

Energía Solar Fotovoltaica

Master profesional en Ingeniería y Gestión
Medioambiental 2011

Año de realización: 2010-2011

PROFESOR

Carlos Montoya Rasero

Índice

1. Introducción
2. Recurso solar
3. Tecnología fotovoltaica
4. Situación actual
5. Análisis económico sectorial
6. Tendencias futuras
7. Actividades del IDAE

Capítulo 1

Introducción

Introducción

Actividades del IDAE en energía solar

- Desarrollo y redacción de las áreas solares (térmica, fotovoltaica y termoeléctrica) en los **Planes de Energías Renovables**.
- **Seguimiento** y análisis del sector.
- Actividades de **promoción y difusión**.
- **Colaboración** con las administraciones públicas.
- Participación en **sociedades** y financiación de proyectos (F.P.T.).
- **Asesoramiento** técnico.
- Desarrollos de proyectos de **innovación**.
- Programas comunitarios y **cooperación internacional**.

Introducción

Historia - Punto de partida

➤ **Alexandre Edmond Becquerel** (1820 - 1891), físico francés , descubre el **efecto fotovoltaico** al experimentar con una pila electrolítica con electrodos de platino, en la que observó el incremento de corriente que causaba la exposición a la luz de uno de los electrodos.



La energía solar fotovoltaica consiste en aprovechar la radiación solar transformándola directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.

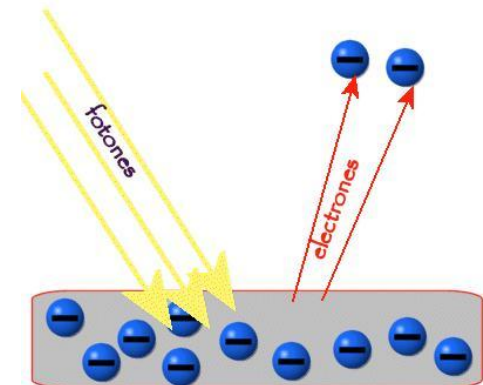
Introducción

Energía Solar Fotovoltaica

Historia - Explicación teórica y 1ª célula moderna

- En **1920 Albert Einstein explica el efecto fotovoltaico**, hablando de electrones que absorben cuantos de energía de la luz (fotones) de forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente lumínica. Por esta explicación del efecto fotovoltaico recibiría el **Premio Nobel** de Física en 1921.

El efecto fotovoltaico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética. La obtención de energía eléctrica se realiza a través de células fotovoltaicas.



- Los Laboratorios Bell producen la **primera célula de silicio** con un **6%** de rendimiento en **1954**. El coste estimado era de **3.000 \$/W**

Introducción

Energía Solar Fotovoltaica

Historia - Primeras producciones industriales

- En **1955** la administración norteamericana solicita a su industria la producción de elementos solares fotovoltaicos para **aplicaciones espaciales**.
- Se lanza, en **1962**, el **primer satélite comercial** de telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de **14 W**.
- La **producción mundial** de células es de **100 kW** en **1973**, el satélite Skylab lleva 20 kW de paneles.
- En **1975** las **aplicaciones terrestres** superan las aplicaciones fotovoltaicas.



Introducción

Energía Solar Fotovoltaica

Historia - Desarrollo acelerado en los últimos años

- En **1985** la Universidad de New South Wales crea células con el **20% de rendimiento**.
- Se alcanza en **1998** un total de **1.000 MWp** de sistemas fotovoltaicos instalados.



- En el año **2002** se producen más de **500 MW** de módulos fotovoltaicos en ese año, **1.000 MW** en el año **2004** y **2.000 MW** en el año **2007**.
- En la actualidad, cerrado el año **2010**, la potencia mundial **instalada** es de **40.000 MW** y la **producción** de células fotovoltaicas en ese año fue de **27.200 MW**.

Capítulo 2

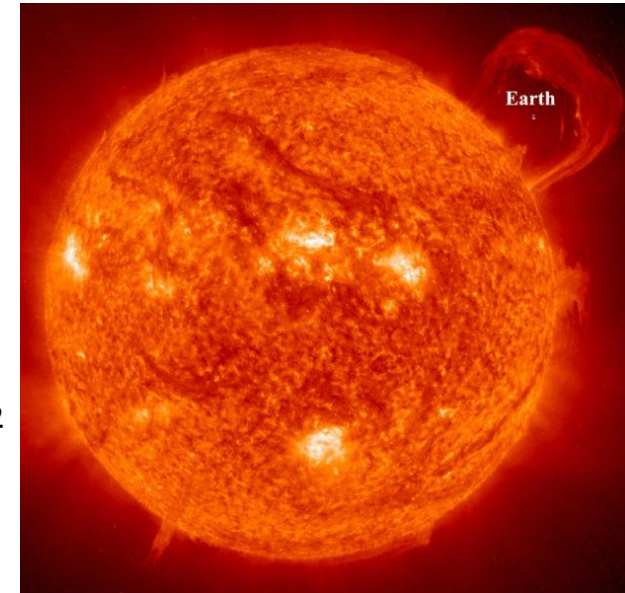
Recurso solar

Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

El Sol

- Radio = 696.000 km (=109 radios terrestres)
- Distancia media Tierra-Sol: 149.500.000 km
- Masa = $1,99 \times 10^{30}$ kg (=333.000 la de la tierra)
- Densidad media: 1,41 g/cm³ (=0,26 la de la tierra)
- Temperatura superficie: 6.000 K
- Irradiancia desde la superficie del sol 63.500 kW/m²
- Irradiancia que alcanza la Tierra: 1,37 kW/m² ($\pm 3,3\%$ por excentricidad de órbita)



El sol produce **energía** en forma de **radiación electromagnética**, comportándose como un **reactor nuclear**, debido a las **reacciones de fusión** de átomos de su interior.

Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

Unidades de radiación solar

Magnitud	Explicación	Unidad	Símbolo
Irradiancia	La radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada (Potencia)	W/m^2	I, E
Irradiación	La radiación que incide durante un periodo de tiempo sobre una superficie determinada (Energía)	Wh/m^2 o J/m^2	H
Irradiancia espectral	Es la potencia radiante por unidad de area y de longitud de onda	$W/(m^2 \cdot \mu m)$	I_λ, E_λ
Irradiancia directa	Radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar	W/m^2	I_{dir}, E_{dir}
Irradiancia difusa	Es la radiación procedente de toda la bóveda celeste excepto la procedente del disco solar	W/m^2	I_{dif}, E_{dif}
Irradiancia global	Se puede entender como la suma de la radiación directa y difusa. Es el total de la radiación que llega a un determinado lugar	W/m^2	I_g, E_g
Irradiancia circumsolar	Es la parte de la radiación difusa procedente de las proximidades del disco solar	W/m^2	I_{cir}, E_{cir}
Radiación extraterrestre	Es la radiación que llega al exterior de la atmósfera terrestre. Solo varía con la distancia Tierra-sol.	W/m^2 o J/m^2	I_0, E_0 o H_0

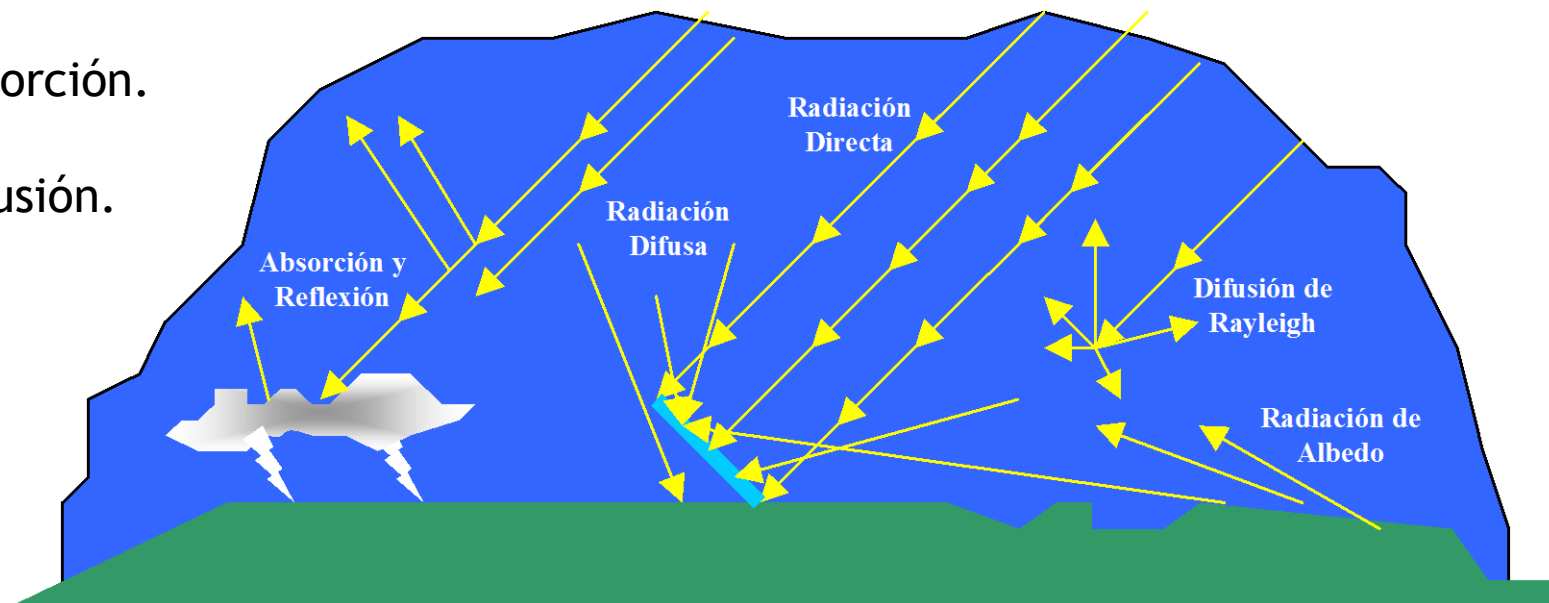
Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

La radiación solar a su llegada a la Tierra - Pérdidas

La atmósfera terrestre atenúa la radiación solar debido a:

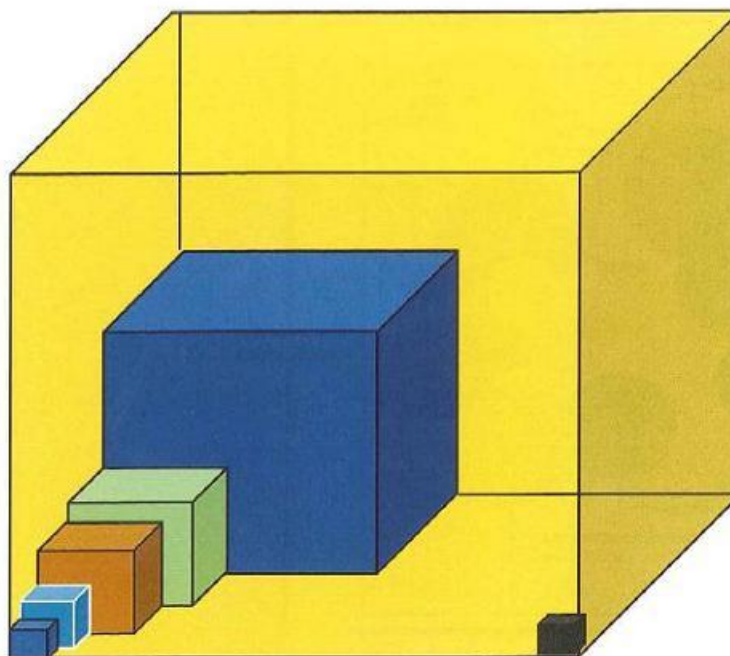
- Reflexión.
- Absorción.
- Difusión.



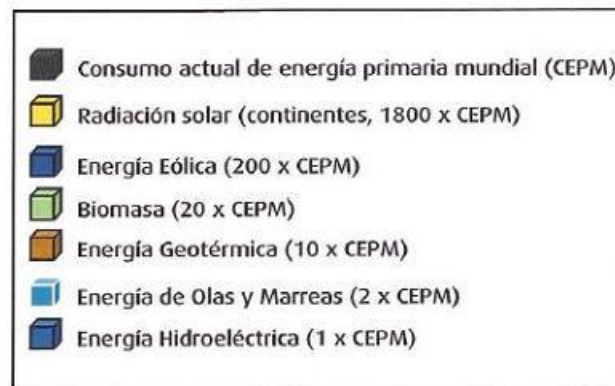
Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

Potencial físico de las EE.RR. en el mundo



ILIMITADO



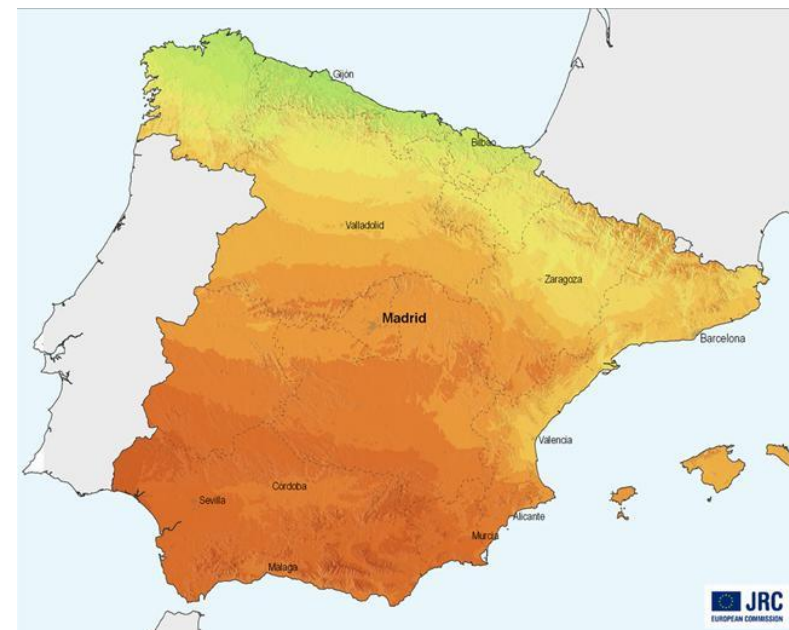
Fuente: Nitsch, F. (2007): Technologische und energiewirtschaftliche Perspektiven erneuerbarer Energien, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

Potencial físico de las EE.RR. en España

Tecnologías	Potencial (GW)
Solar PV y Solar Termoelectrica	>1.000
Eólica terrestre + marina	340
Geotérmica (1)	2,5
Geotérmica (2)	20
Olas	20
Hidroeléctrica	13
Bombeo	13
Biomasa Eléctrica	8
RSU	1,8
Biogás	1,2



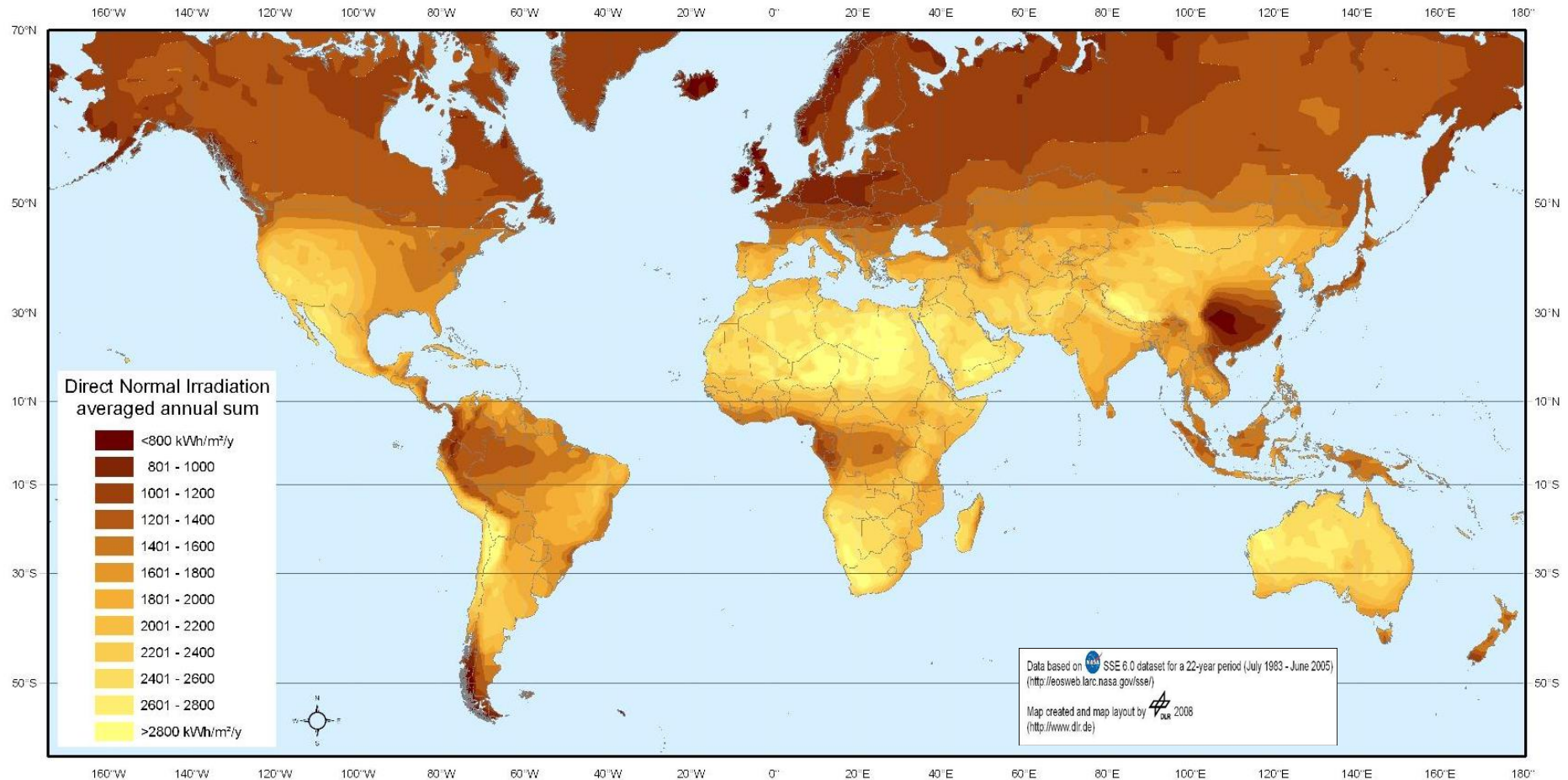
(1) En zonas reconocidas y estudiadas por IGME

(2) En zonas geológicas favorables, sin estudiar

Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

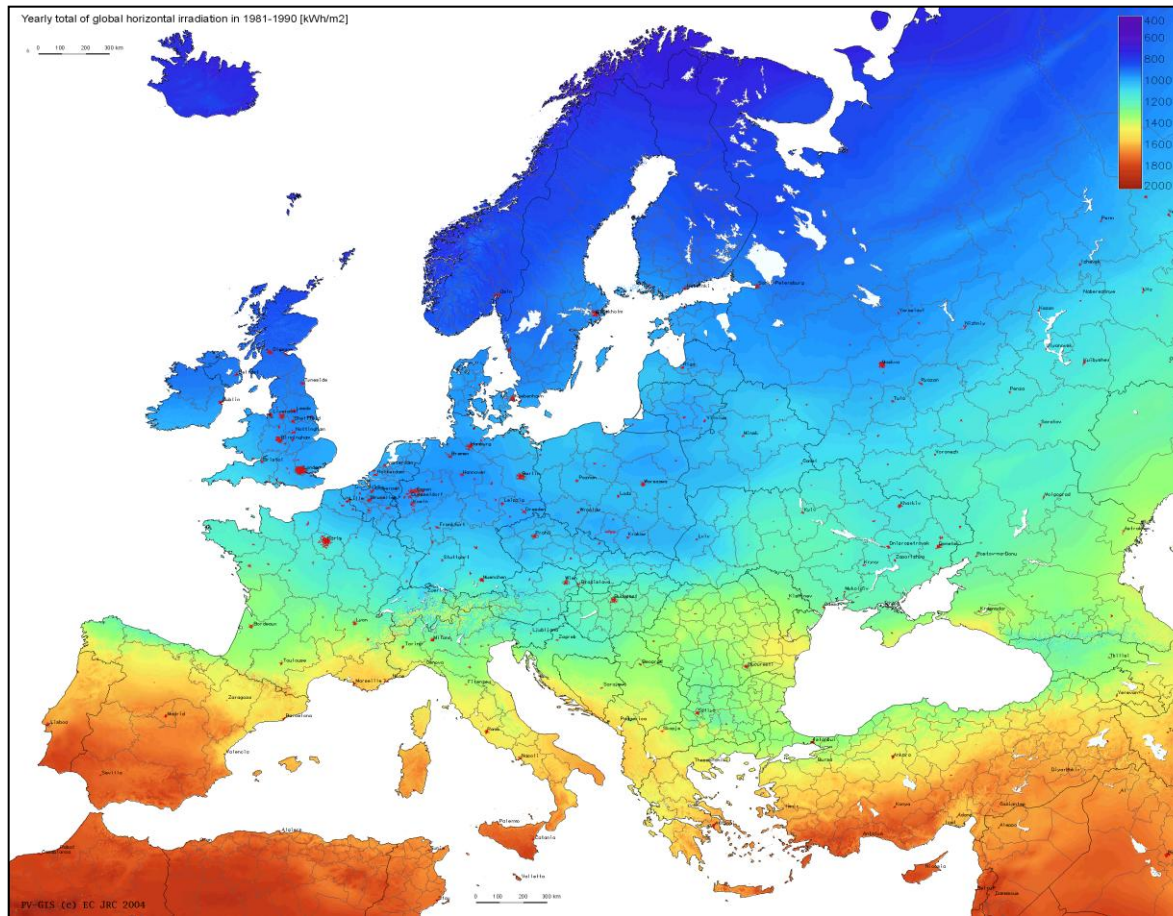
Irradiación directa normal mundial



Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

Radiación solar en Europa

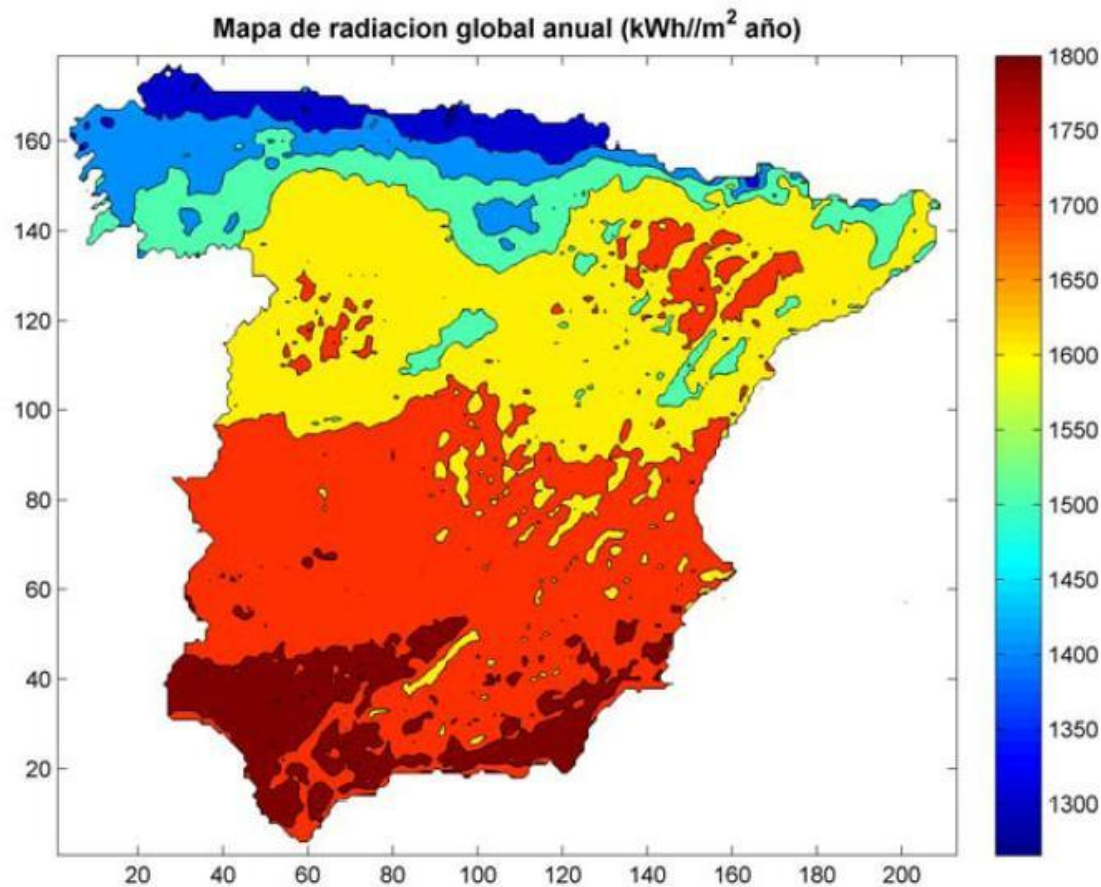


FUENTE: Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. (2005).
PV-GIS: a web-based solar radiation database for
the calculation of PV potential in Europe.
International Journal of Sustainable Energy, 24,
2, 55-67. Radiación solar en Europa

Recurso solar

Energía Solar Fotovoltaica

Radiación solar en España



Recurso solar

La energía solar, nuestra energía

- La energía solar es **fiable, inagotable, limpia, segura y no genera residuos**.
- El **campo de actuación** de la energía solar, es muy **amplio** y presenta una gran **versatilidad** en múltiples aplicaciones:
 - Generación de energía eléctrica.
 - Desalinización.
 - Producción de calor o frío.
- En el **mundo** existen unas **enormes posibilidades de crecimiento del mercado solar**. Las nuevas tecnologías solares están mejorando considerablemente la relación entre costes y eficiencia, y pueden permitir en breve alcanzar **economías de escala** que mejoren su competitividad.

