

El Instituto de
Energía Solar

40 años liderando la
energía solar fotovoltaica

Gráficos significativos energía solar fotovoltaica

Actualización: Febrero 2016



POLITÉCNICA

Instituto de Energía Solar

Actualización: Febrero 2016

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 algunas sugerencias de mejora escribe a marta.victoria@ies-def.upm.es y rodrigo.moreton@ies-def.upm.es

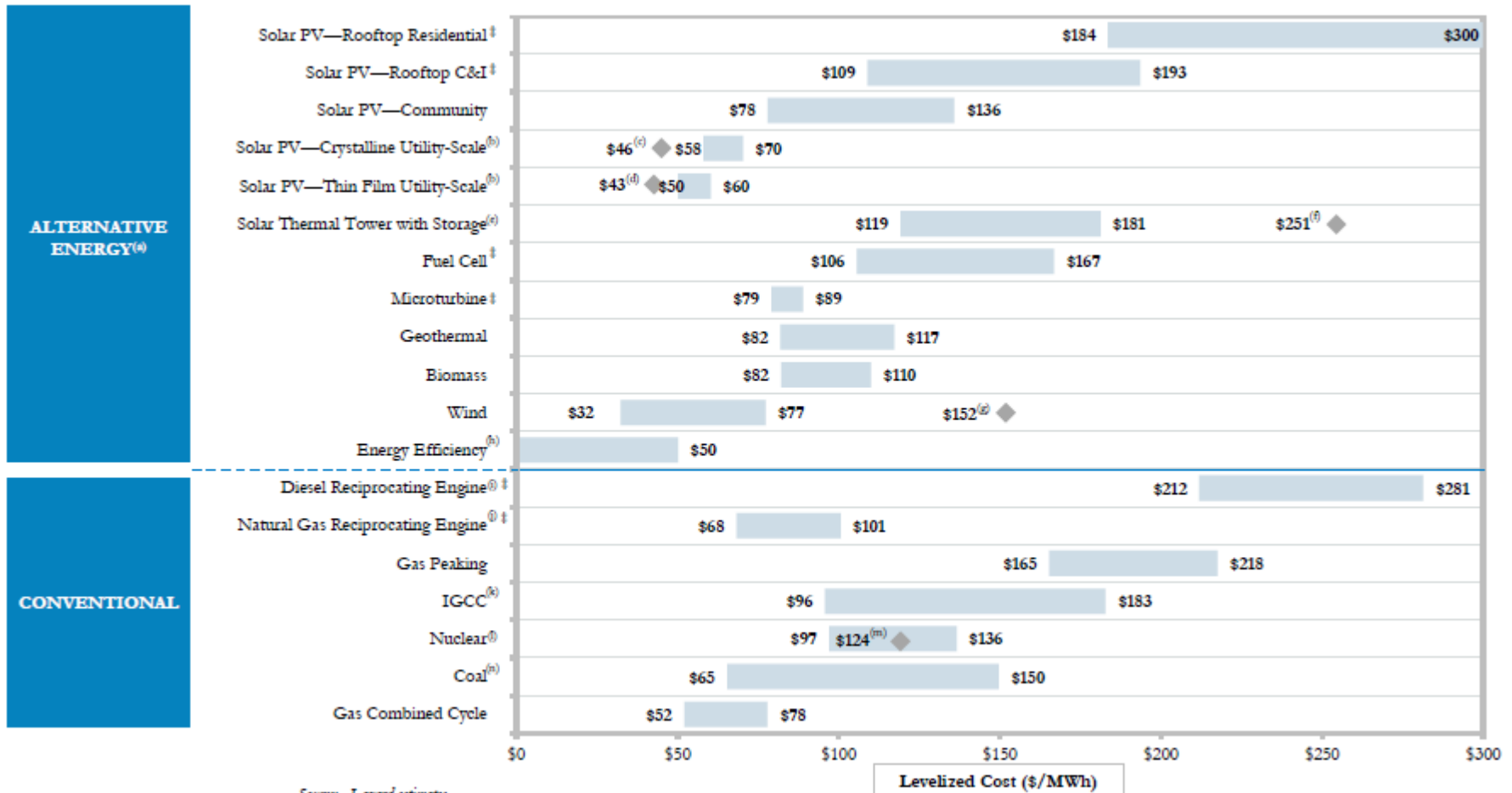
Índice

1. Precios y coste de la tecnología fotovoltaica
2. Generación fotovoltaica, potencia instalada en España, Europa y resto del mundo
3. Superficie ocupada por fotovoltaica
4. Tiempo de retorno energético
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

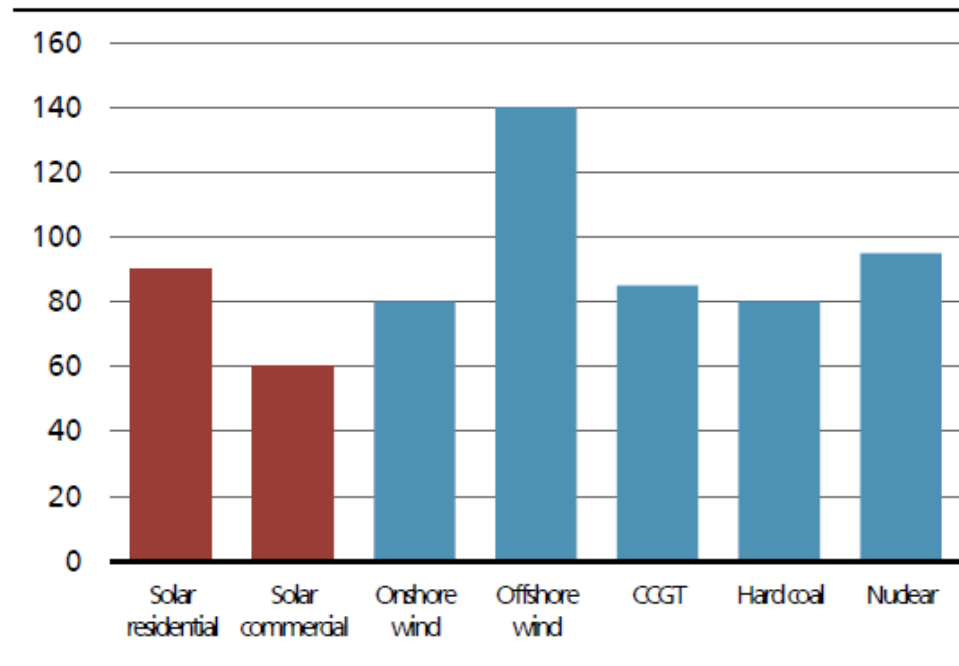
Unsubsidized Levelized Cost of Energy Comparison



Fuente: Noviembre 2015, [Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - version 9.0](#)

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

Figure 19: Solar new entrant cost (€/MWh) now competitive with conventional technologies

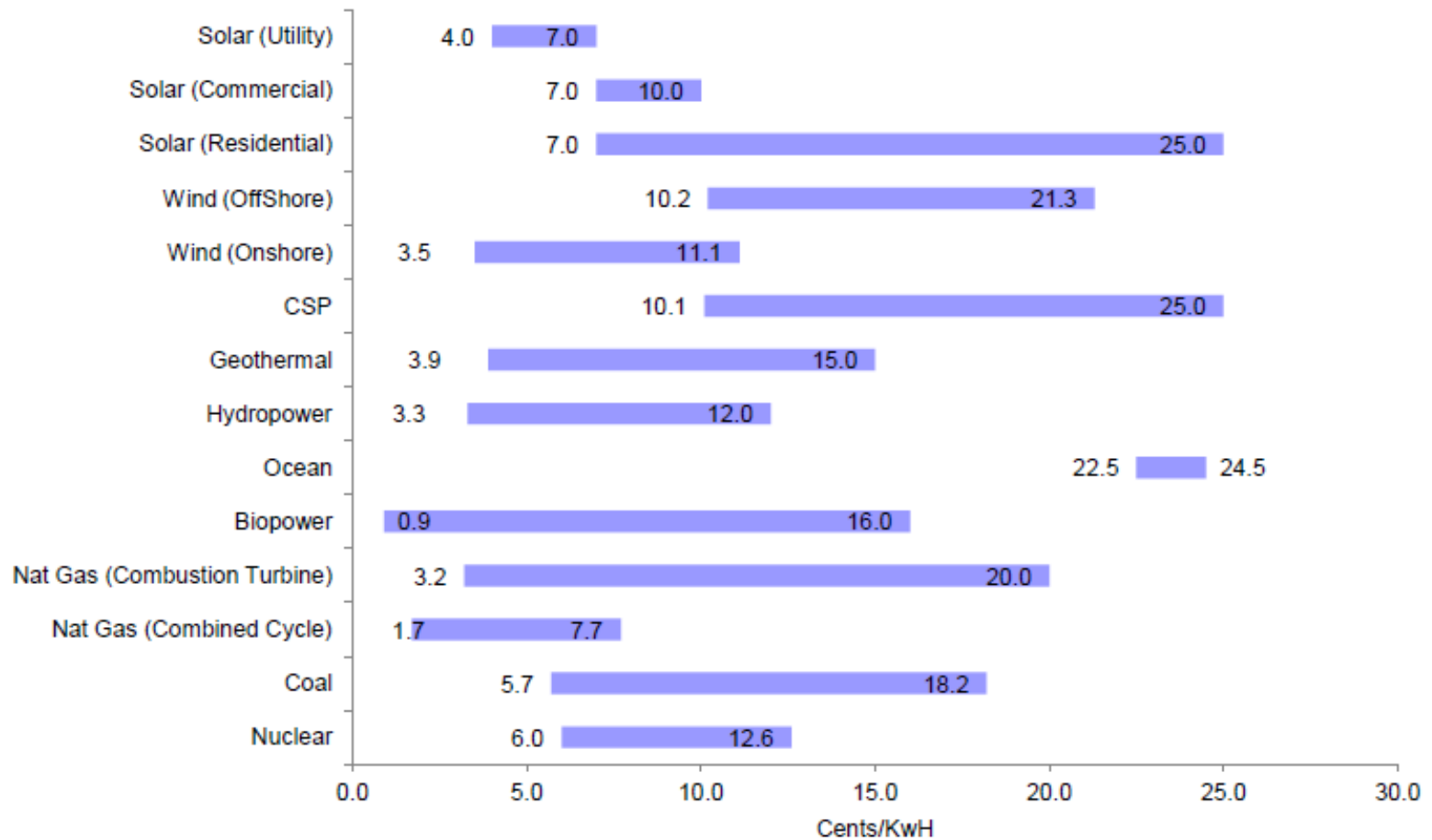


Source: UBS estimates

Note: Excludes cost of backup power for intermittent renewables and transmission cost for large-scale conventional plants.

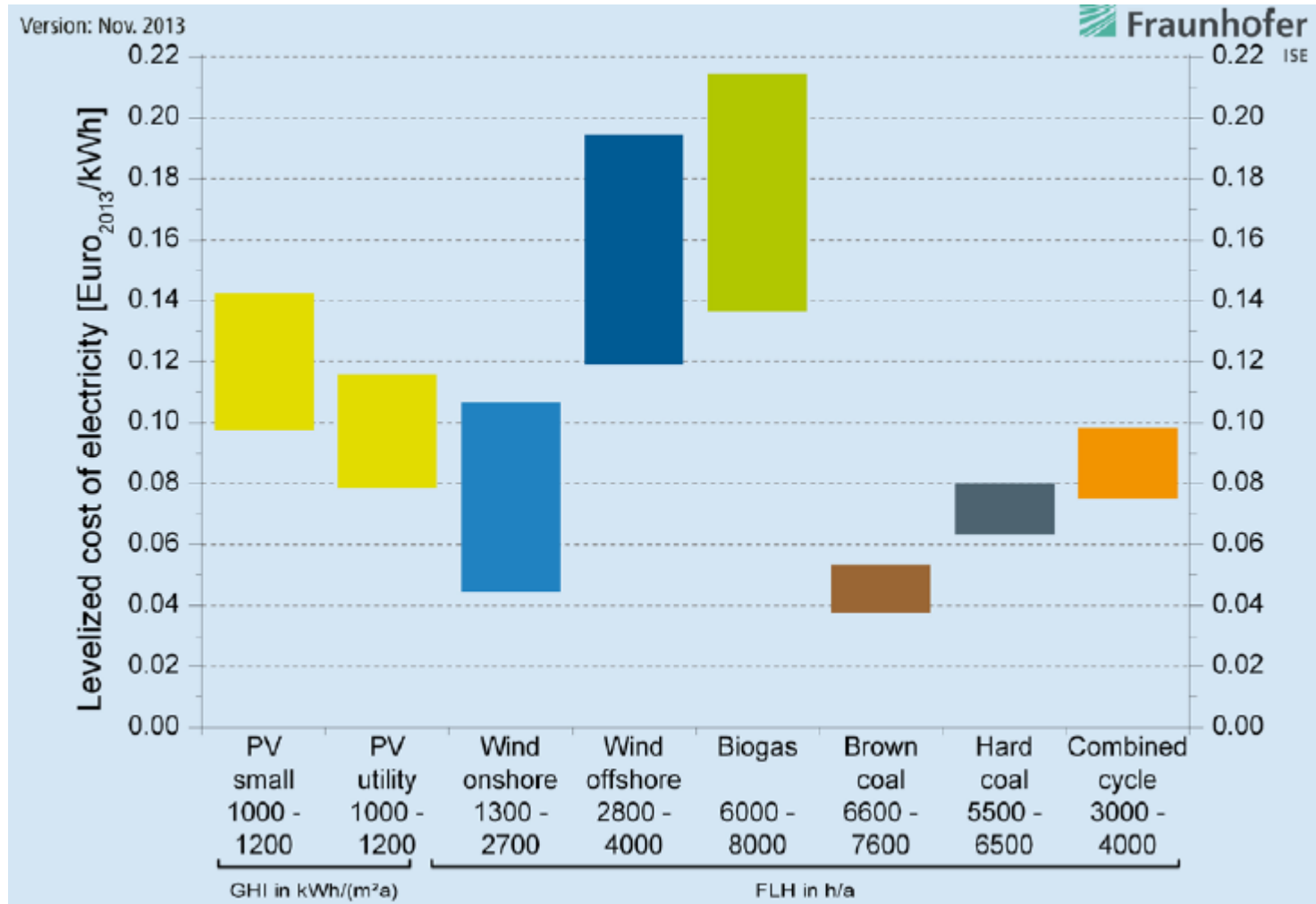
Fuente: UBS, Agosto 2015, [Will solar, batteries and electric cars re-shape the electricity system?](#)

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



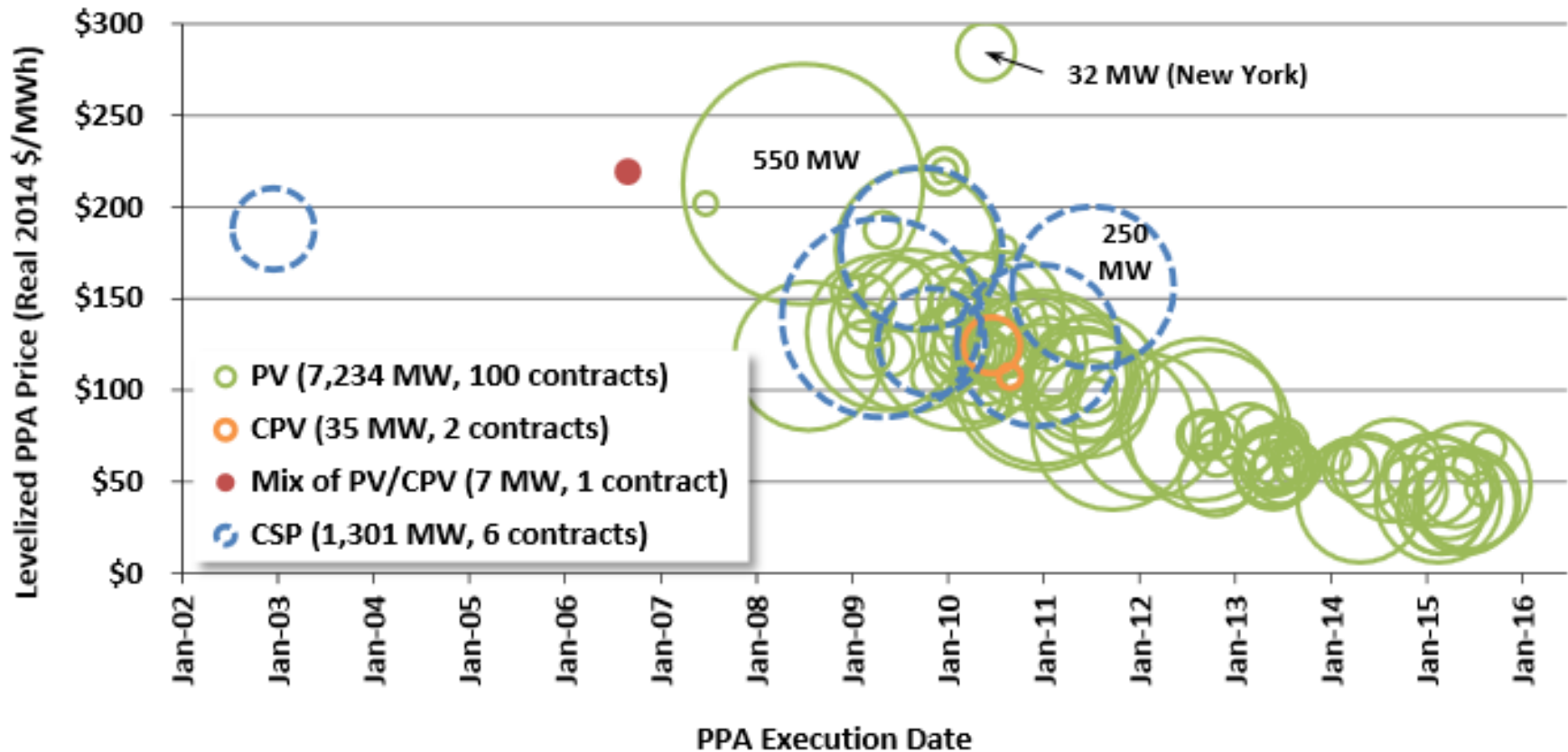
Fuente: Deutsche Bank, Febrero 2015, [“Solar Grid Parity in a Low Oil Price Era”](#)

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

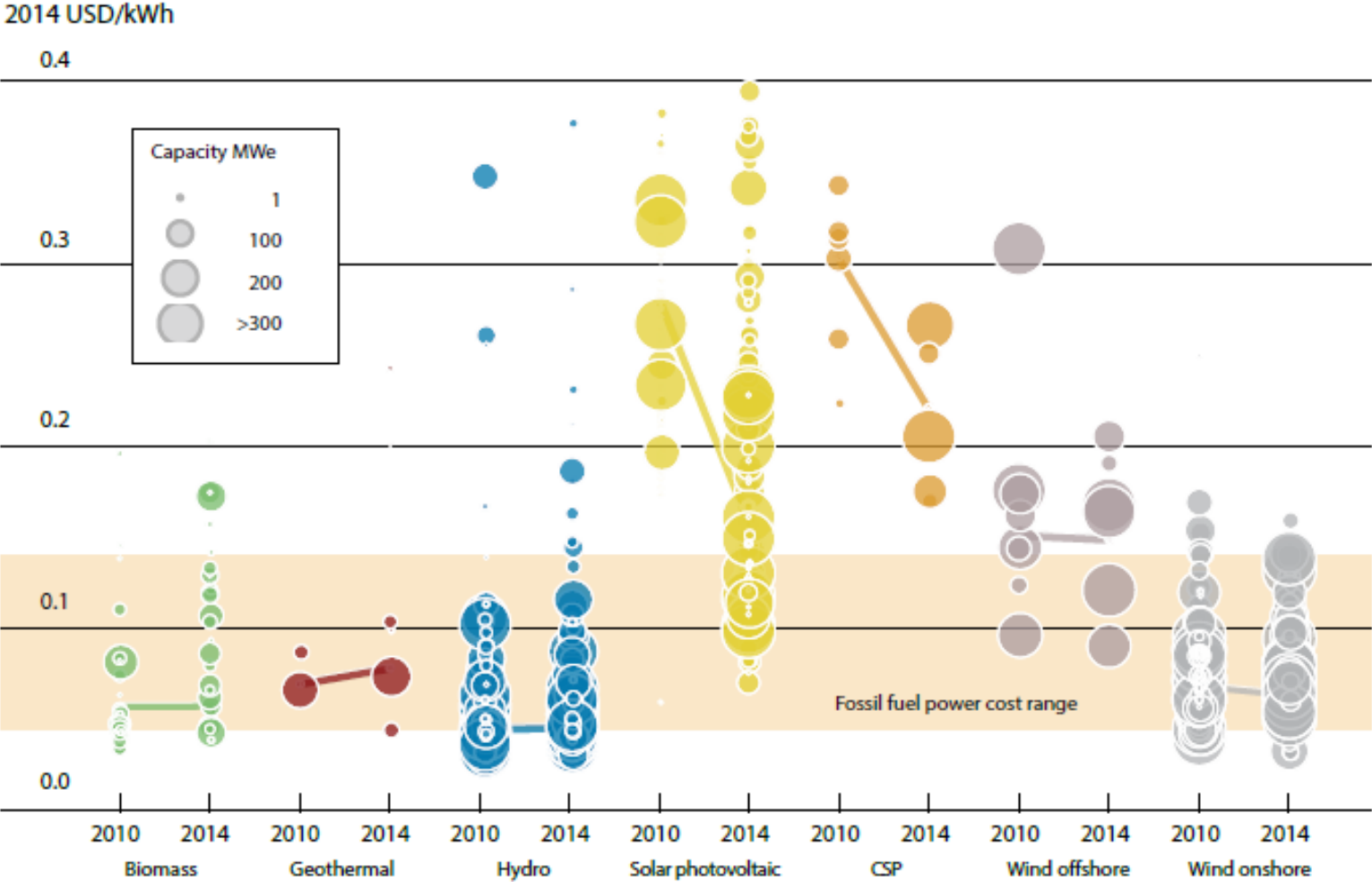


Fuente: Fraunhofer- ISE, November 2013, [Levelized cost of electricity renewable energy technologies](#)

