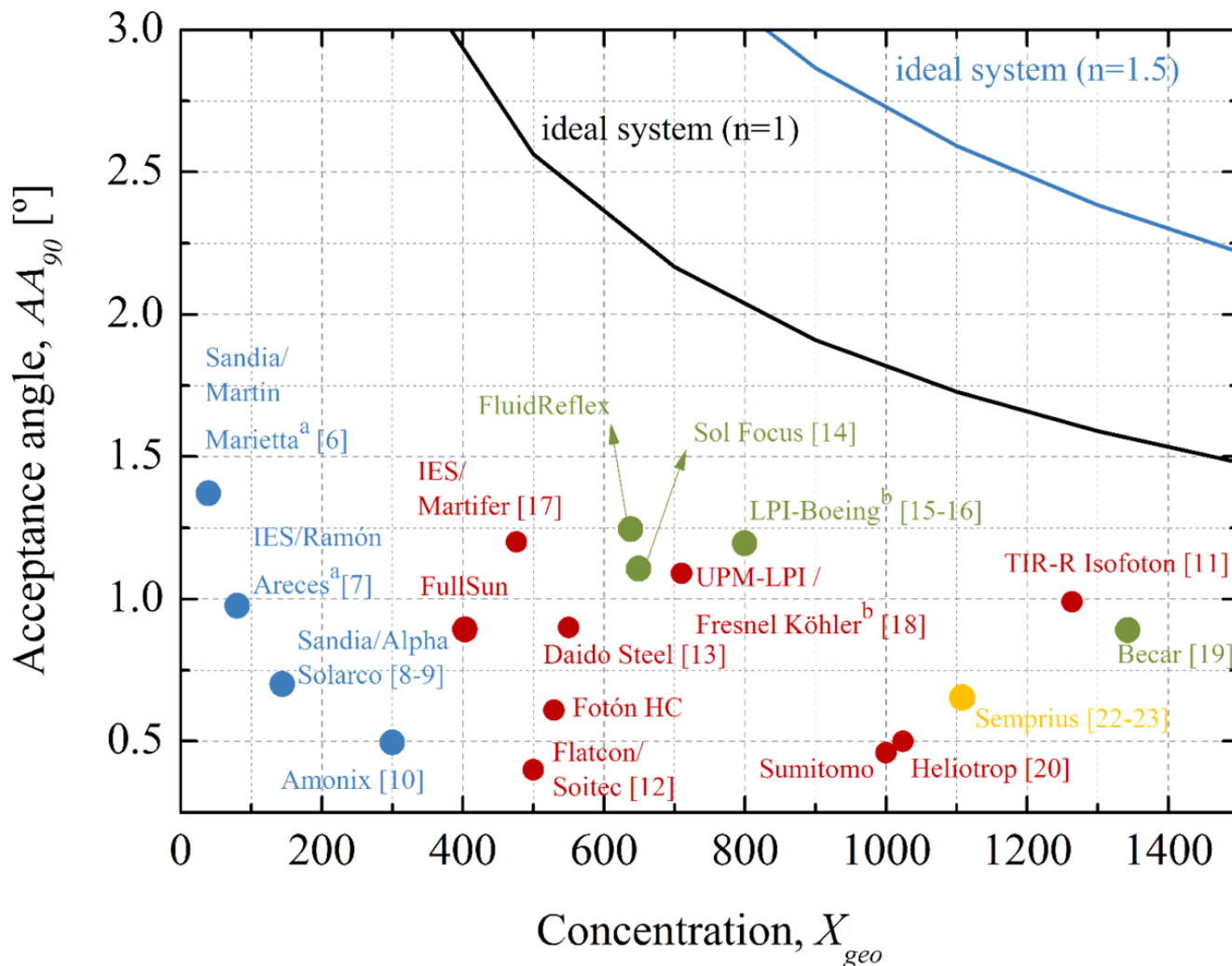
En 2015, la producción fotovoltaica mundial incluyó 43.9 GW de silicio multicristalino, 15.1 GW de silicio monocristalino y 4.2 GW de lámina delgada.