Capítulo 3

Tecnología fotovoltaica

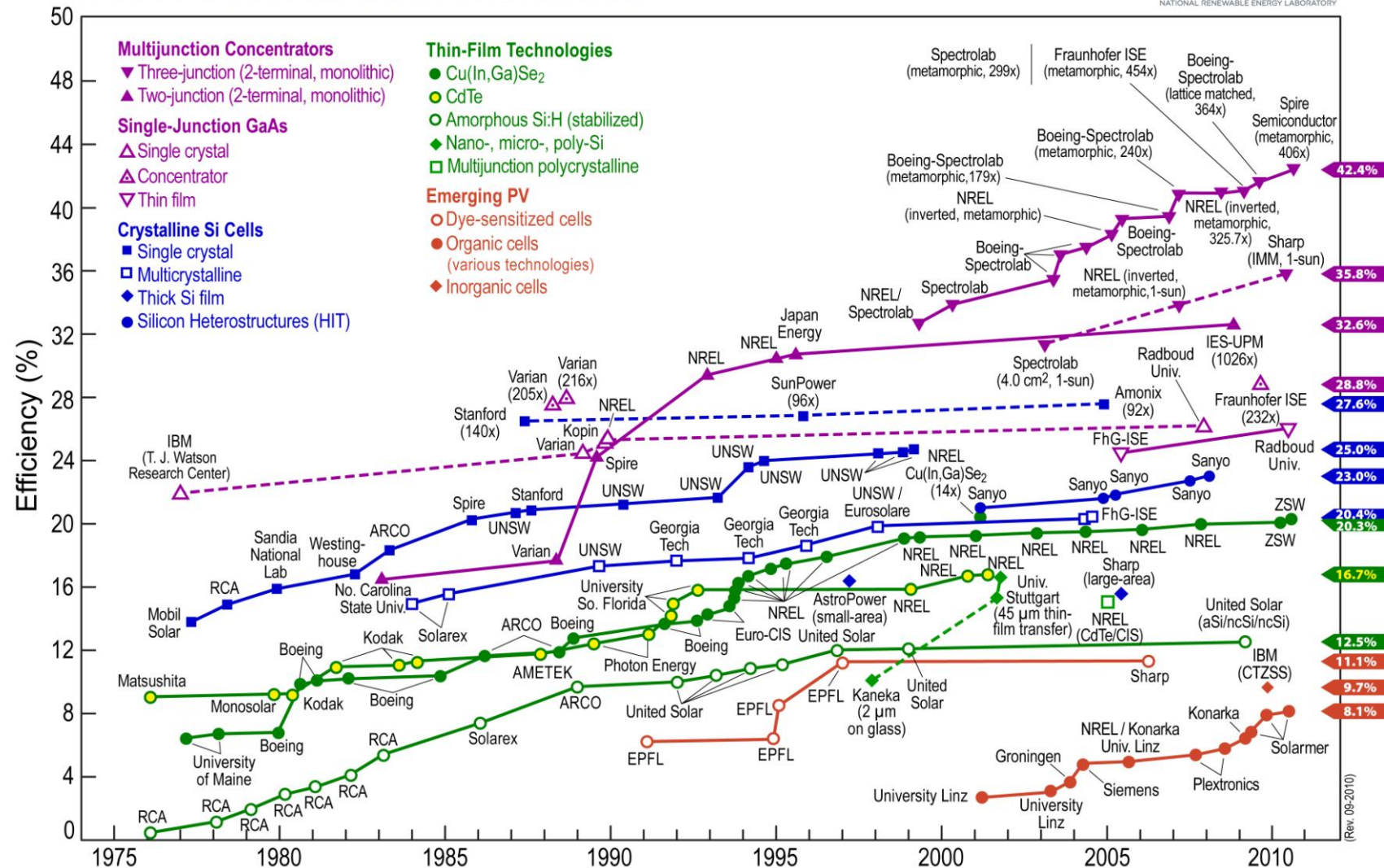
Tecnología fotovoltaica

Tecnologías de energía solar fotovoltaica

- **Tecnología de vanguardia**, sustentada en una industria puntera.
- Instalaciones con periodo de **vida útil entre 20 y 30 años**.
- Paneles fotovoltaicos:
 - **Silicio**
 - Tecnología **cristalina**:
 - Monocristalino**: 16%-20% de eficiencia.
 - Policristalino**: 12%-14% de eficiencia.
 - Capa delgada de silicio. **aSi, μ Si**: 8%-12% de eficiencia.
 - **Capas delgadas** de nuevos materiales
 - Teluro de Cadmio (CdTe).
 - Diseleniuro de indio-cobre (CIS). Eficiencias elevadas (~18%).
 - **Otros**: Células **Multiunión** (Arseniuros de Indio-Galio) y **Orgánicas**.

Tecnología fotovoltaica

Best Research-Cell Efficiencies



Tecnología fotovoltaica

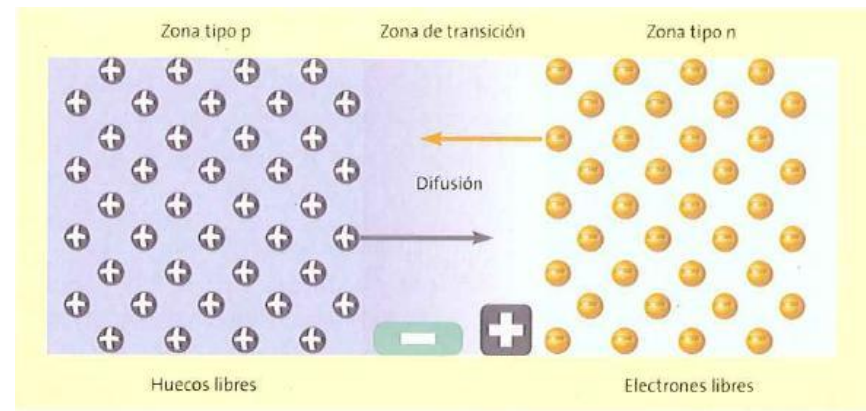
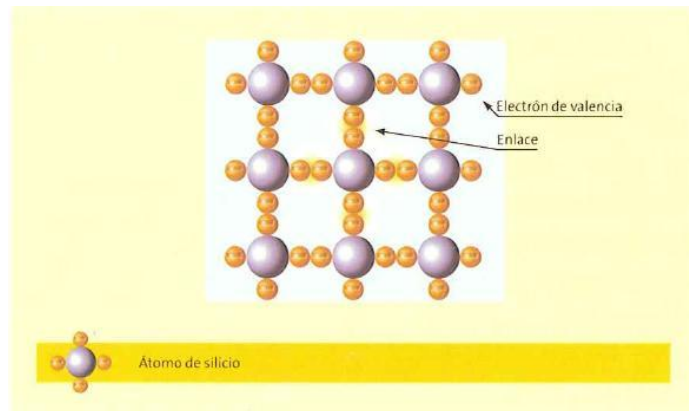
Energía Solar Fotovoltaica

Tecnologías fotovoltaicas - Dopados

Para que el silicio funcione como productor de energía, se introducen “impurezas” (átomos) en el silicio. Se denomina **proceso de dopado**.

Estos átomos son de dos tipos:

- Los que tienen **un electrón más** que el silicio en su capa de valencia externa (**fósforo**), forman la zona **tipo n**.
- Los que tienen **un electrón menos** que el silicio en su capa de valencia externa (**boro**), forman la zona **tipo p**.



Tecnología fotovoltaica

Energía Solar Fotovoltaica

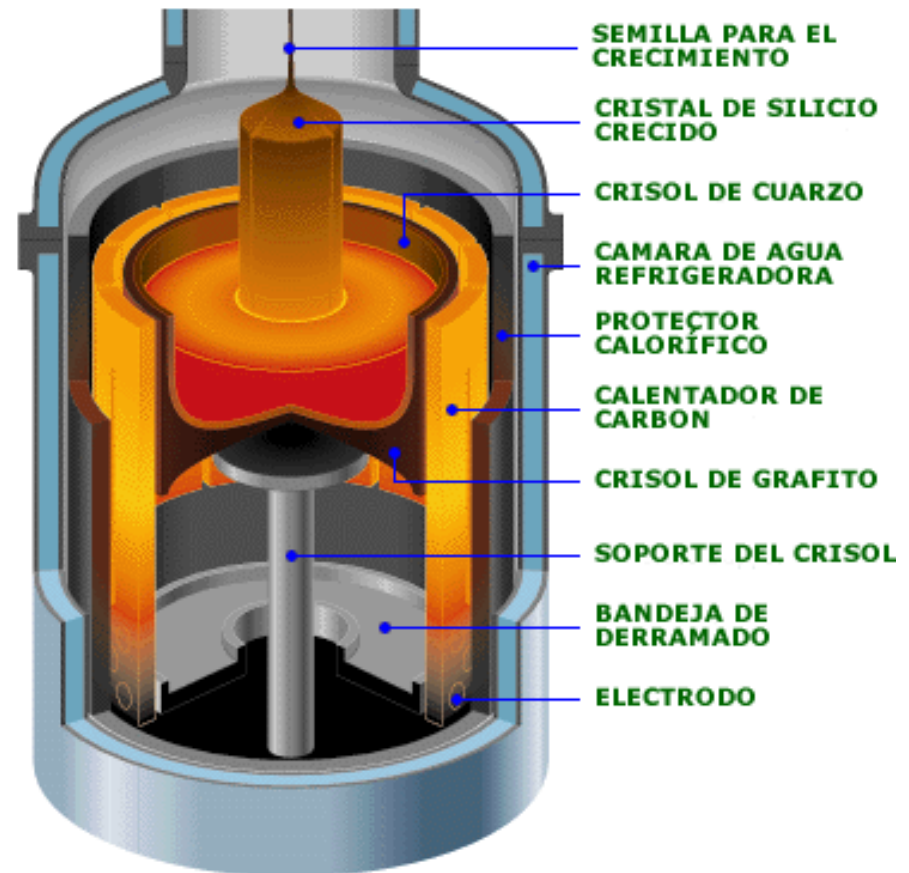
Silicio monocristalino

Se obtiene por proceso **Czochralski**.

Se toma una semilla de silicio monocristalino con una determinada orientación y se introduce en el crisol.

Cuando toca la superficie de la masa fundida de silicio que se encuentra en el crisol (punto de fusión **1.420 °C**) se extrae hacia arriba girando muy lentamente sobre el eje de la varilla.

CRISTALIZACIÓN POR EL METODO "CZOCRALSKY"



Tecnología fotovoltaica

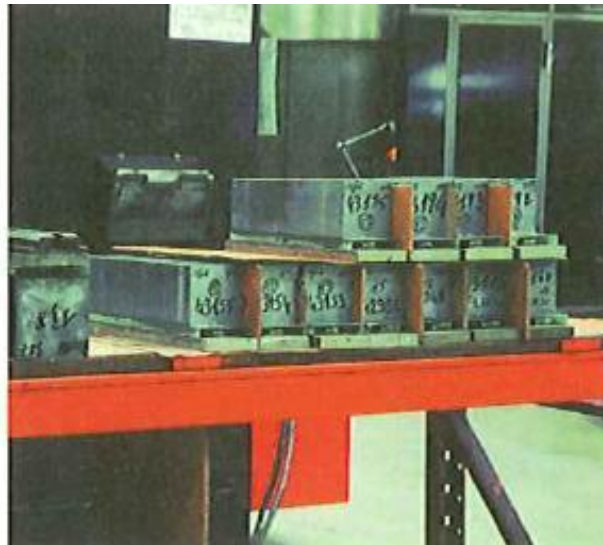
Energía Solar Fotovoltaica

Silicio policristalino

Silicio policristalino se elabora por procedimiento de **fusión en bloques**.

Se toma sílice al vacío y se calienta **1.500 °C**. Por el procedimiento de fusión en bloques se forman **cristales con diferentes orientaciones**.

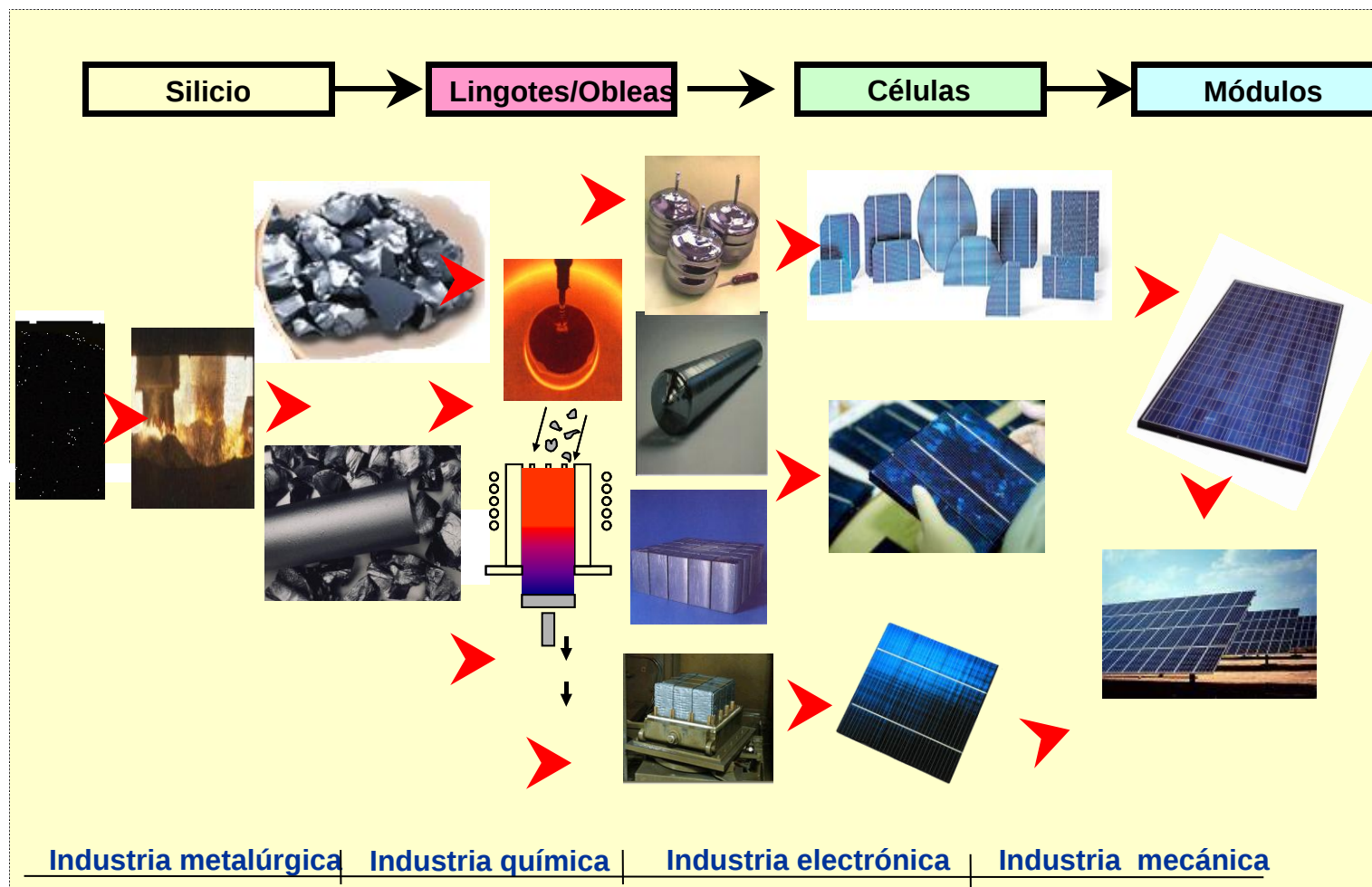
Los **bloques de silicio** que se cortan con una sierra en lingotes primero y posteriormente en obleas.



Tecnología fotovoltaica

Cadena de valor del silicio

Energía Solar Fotovoltaica

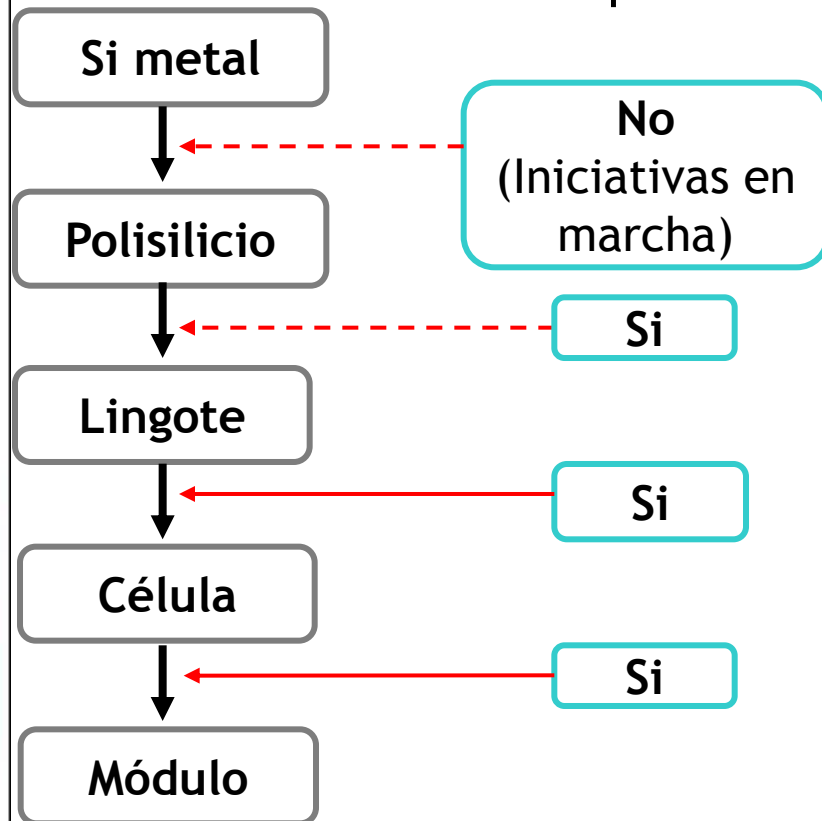
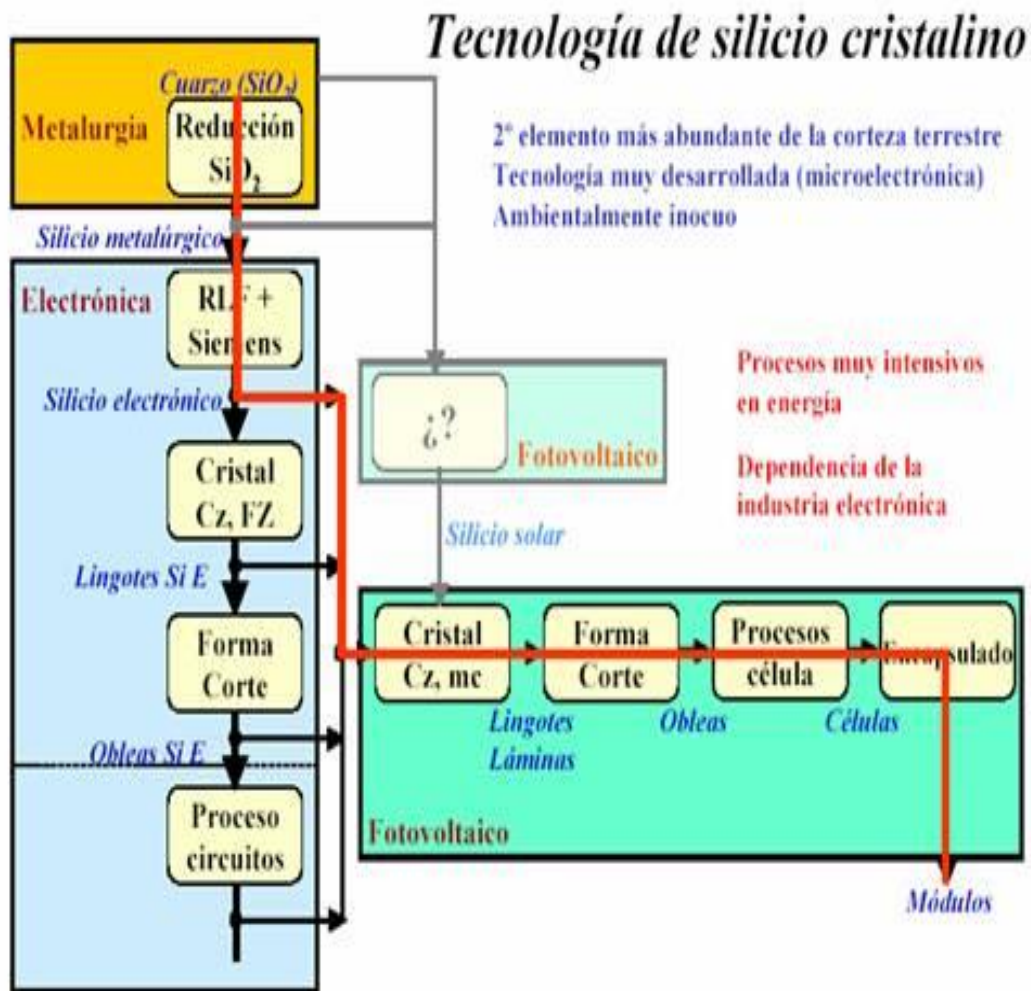