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

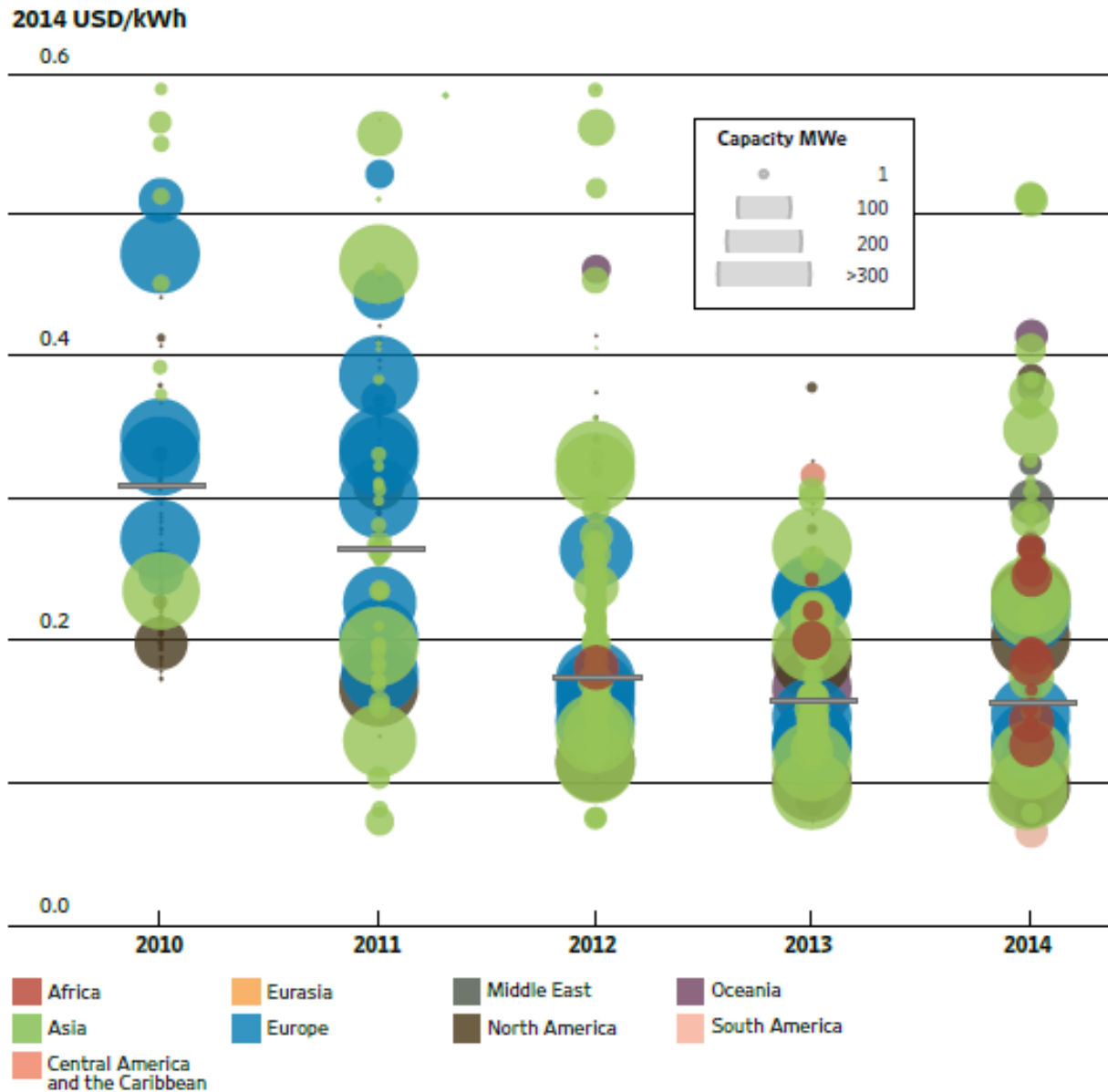


El coste del kilovatio-hora producido con fotovoltaica ya compite con el resto de fuentes de generación tradicionales

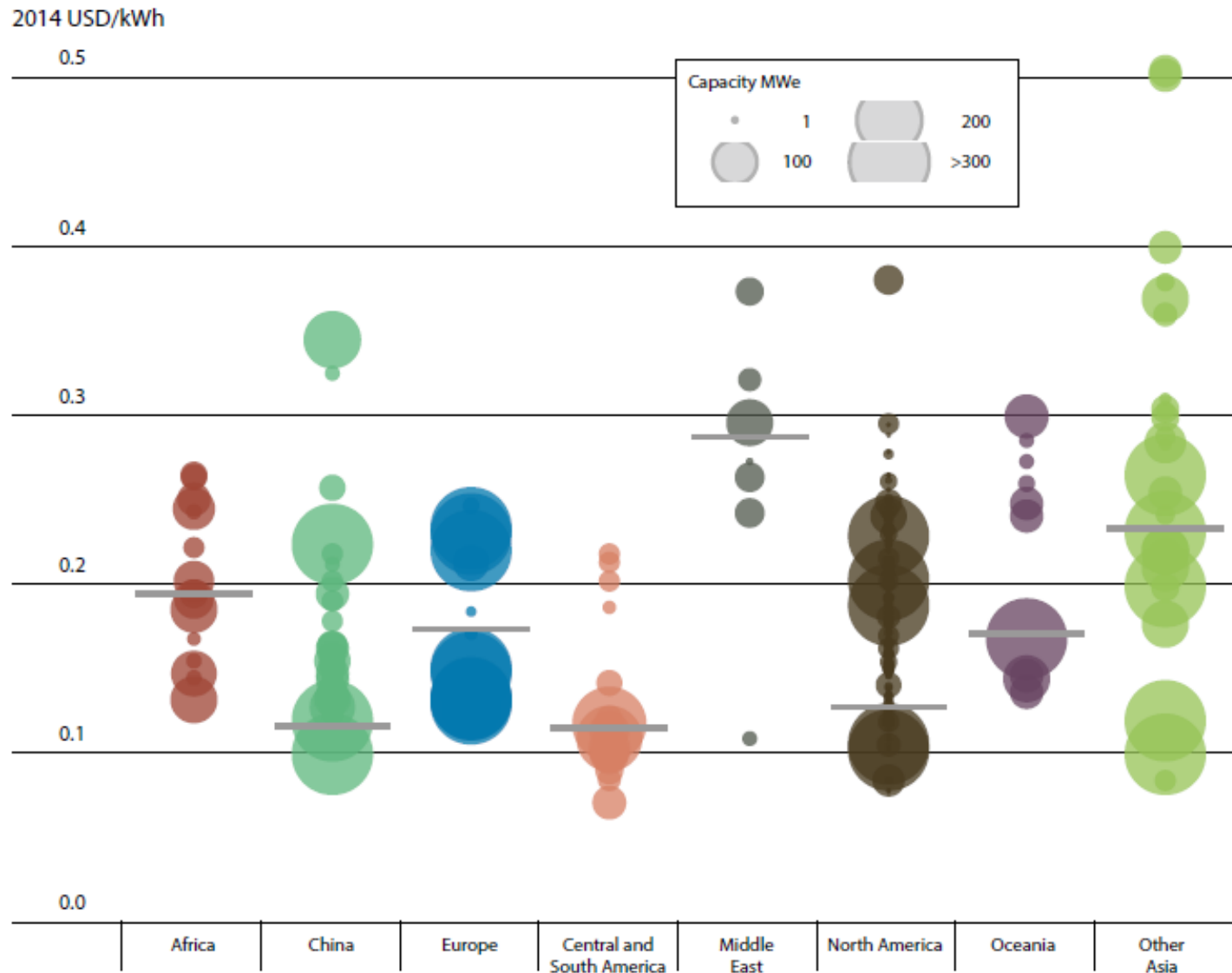


Fuente: [Renewable Power Generation Costs in 2014](#), IRENA

Coste de la electricidad solar fotovoltaica residencial



Coste de la electricidad solar fotovoltaica en huertas de gran tamaño



El BOE reconoce que en Baleares ya es más barato generar electricidad con renovables que con fuentes tradicionales.

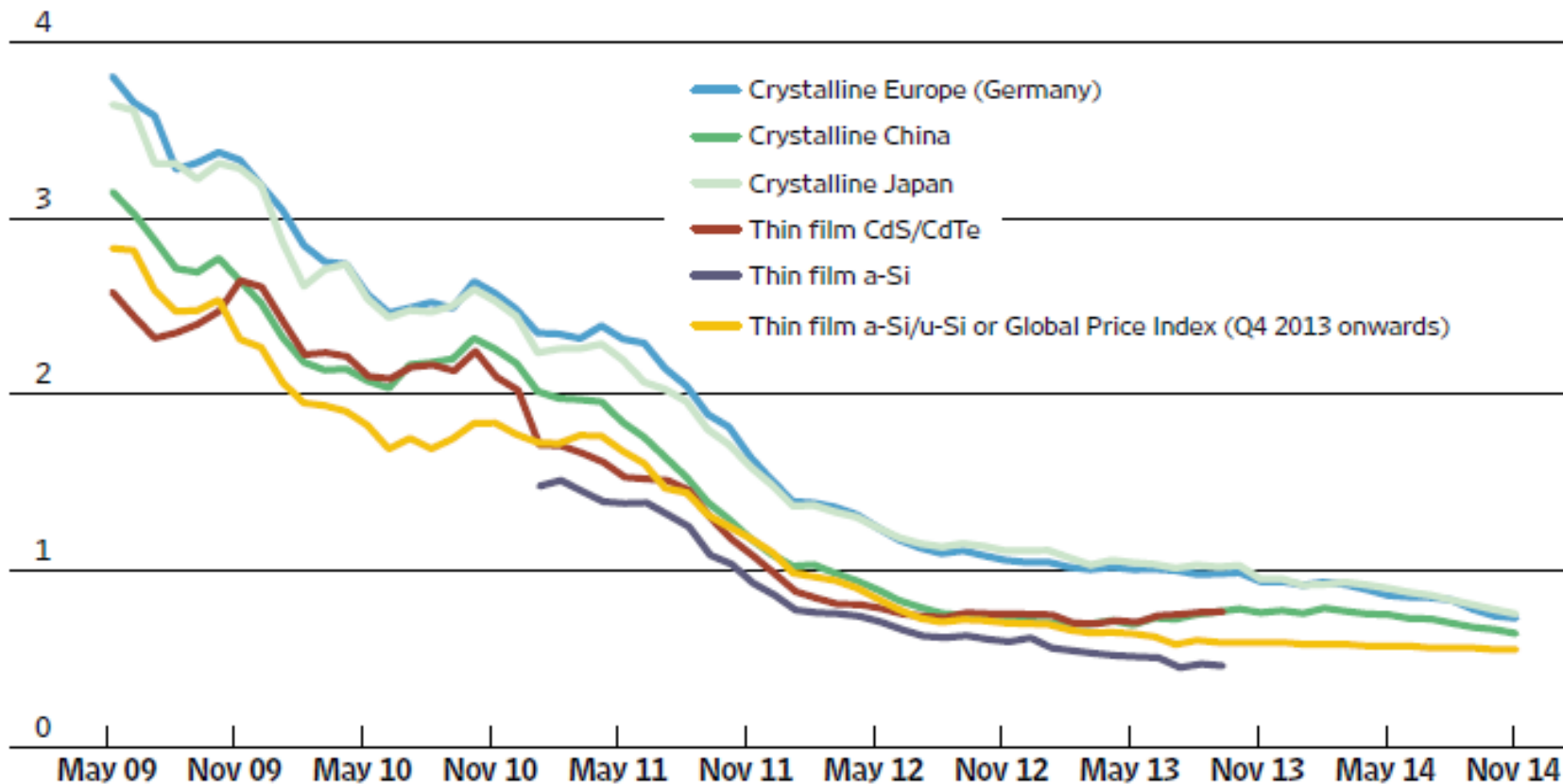
Orden Ministerial IET/1459/2014 BOE 5/8/2014

“Se da la particularidad de que en estos sistemas el coste de generación a partir de la tecnología fotovoltaica y eólica es inferior a la generación a partir de tecnologías térmicas de origen fósil. Así, la sustitución de generación convencional por generación renovable, supondrá reducciones del extracoste de generación en los sistemas eléctricos de los territorios no peninsulares y por lo tanto favorecerá el equilibrio entre los ingresos y costes del sistema eléctrico.”

Evolución del precio de las diferentes tecnologías fotovoltaicas

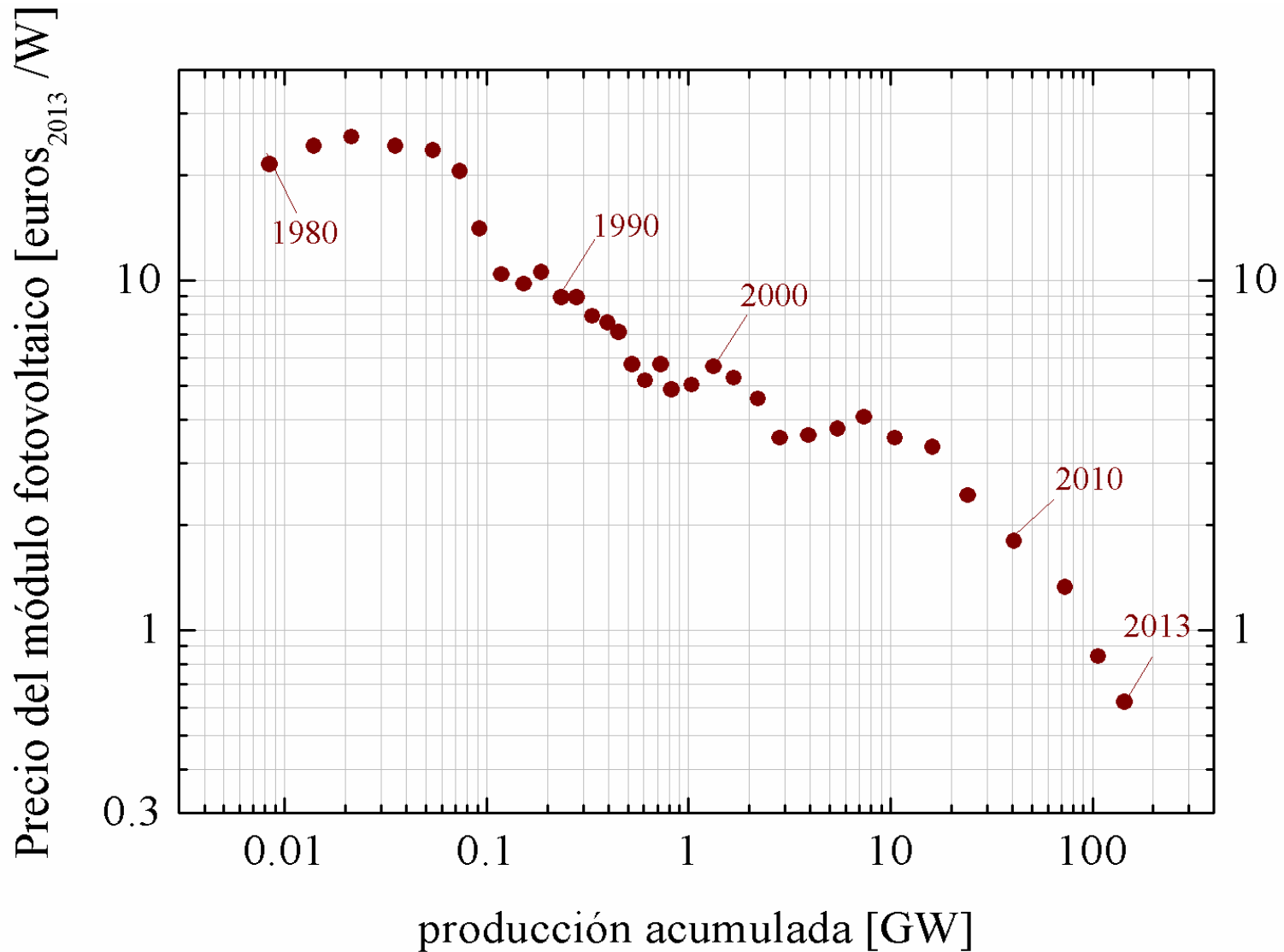
FIGURE 5.2: AVERAGE MONTHLY SOLAR PV MODULE PRICES BY TECHNOLOGY AND MANUFACTURING COUNTRY SOLD IN EUROPE, 2009 TO 2014

2014 USD/W



Sources: GlobalData, 2014 and pvXchange, 2014.

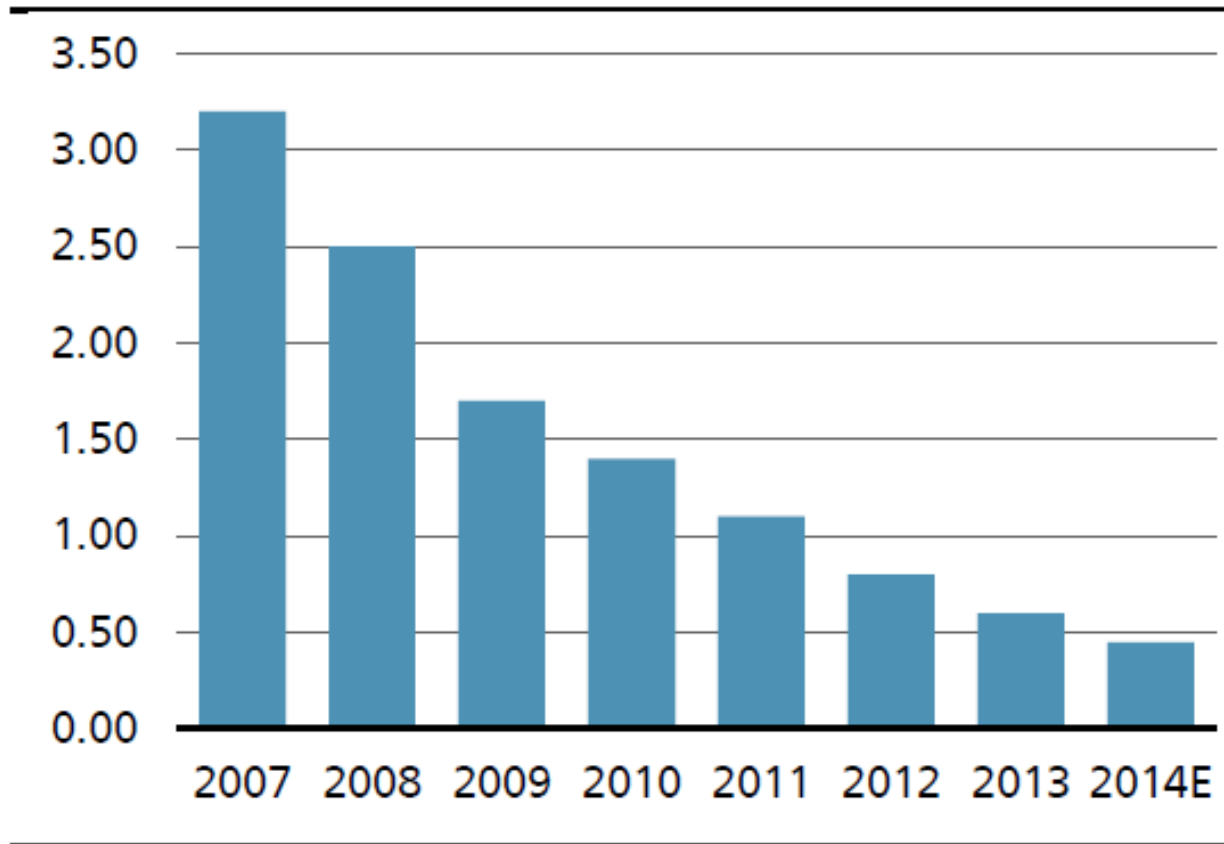
Evolución del precio del módulo fotovoltaico de panel plano (silicio cristalino)



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 de la estimación del coste de fotovoltaica de panel plano