Fuente: [Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report, updated: 17 November 2016](#)

Energía solar fotovoltaica de concentración

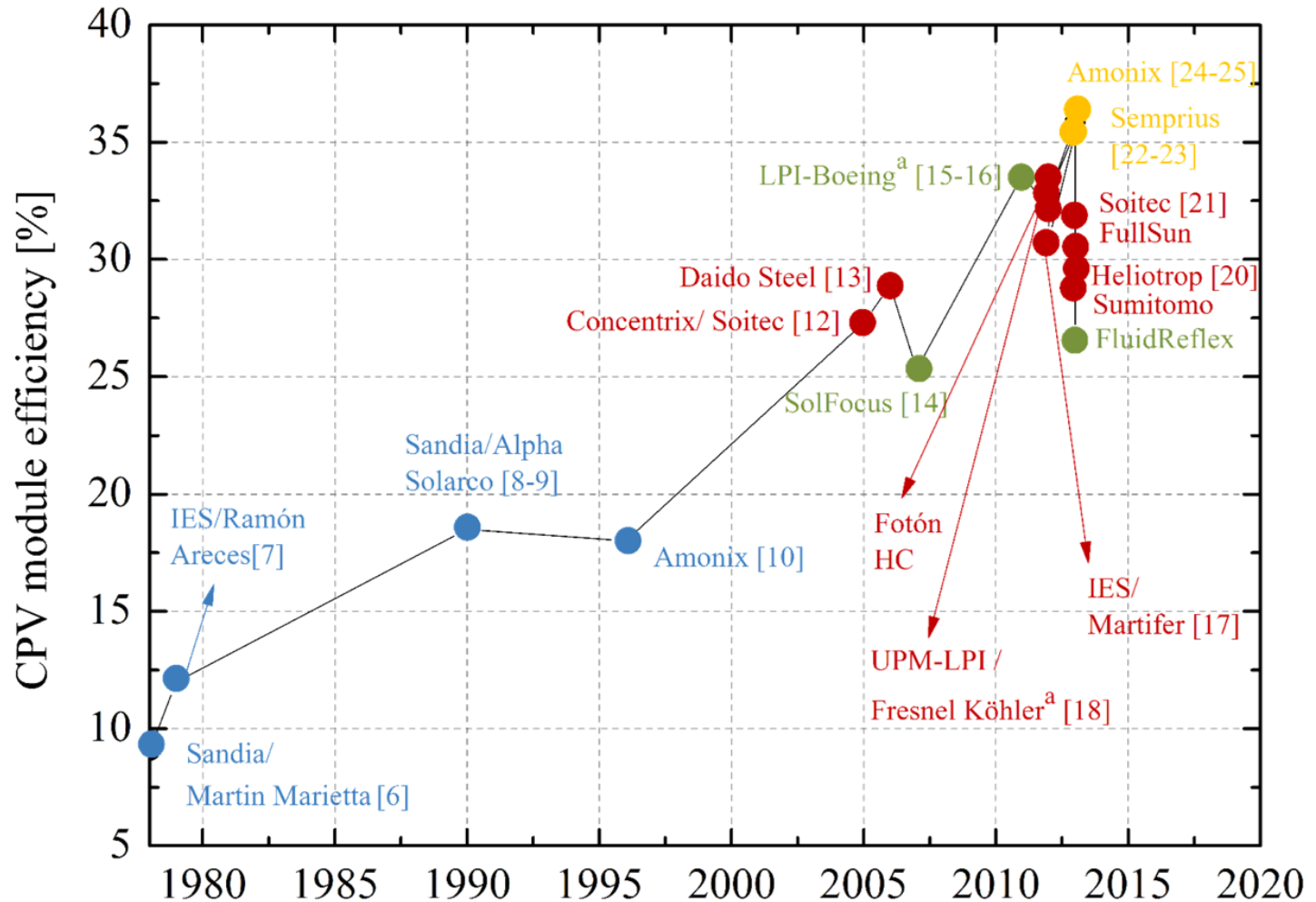
Aceptancia vs. concentración en módulos de concentración fotovoltaica.