Tecnología fotovoltaica

Tecnología del silicio en España

Energía Solar Fotovoltaica

España



Tecnología fotovoltaica

Principales empresas españolas

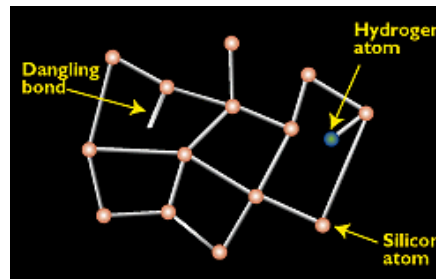
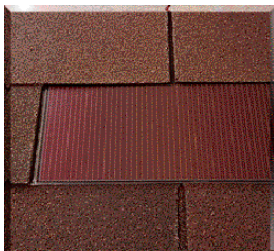
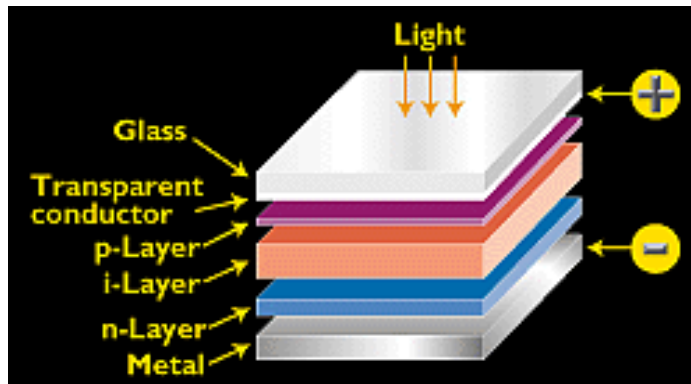
	PRODUCTO	CAPACIDAD	P.E.M.	LOCALIZACIÓN
FERROATLÁNTICA	SILICIO met.			La Coruña
SILIKEN	POLISILICIO	2.000 T/AÑO	2.008	Albacete
PEVAFERSA	POLISILICIO	2.500 T/AÑO	2.009	Zamora
SILICIO ENERGÍA I y II	POLISILICIO	2.500 T/AÑO	2009/10	Cádiz
SILICIO SOLAR	OBLEAS	24 MILL/AÑO	2.007	Ciudad Real
DC WAFERS	OBLEAS	30 MW/AÑO	2.008	León

Tecnología fotovoltaica

Energía Solar Fotovoltaica

Capa delgada - Silicio amorfo

Se cubre un **substrato** (vidrio, plástico, ...) con una **capa muy fina de un semiconductor** sensible a la radiación (fotoactivo). La **temperatura** en el proceso de fabricación es de unos **200 – 500 °C** frente a los 1.500 °C que se necesitan en el caso de células de silicio cristalino.



Tecnología fotovoltaica

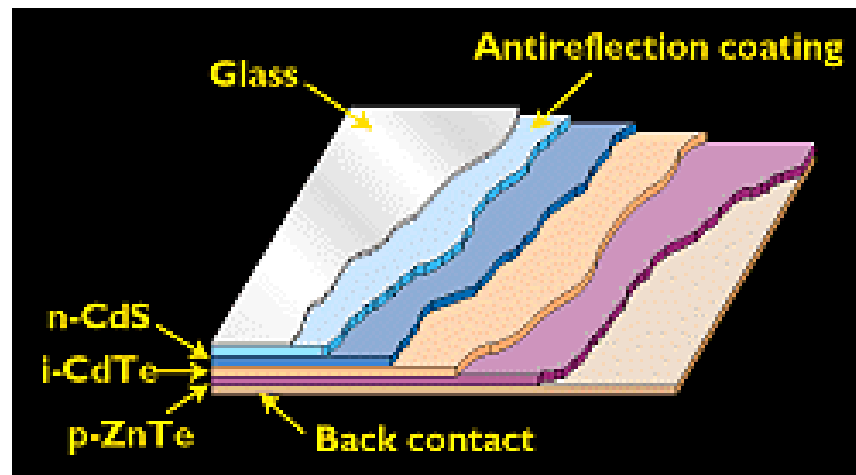
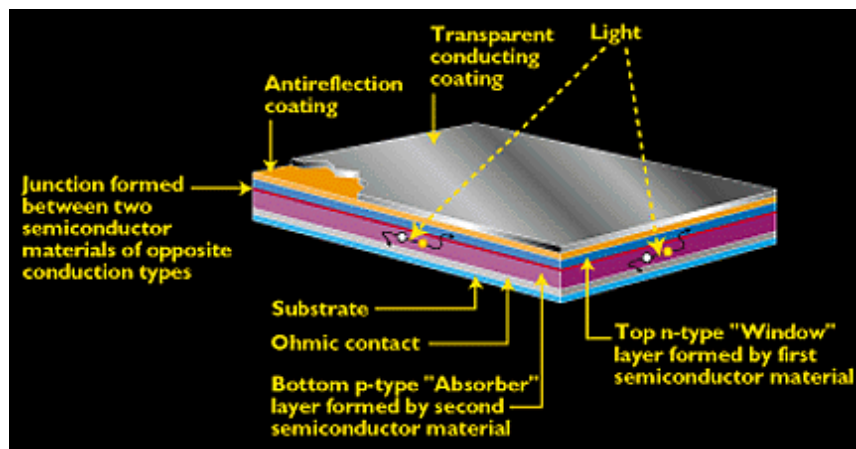
Capa delgada - CIS y CdTe

- El material semiconductor activo en las células solares **CIS** es el **diseleniuro de cobre e indio** (CuInSe_2). En ocasiones se utiliza el CIS junto al **galio (CIGS)**. Para la fabricación de células se toma el **sustrato de vidrio** en primer lugar y mediante **pulverización catódica** se coloca una capa delgada de **Molibdeno** que actúa como **electrodo posterior**. La capa absorbente CIS se crea en una cámara de vacío a una temperatura de **500 °C** al evaporarse simultáneamente el cobre, el indio y el selenio.
- La elaboración de células solares de **CdTe** se consigue a partir de un sustrato con una capa conductora transparente, generalmente de **óxido de estaño**. Se coloca sobre ésta una capa conductora de **CdS** y a continuación una capa conductora absorbente de **CdTe**. La separación de las capas de CdS y de CdTe se lleva a cabo a unas temperaturas de unos **700 °C** mediante proceso de vacío.

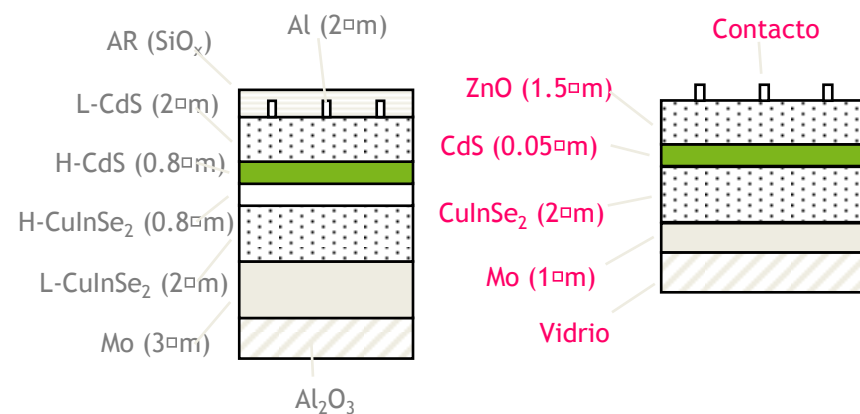
Tecnología fotovoltaica

Capa delgada - CIS y CdTe

Energía Solar Fotovoltaica



Celúlas de CuInSe_2 (CIS)



Celúlas de CdTe

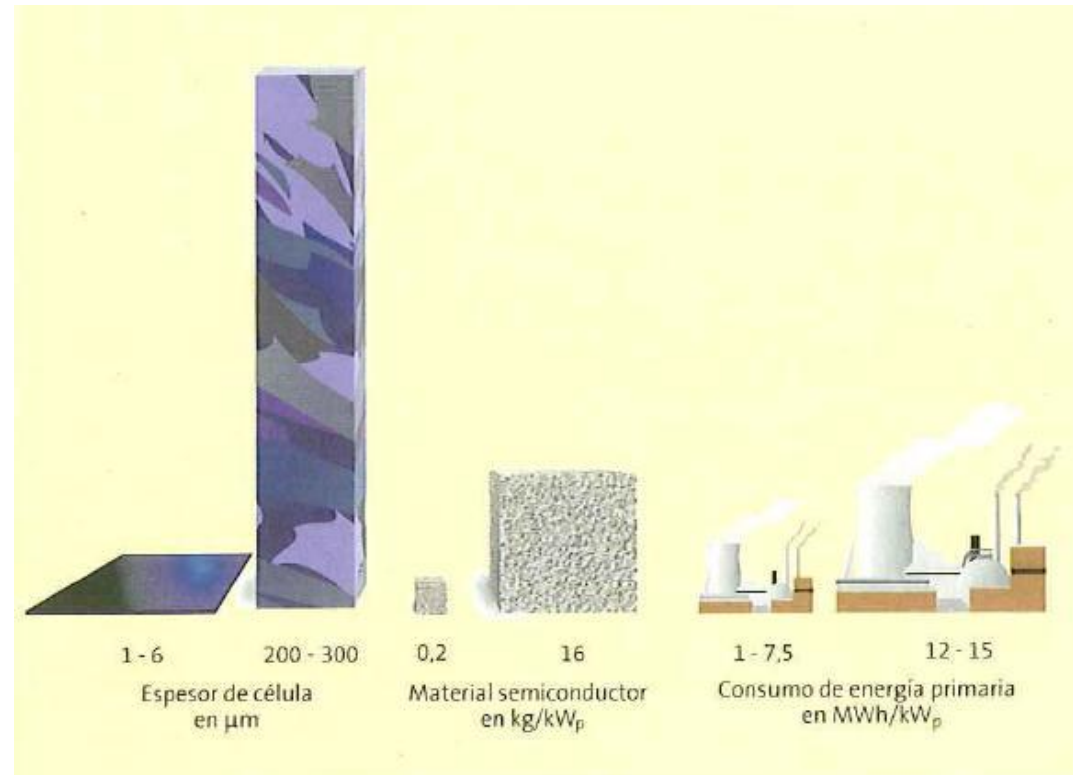
	Vidrio		Vidrio
	SnO_2 0.4 m m		SnO_2 0.4 m m
	CdS 0.25 m m	n	CdS 0.15 m m
	CdTe 3.0 m m	i	CdTe 2.0 m m
	Grafito 10 m m	p	ZnTe 0.1 m m
			Ni 0.05 m m
	Metal 1.5 m m		

Tecnología fotovoltaica

Silicio cristalino

Capa delgada

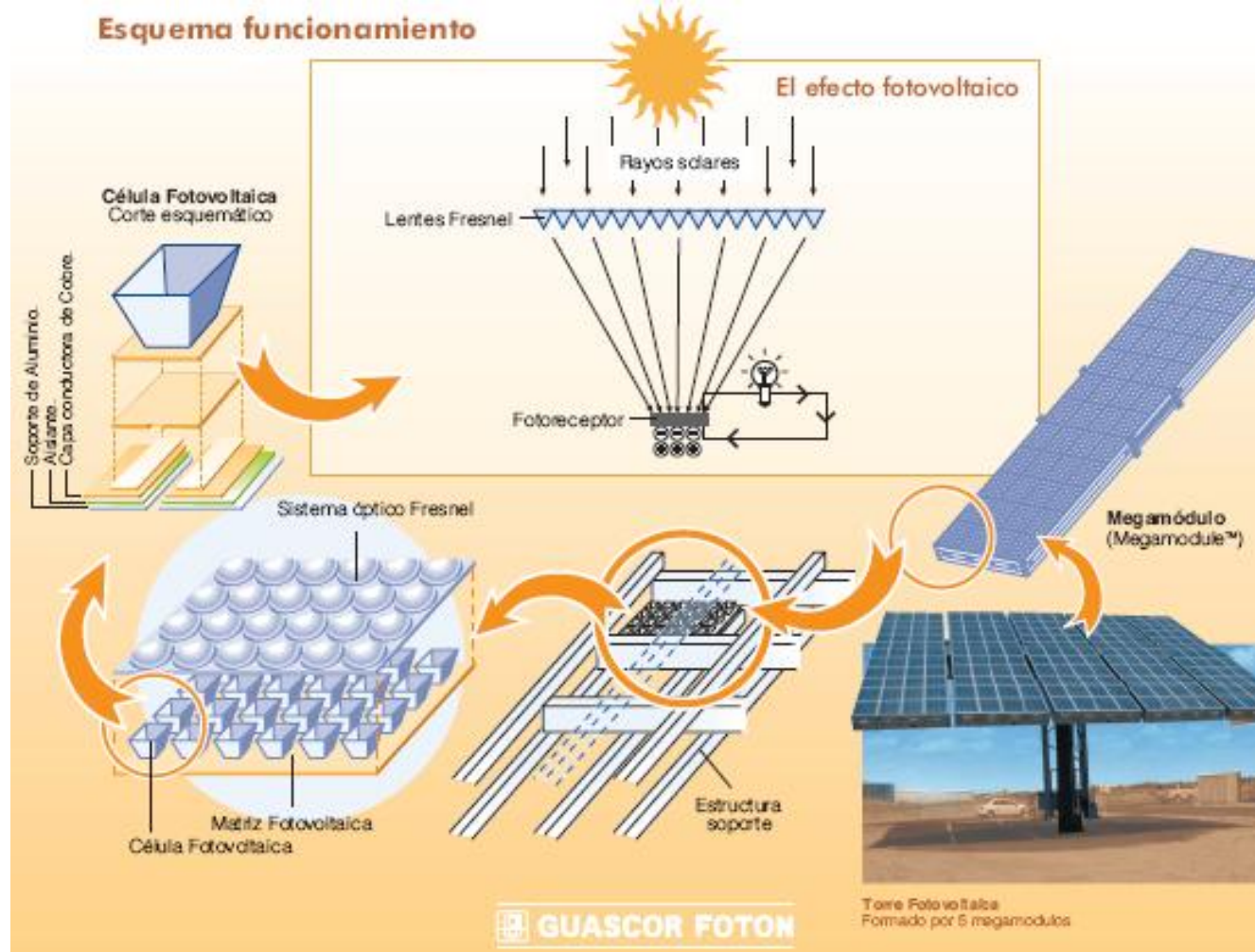
El **poco material** y la **baja energía consumida** por las tecnologías de capa delgada, junto a la posibilidad de un **alto grado de automatización** del proceso, ofrecen un considerable potencial de **reducción de costes** frente a la tecnología de silicio cristalino.



Tecnología fotovoltaica

Concentración fotovoltaica

Energía Solar Fotovoltaica



Tecnología fotovoltaica

Estructuras de seguimiento

➤ Estructuras Fijas

- Sobre el techo o terreno (poste, mesa inclinada).
- Bajo costo, alta fiabilidad.

➤ Estructuras con Seguimiento

- Mayor producción.
- Mayor coste de inversión y mantenimiento.



Aumento de la producción

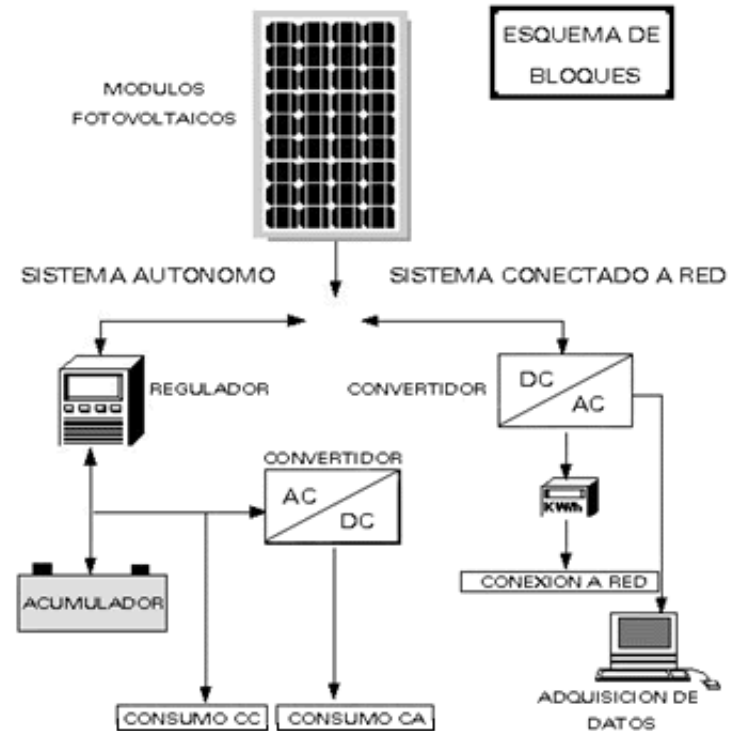
Seguimiento E-O, eje horizontal N-S	+ 15 %
Seguimiento acimutal	+ 30 %
Seguimiento solar tipo polar	+ 35 %
Seguimiento en dos ejes	+ 40 %

Tecnología fotovoltaica

Aplicaciones de la energía solar FV

La **radiación solar** llega a los **módulos**, que producen **energía eléctrica** por el **efecto fotovoltaico** en forma de **corriente continua**.

Esta corriente continua se puede **almacenar** o **inyectar** en la red eléctrica, para aprovecharse directamente como **CC** o bien transformarse en **CA**.



TIPOLOGÍAS

- Conectadas a la red de distribución de energía eléctrica.
- Aisladas de red (con y sin acumulación).

Tecnología fotovoltaica

Aplicaciones de la energía solar FV

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Aplicaciones CONECTADAS a red

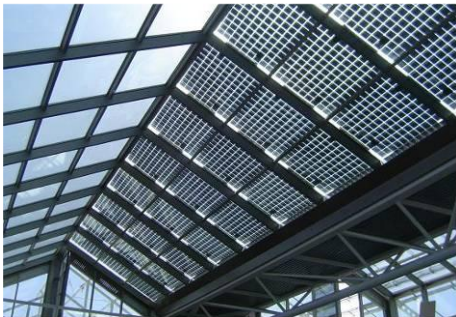
Instalaciones
en **EDIFICIOS**

Instalaciones
en **SUELO**

Aplicaciones AISLADAS de red

Señalización,
comunicación,
bombeos

Electrificación
doméstica y
servicios



Tecnología fotovoltaica

Instalación aislada de red - Bombeo

Energía Solar Fotovoltaica



Tecnología fotovoltaica

Energía Solar Fotovoltaica

Instalación conectada a red - Vivienda



Tecnología fotovoltaica

Instalación conectada a red - Suelo



Tecnología fotovoltaica

Energía Solar Fotovoltaica

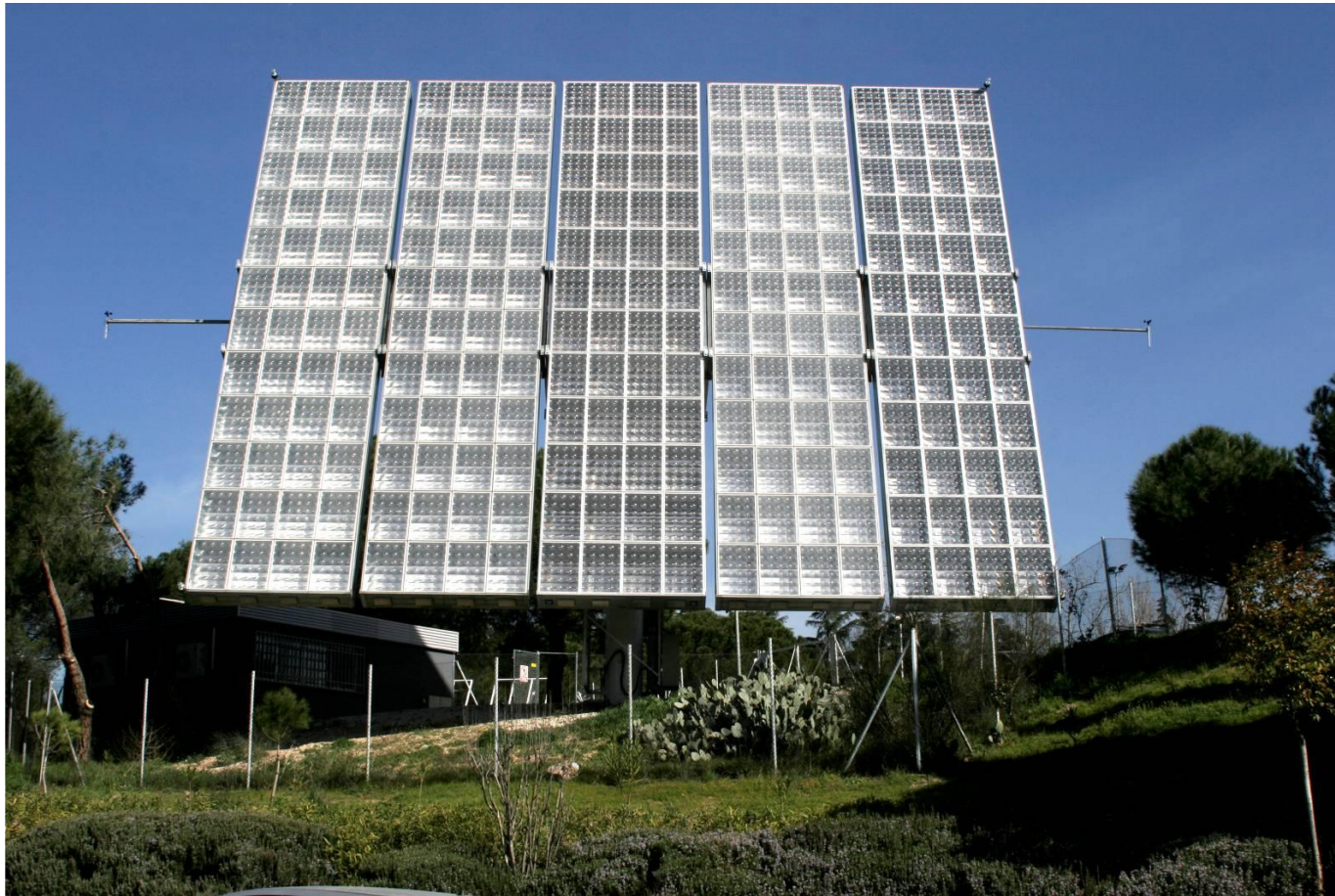
Instalación conectada a red - Baja concentración