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

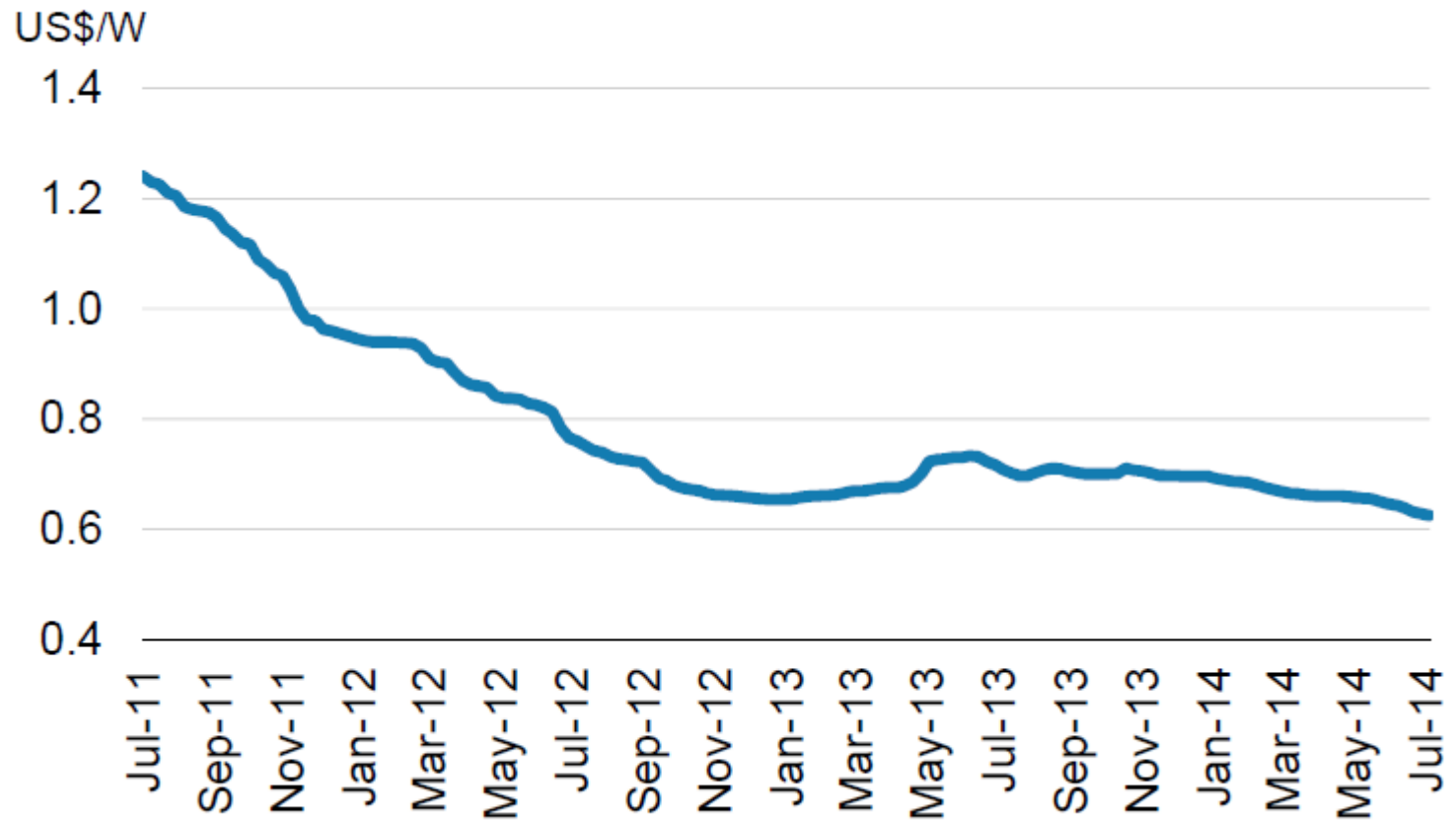


Source: UBS estimates

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

Evolución de la estimación del coste de fotovoltaica de panel plano

PV Module Price Down Sharply

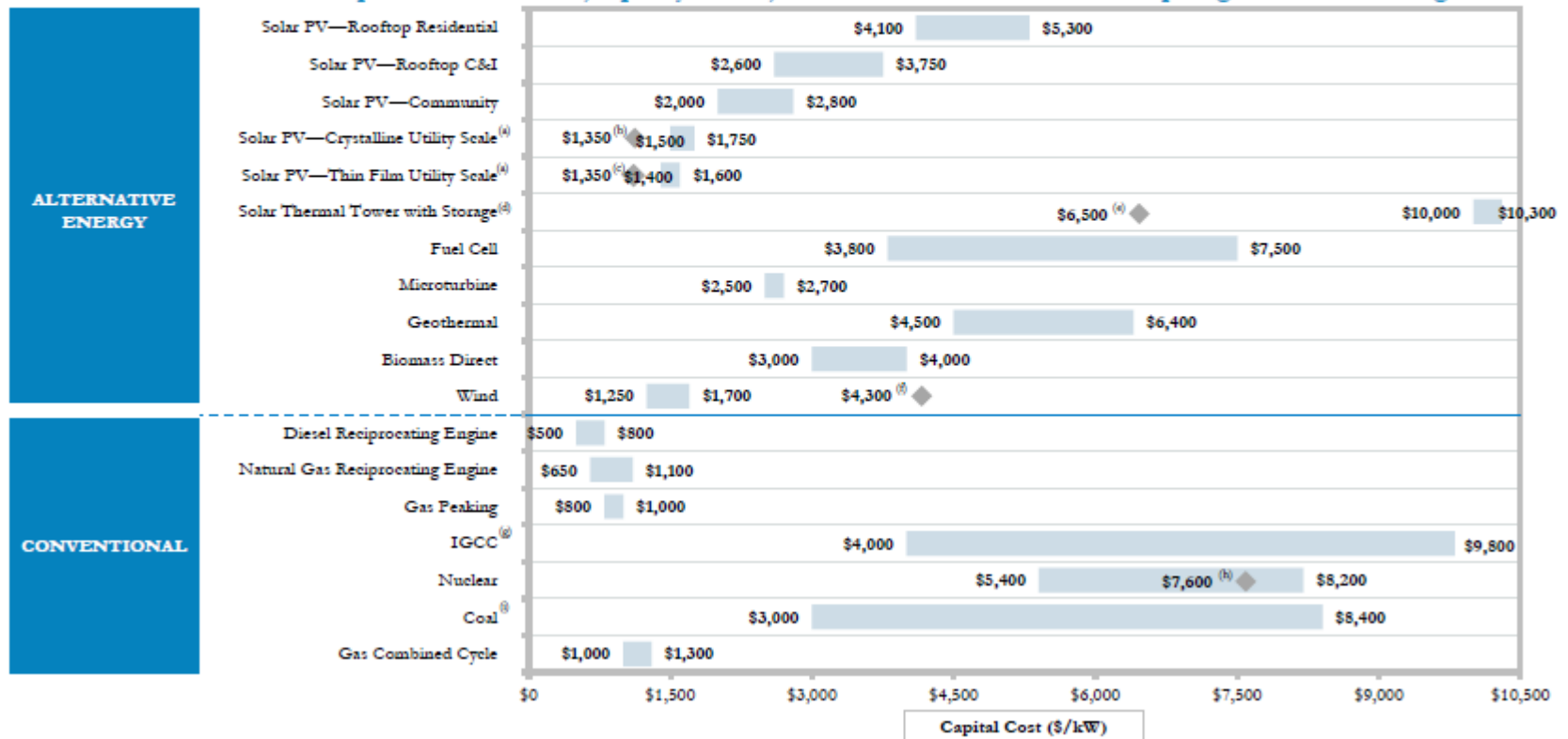


Source: Solarzoom, Wind, Morgan Stanley Research

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

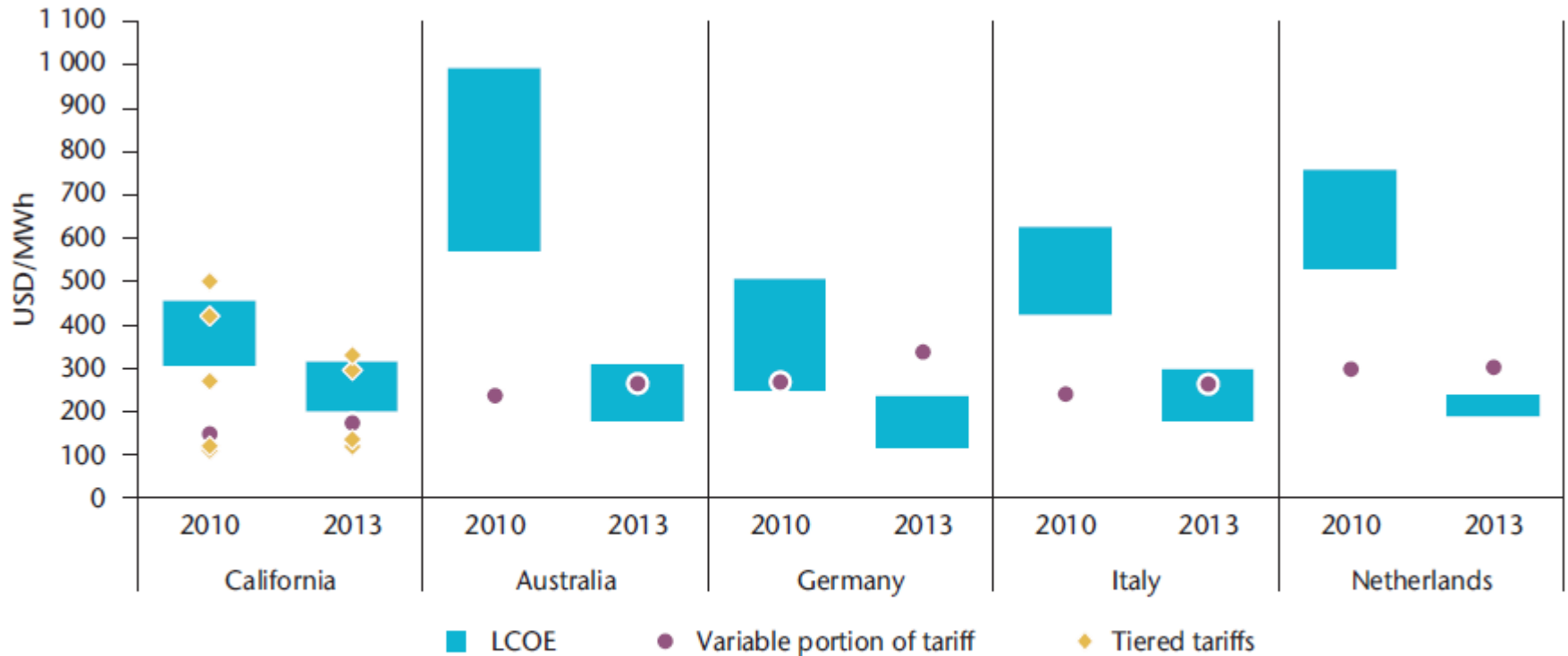
Capital Cost Comparison

While capital costs for a number of Alternative Energy generation technologies (e.g., solar PV, solar thermal) are currently in excess of some conventional generation technologies (e.g., gas), declining costs for many Alternative Energy generation technologies, coupled with rising long-term construction and uncertain long-term fuel costs for conventional generation technologies, are working to close formerly wide gaps in electricity costs. This assessment, however, does not take into account issues such as dispatch characteristics, capacity factors, fuel and other costs needed to compare generation technologies



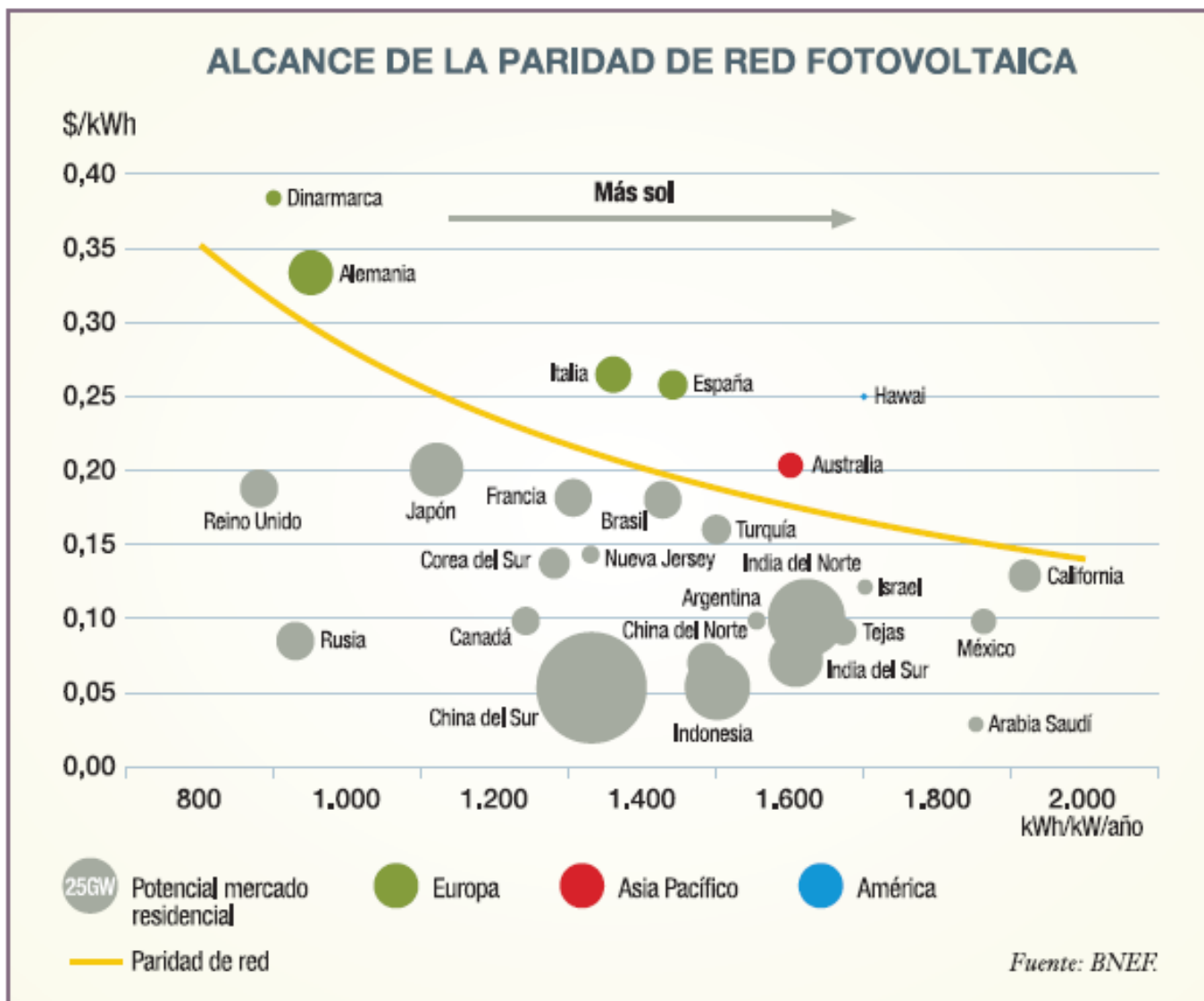
Fuente: Noviembre 2015, [Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - version 9.0](#)

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

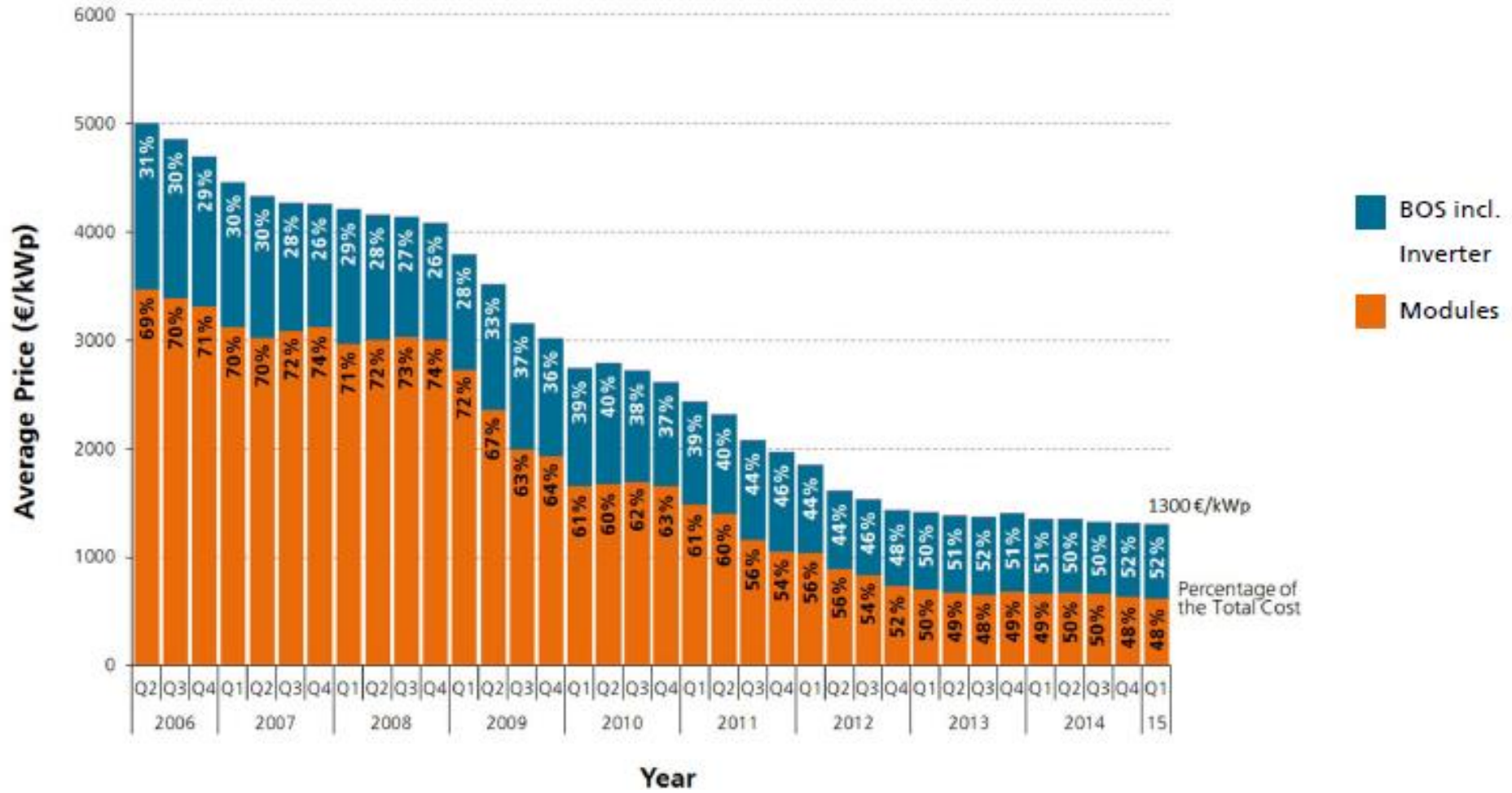


Note: Household electricity tariffs exclude fixed charges. LCOEs are calculated using average residential system costs (including value-added tax and sales tax in where applicable, and investment tax credit in California); ranges mostly reflect differences in financing costs. The tiered tariffs in California 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.

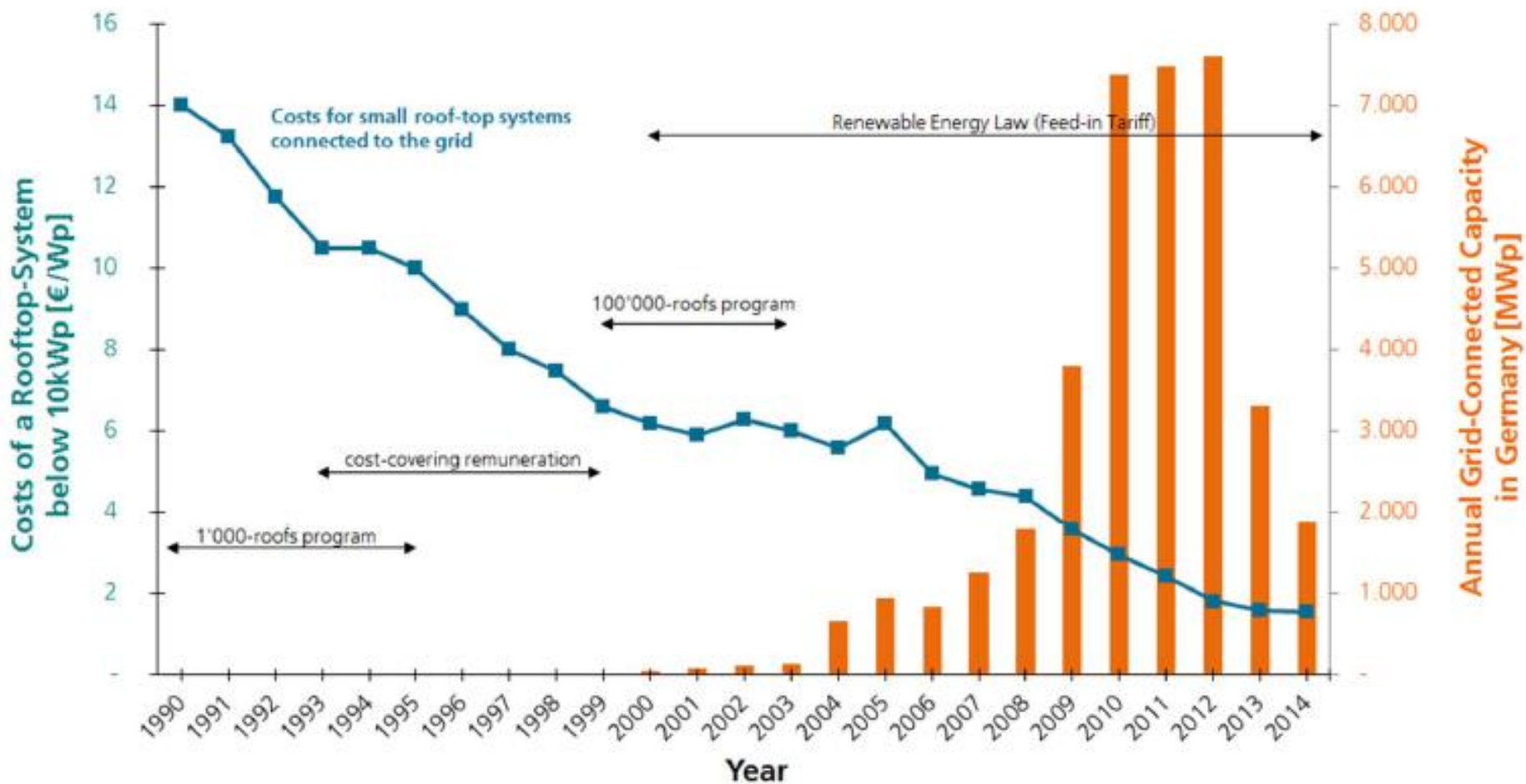
En Dinamarca, Alemania, Italia y España ya se ha alcanzado la paridad con la red.