Leyenda: azul; sistemas con lentes de Fresnel y células de silicio; rojo; sistemas con lentes de Fresnel y células multiunión clásicas; verde; sistemas reflexivos con células multiunión clásicas; amarillo; sistemas con lentes de Fresnel y células multiunión de nueva generación.

Eficiencia de módulos de concentración fotovoltaica

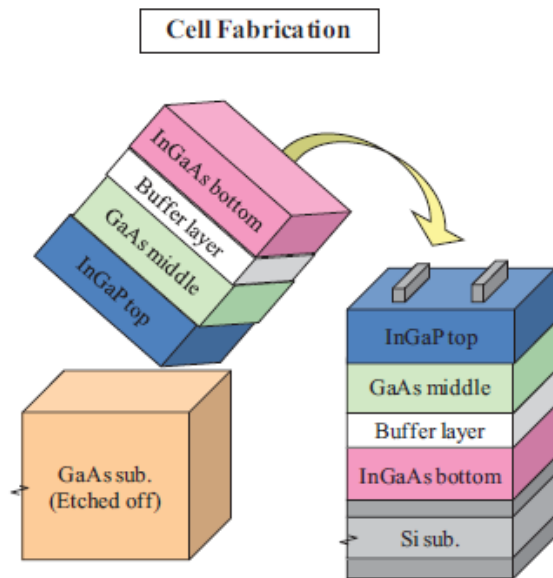
CPV module historical achievements



Leyenda: azul; sistemas con lentes de Fresnel y células de silicio; rojo; sistemas con lentes de Fresnel y células multiunión clásicas; verde; sistemas reflexivos con células multiunión clásicas; amarillo; sistemas con lentes de Fresnel y células multiunión de nueva generación.

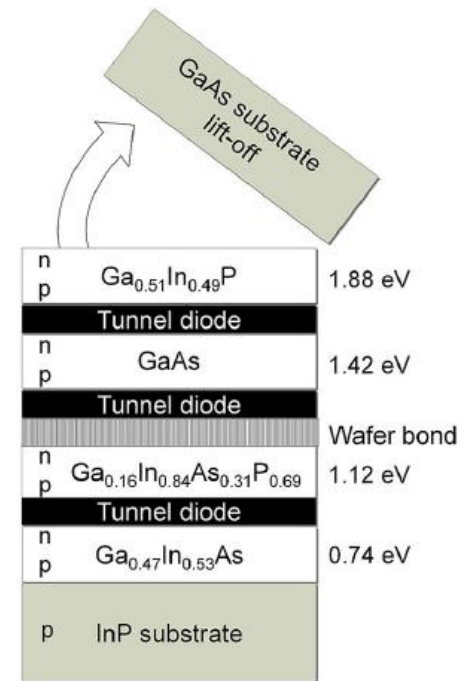
Células multiunión con eficiencias record.

3J solar cell record: Inverted Metamorphic GaInP/GaAs/GaInAs (Sharp, 44.4%)



Sasaki, T. et al., "Development of InGaP/GaAs/InGaAs inverted triple junction concentrator solar cells," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1556, pp. 22–25, 2013

4J solar cell record: wafer bonded GaInP/GaAs//GaInAsP/GaInAs (46.0%)



F. Dimroth et al., "Wafer bonded four-junction GaInP/GaAs//GaInAsP/GaInAs concentrator solar cells with 44.7% efficiency," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 22, no. 3, pp. 277–282, 2014.

Módulos de concentración con eficiencias record.