Tecnología fotovoltaica

Energía Solar Fotovoltaica

Instalación conectada a red - Alta concentración

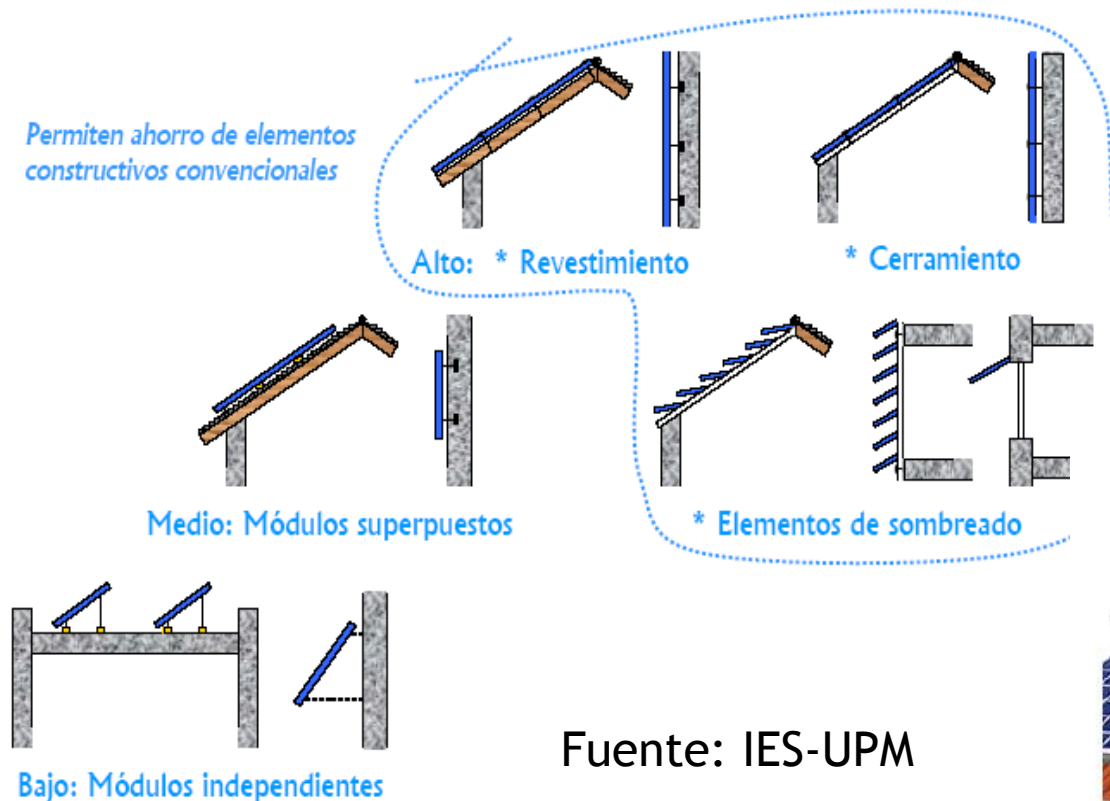


Tecnología fotovoltaica

Integración arquitectónica

GRADOS DE INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA

Permiten ahorro de elementos
constructivos convencionales



Fuente: IES-UPM



Tecnología fotovoltaica

Integración arquitectónica

Módulos híbridos



Tejas fotovoltaicas



Fuente: IES-UPM

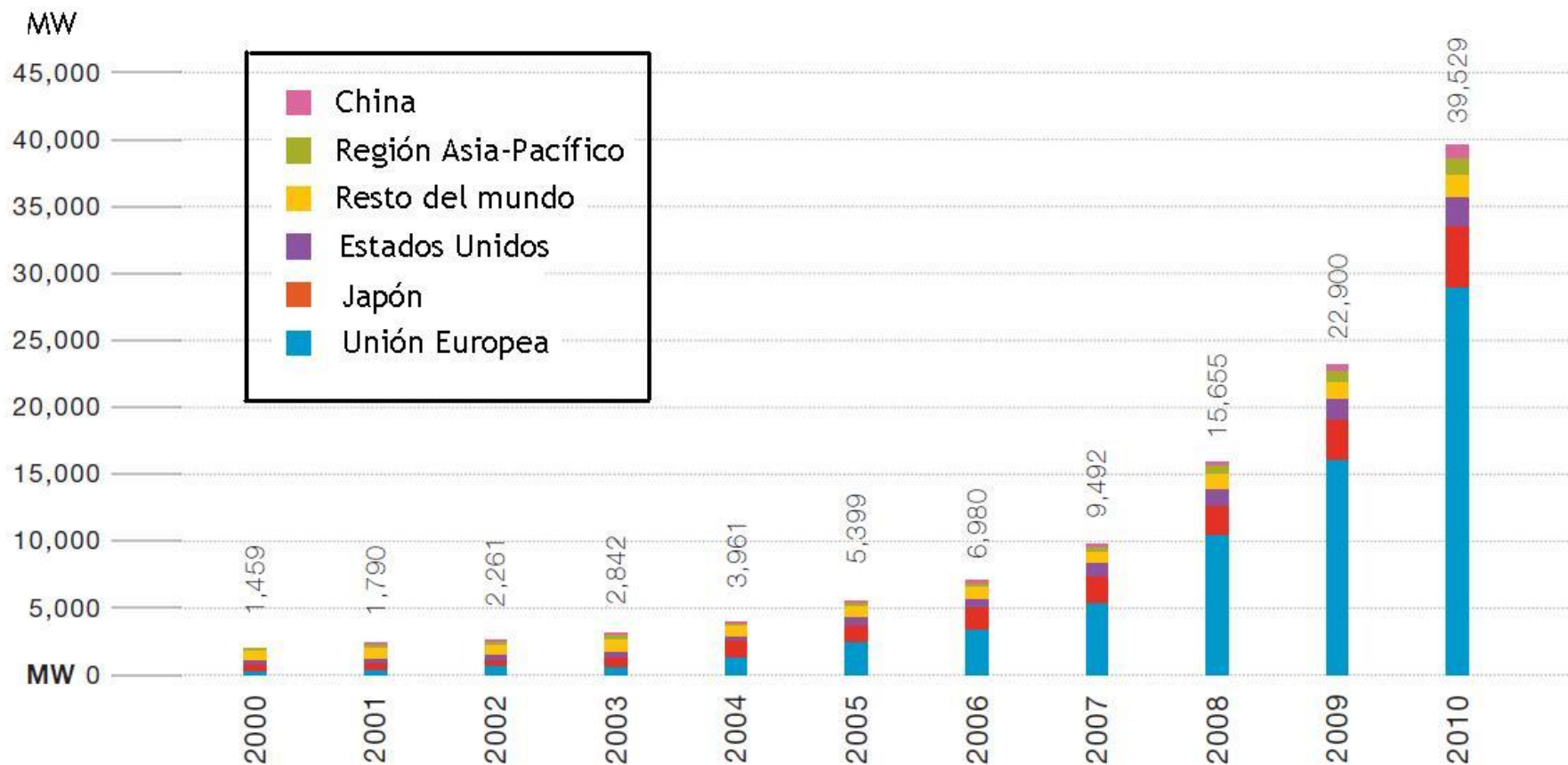
Capítulo 4

Situación actual

Situación actual

Energía Solar Fotovoltaica

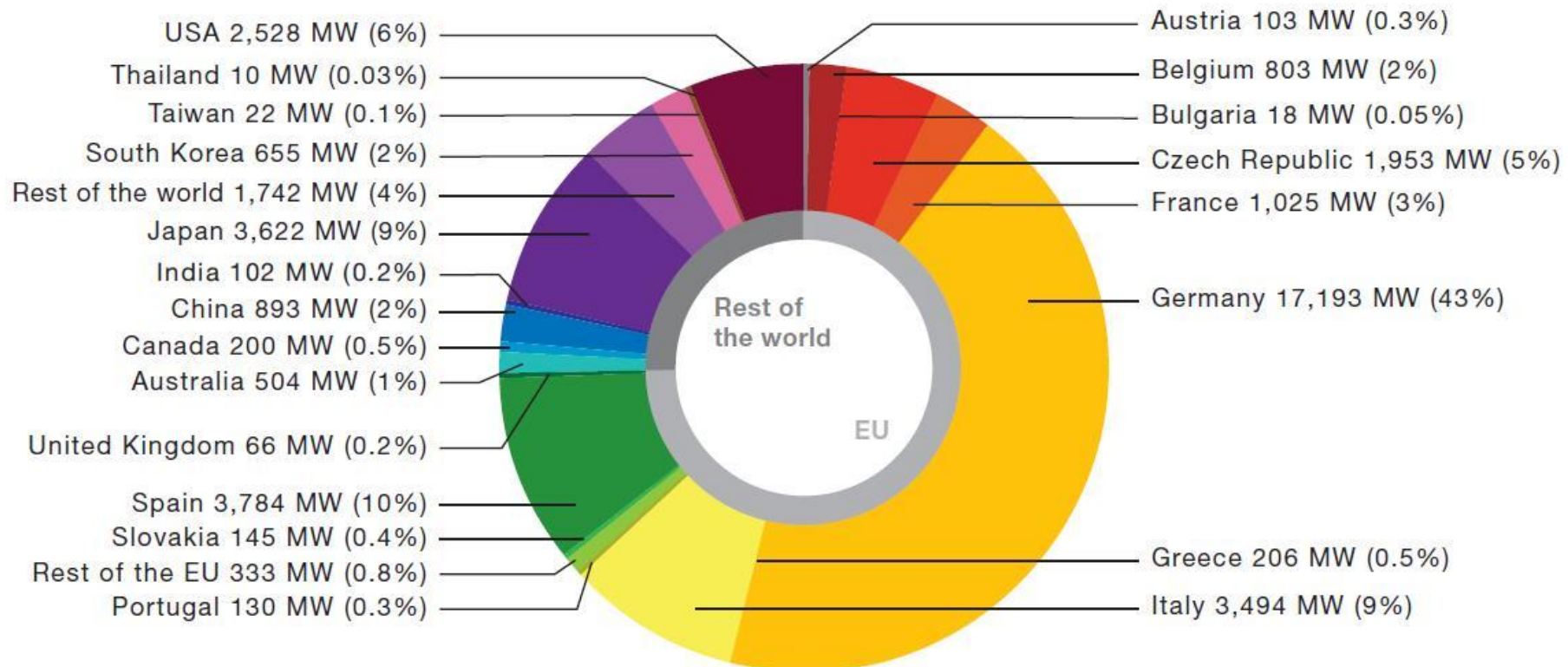
Potencia acumulada en el mundo



Situación actual

Energía Solar Fotovoltaica

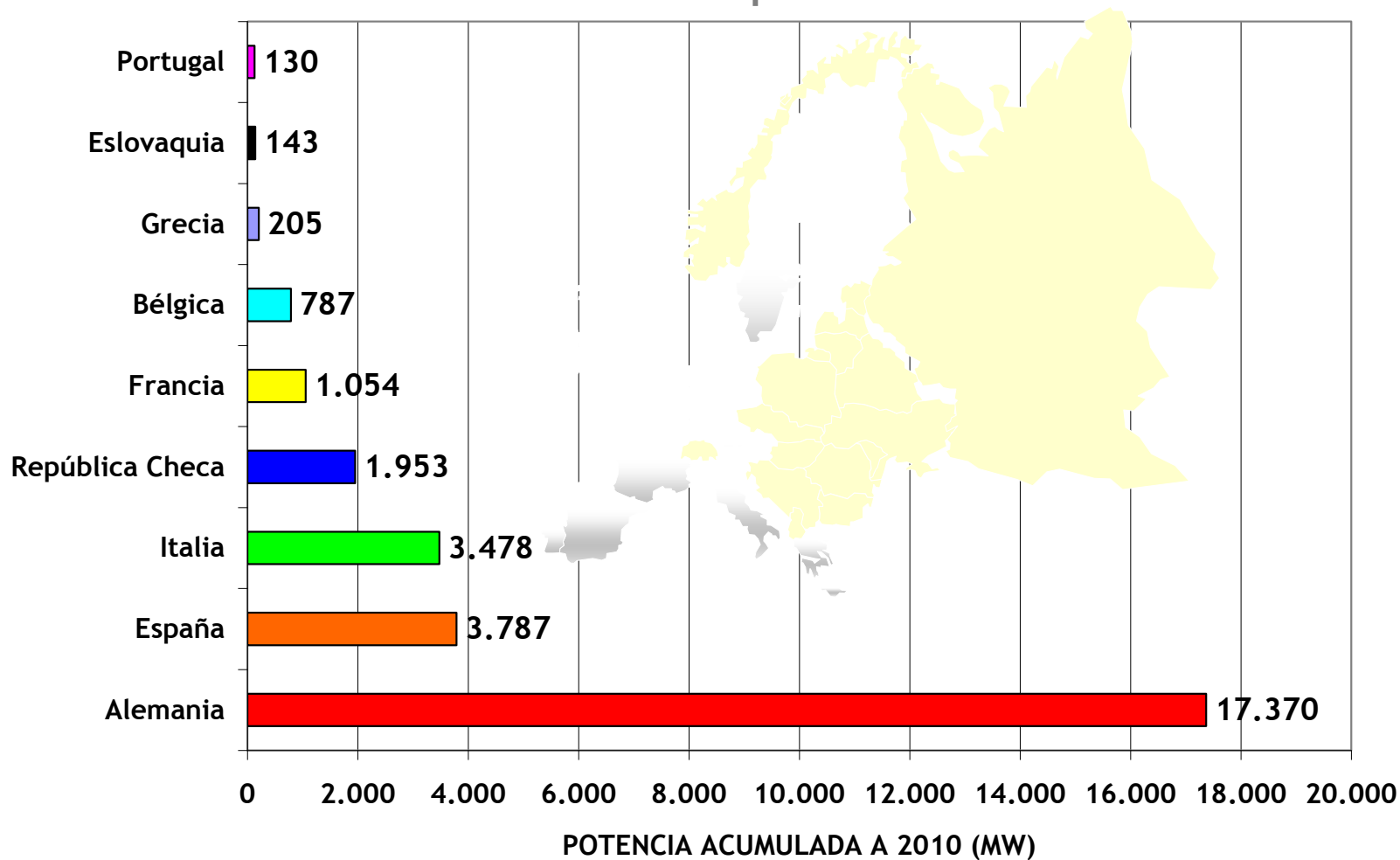
Potencia Mundial Acumulada por países



Situación actual

Energía Solar Fotovoltaica

Potencia acumulada en Europa



Situación actual

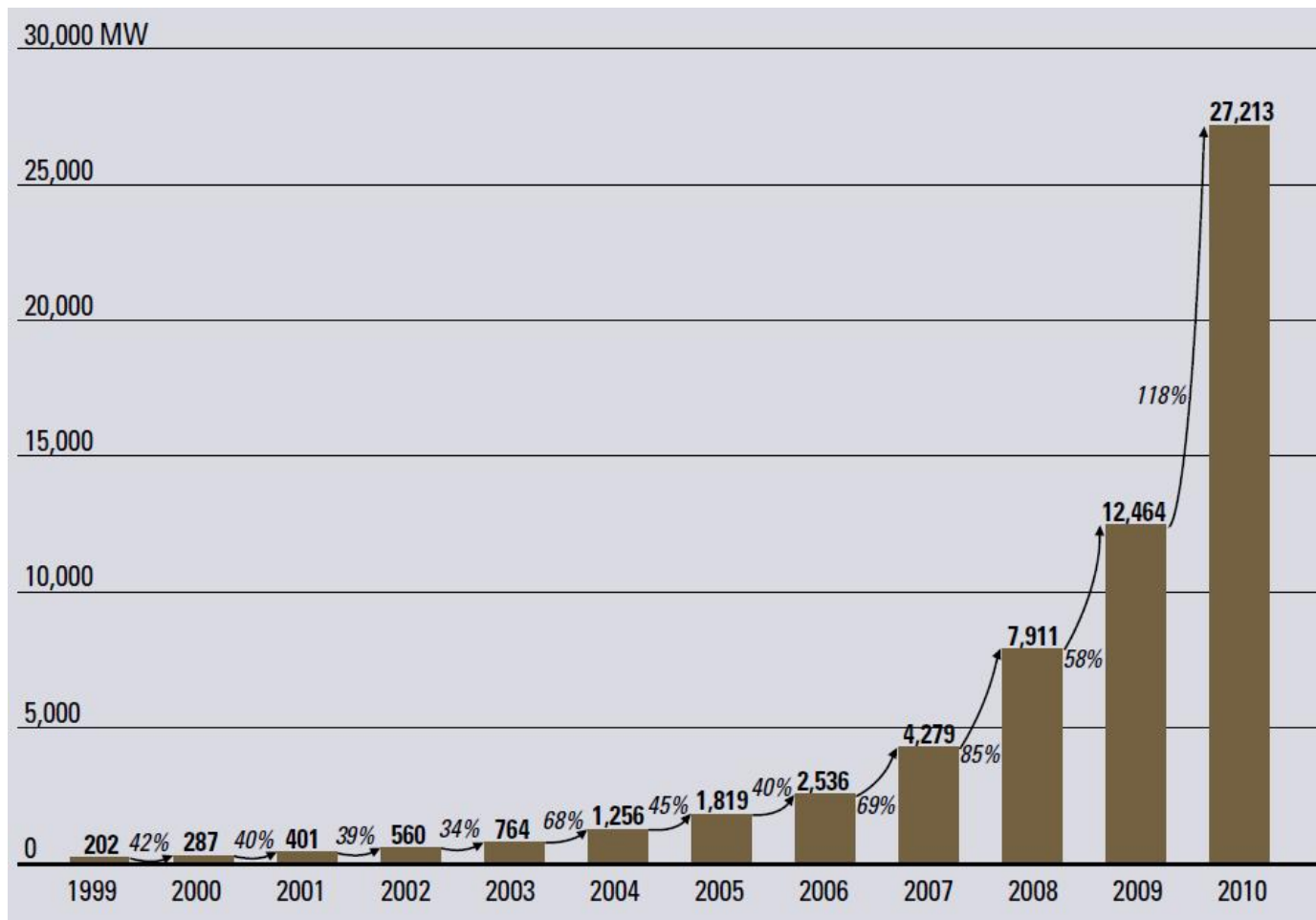
Situación europea en 2010

- **Alemania** es el país de la Unión Europea con mayor potencia acumulada, con **17.370 MW instalados** en 2010, situándose a la cabeza. Domina claramente el **mercado europeo**, representando el **60 %** de éste.
- **España** con **3.787 MW** instalados es el segundo país por potencia acumulada en 2010. Por potencia instalada en el año 2008 España fue el primer país, con 2.705 MW, frente a los 1.809 MW de Alemania, que fue el segundo país del mundo. Para el cierre de 2010 la potencia instalada en España se estima en unos 369 MW.
- Entre el resto de países destacan **Italia, República Checa, Francia y Bélgica**, que estudian políticas de desarrollo a semejanza de Alemania y España.