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



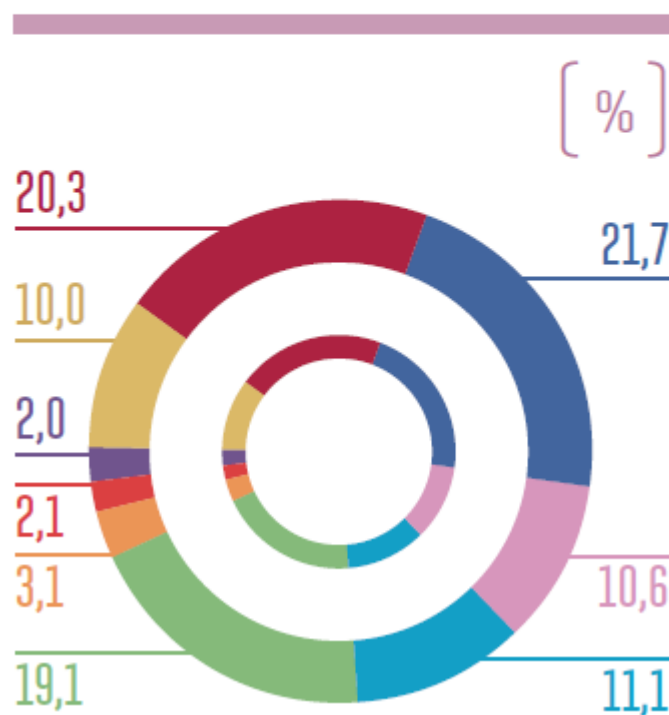
Evolución de la potencia instalada, precio del sistema y esquemas de financiación vigentes en Alemania



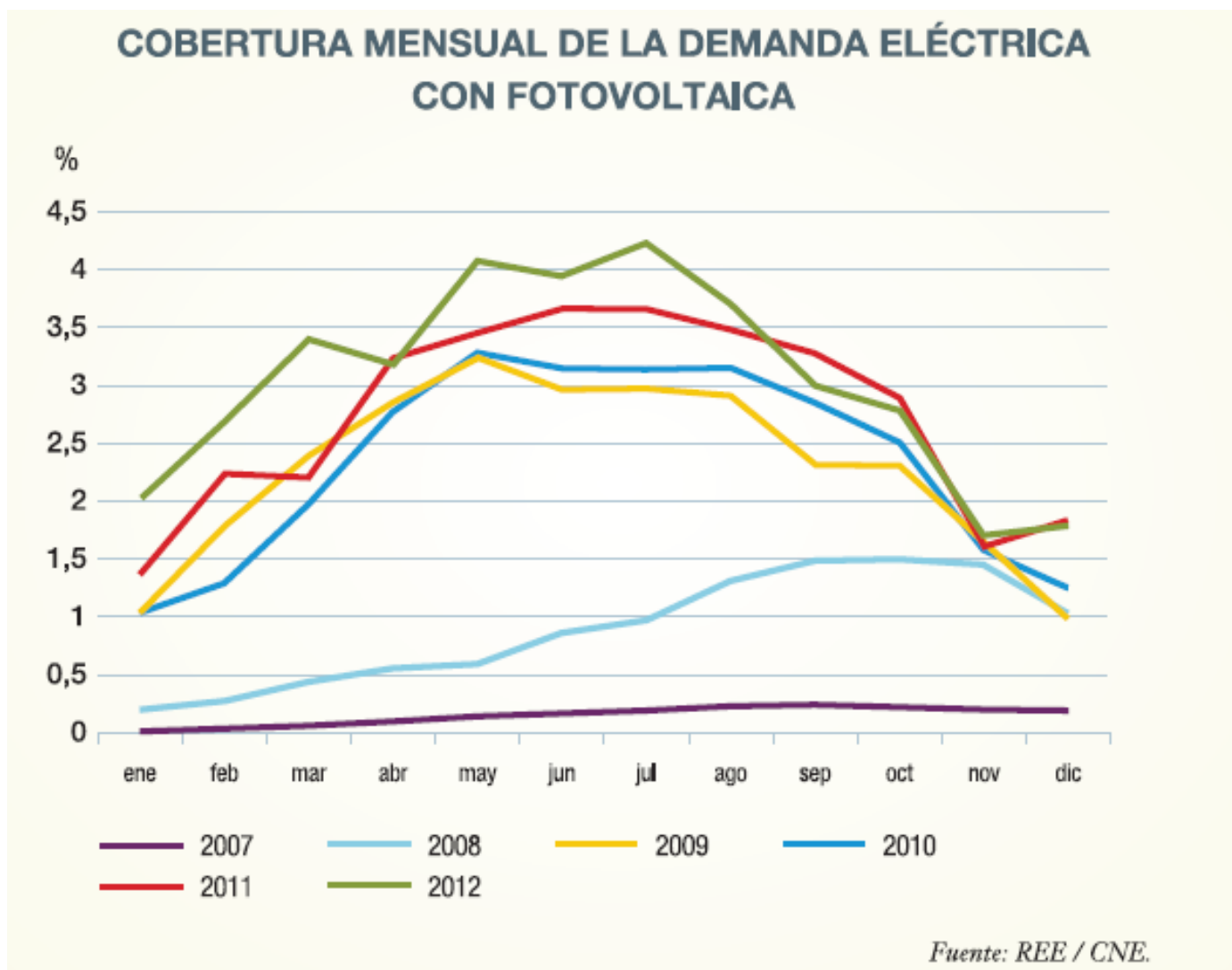
Generación fotovoltaica, potencia instalada en España, Europa y resto del mundo

En 2015 la energía solar fotovoltaica cubrió el 3.1% de toda la demanda eléctrica de España

COBERTURA DE LA DEMANDA ANUAL

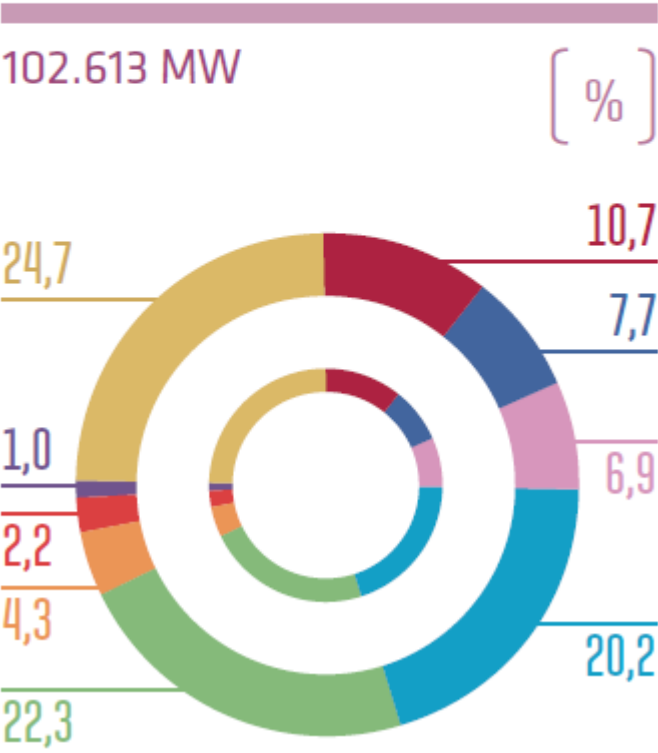


En los meses de verano la fotovoltaica cubre más del 4% de la demanda eléctrica de España



En 2015 había instalados 4.400 MW fotovoltaicos en España.

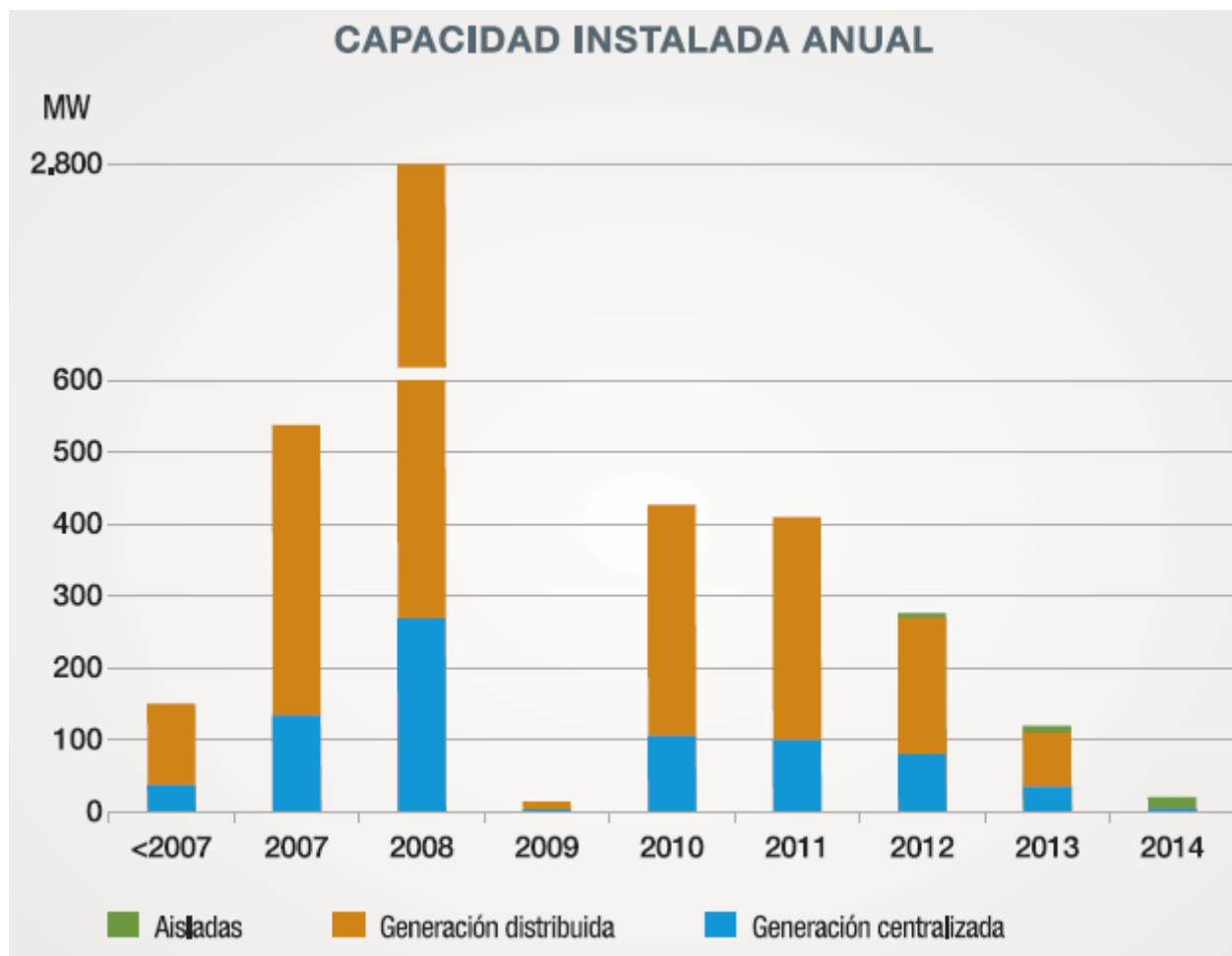
POTENCIA INSTALADA A 31 DIC 2015



- Ciclo combinado
- Carbón
- Nuclear
- Cogeneración y resto
- Hidráulica [1]
- Eólica
- Solar fotovoltaica
- Solar térmica
- Térmica renovable
- Saldo importador de intercambios internacionales

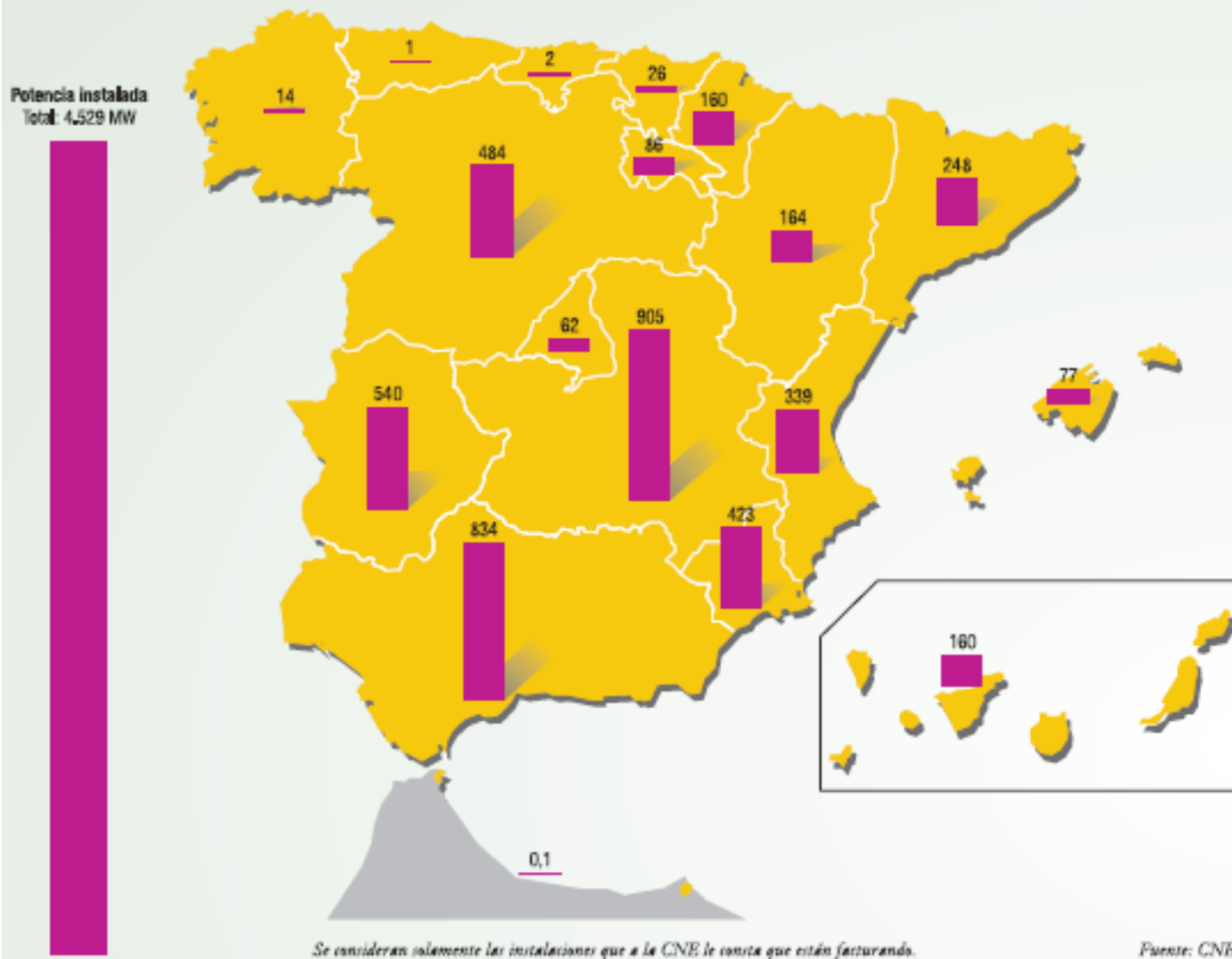
Fuente: [El sistema eléctrico español, Informe REE, avance 2015](#)

Evolución de la potencia instalada anualmente en España

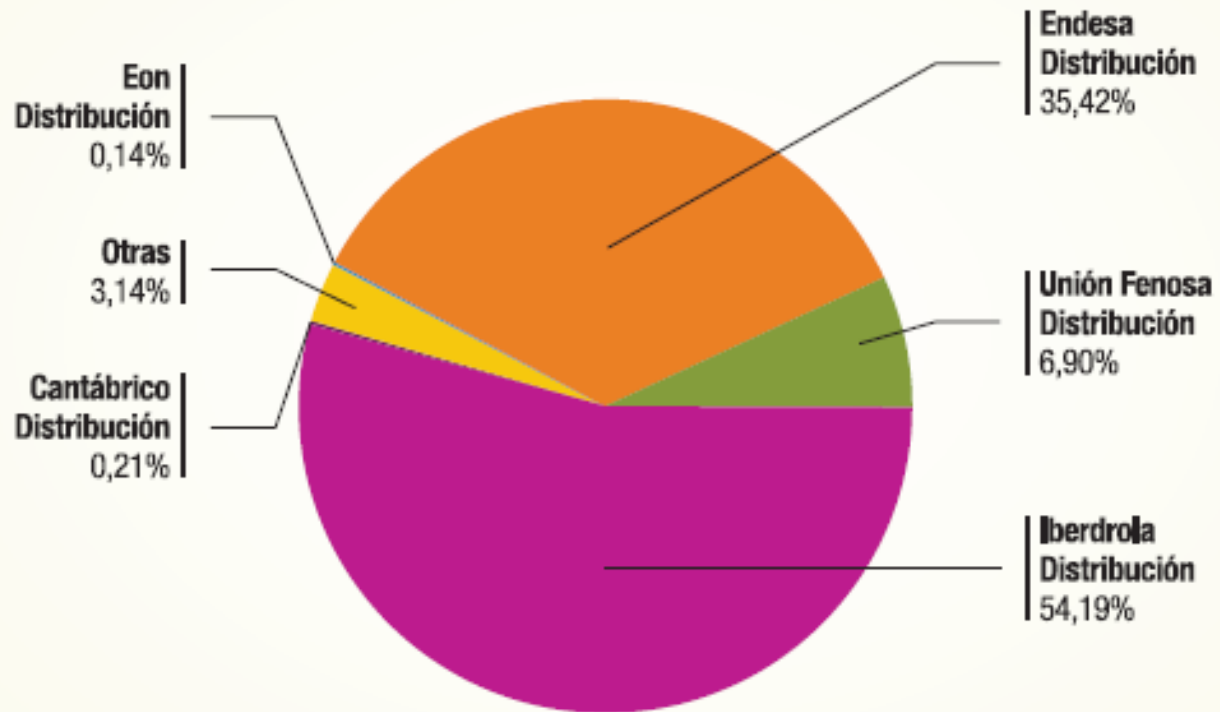


Fuente: [Informe Anual UNEF 2015](#)

POTENCIA FOTOVOLTAICA CONECTADA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS EN 2012

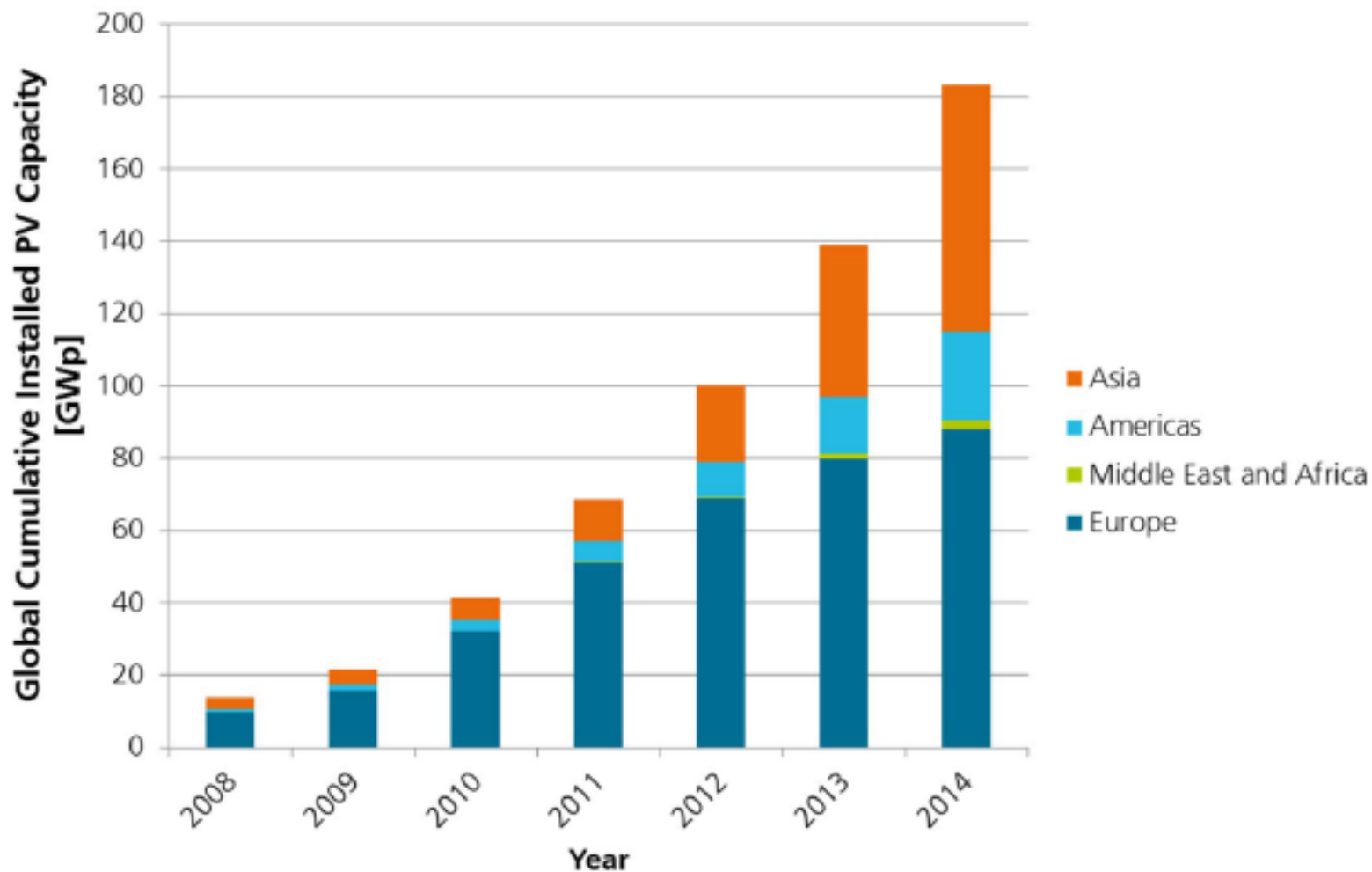


PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA POR DISTRIBUIDORAS EN 2012























Fuente: CNE.

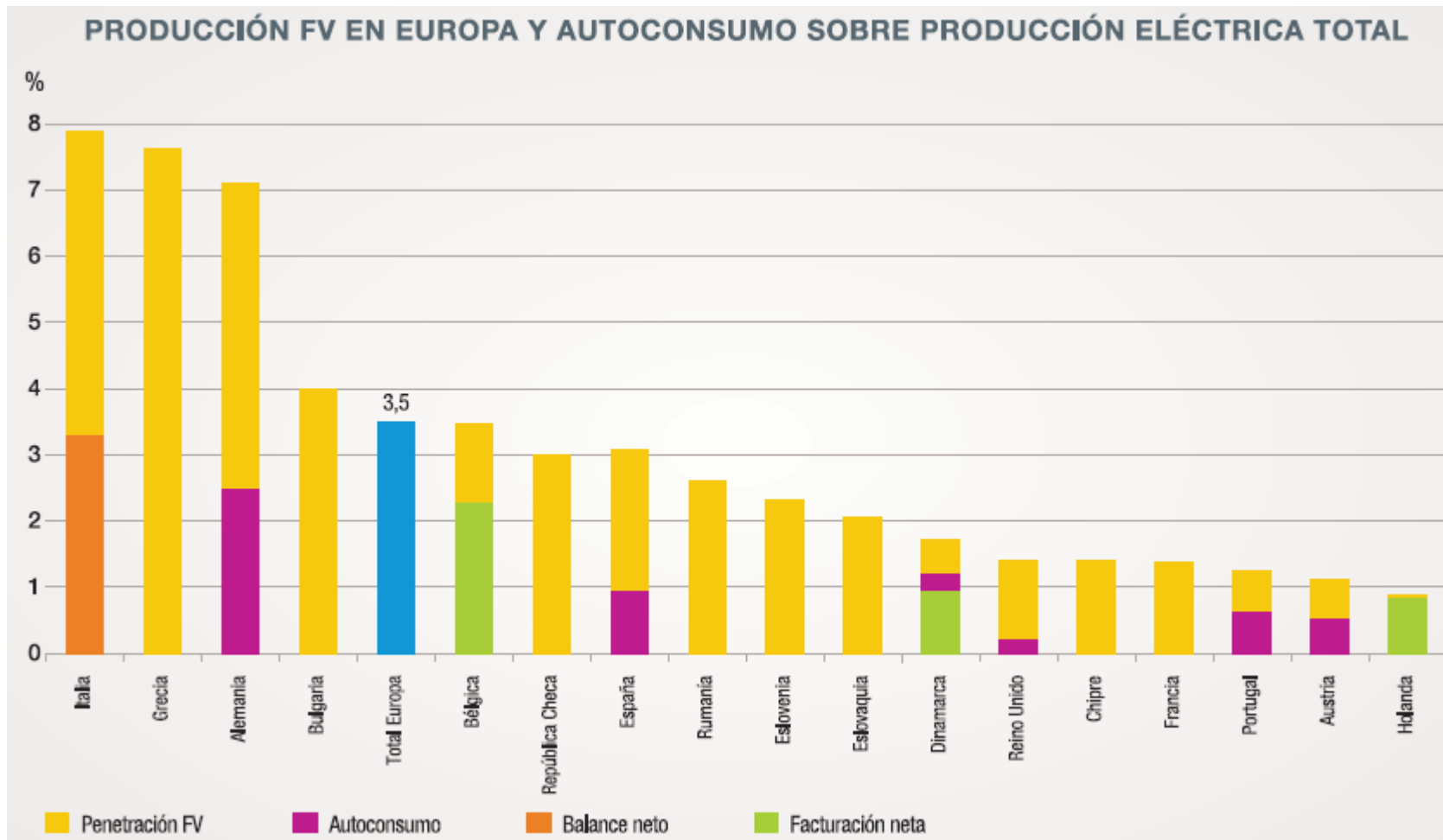
A finales de 2014 había instalados 180GW en el mundo. De ellos, 38 GW en Alemania, 18 GW en Italia y 4.4 GW en España