Soitec module (using 4J solar cells)
-> 38.9% certified record efficiency



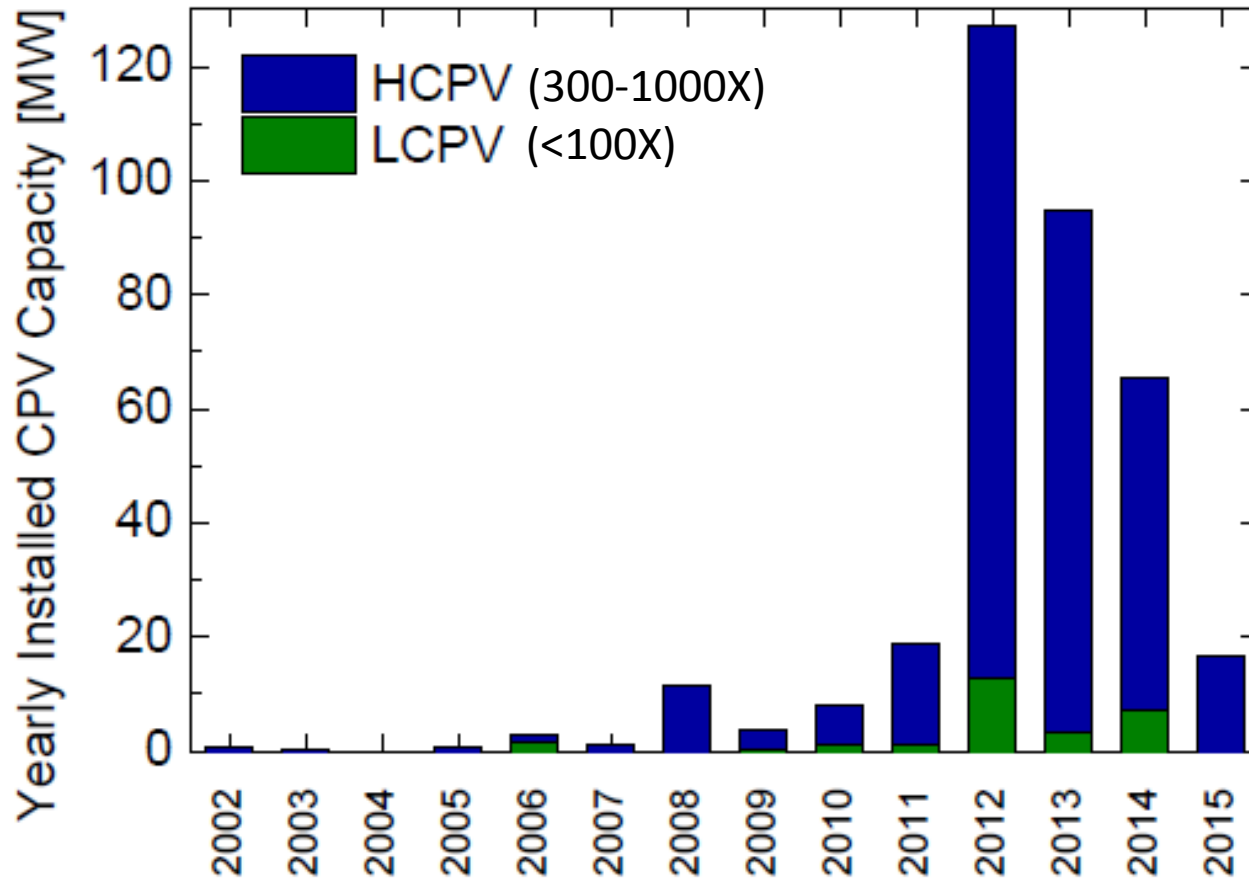
[Current status of Concentrator Photovoltaic \(CPV\) Technology](#), NREL, Fraunhofer- IES, September 2015