Situación actual

Energía Solar Fotovoltaica

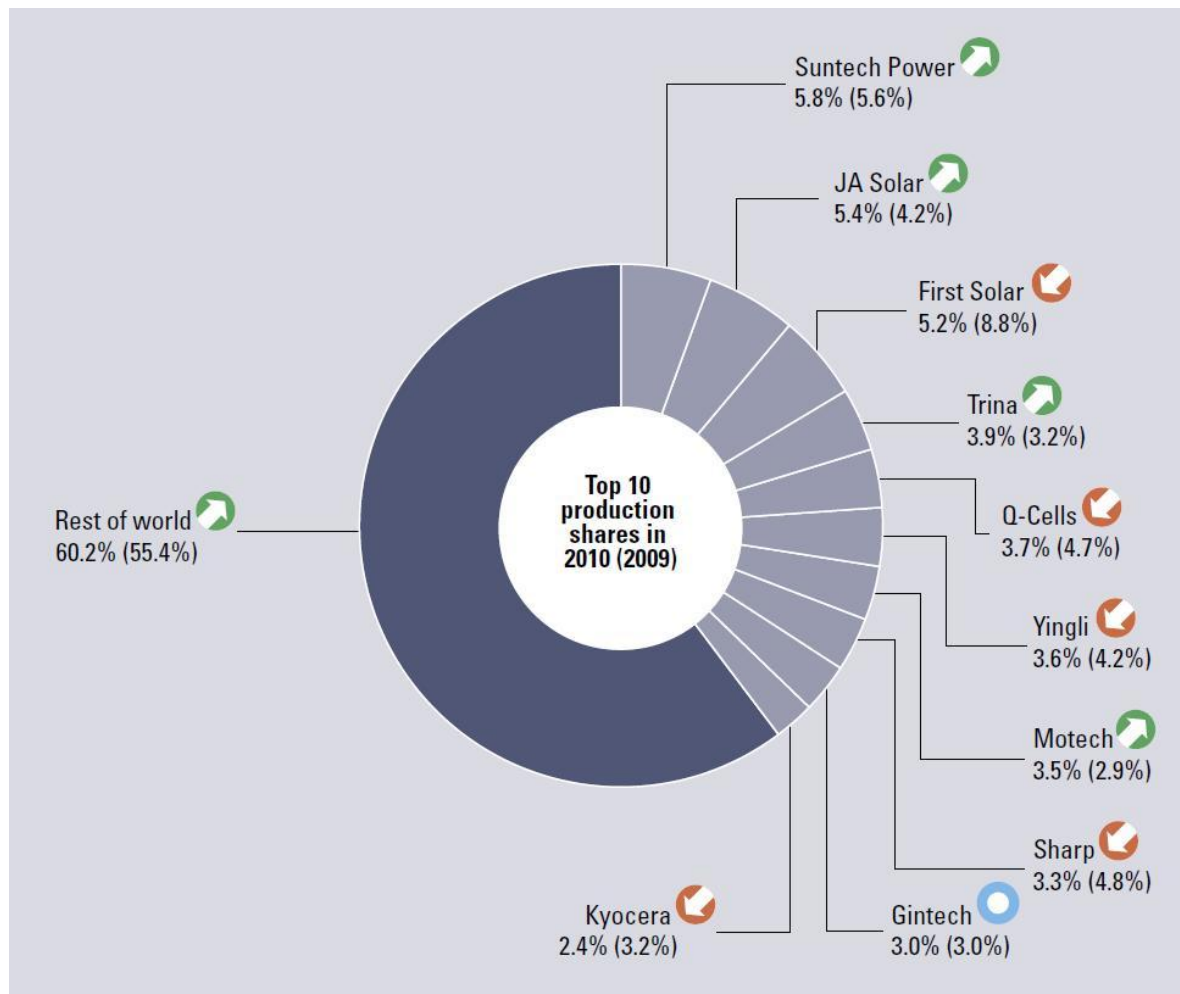
Producción mundial de células



Situación actual

Energía Solar Fotovoltaica

Cuota de mercado de fabricantes 2010

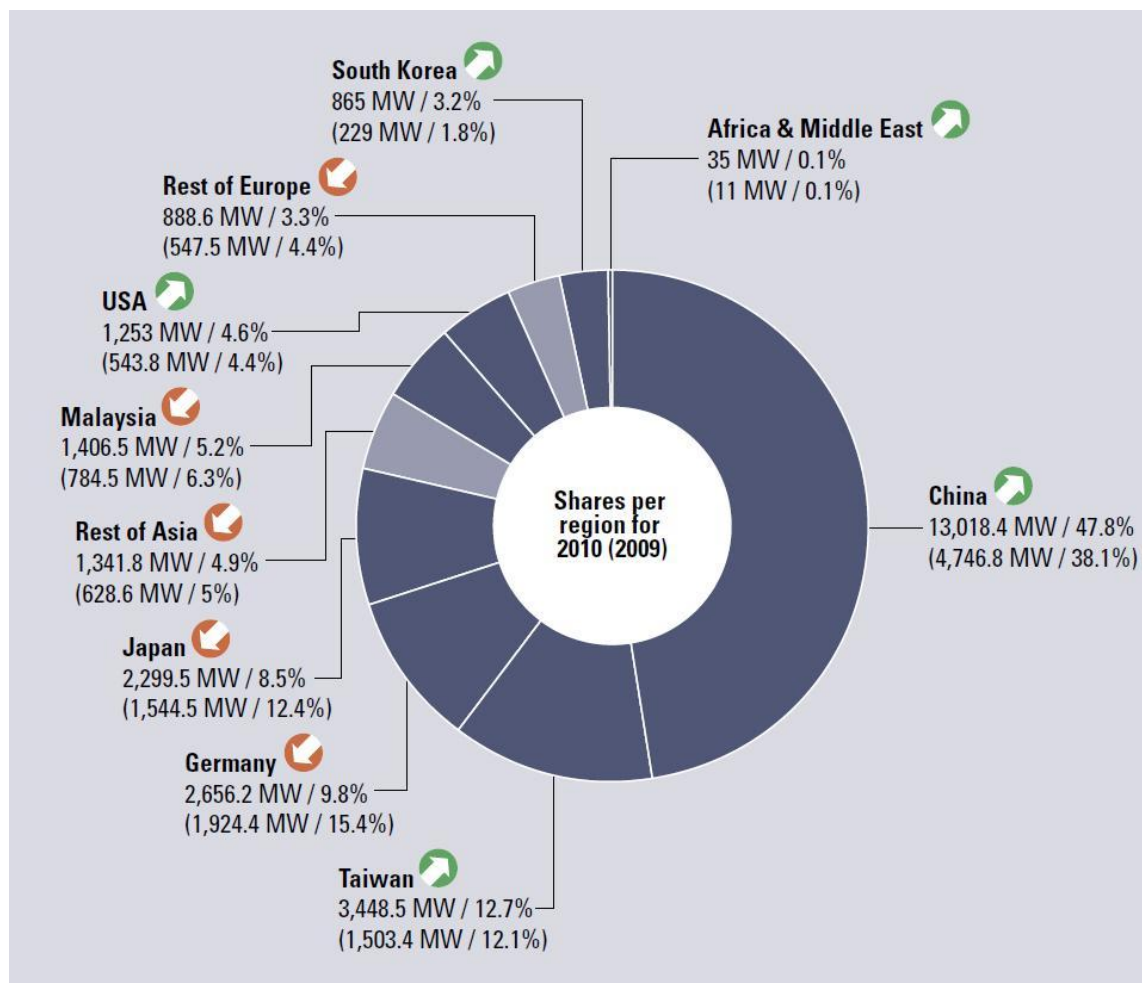


Fuente: Photon International

Situación actual

Procedencia de las células 2010

Energía Solar Fotovoltaica

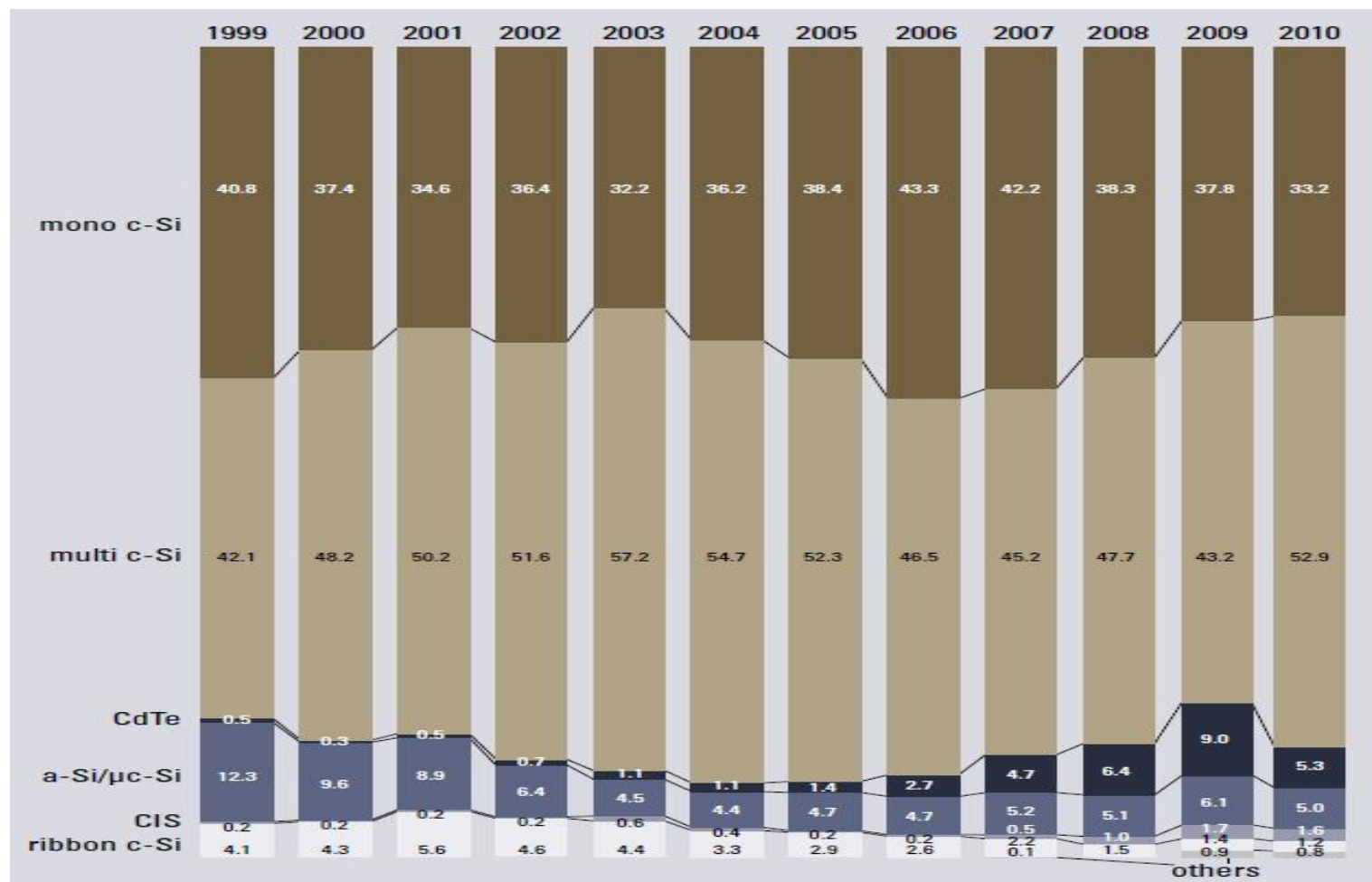


Fuente: Photon International

Situación actual

Producción de células por tecnologías

Energía Solar Fotovoltaica

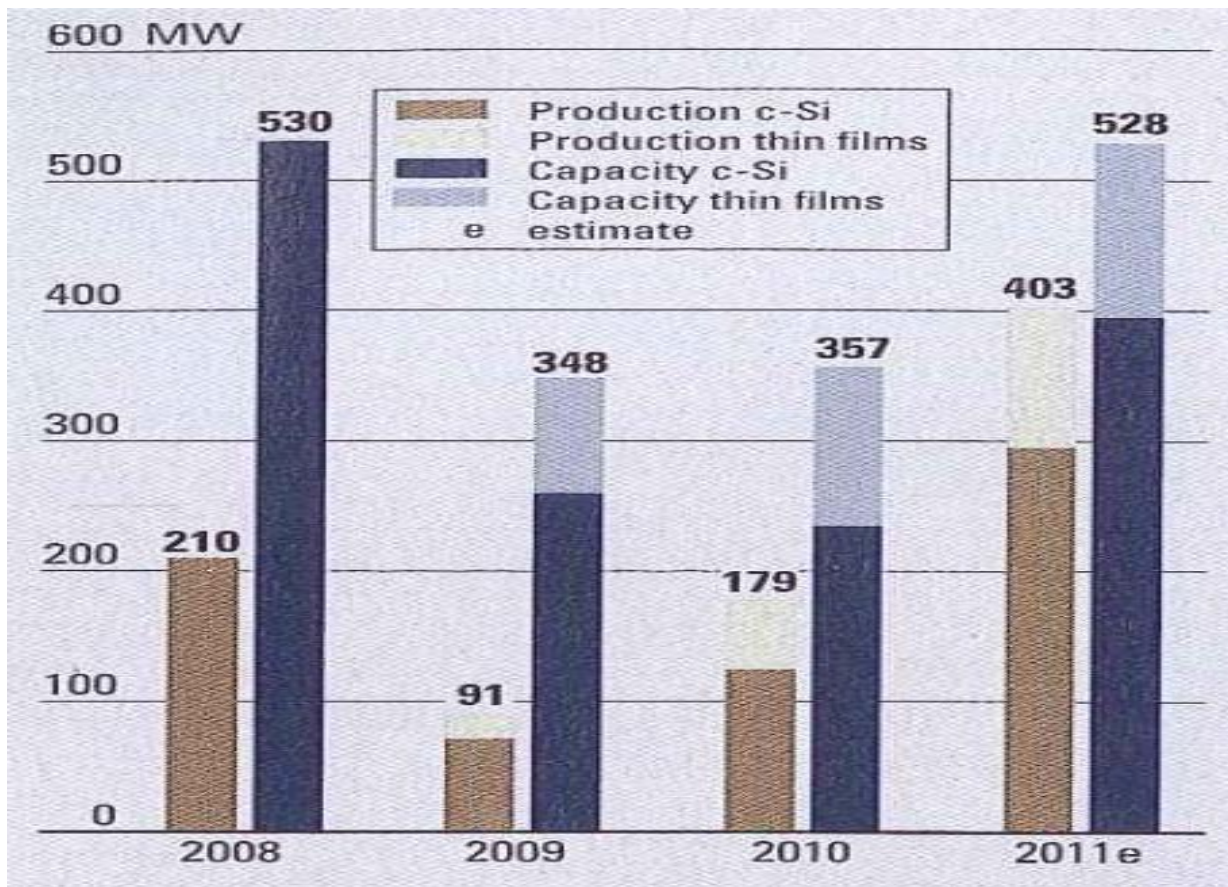


Fuente: Photon International

Situación actual

Producción de células en España

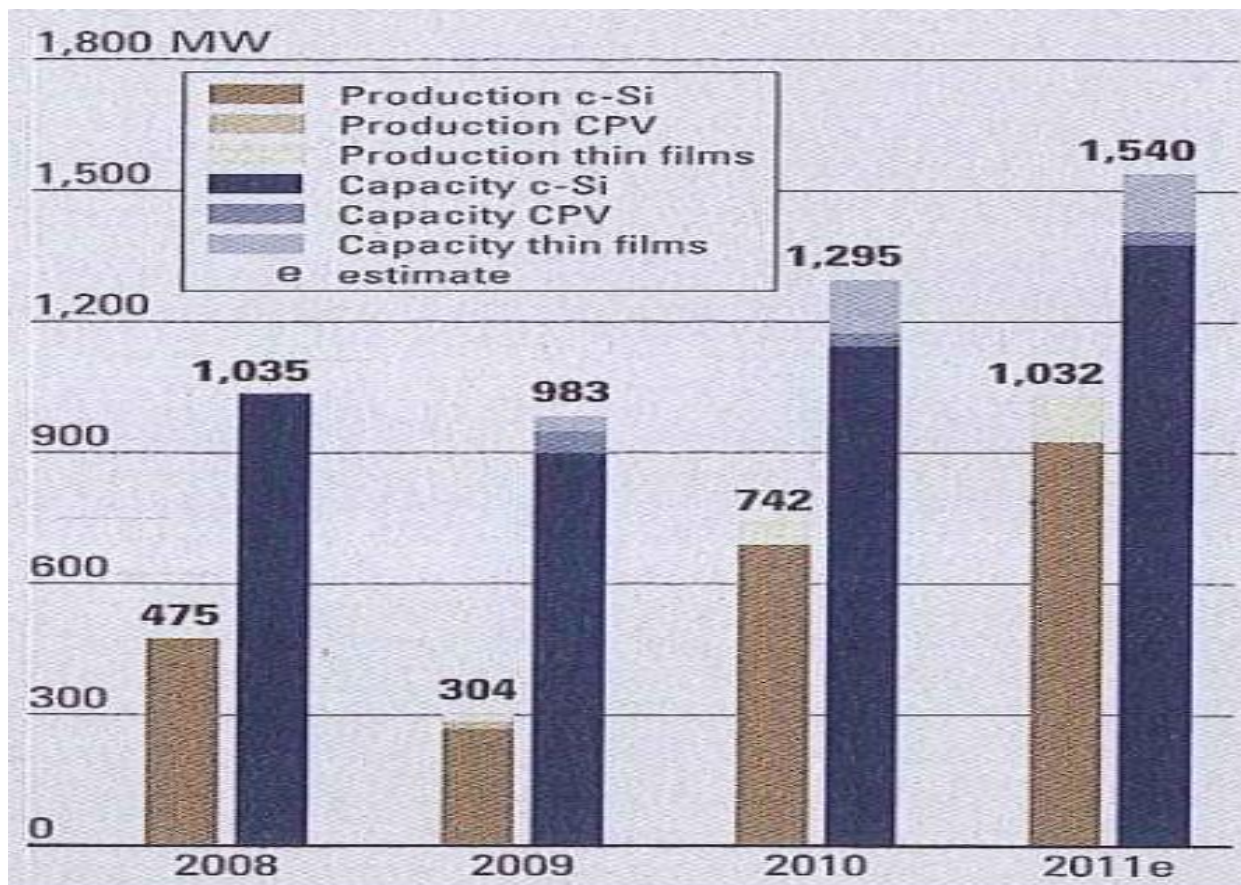
Energía Solar Fotovoltaica



Situación actual

Producción de módulos en España

Energía Solar Fotovoltaica

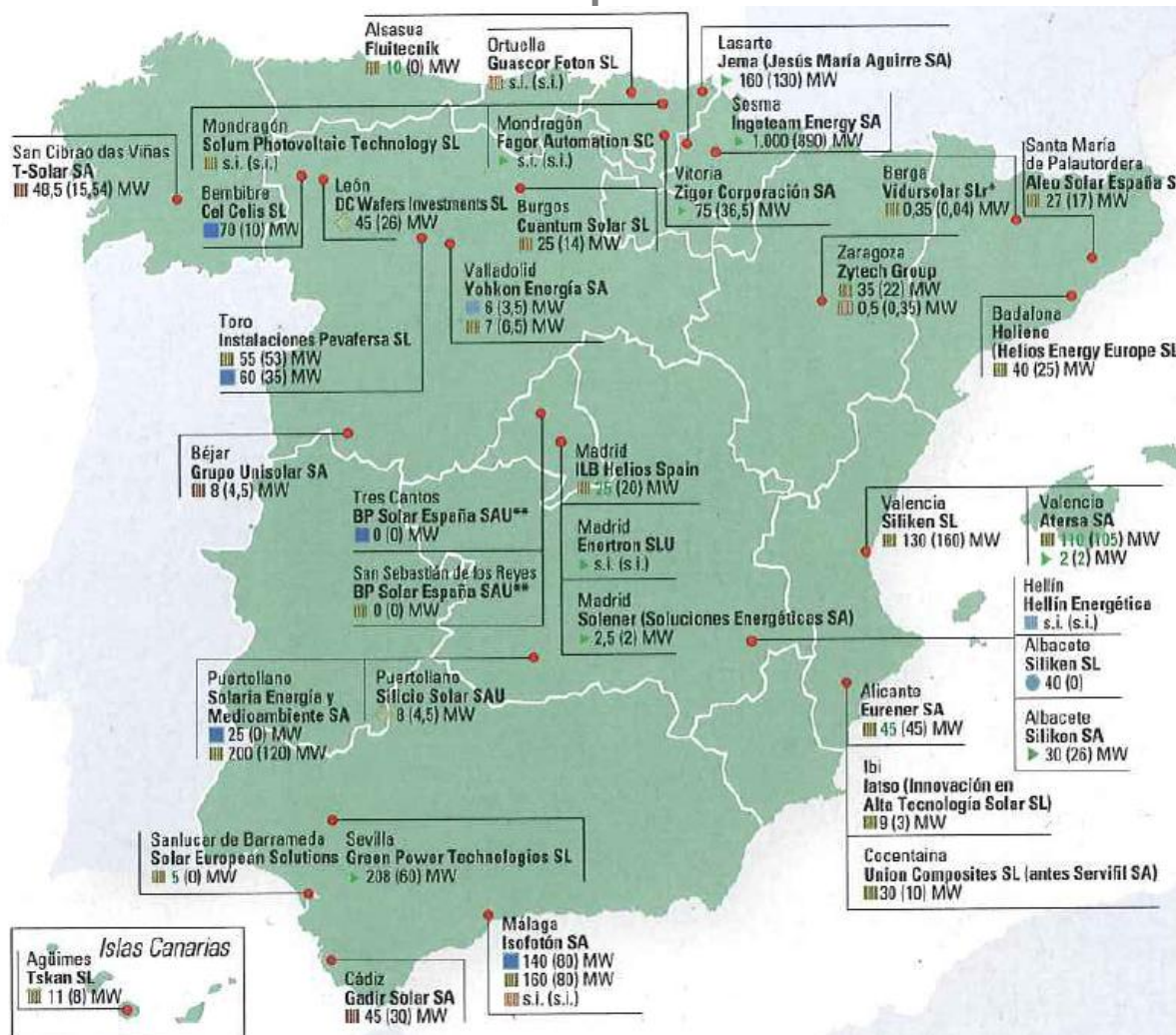


Fuente: Photon International

Situación actual

La industria solar en España

Energía Solar Fotovoltaica/ Contexto Energético Actual



2011 (2010)

Producción de

- Silicio (toneladas métricas)
- Células
- ◆ Oblas

Módulos

- silicio cristalino
- silicio amorfo
- diseleniuro de cobre, indio y galio (CIGS)