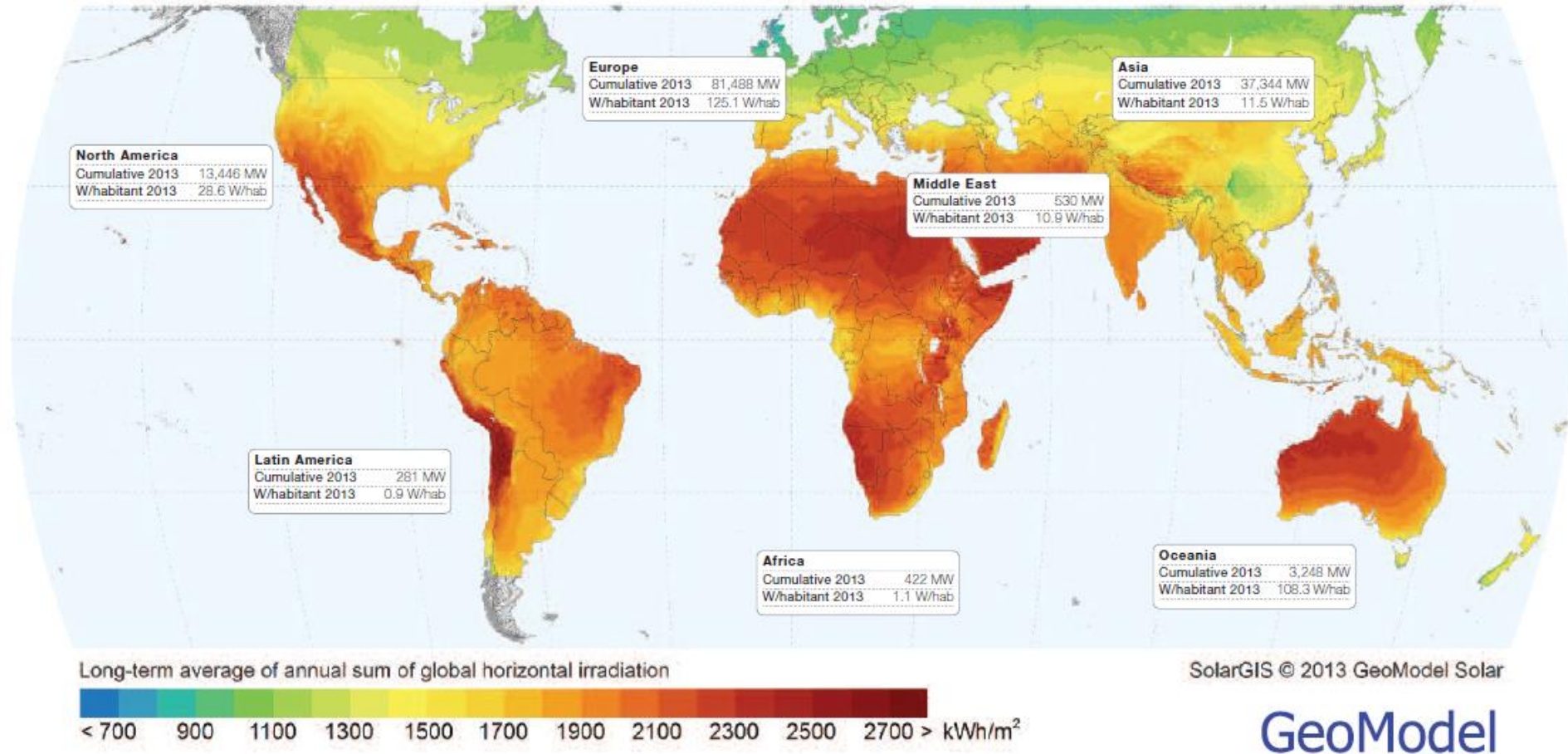
Potencia fotovoltaica instalada en Europa en 2014 y acumulada

| | 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 |  |

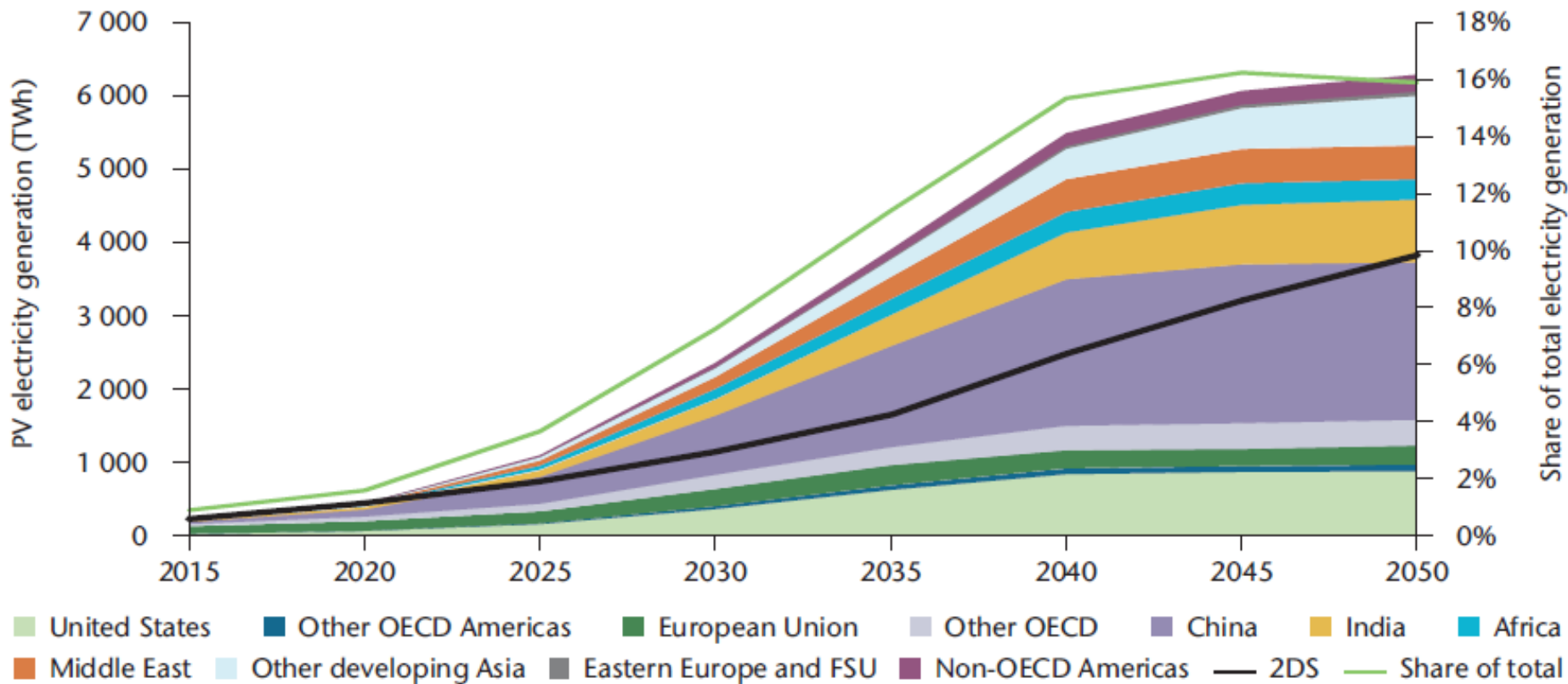
En 2014 la energía solar fotovoltaica cubrió más del 7% de la demanda eléctrica en tres países (Italia, Grecia y Alemania). En España supuso el 3.1%



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.

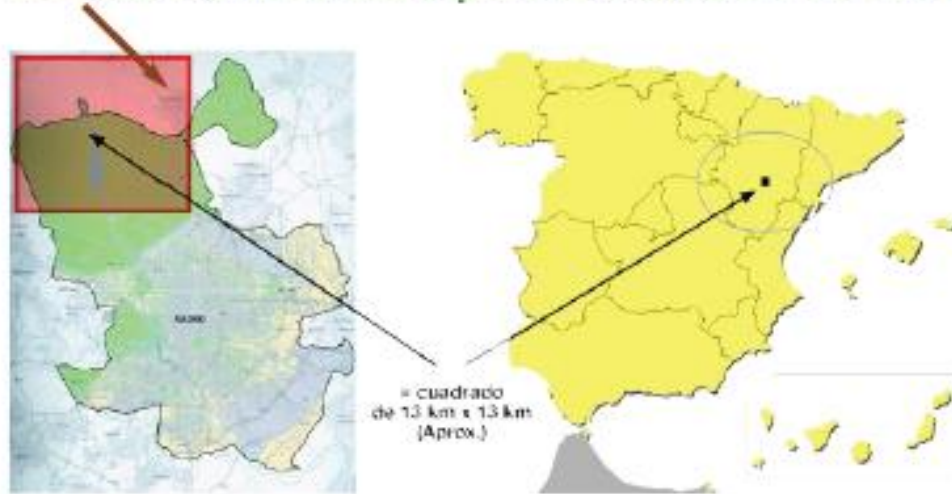


Fuente: [Technology Roadmap 2014, International Energy Agency](#)

Superficie ocupada por
fotovoltaica

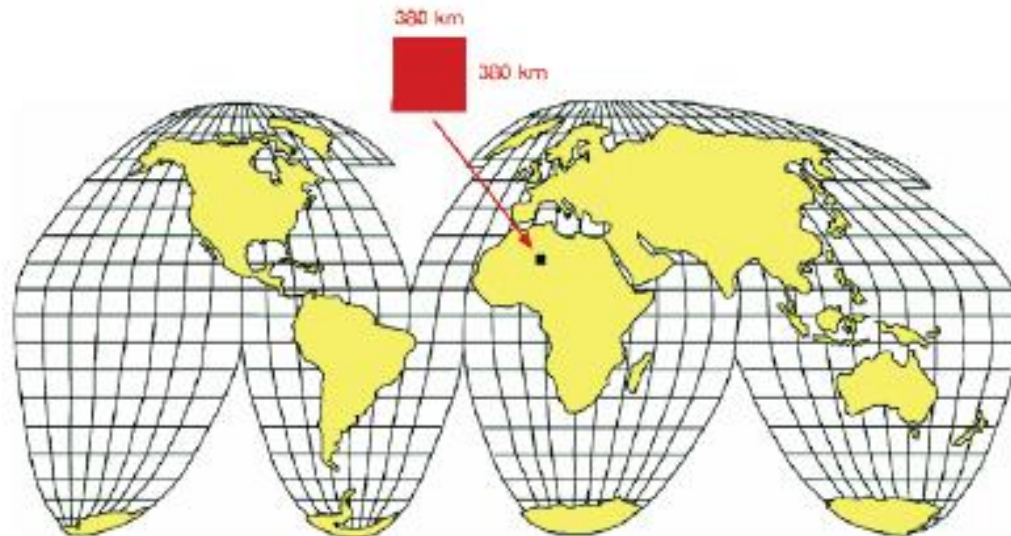
- Necesidades de superficie para cubrir el 8% (*) de las necesidades eléctricas en España:

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**

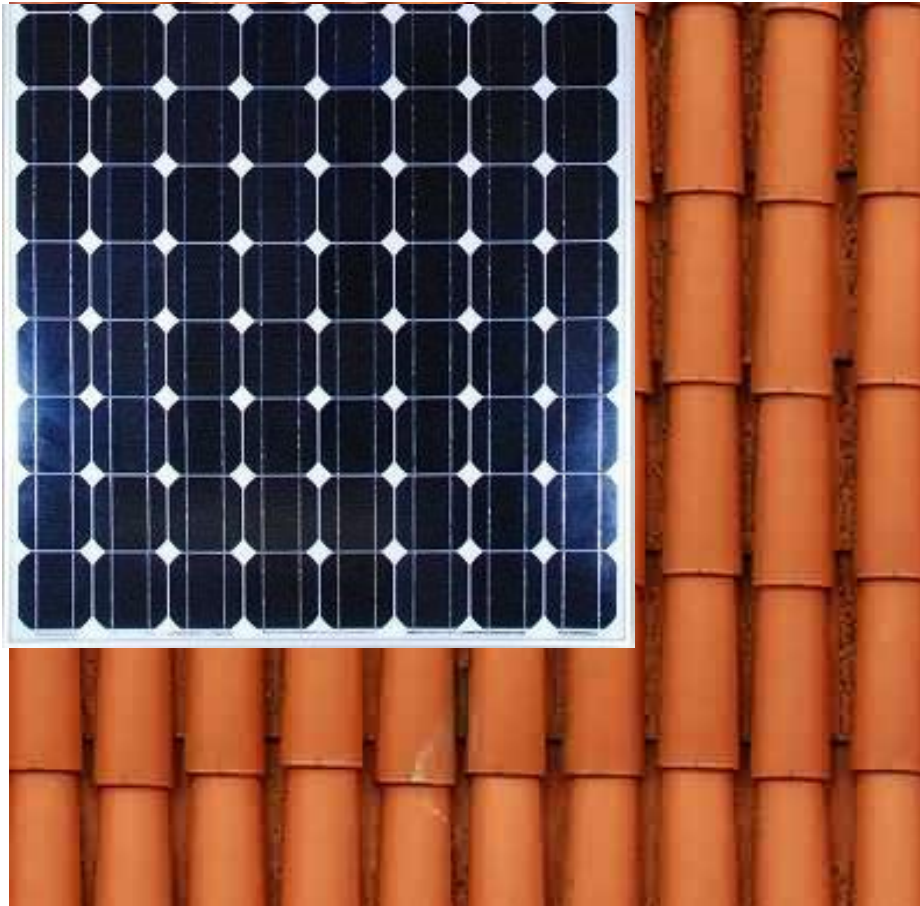
**Superficie cubierta por carreteras
en España (86x86 km²) ²**



¹)Asumiendo eficiencia de panel FV del 15%, porcentaje de uso del suelo del 55%, PR=0.75, degradación anual de módulo 0.7%, 1500 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

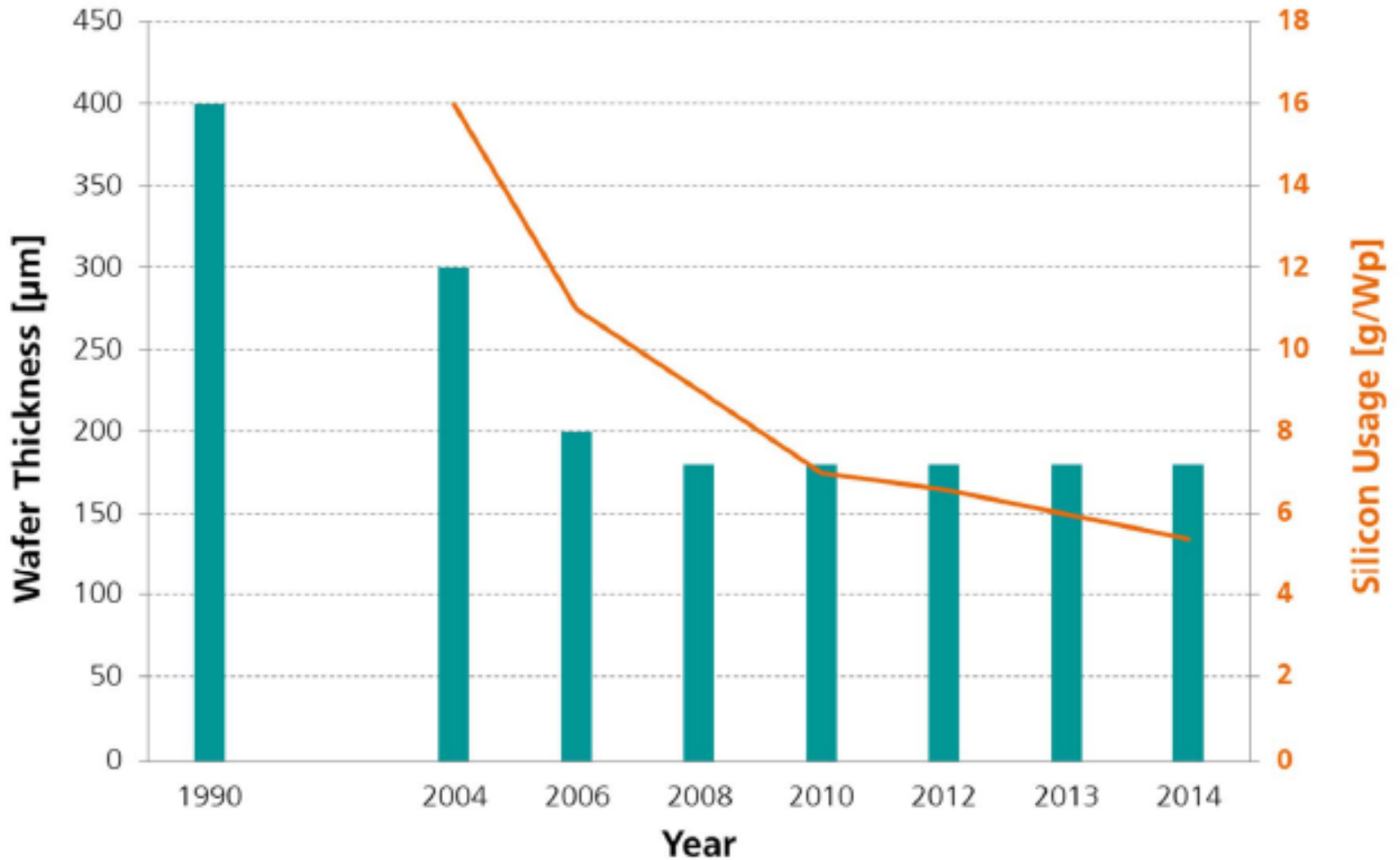


Superficie de tejado en España (32x32 km²) ²

¹)Asumiendo eficiencia de panel FV del 15%, 1300 horas equivalentes y demanda doméstica de electricidad en 2013, 84TWh.

²)Calculado utilizando el Censo de Población y Vivienda 2011

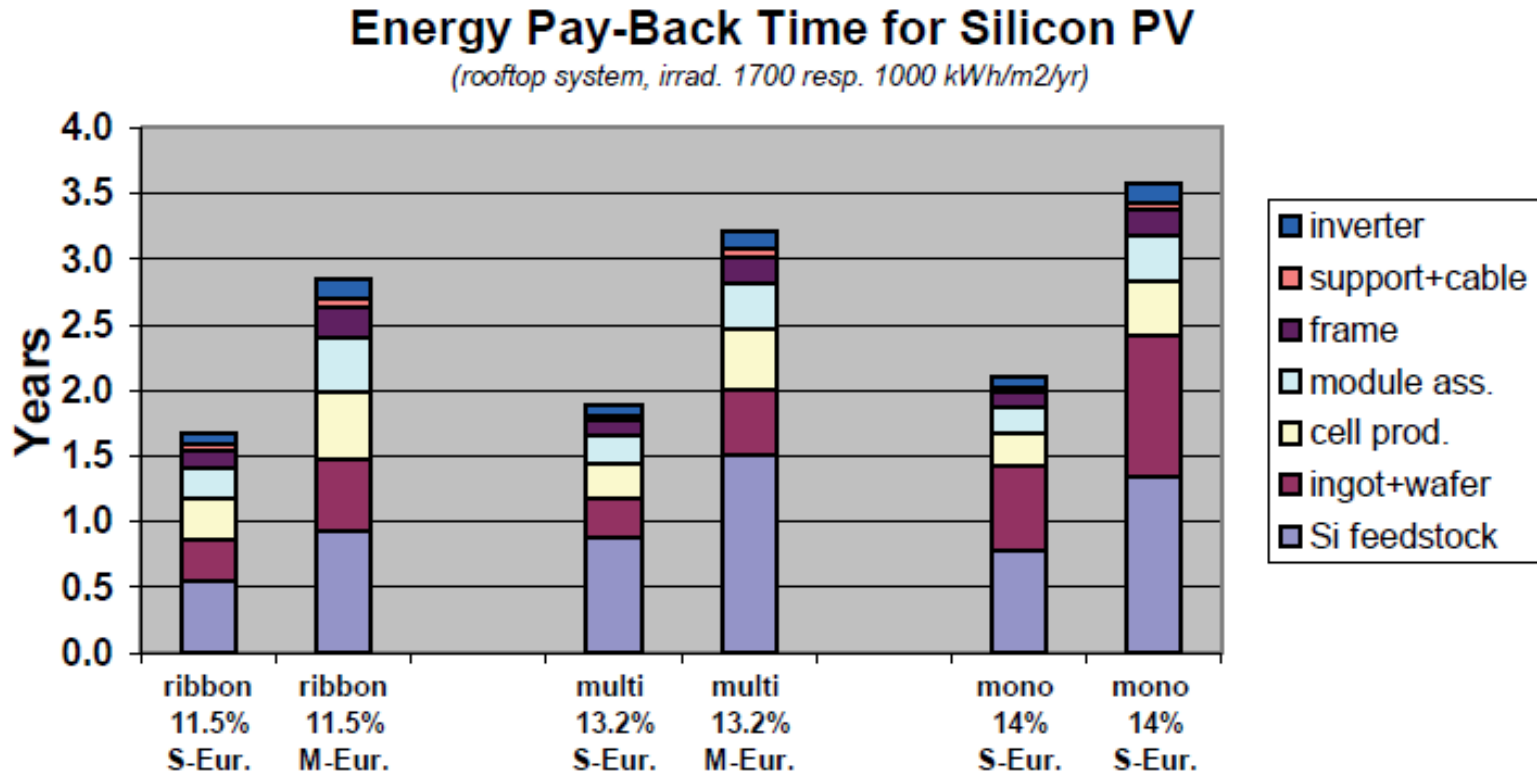
Evolución del espesor de la oblea de silicio (μm) y uso de silicio (g/Wp)