Semprius module (using 3J solar cells) -> 35.5% average efficiency

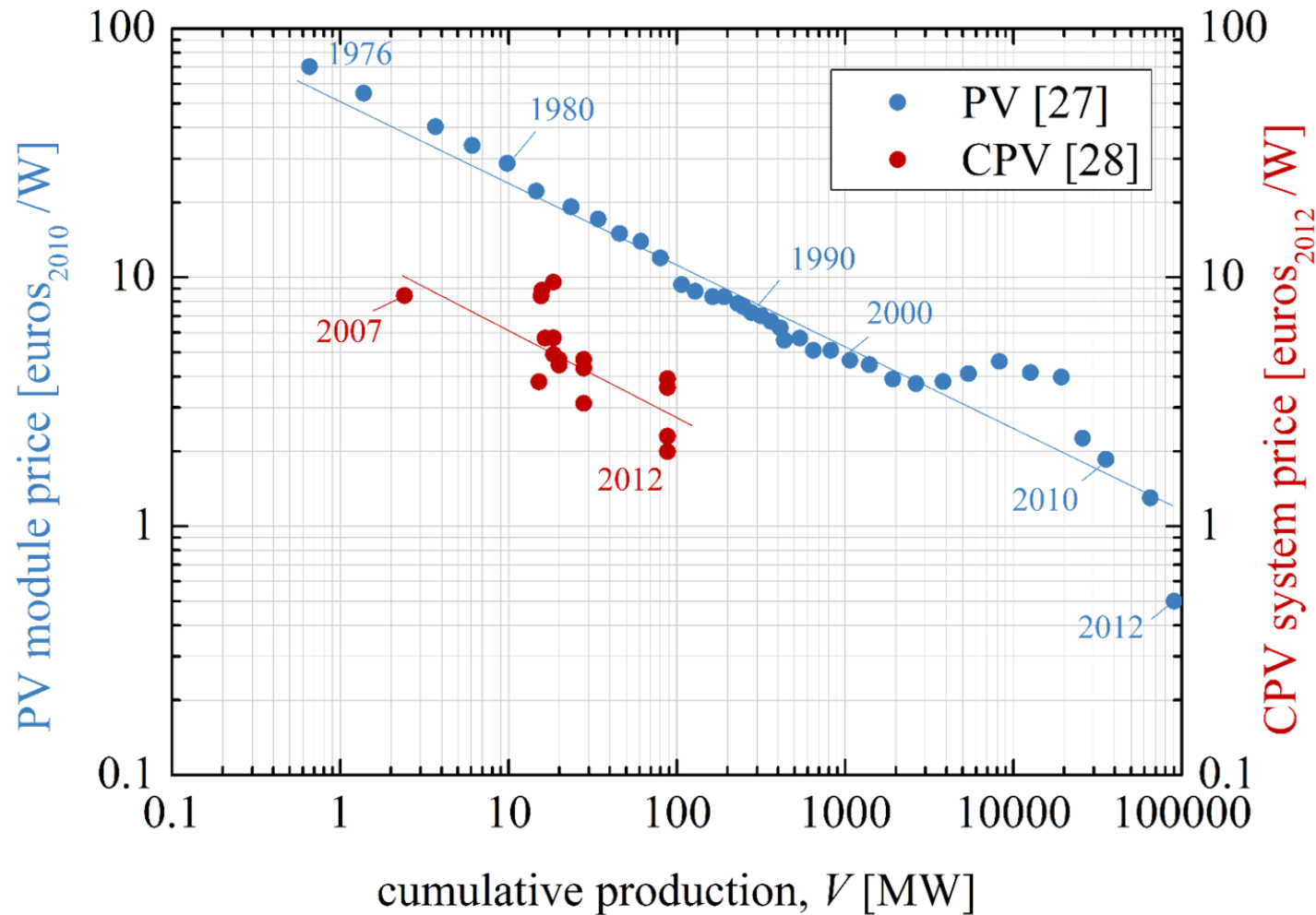


PRESS RELEASE September 2013, [Semprius' 35.5 Percent Efficiency Sets New Record for Commercially Available Solar Modules](#)

Capacidad anual instalada de fotovoltaica de baja (LCPV) y alta concentración (HCPV).