■ concentración

► Inversores

En verde: estimación de PHOTON

s.i.: sin información

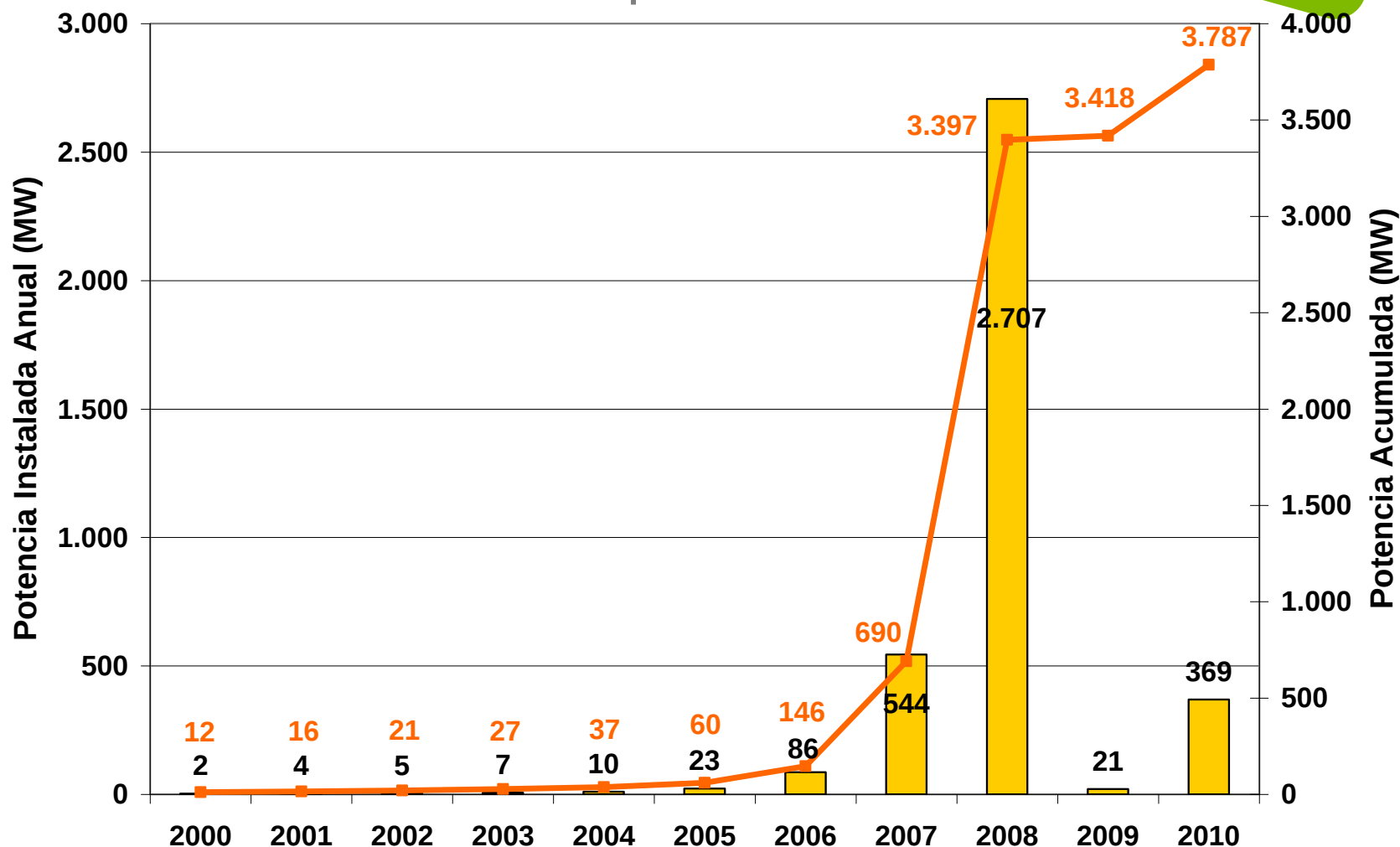
*módulos vidrio-vidrio

** dejó de producir en 2009

Situación actual

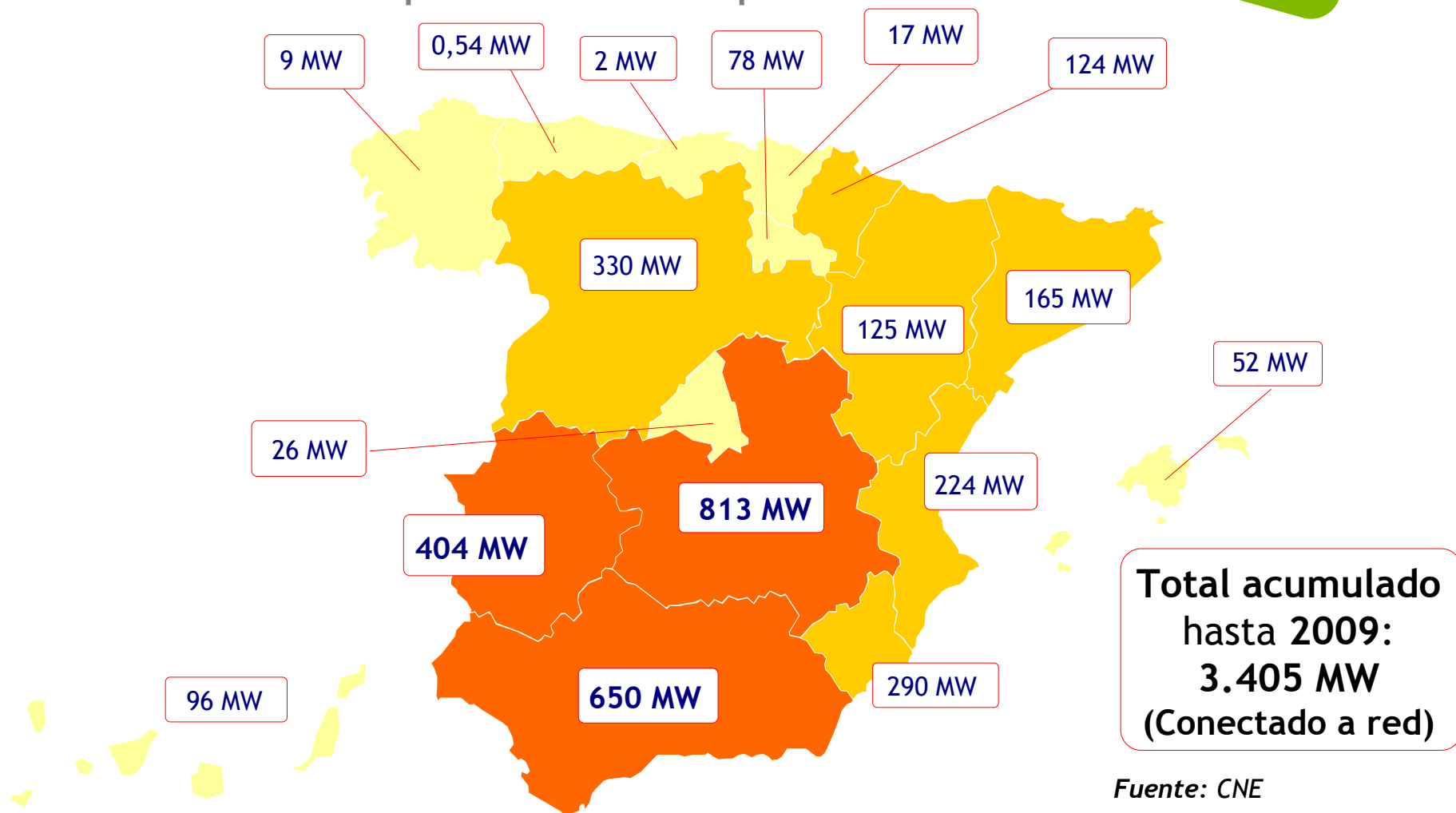
Energía Solar Fotovoltaica

Potencia acumulada en España



Situación actual

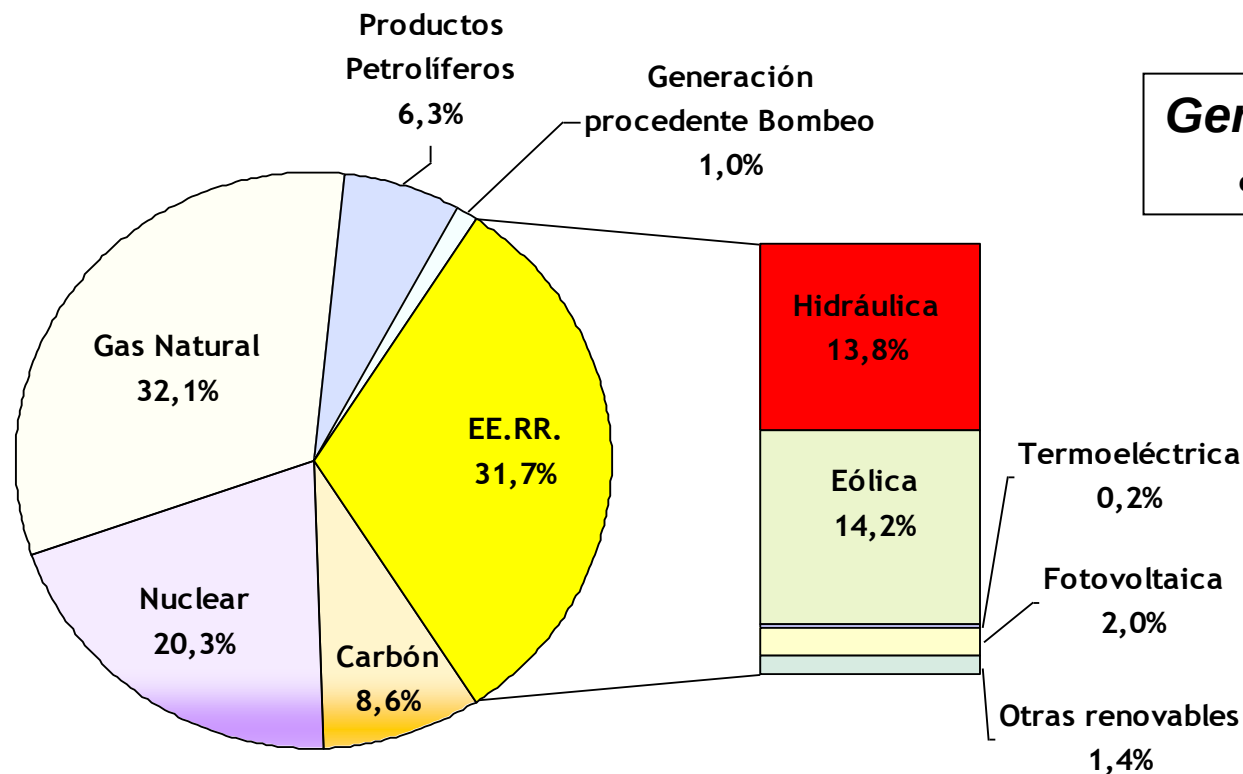
Distribución de potencia en España



Fuente: CNE

Situación actual

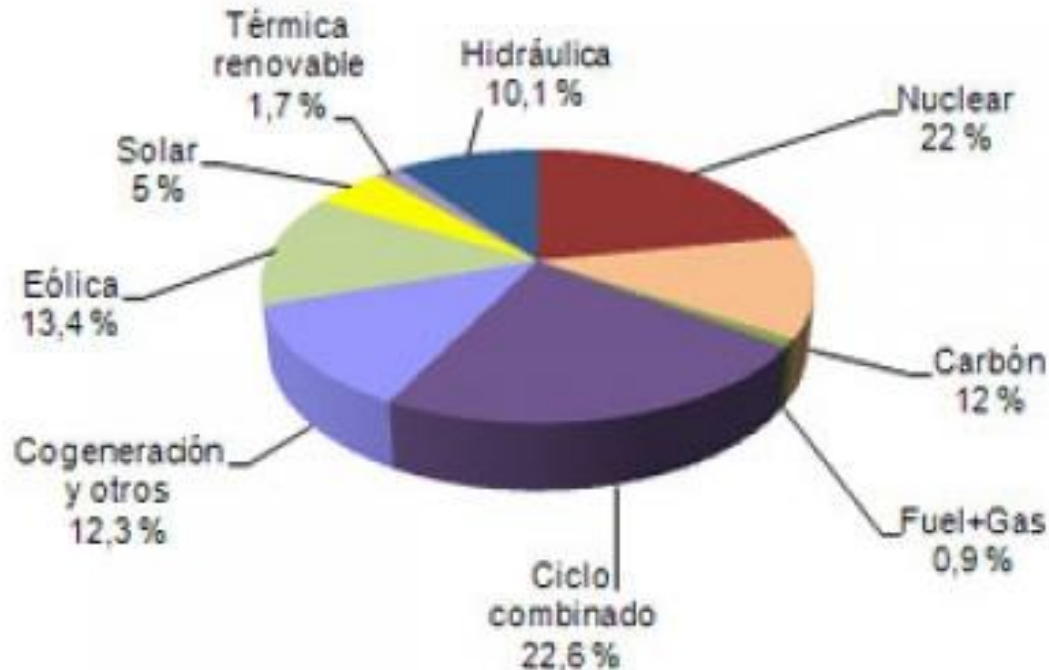
Contribución de EERR al mix



Producción Bruta Electricidad a final de 2010: 304.820 GWh
EERR sobre consumo bruto de electricidad (aplicando saldo neto importaciones/exportaciones): 32,6 %
(Datos sin Normalizar según Directiva 2009/28/CE)

Situación actual

Contribución Solar en el mes de Junio 2011



La electricidad de origen solar cubrió en junio el **5% de la demanda**, superando así la cota del 4,5% en mayo y del 4,2% en abril. Lo lógico es que el peso de estas tecnologías siga creciendo en el mix eléctrico y apareciendo con un porcentaje cada vez mayor de la tarta que elabora mes a mes Red Eléctrica (REE).

Situación actual

Factores determinantes en España

Destacable **TRAYECTORIA TECNOLÓGICA** debida los centros de I+D+i presentes en España (CIEMAT, IES, CENER...).

Se ha realizado una **PLANIFICACIÓN** adecuada, identificando barreras y proponiendo medidas para superarlas.

Se dispuso un **MARCO LEGISLATIVO** que permitía **viabilidad económica y garantía de acceso a red**.

Existe un **SECTOR INDUSTRIAL** maduro, con capacidad para desarrollar la tecnología, que ha realizado inversiones importantes.

Se dispone de **RECURSO SOLAR** suficiente y probablemente el mayor a nivel europeo.

Situación actual

Planes de EE.RR.

➤ PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 1991-2000:

Pretende pasar del 4,5% de generación eléctrica a partir de fuentes renovables en 1990, al **10%** en el año **2000**. La **Ley 40/1994, LOSEN**, consolidó el concepto de régimen especial de producción de energía eléctrica.

➤ PFER 1999-2010: (150 MW para Solar FV)

Introducido por la **Ley 54/1997**, del sector eléctrico, para alcanzar el **12%** en **2010** de renovables en el consumo de energía primaria.

➤ PER 2005-2010: (400 MW para Solar FV)

Revisión del PFER. Incrementa objetivos de renovables para cumplir 12%.

➤ PANER 2020 - PER 2020: (8.367 MW para Solar FV)

DIRECTIVA 2009/28/CE: Objetivo **20%** del consumo final de energía con renovables en el año 2020. Más del **40%** de renovables en electricidad.

Situación actual

Marco legal español

➤ **RD 2366/1994**
Tarifa Regulada

➤ **RD 2818/1998**
Tarifa Regulada

➤ **RD 436/2004**
Tarifa Regulada
Primas

➤ **RD 661/2007**
Tarifa Regulada
Primas

➤ **RD 1578/2008**
Registro de pre-asignación

Sin tarifa específica para Solar.

Revisión de tarifas y tecnologías. **Viabilidad económica.**
Se establecen grupos específicos.
Grupo **b.1** para **todas las tecnologías solares.**

Revisión de las tarifas y tecnologías.
Incorpora objetivos del **PFER 1999-2010**
Objetivo: **150 MW.**

Objetivo: **371 MW.** Incremento de Tarifas y Primas.
Incorpora objetivos del **PER 2005-2010**

Se crea el **Registro de pre-asignación** de retribución FV.
Se distinguen **tejados** y **suelo.**
Se establecen **cupos crecientes** y **tarifas decrecientes.**

Situación actual

Real Decreto 1578/2008

TIPOLOGÍA DE INSTALACIONES

TIPO I	CUBIERTAS O FACHADAS: USOS: RESIDENCIAL, SERVICIOS, COMERCIAL, INDUSTRIAL, AGROPECUARIO. APARCAMIENTOS (PARA ESOS USOS, Y CON REF. CATASTRAL URBANA).
TIPO II	RESTO , NO INCLUIDAS EN TIPO I.

		POTENCIA
TIPO	I.1	$P \leq 20 \text{ kW}$
	I.2	$20 \text{ kW} \leq P \leq 2 \text{ MW}$
	II	$P \leq 10 \text{ MW}$

Para **RÉGIMEN ECONÓMICO** pertenecen a **1 INSTALACIÓN** el conjunto de instalaciones:

- Misma **REF. CATASTRAL**.
- Misma **CONEXIÓN CON RED**.

Situación actual

Sistema de tarifas y cupos

2009					
TIPO		1C 09	2C 09	3C 09	4C 09
TARIFA (c€/kWh)	I.1	34,0000	34,0000	34,0000	34,0000
	I.2	32,0000	32,0000	32,0000	32,0000
	II	32,0000	30,7189	29,9113	29,0857

		CUPO	INSCRITO	CUPO	INSCRITO	CUPO	INSCRITO	CUPO	INSCRITO
CUPO (MW)	I.1	6,675	1,669	6,675	3,631	6,675	2,786	6,675	4,670
	I.2	60,075	20,916	60,075	31,691	60,075	35,601	60,075	60,104
	II	58,250	66,113	94,552	94,718	89,512	90,411	85,620	89,955

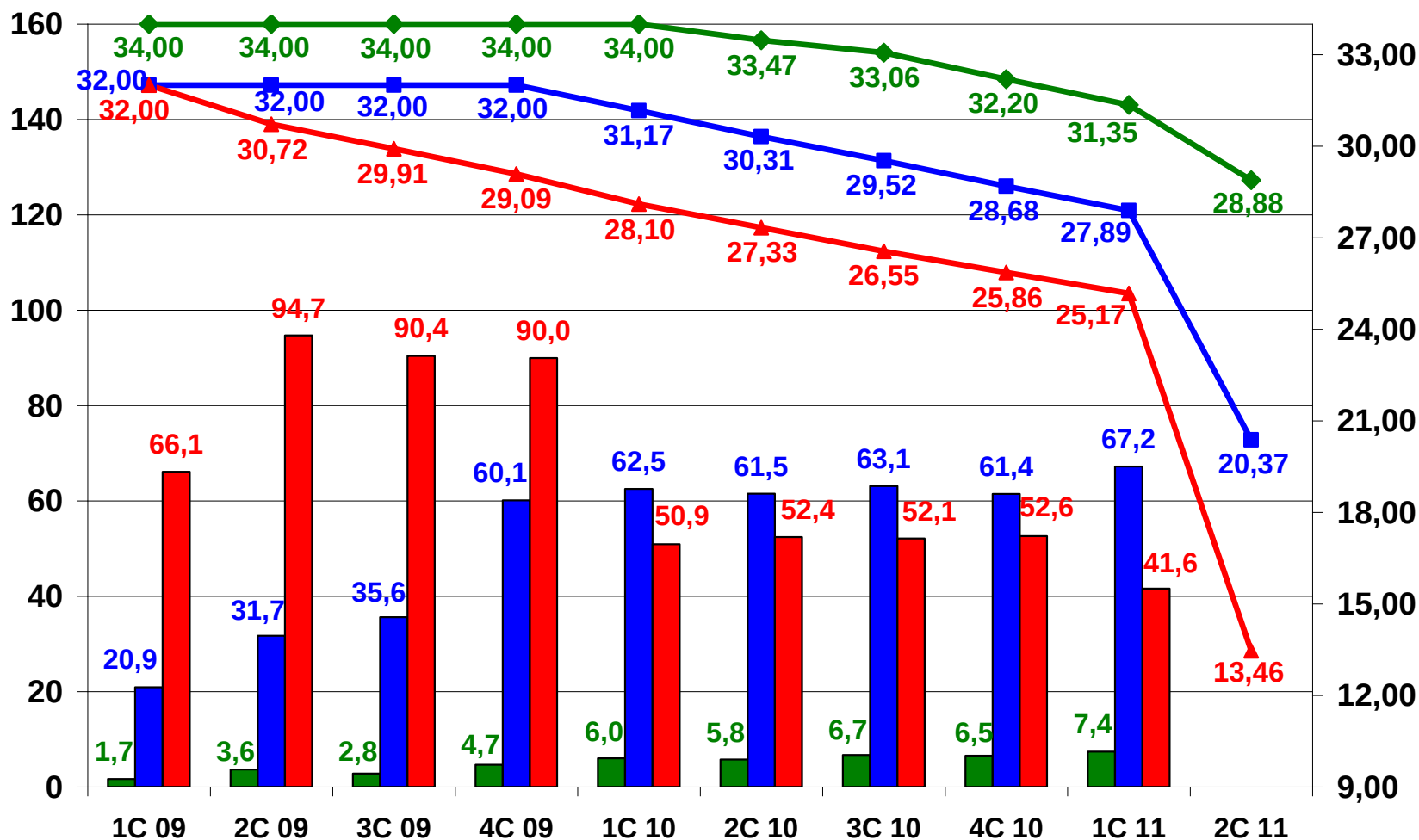
2010					
TIPO		1C 10	2C 10	3C 10	4C 10
TARIFA (c€/kWh)	I.1	34,0000	33,4652	33,0597	32,1967
	I.2	31,1665	30,3099	29,5200	28,6844
	II	28,1045	27,3307	26,5509	25,8602

		CUPO	INSCRITO	CUPO	INSCRITO	CUPO	INSCRITO	CUPO	INSCRITO
CUPO (MW)	I.1	6,675	6,016	6,653	5,760	6,675	6,682	6,537	6,548
	I.2	61,640	62,522	61,439	61,480	61,640	63,090	60,401	61,434
	II	50,033	50,894	51,339	52,380	52,105	52,114	52,288	52,609