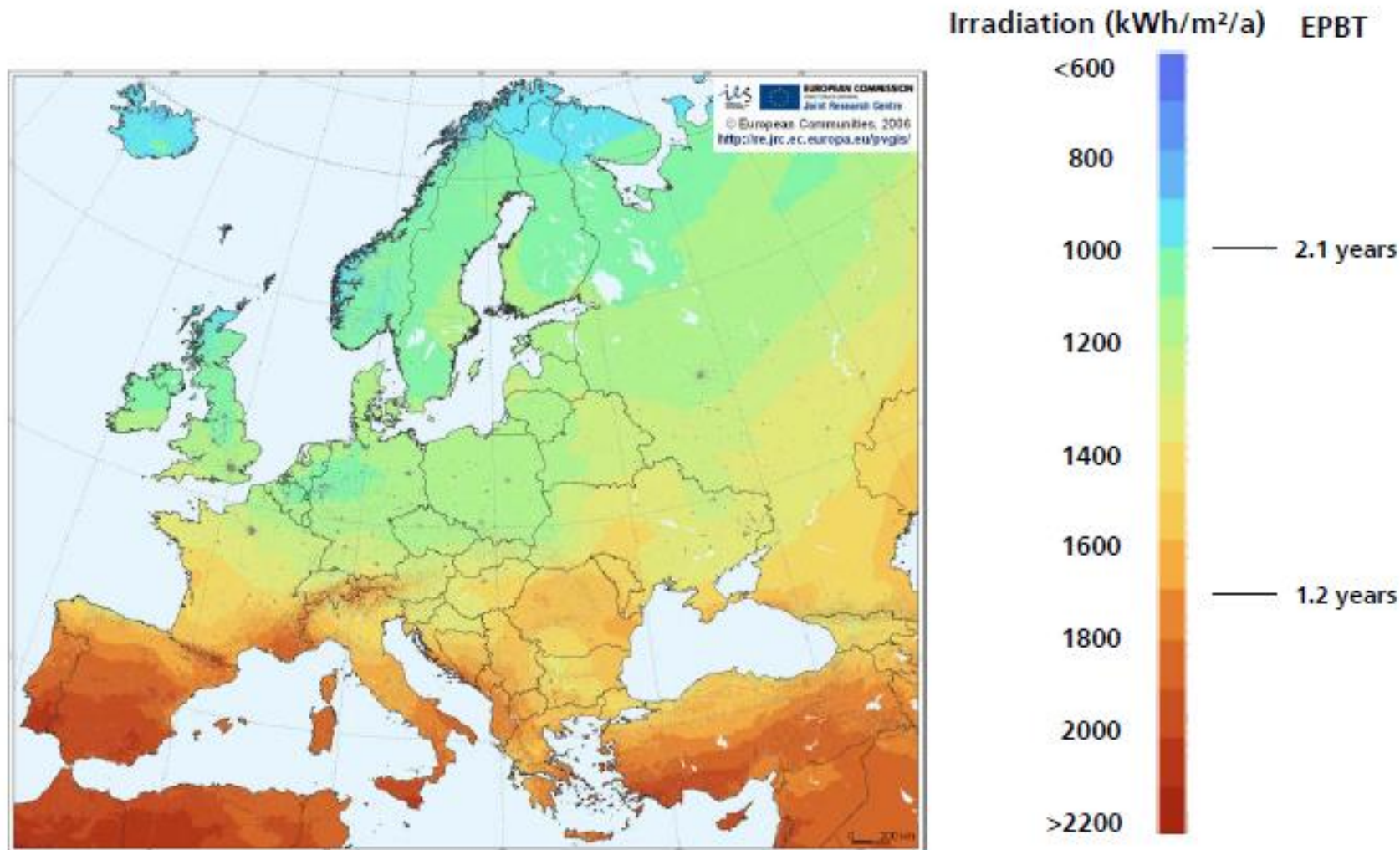
Fuente: Data: until 2012: EU PV Technology Platform Strategic Research Agenda, from 2012: c-Si Roadmap ITRPV; 2015.
Graph: PSE AG 2015 [Photovoltaic Report, Fraunhofer ISE, November 2015](#)

Tiempo de retorno energético

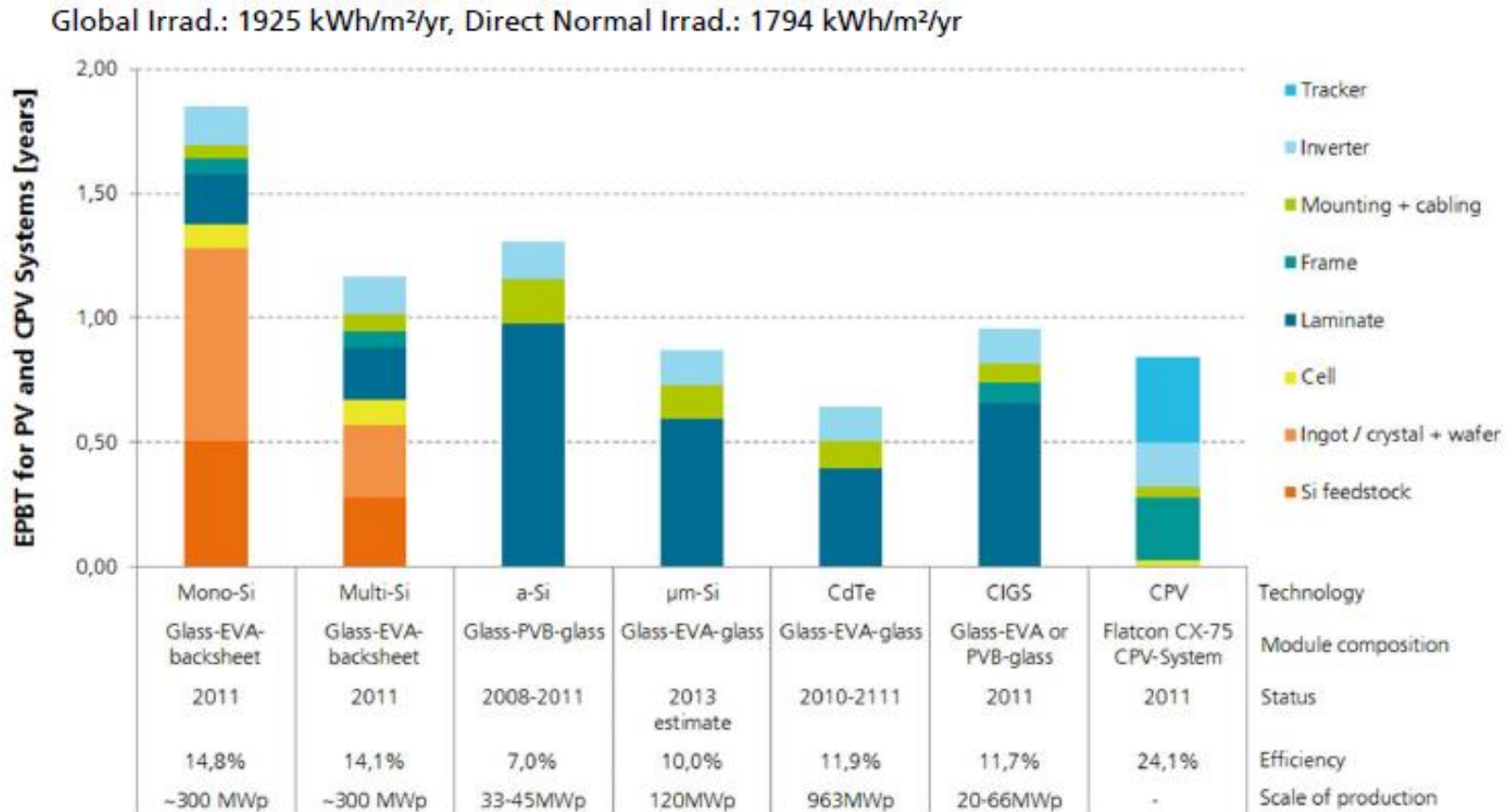
El tiempo de retorno energético (*Energy Payback Time* en inglés) se define como el tiempo necesario para que un sistema genere tanta energía como ha sido empleada para su fabricación. En Europa el tiempo de retorno energético para la fotovoltaica está entre 1.5 y 3.5 años.



Tiempo de retorno energético para un sistema instalado en tejado que utilice paneles de silicio multicristalino en función de dónde sea instalado

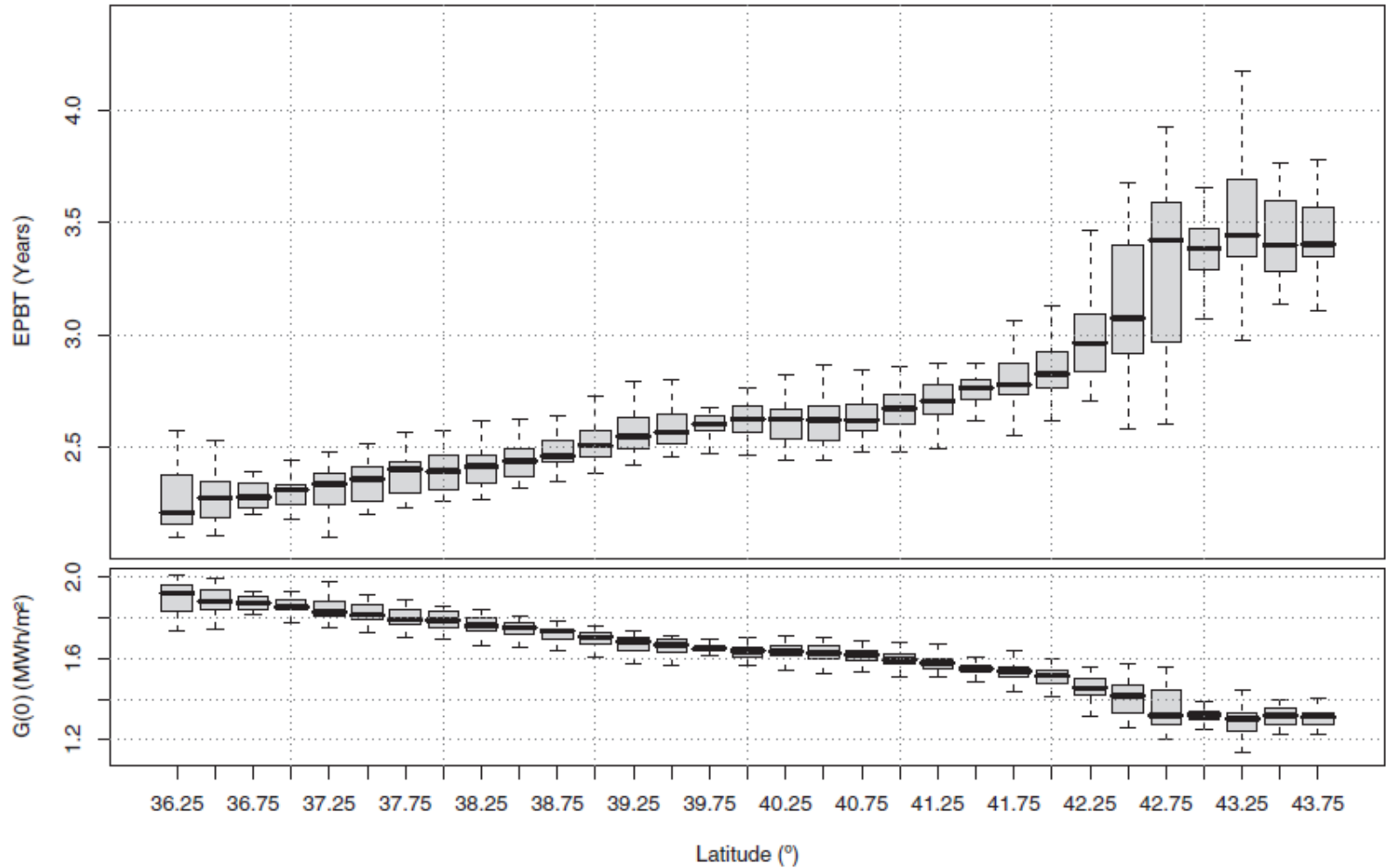


El tiempo de retorno energético (*Energy Payback Time* en inglés) se define como el tiempo necesario para que un sistema genere tanta energía como ha sido empleada para su fabricación. Para un sistema instalado en Catania (Sicilia, Italia) el el tiempo de retorno energético es inferior a 2 años para cualquier tecnología fotovoltaica.



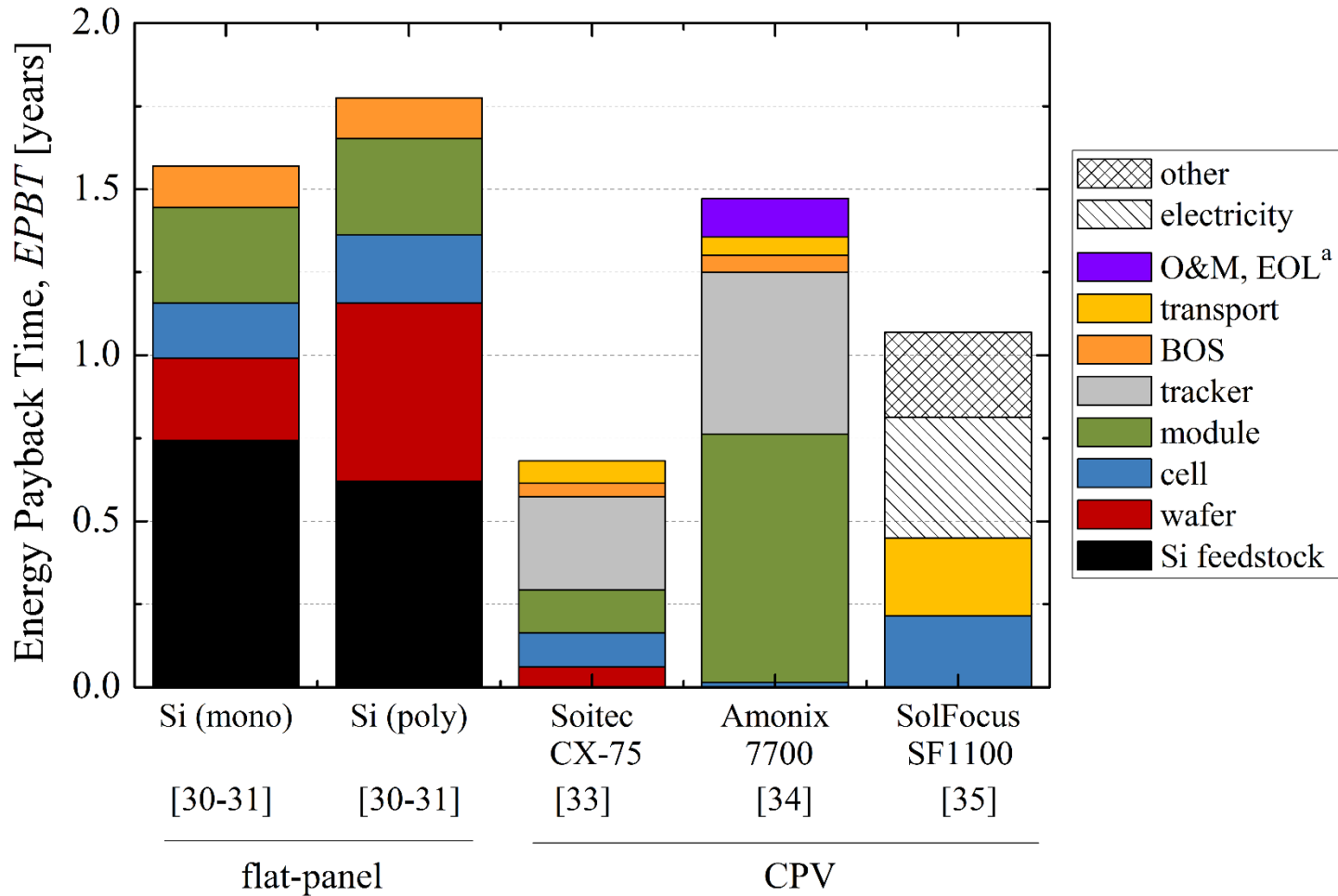
Fuente: Data: M.J. de Wild-Scholten 2013; CPV data: "Environmental Sustainability of Concentrator PV Systems: Preliminary LCA Results of the Apollon Project" 5th World Conference on PV Energy Conversion, 2010 Graph: PSE AG 2015 [Photovoltaic Report, Fraunhofer ISE, November 2015](#)

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](#)

El tiempo de retorno energético (*Energy Payback Time* en inglés) es menor para la energía solar fotovoltaica de concentración que para el panel plano de silicio

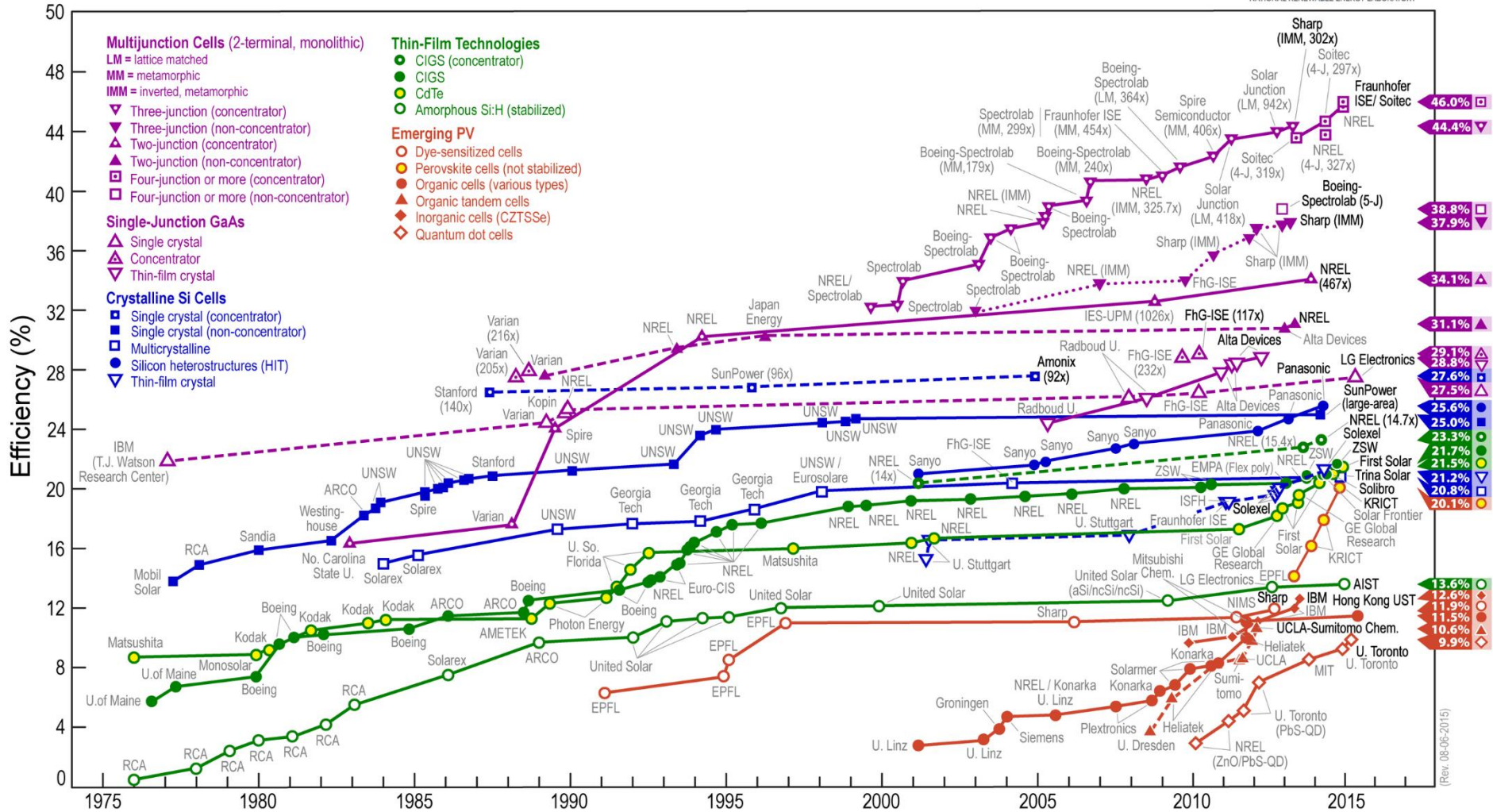


* Módulos instalados en Madrid donde se asume una radiación global en el plano óptimo de inclinación de 2059kWh/m² año y una radiación directa de 2089kWh/m² año.