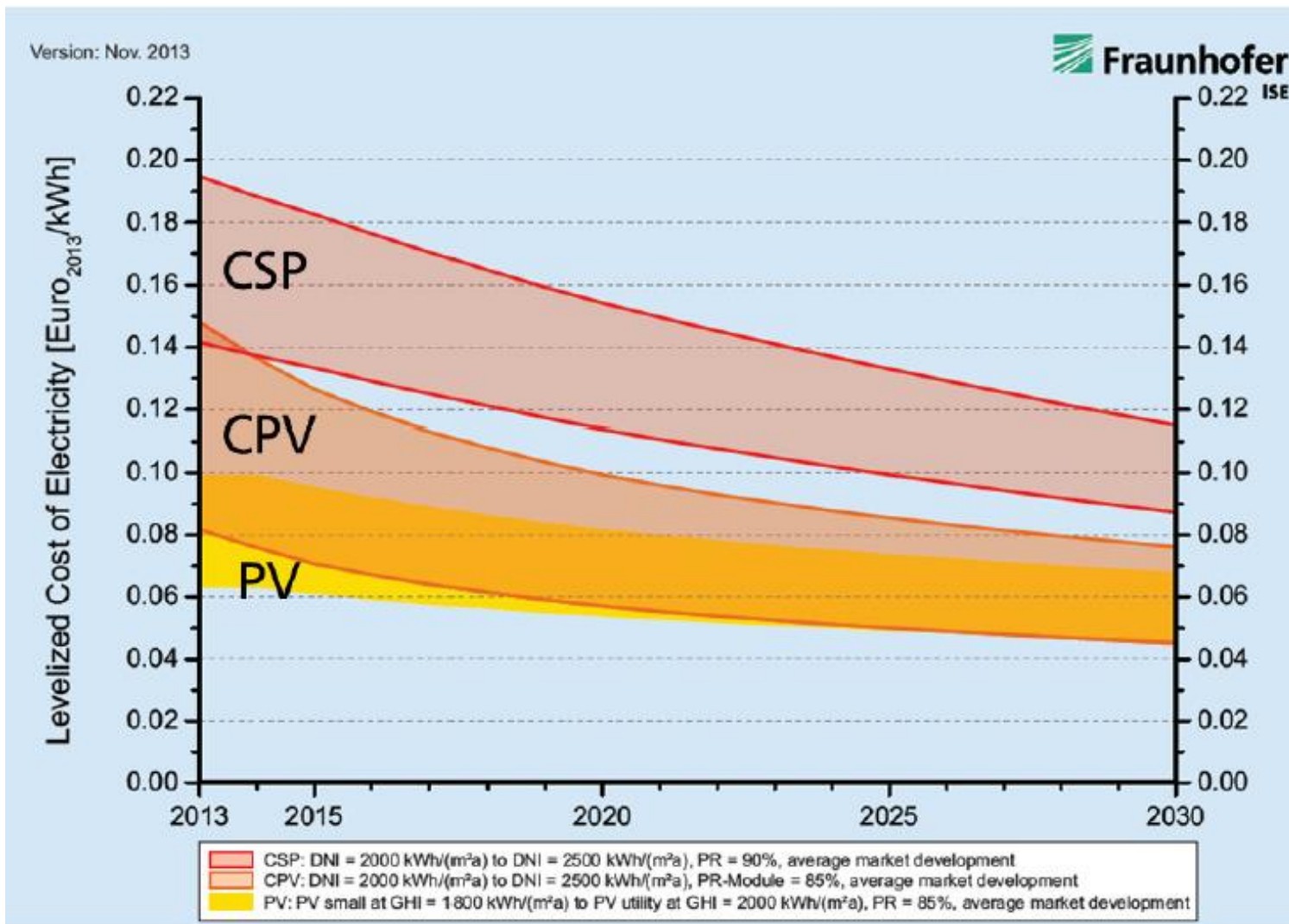


Evolución de la estimación del coste de fotovoltaica de panel plano y concentración.



* Los datos para el panel plano hacen referencia al coste del módulo y los datos para el sistema de concentración hacen referencia al sistema completo.