Situación actual

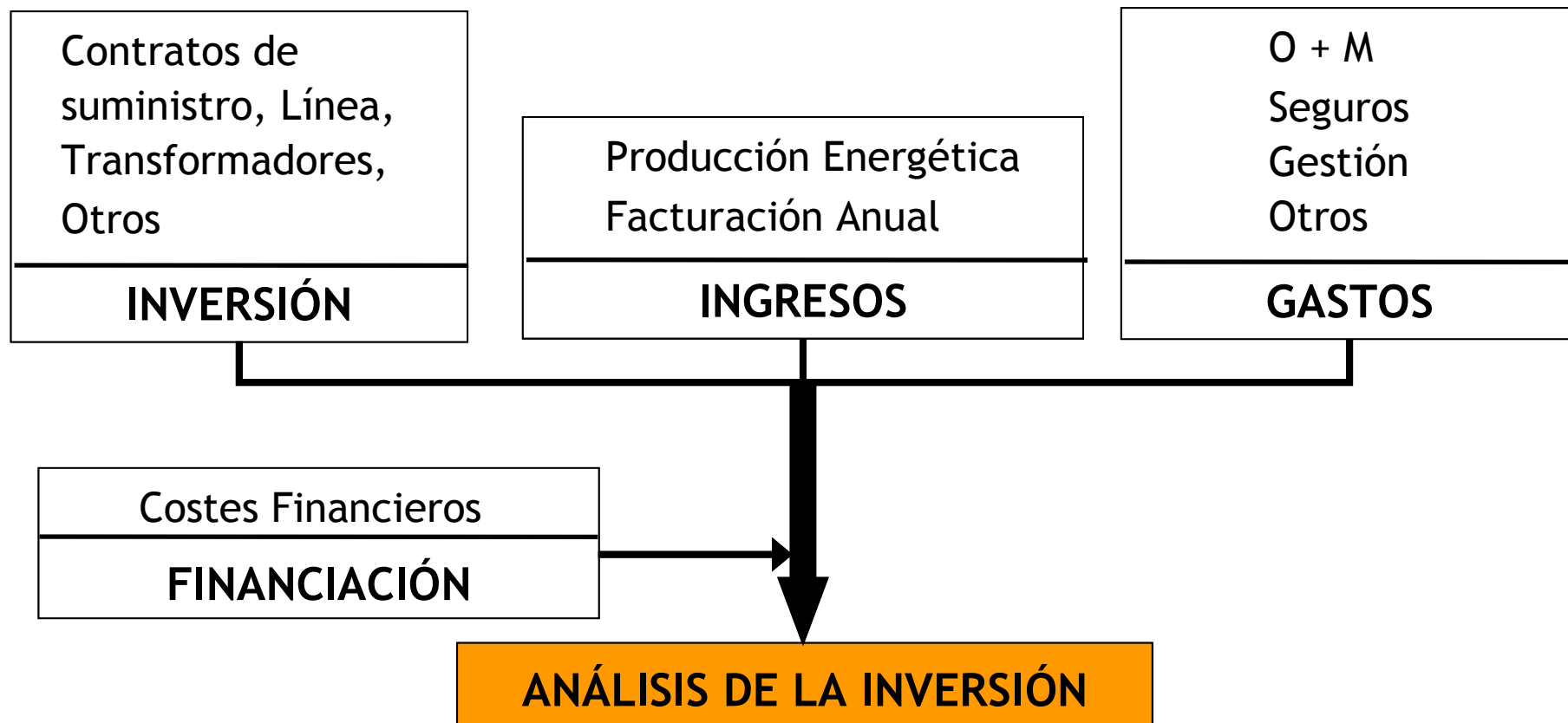
Energía Solar Fotovoltaica

Evolución RD 1578/2008



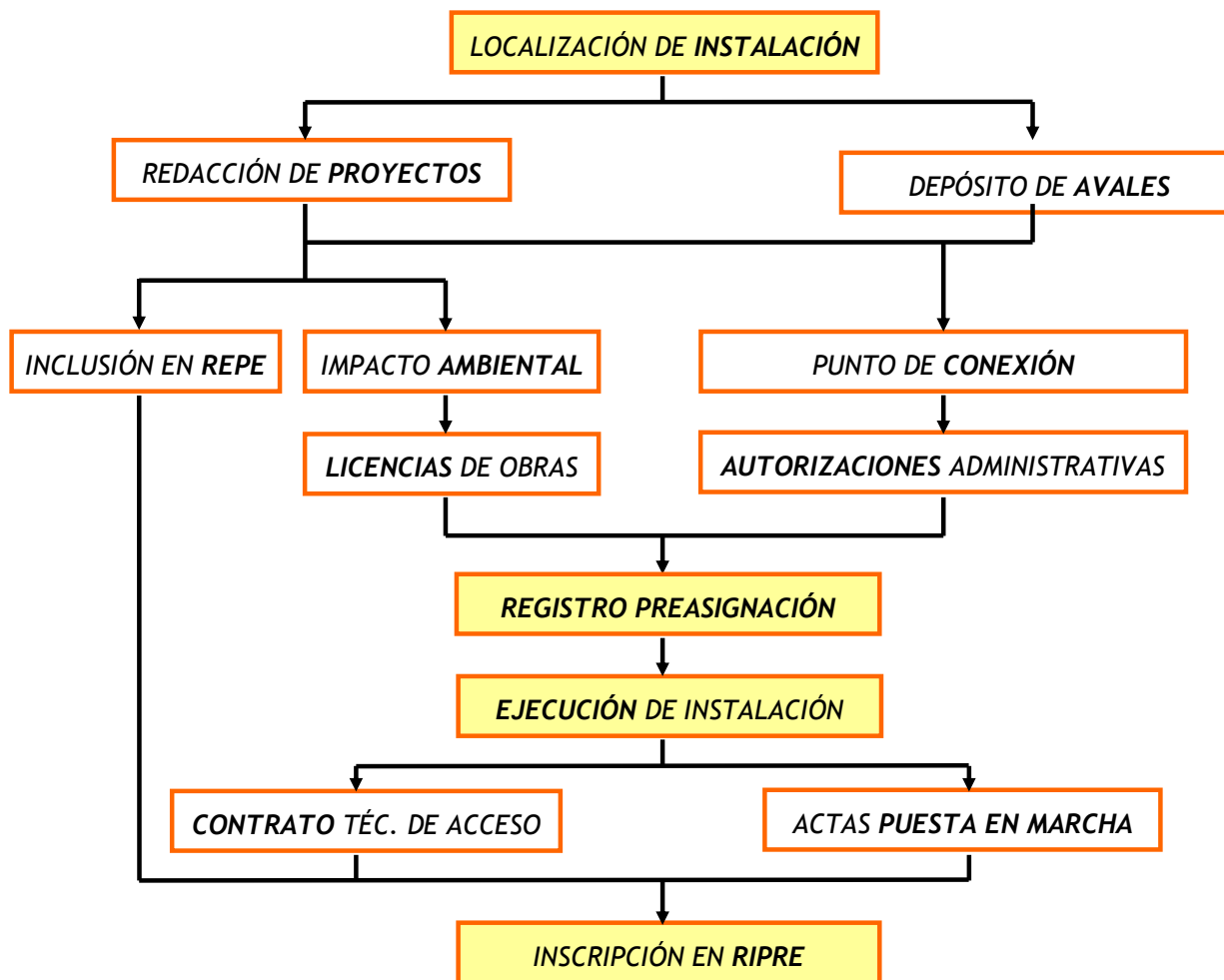
Situación actual

Inicio de un proyecto



Situación actual

Procedimiento administrativo



Situación actual

Órganos competentes

	CARÁCTER PREVIO	CARÁCTER DEFINITIVO
ADMINISTRACIÓN LOCAL	LICENCIA DE OBRAS	LICENCIA DE ACTIVIDAD
GESTOR DE RED	PUNTO DE CONEXIÓN	CONEXIÓN DEFINITIVA CONTRATO
ÓRGANO COMPETENTE CC.AA.	AUTORIZACIÓN ADMINISTRATIVA INCLUSIÓN EN REPE ¹	CERTIFICADO DE B.T. ACTA PUESTA EN MARCHA INSCRIPCIÓN DEF. EN RIPRE ²
MITyC	SOLICITUD DE PREASIGNACIÓN	ASIGNACIÓN DE RETRIBUCIÓN
DELEGACIÓN DE HACIENDA	ALTA EN EL I.A.E.	OBTENCIÓN DEL C.A.E. ³
REPE: Régimen Especial de Producción de energía Eléctrica. RIPRE: Registro de Instalaciones de Producción de energía eléctrica en Régimen Especial. C.A.E.: Código de Actividad y Establecimiento. Delegación de Impuestos Especiales de Hacienda.		

Situación actual

Marco Administrativo

R.D. 661/2007



- Inclusión en el REPE
- Contrato técnico de acceso
- Inscripción en el RIPRE

R.D. 1955/2000

R.D. 1663/2000



- Depósito de avales
- Punto de conexión
- Autorización Administrativa
- Acta de Puesta en Marcha

R.D.Ley 1578/2008



- Registro de Pre-asignación de
Retribución.

Situación actual

RD 1565/2010 - Modificaciones al 661/2007

- ☐ Obliga a la **adscripción a centro de control** de instalaciones y agrupaciones de potencia superior a **10 MW** (1MW en los Sistemas Eléctricos Insulares y Extrapeninsulares (SEIE)).
- ☐ Obliga al cumplimiento de requisitos de **respuesta** frente a **huecos de tensión PO 12.3** para instalaciones o agrupaciones de potencia superior a 2 MW.
- ☐ Modifica el régimen de **energía reactiva** para facilitar la operación del sistema.
- ☐ **Suprime** la tarifa regulada y la prima equivalente a partir del año 25.

Situación actual

RD 1565/2010 - Modificaciones al 1578/2008

- ❑ Se **redefine el Tipo I** como: Instalaciones sobre construcciones fijas, cerradas, resistentes, cuando en su interior exista un punto de **suministro de potencia contratada** por al **menos un 25 % de la potencia nominal** de la instalación que se pretende ubicar, o instalaciones ubicadas sobre estructuras de aparcamiento o de sombreamiento, en parcela catastral urbana. Se excluyen expresamente en este tipo I las instalaciones ubicadas sobre estructuras de invernaderos y cubiertas de balsas de riego.
- ❑ Reduce extraordinariamente la **tarifa** para la 2C 2011, adicionalmente a la reducción ordinaria del RD 1578/2008:
 - Instalaciones de tipo I.1: - 5%.
 - Instalaciones de tipo I.2: - 25%.
 - Instalaciones de tipo II: - 45%.
- ❑ No sería necesaria la presentación de **licencia de obras** para la preasignación de instalaciones de tipo I.1.
- ❑ Se **suprimiría** el mecanismo de **incorporación de potencia** de las instalaciones que se cancelen por incumplimiento a nuevas convocatorias.

Situación actual

Energía Solar Fotovoltaica

RD Ley 14/2010 - Medidas urgentes de corrección del déficit

- ❑ Modificación de la Ley 54/97 del Sector Eléctrico. El Gobierno podrá establecer reglamentariamente el régimen retributivo específico de las instalaciones de régimen especial que, con posterioridad al reconocimiento de su régimen retributivo, hubieran sido objeto de una modificación sustancial o de una ampliación de potencia.
- ❑ Las instalaciones tendrán derecho a percibir en cada año el régimen económico reconocido, hasta alcanzar el número de horas equivalentes de referencia.
- ❑ Se establecen las siguientes horas conforme a la clasificación de zonas climáticas del CTE:

Tecnología	Horas equivalentes de referencia/año				
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Instalación fija	1.232	1.362	1.492	1.632	1.753
Instalación con seguimiento a 1 eje	1.602	1.770	1.940	2.122	2.279
Instalación con seguimiento a 2 ejes	1.664	1.838	2.015	2.204	2.367

- ❑ Se habilita al Gobierno a modificar mediante real decreto lo dispuesto en la tabla anterior para adecuarlo a la evolución de la tecnología.

Situación actual

Energía Solar Fotovoltaica

RD Ley 14/2010 - Medidas urgentes de corrección del déficit

- ❑ A partir del 1 de enero de 2011, los transportistas y distribuidores aplicarán a los productores que estuvieren conectados a sus redes, un peaje de acceso de 0,5 €/MWh.
- ❑ No obstante lo dispuesto en la disposición adicional primera, hasta el 31 de diciembre de 2013 las horas equivalentes de referencia para las instalaciones de tecnología solar fotovoltaica acogidas al RD 661/2007, serán las siguientes:

Tecnología	Horas equivalentes de referencia/año
Instalación fija	1.250
Instalación con seguimiento a 1 eje	1.644
Instalación con seguimiento a 2 ejes	1.707

- ❑ Se modifica la tabla 3 del artículo 36 del real Decreto 661/2007, de 25 de Mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, sustituyendo, para las instalaciones de tipo b.1.1, las referencias en el plazo a los primeros 25 años por los primeros 28 años.

Capítulo 5

Análisis económico sectorial

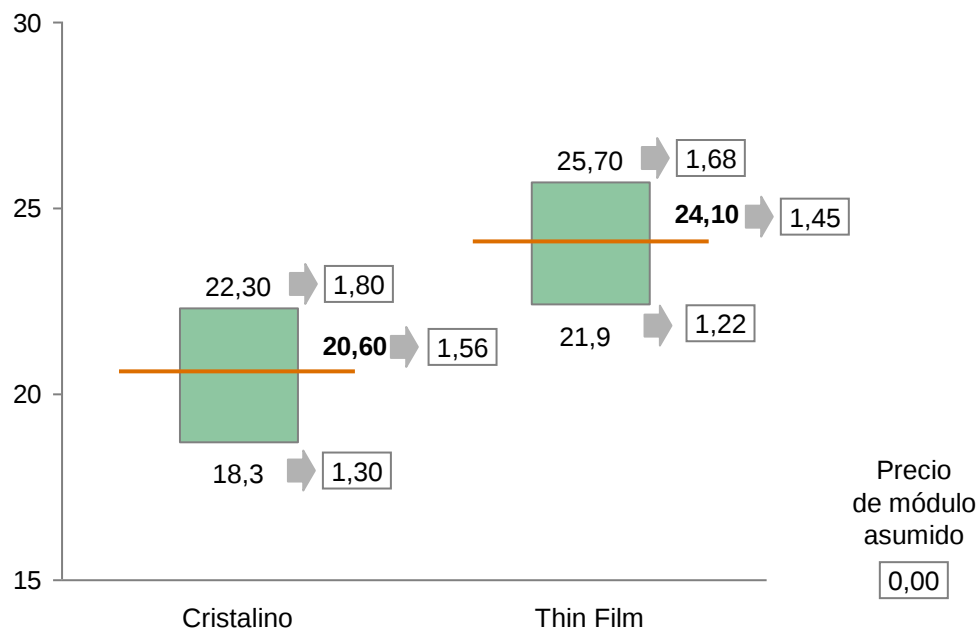
Análisis económico sectorial

Coste medio de generación FV en España 2010



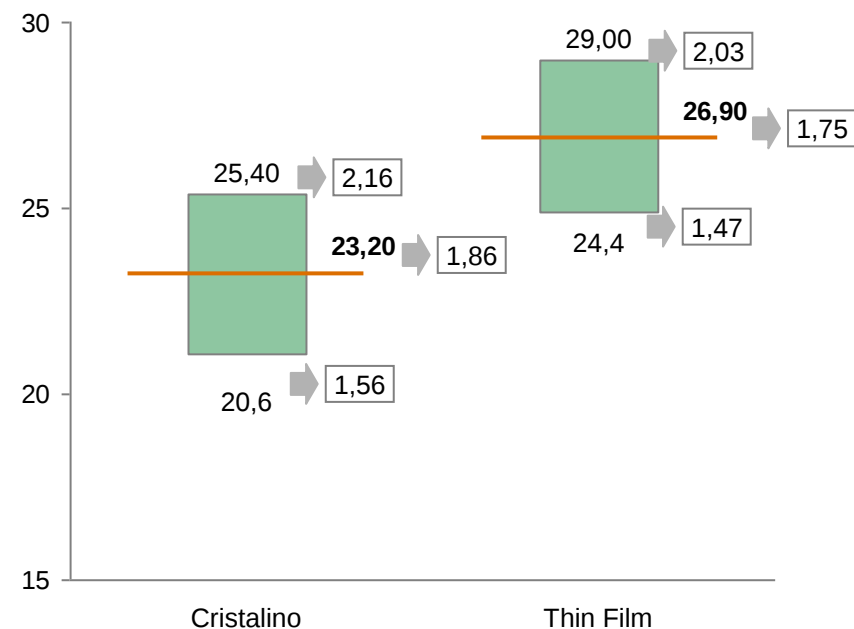
Coste de electricidad instalaciones de suelo en 2010

Coste de generación ($\text{c}\text{€}_{2010}/\text{kWh}$)



Coste de electricidad instalaciones de tejado en 2010

Coste de generación ($\text{c}\text{€}_{2010}/\text{kWh}$)

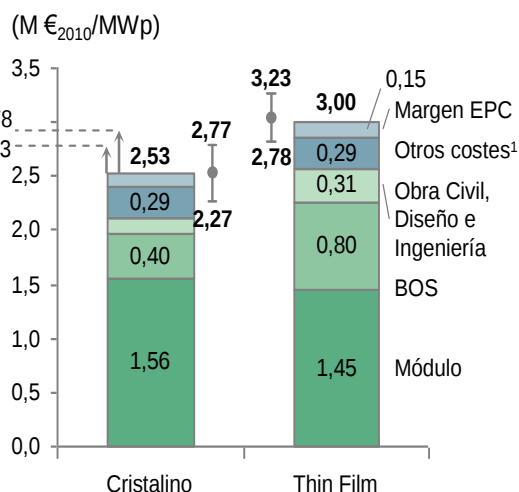


Análisis económico sectorial

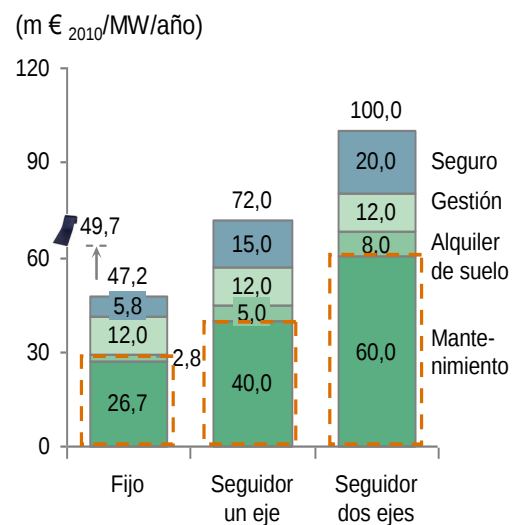
Energía Solar Fotovoltaica

Inversión media de una instalación FV en suelo

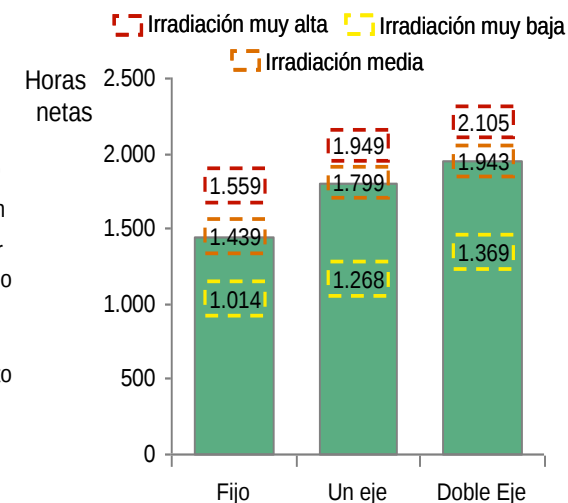
CAPEX de una instalación de suelo



OPEX de una instalación de suelo



Horas netas de funcionamiento



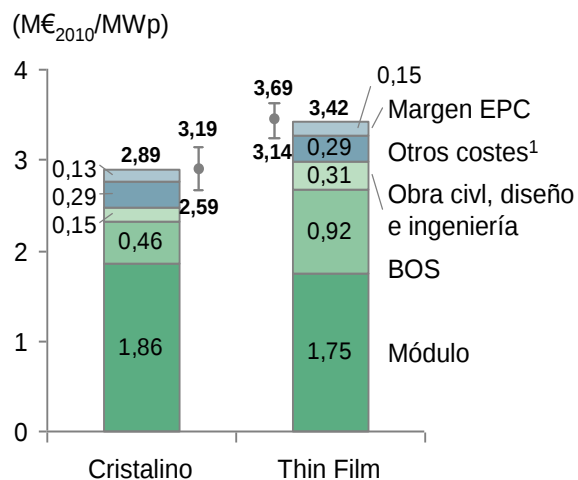
La inversión media para un parque FV en España en 2010 se estima en 2,5 M€/MW para cristalino y 3,0 M€/MW para capa delgada

Análisis económico sectorial

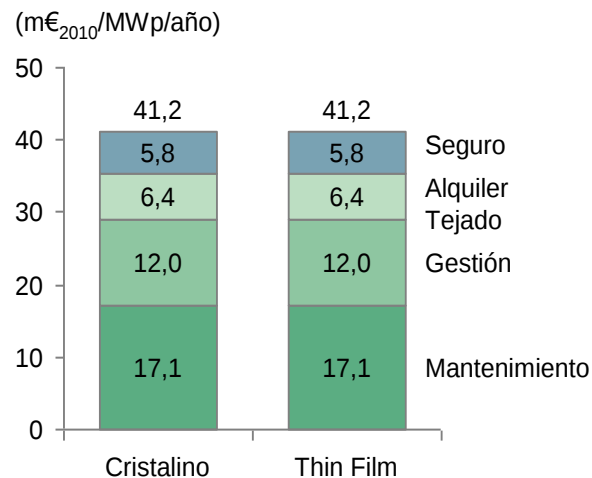
Energía Solar Fotovoltaica

Inversión media de una instalación FV en tejado

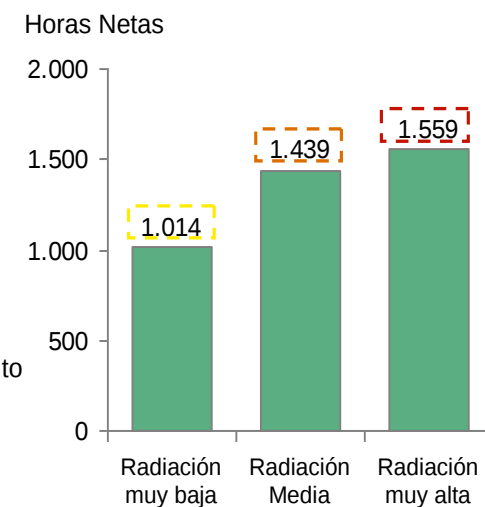
CAPEX de una instalación de Tejado



OPEX de una instalación de Tejado



Horas netas de funcionamiento



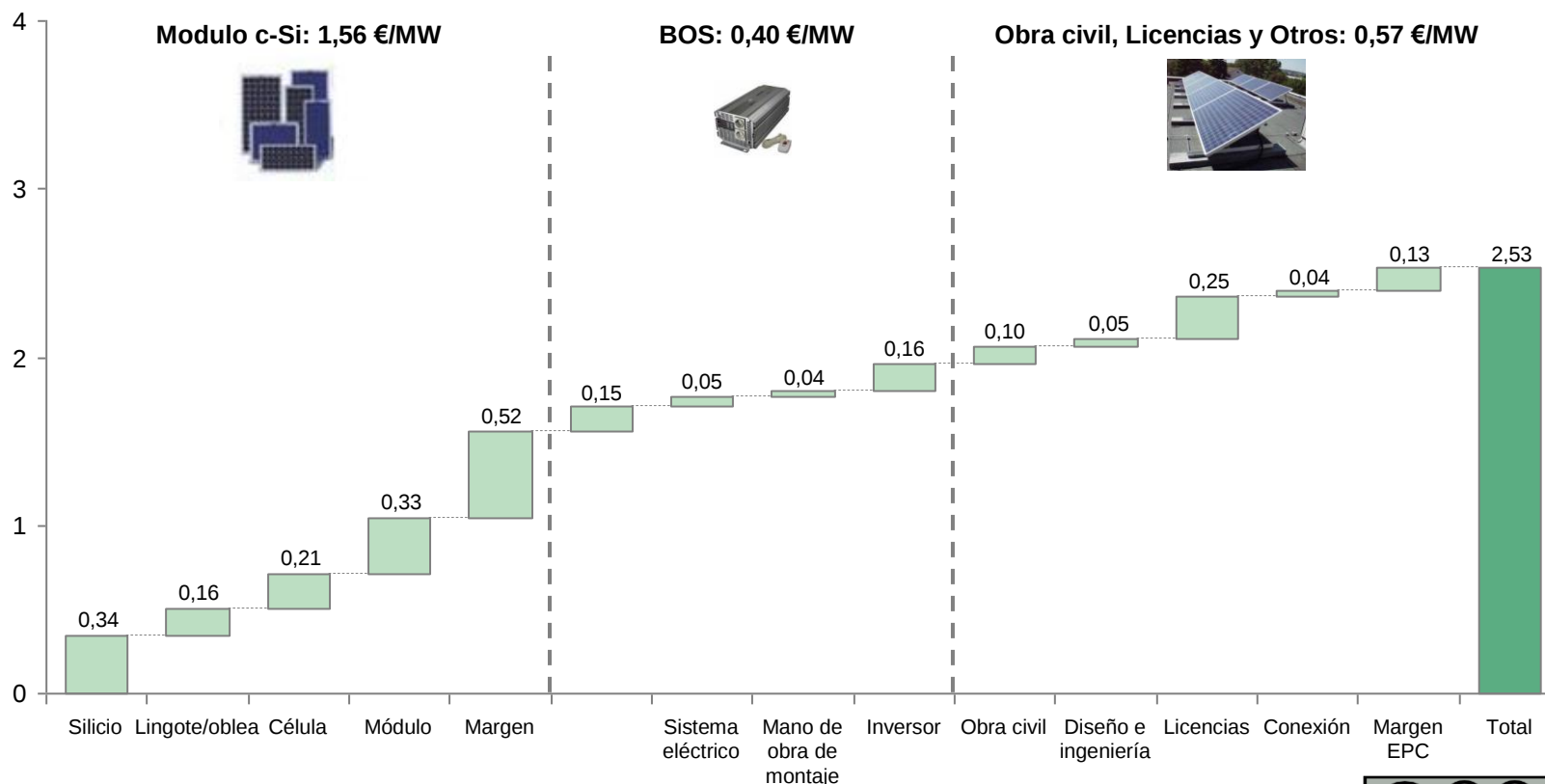
En tejado el coste de inversión se encuentra entre 2,8 M€/MW para cristalino y 3,4 M€/MW para capa delgada