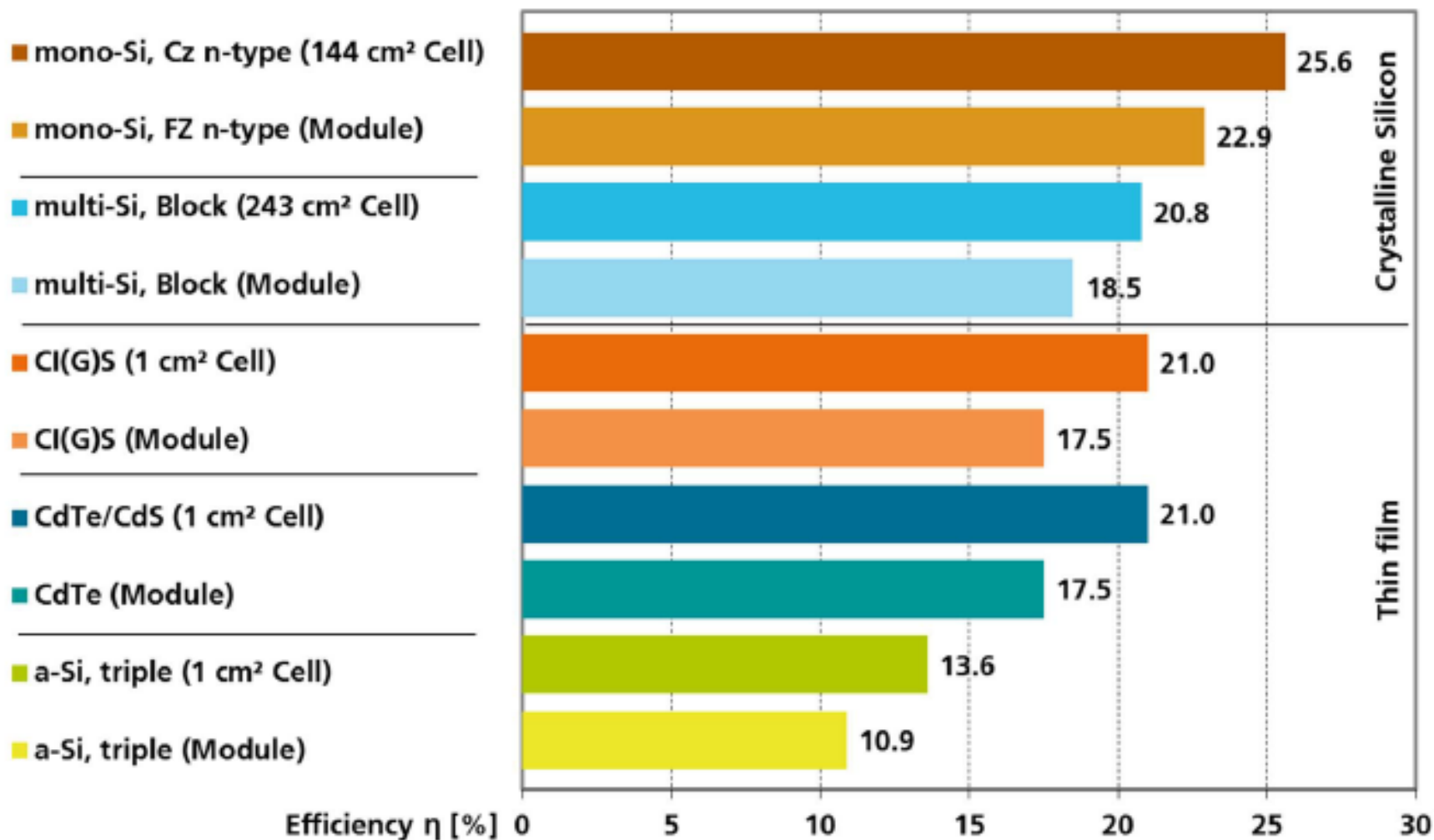
Diferentes tecnologías fotovoltaicas

Evolución de la eficiencia de células de diferentes tecnologías

Best Research-Cell Efficiencies



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



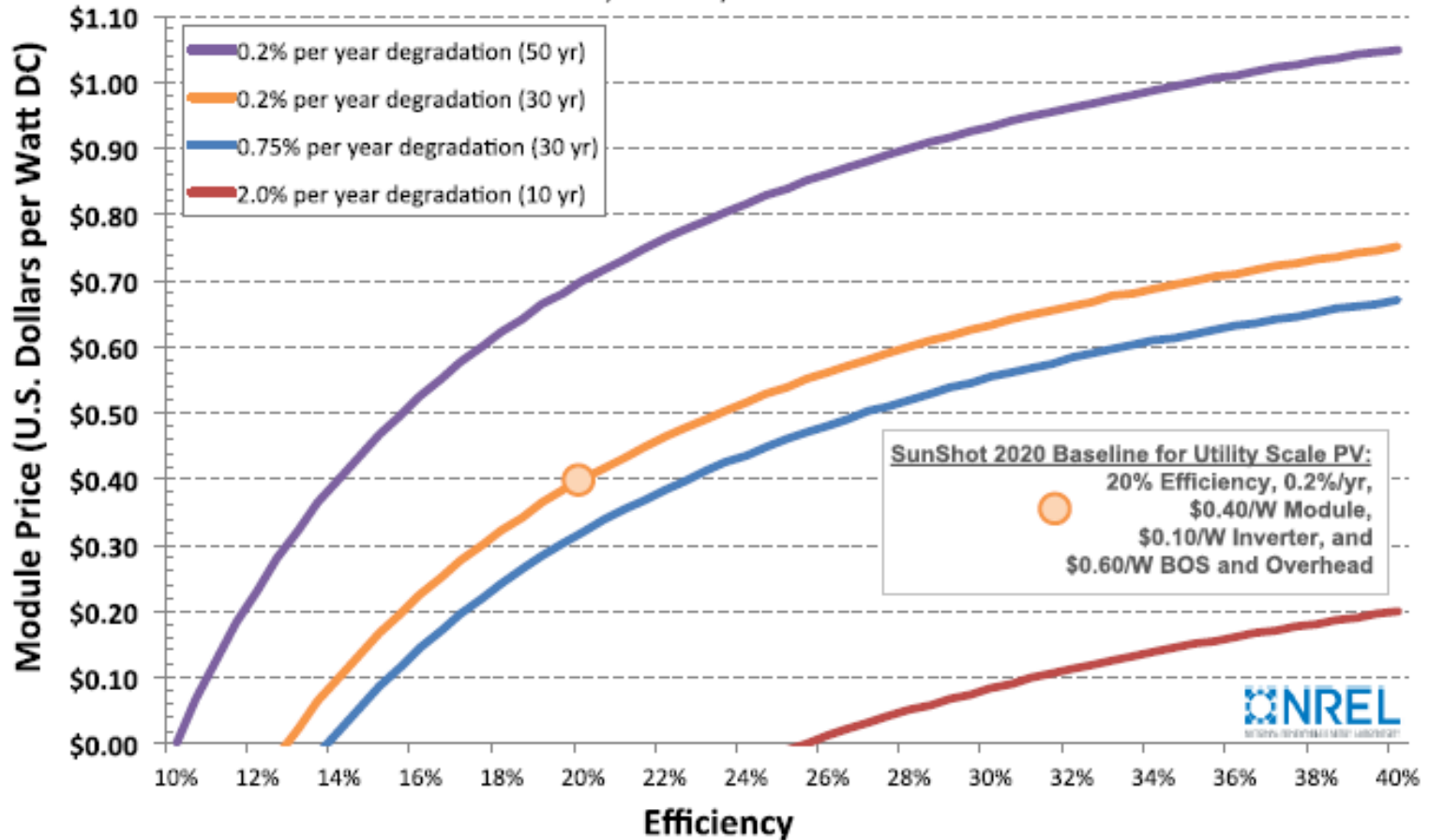
Fuente: Green et al., Solar Cells Efficiency Tables (Version 46) Prog. in Phot.: Res. And App. 2015

Graph: PSE AG 2015 [ISE Photovoltaic Report 2015](#)

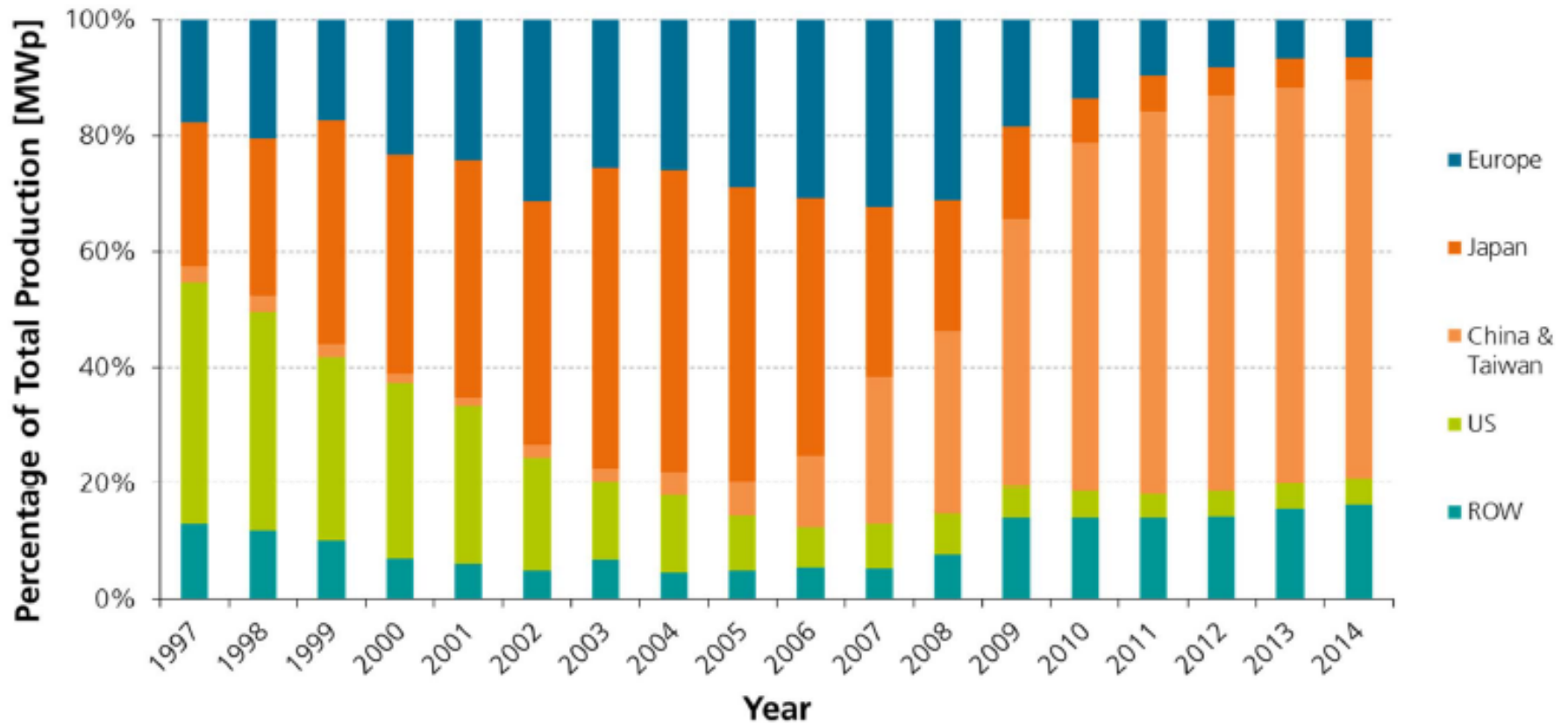
Permutaciones entre los valores de eficiencia de módulo, coste por vatio, vida útil y degradación que pueden darse para alcanzar el objetivo de \$0.06/kWh (estimaciones del programa SunShot de EEUU)

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

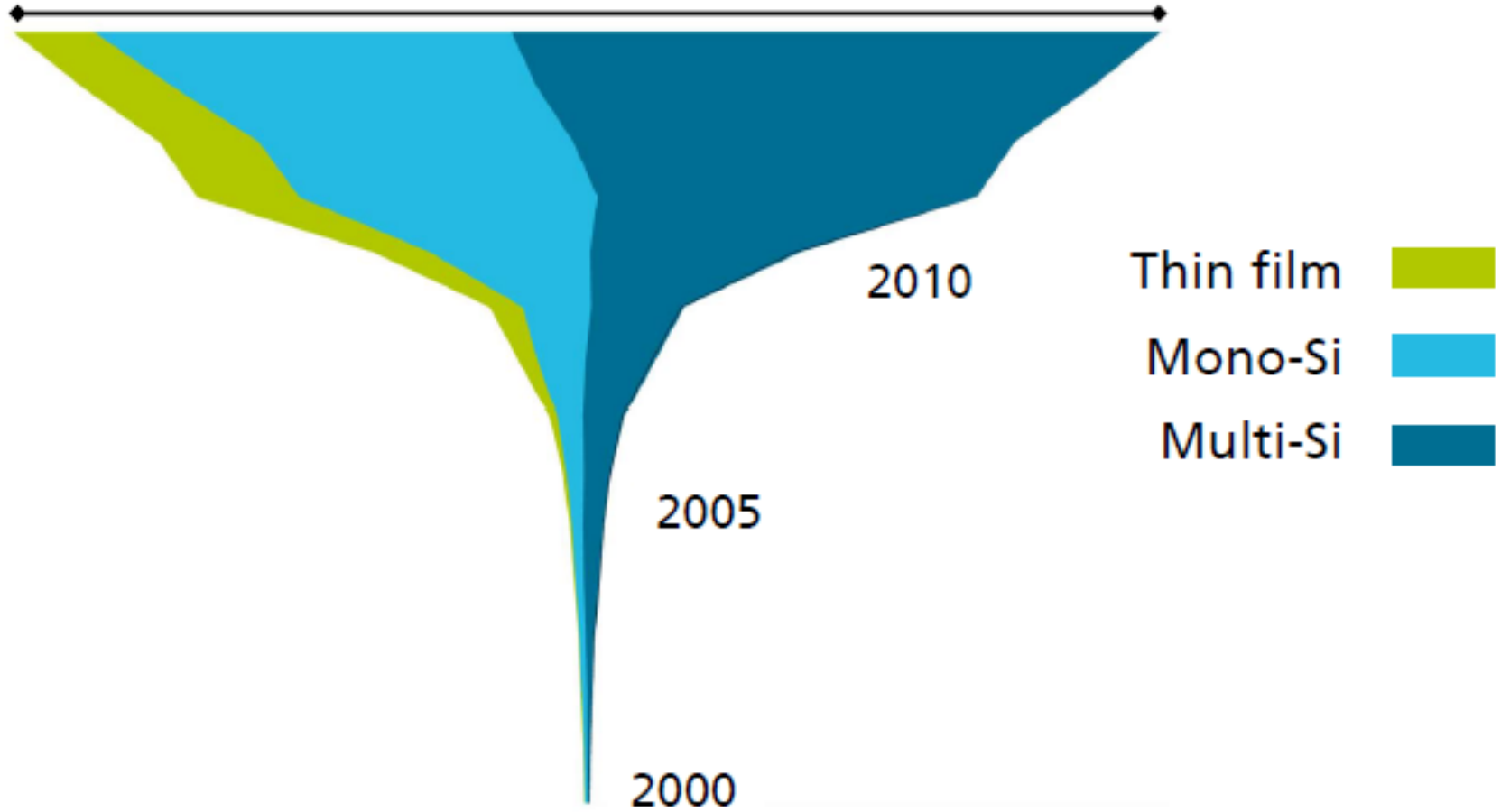


Producción de células/módulos fotovoltaicos por región (1997-2014)

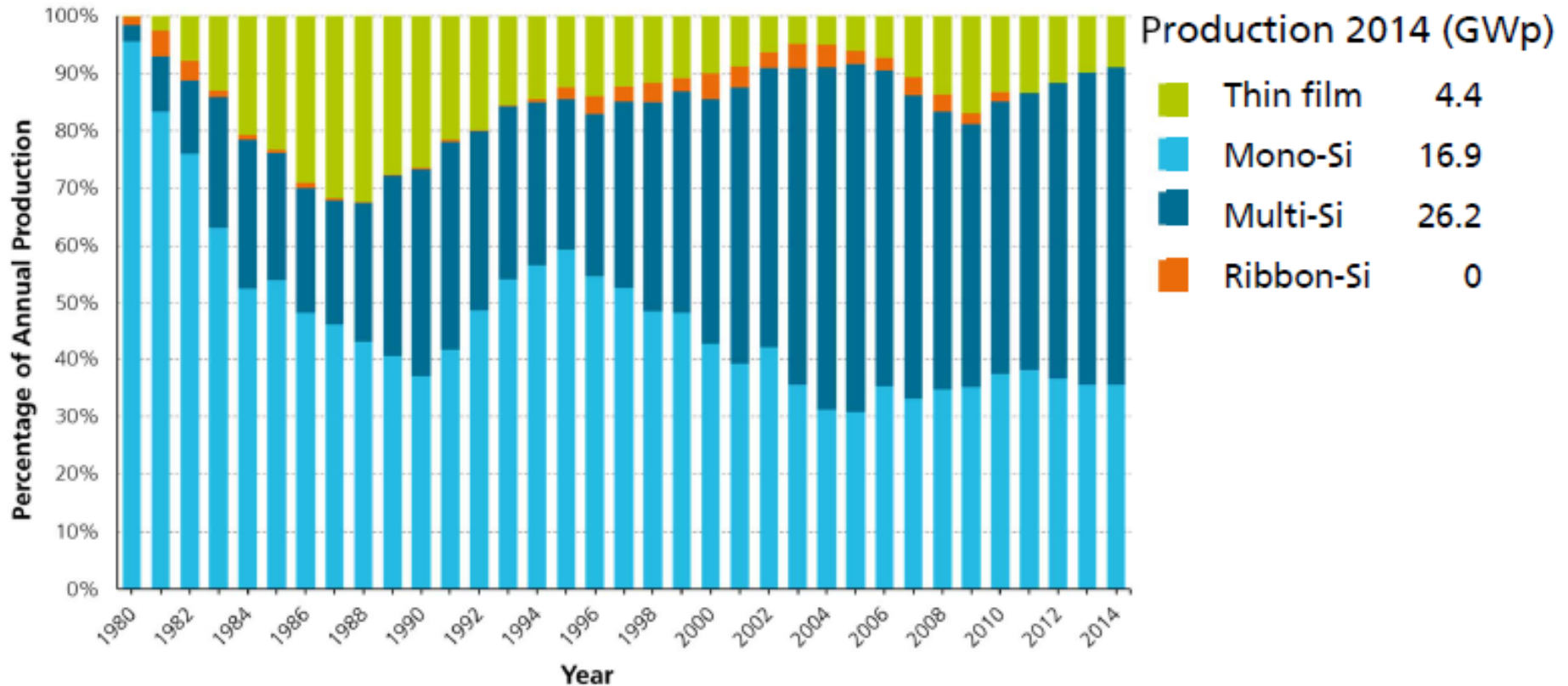


Producción anual fotovoltaica por tecnología

About 47.5* GWp PV module production in 2014

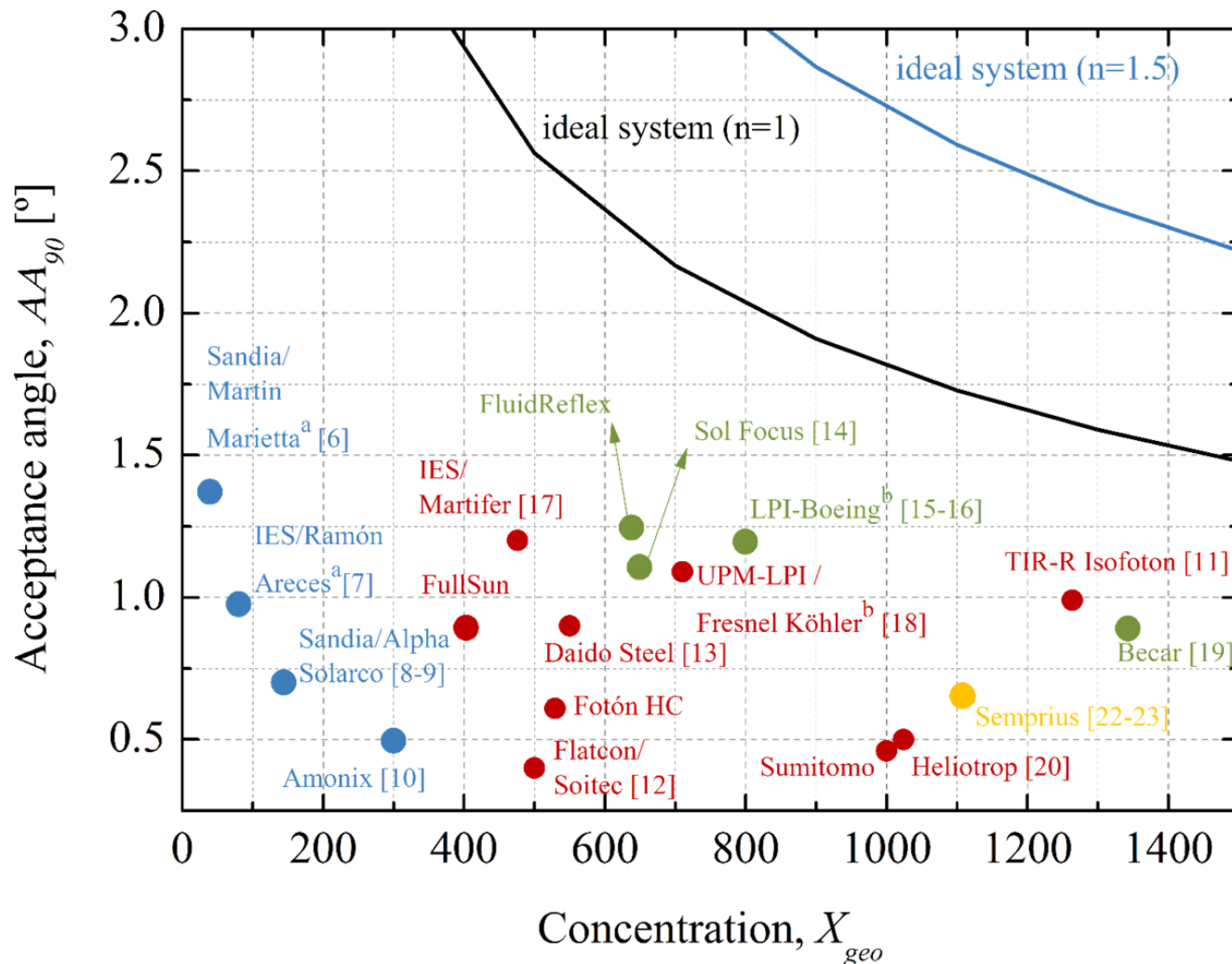


Evolución de la producción anual fotovoltaica por tecnología



Energía solar fotovoltaica de concentración

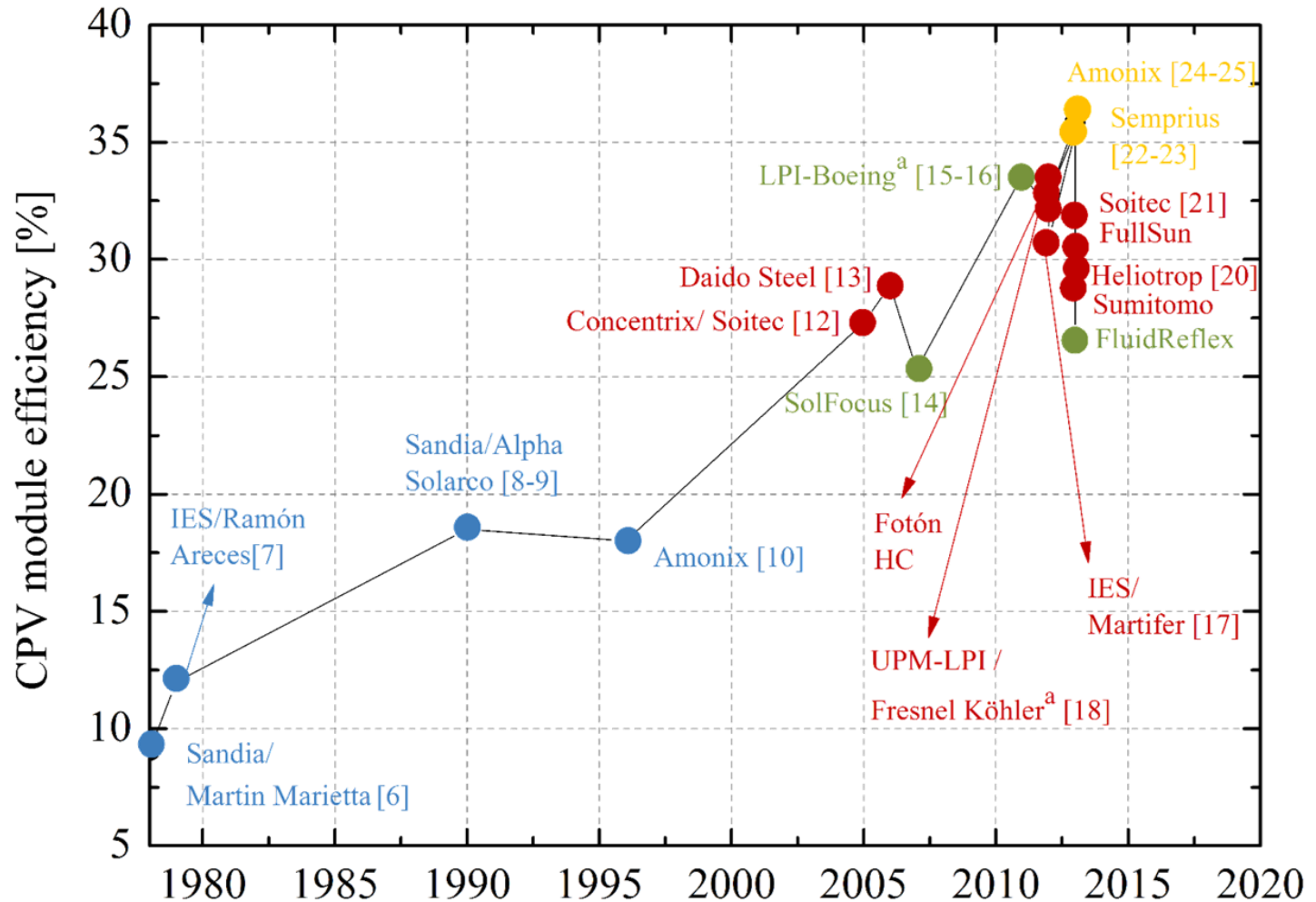
Aceptancia vs. concentración en módulos de concentración fotovoltaica



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

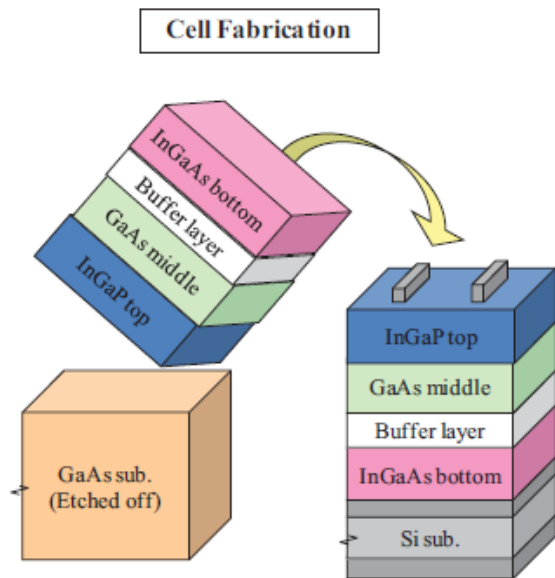
CPV module historical achievements



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.