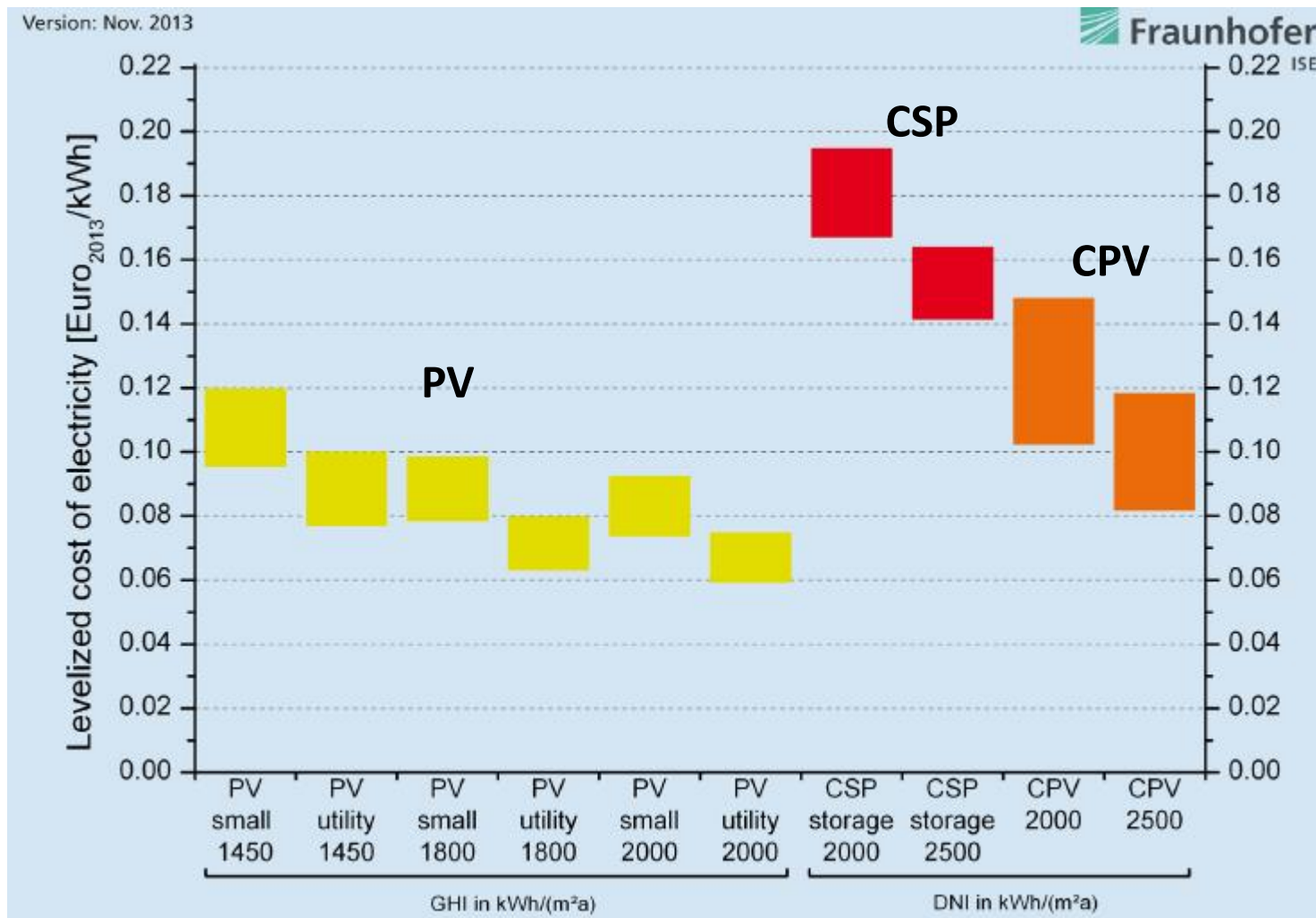
Predicción de la evolución de costes de la fotovoltaica (PV), fotovoltaica de concentración (CPV) y solar térmica (CSP).



[Levelized cost of electricity renewable energy technologies](#), Fraunhofer- ISE, November 2013

Assumptions: Prices: 1.4 - 2.2 €/Wp turn-key for CPV ; 1.0 - 1.4 €/Wp turn-key for PV; lifetime: 25 years; yearly operation cost: 35 €/kW; learning rate of 15 %; DNI for CSP and CPV: 2000 to 2500 kWh/m²y; GHI for PV: 1800 to 2000 kWh/m²y

Predicción de la evolución de costes de la fotovoltaica (PV), fotovoltaica de concentración (CPV) y solar térmica (CSP).



[Levelized cost of electricity renewable energy technologies](#), Fraunhofer- ISE, November 2013

Assumptions: Prices: 1.4 - 2.2 €/Wp turn-key for CPV ; 1.0 - 1.4 €/Wp turn-key for PV; lifetime: 25 years; yearly operation cost: 35 €/kW; learning rate of 15 %; DNI for CSP and CPV: 2000 to 2500 kWh/m²y; GHI for PV: 1800 to 2000 kWh/m²y

Evolución de eficiencias células, módulos y sistemas de concentración fotovoltaica.