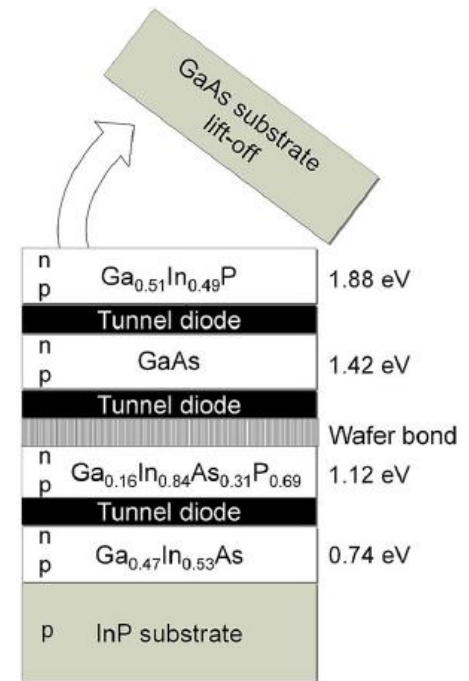
Células multiunión con eficiencias record

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



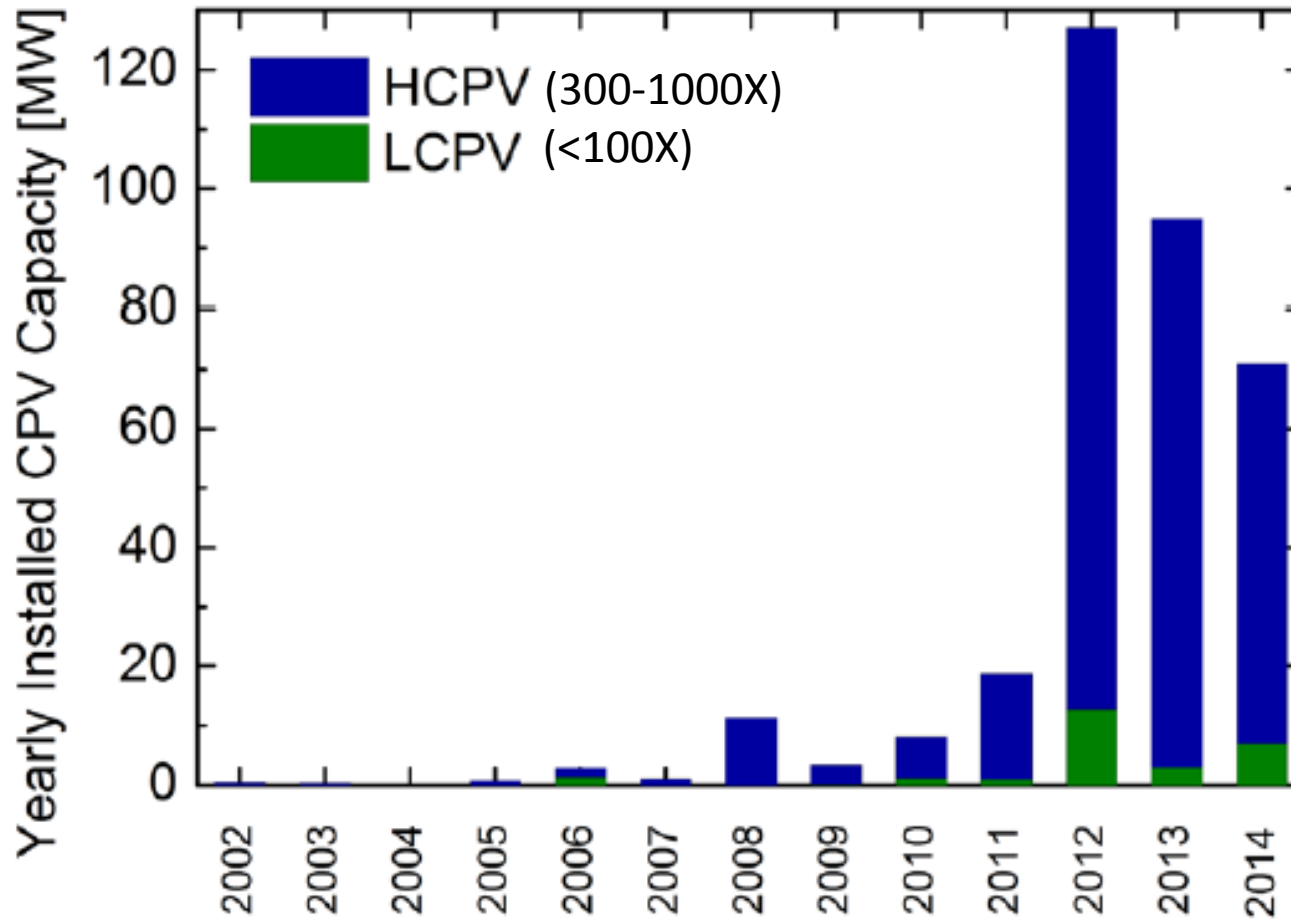
[Current status of Concentrator Photovoltaic \(CPV\) Technology](#), NREL, Fraunhofer- IES, September 2015

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

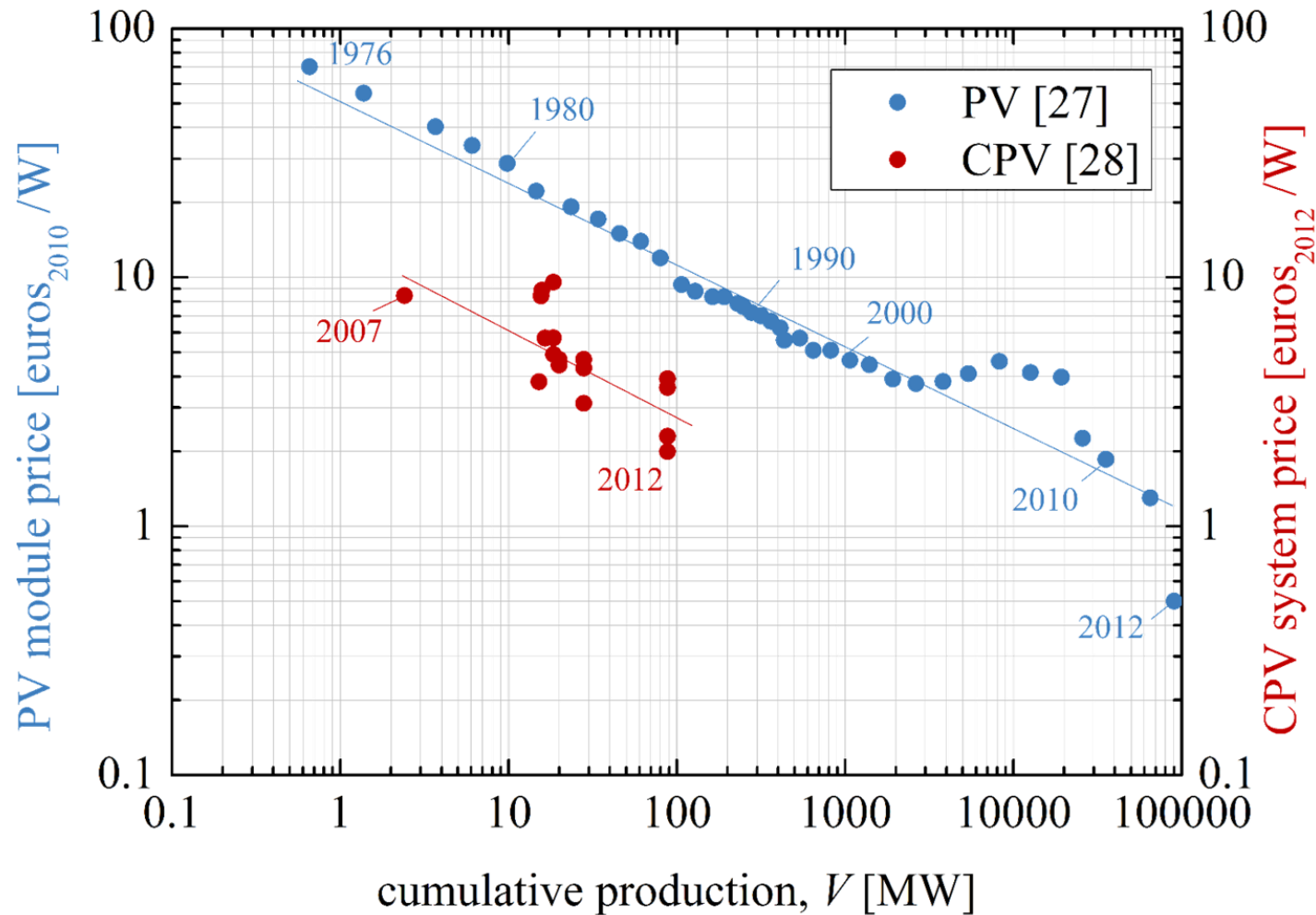


PRESS RELEASE September 2013, [Semprius' 35.5 Percent Efficiency Sets New Record for Commercially Available Solar Modules](#)

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

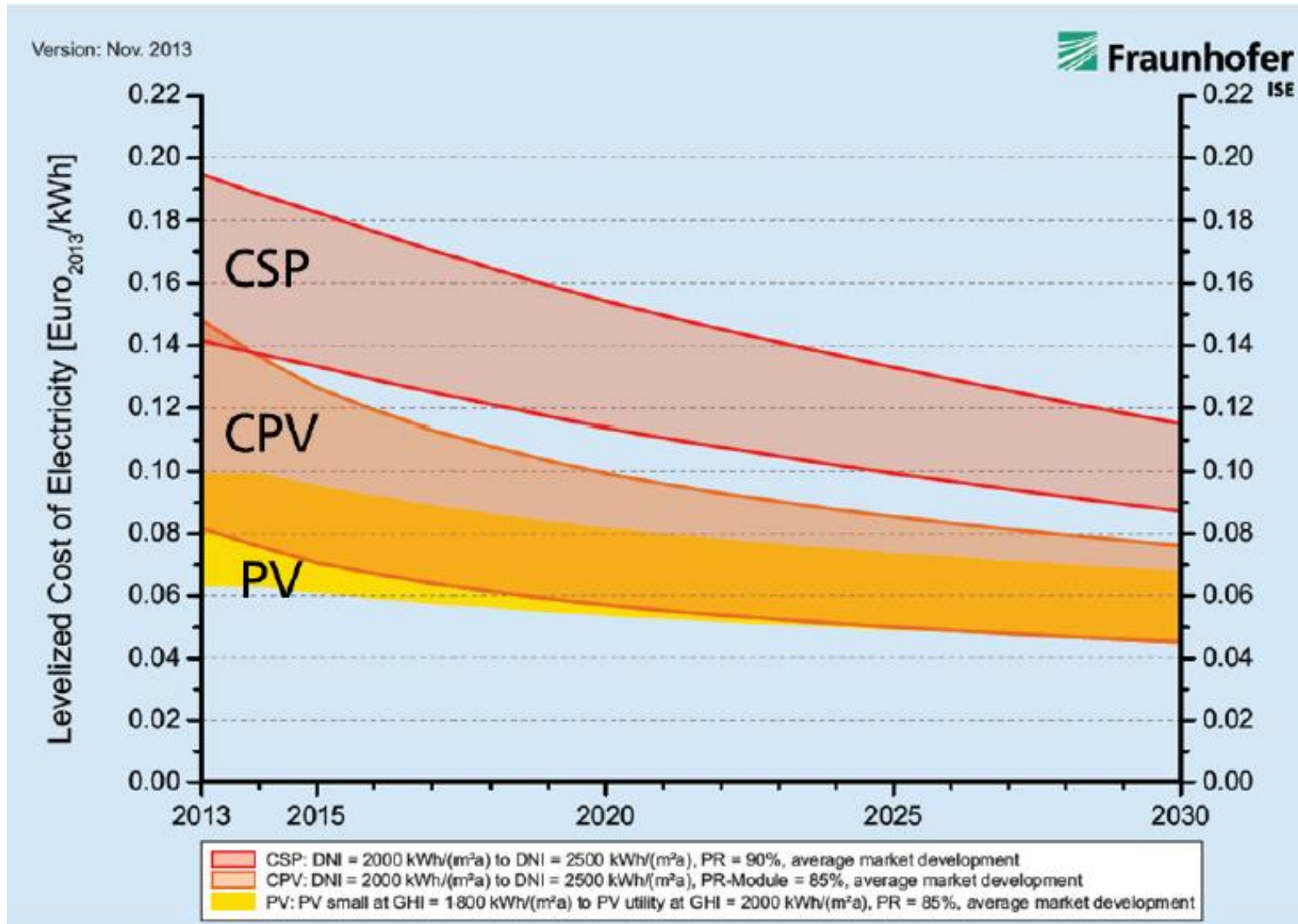


Evolución de la estimación del coste de fotovoltaica de panel plano y concentración



* 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.

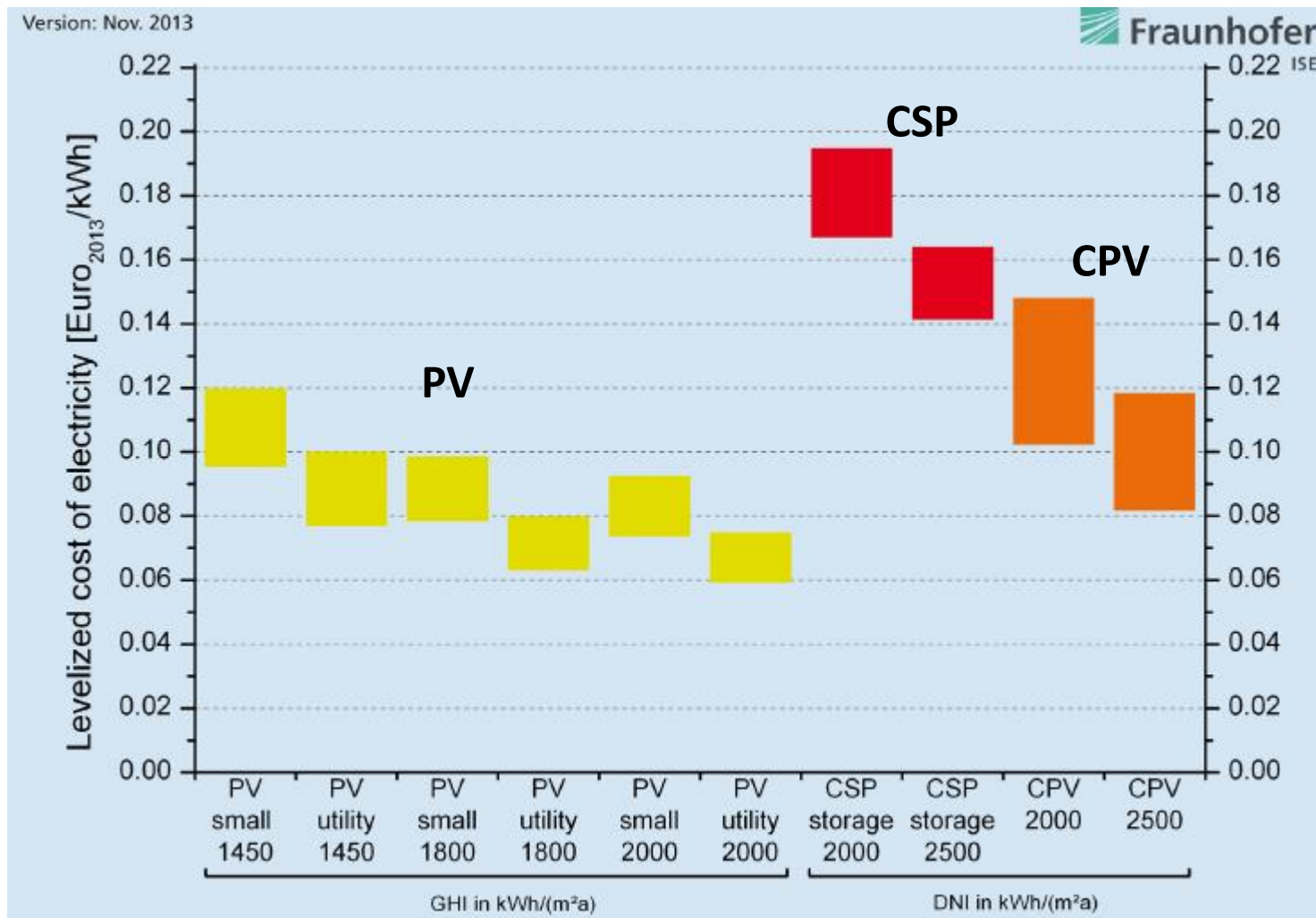
Predicción de la evolución de costes de PV, CPV y CSP



[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

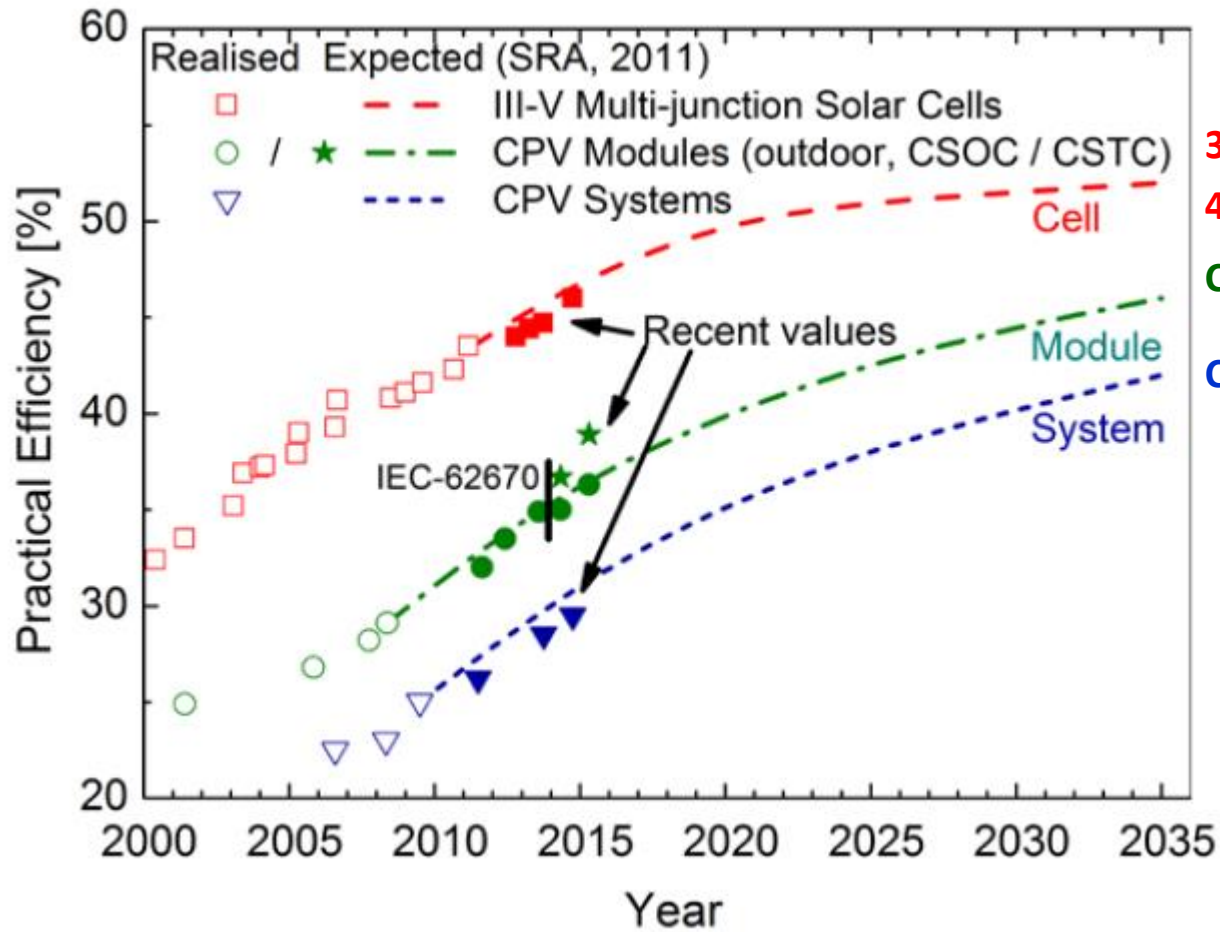
Predicción de la evolución de costes de la fotovoltaica (PV), fotovoltaica de concentración (CPV) y termoeléctrica (CSP)



[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



3J solar cell=44.4%
4J solar cell 46.0%
CPV module=38.9%
CPV system=29.5%