Análisis económico sectorial

Energía Solar Fotovoltaica

Desglose del coste de inversión para una instalación FV cristalina

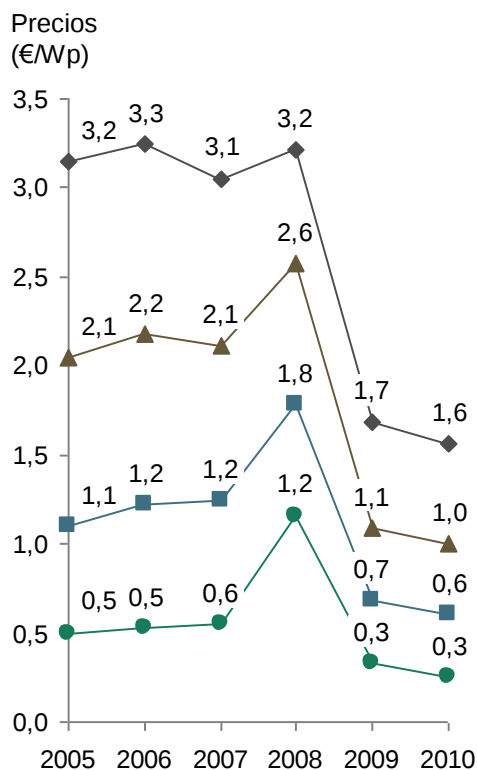
(€₂₀₁₀/MW)



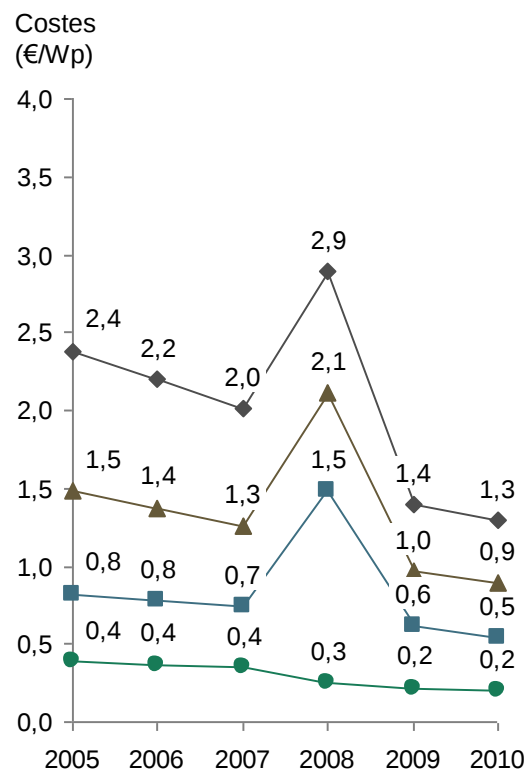
Análisis económico sectorial

Evolución de precios, costes y márgenes brutos

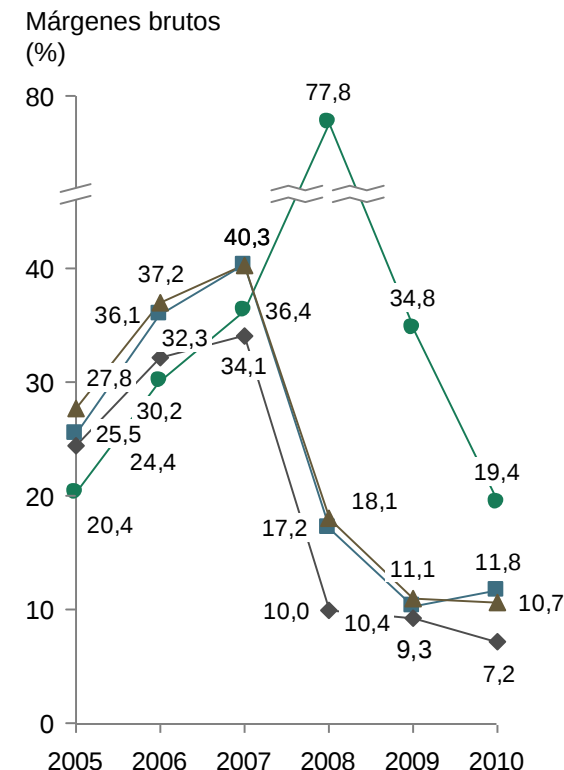
Evolución de los precios



Evolución de los costes



Evolución de los márgenes brutos¹



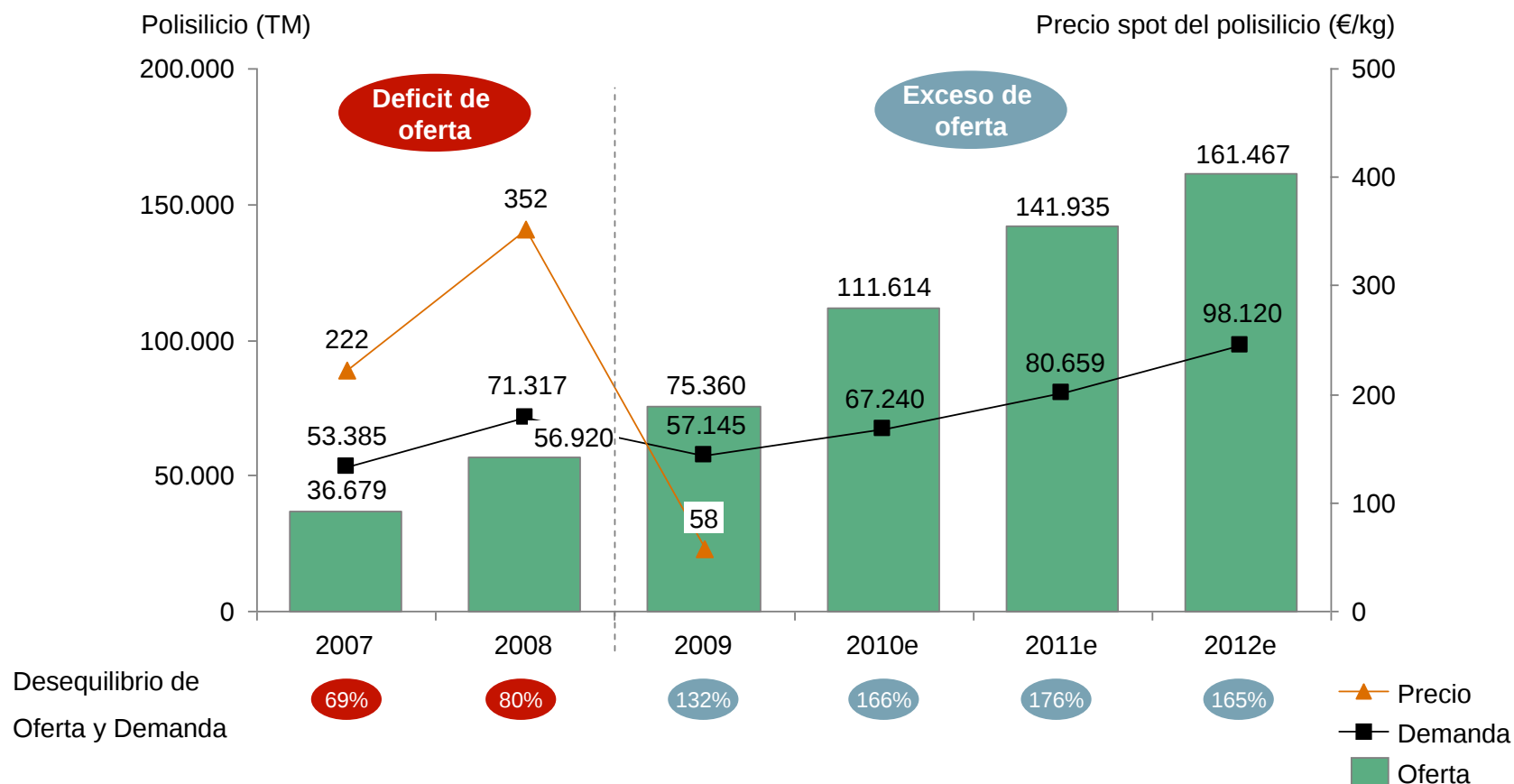
● Polisilicio ■ Obleas ▲ Células ◆ Módulos

Análisis económico sectorial

Energía Solar Fotovoltaica

Mercado de la materia prima: el polisilicio

Balance de Oferta y Demanda de Polisilicio

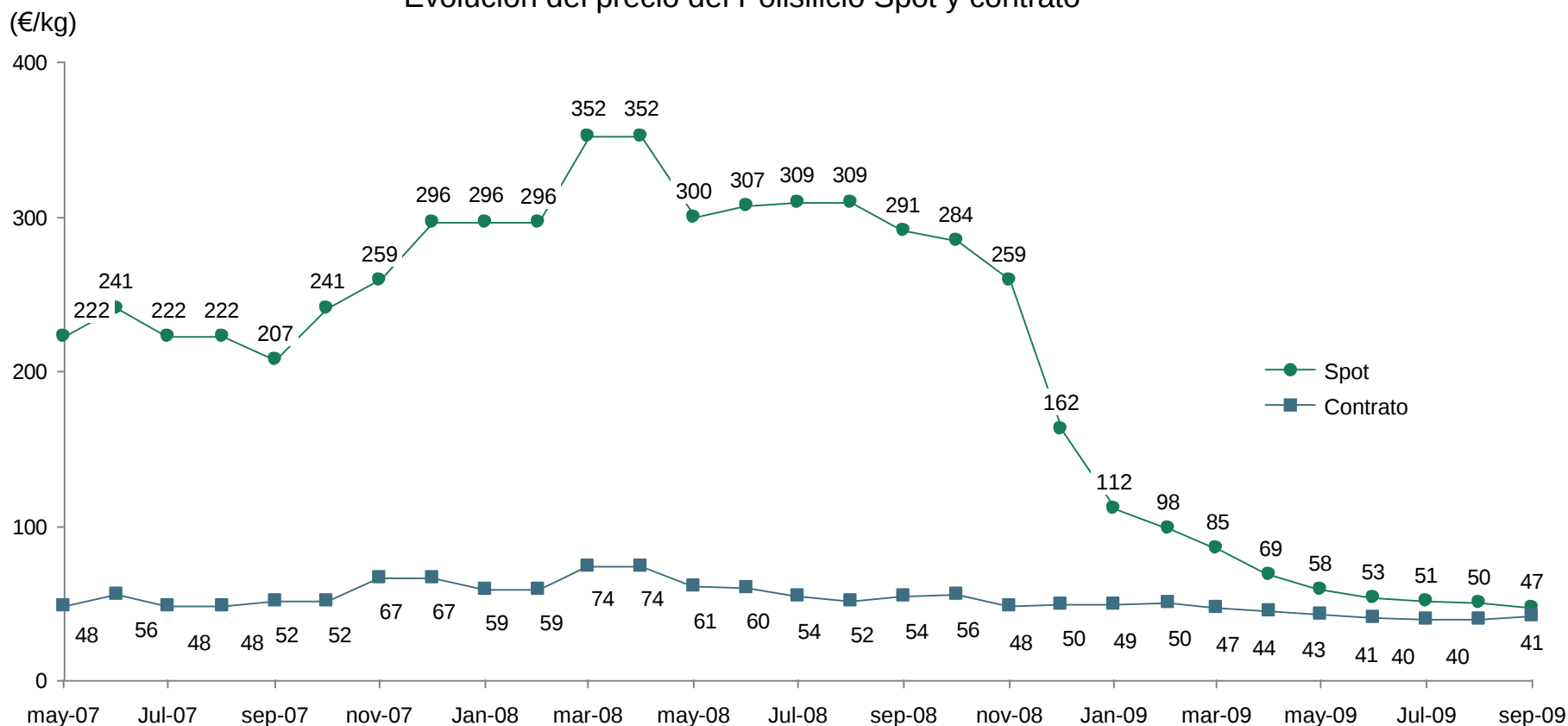


Análisis económico sectorial

Energía Solar Fotovoltaica

Evolución de los precios spot de polisilicio

Evolución del precio del Polisilicio Spot y contrato



Análisis económico sectorial

Potencial futuro de desarrollo

1

Mejora de la eficiencia

- Avances tecnológicos y efecto aprendizaje en componentes
- El aumento de la eficiencia redonda en diversas reducciones de costes al disminuir la superficie de módulo requerida por Wp
- Los escenarios de simulación se fijan en base a las posibles evoluciones de la eficiencia a 2020-2030

2

Reducción Costes de Inversión

- Experiencia: Avances tecnológicos y efecto aprendizaje en componentes
- Escala de las plantas de producción
- Mejora de ingeniería y diseño de plantas
- Producción en países de bajo coste

3

Mejora de Operación y Mantenimiento

- Aprendizaje en la gestión de las plantas
- Experiencia: Avances tecnológicos y efecto aprendizaje en componentes
- Reducción de la degradación de los módulos

4

Nuevos conceptos tecnológicos 3ª generación de módulos fotovoltaicos

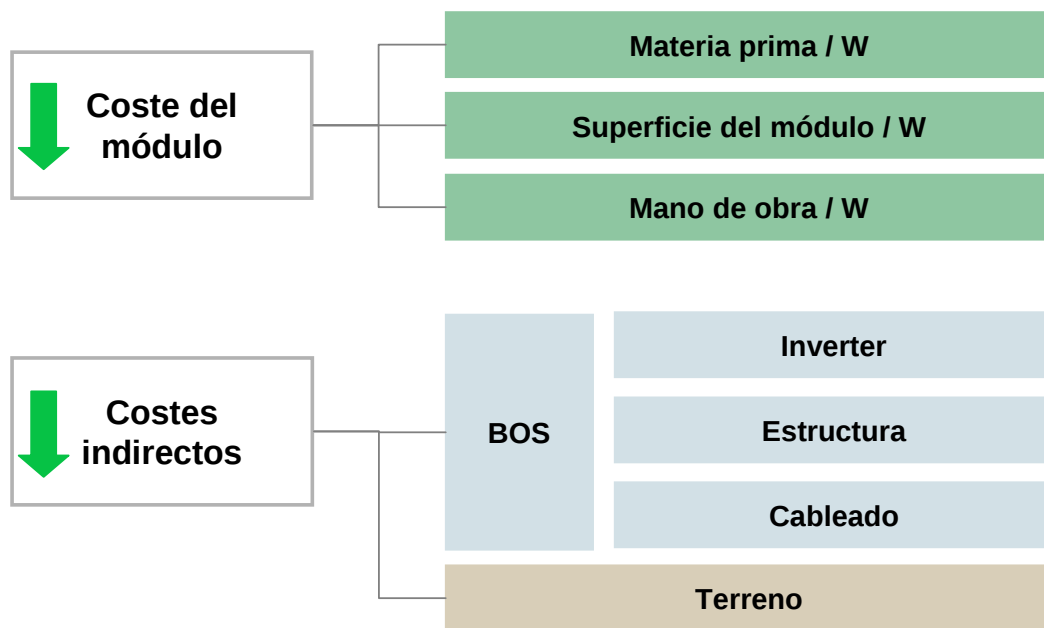
Análisis económico sectorial

Incremento de la eficiencia como clave en la reducción de costes de los módulos

La eficiencia reduce los costes directos e indirectos...

...a través del impacto en diversos componentes de la fabricación e instalación

Reducción de costes ante un aumento del 100% de la eficiencia

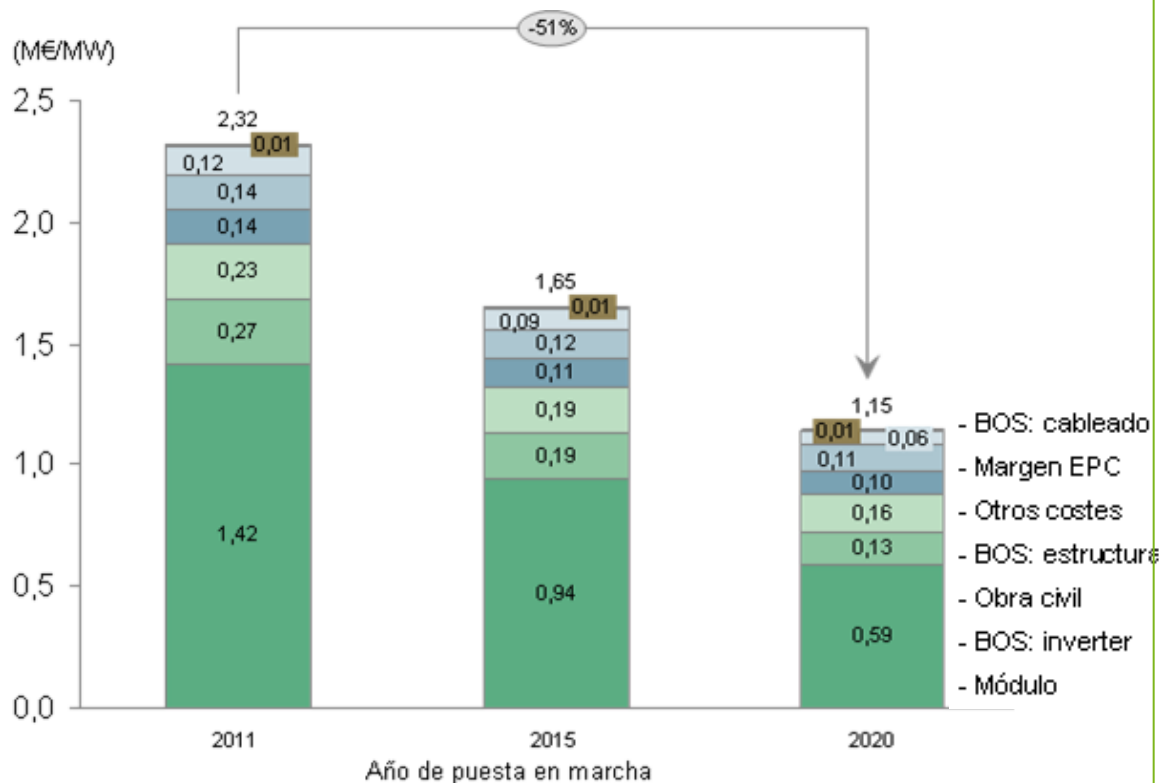


Cristalino	Thin Film
40%-50%	70-80%
	49%
	59%
	22%
	59%

Análisis económico sectorial

Energía Solar Fotovoltaica

Evolución de los Costes de Inversión de
una planta **FV cristalino suelo**



CAPA DELGADA

Se prevén descensos de costes del mismo orden de magnitud.

Los costes de inversión resultan superiores al cristalino por los costes del resto de equipos.

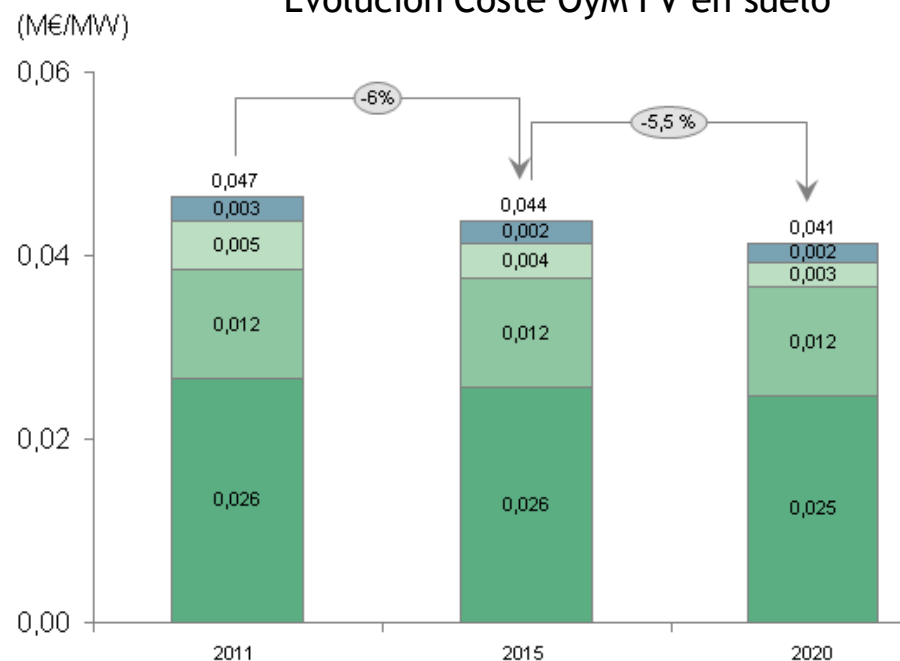
Las futuras mejoras de la eficiencia compensarían esta diferencia de costes.

Todas las tecnologías FV experimentarán una fuerte reducción de costes.
Las claves: mejoras de la eficiencia y la escala de producción

Análisis económico sectorial

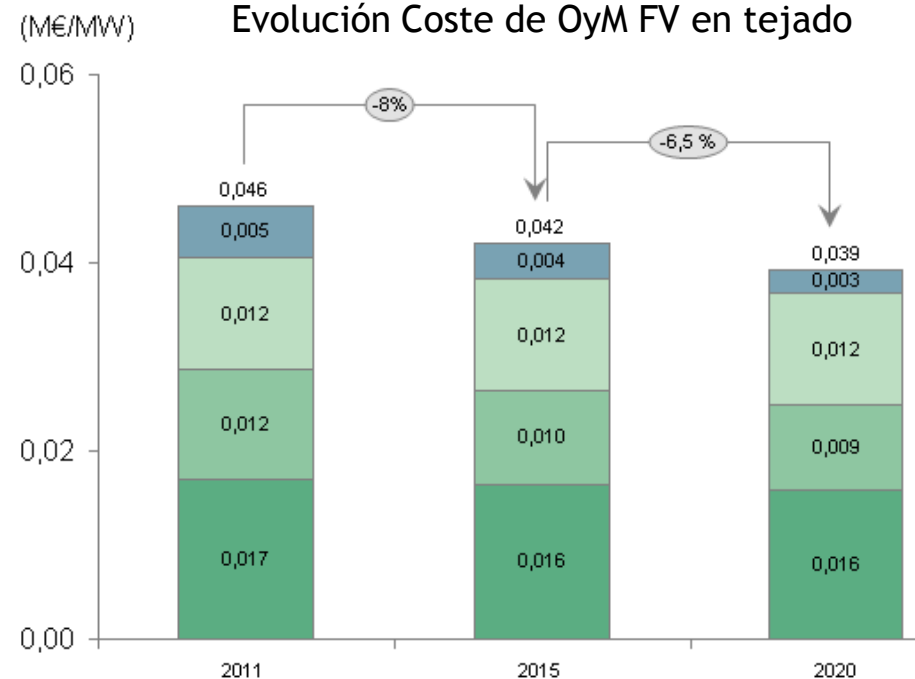
Mejora de OyM

Evolución Coste OyM FV en suelo



■ Seguros ■ Gestión ■ Alquiler ■ Mantenimiento

Evolución Coste de OyM FV en tejado

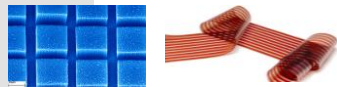


Mejoras en la O&M de las plantas también se verán reflejadas en una caída de los costes. Las claves: reducciones de terreno por mejoras de eficiencia y mejora de las técnicas de mantenimiento asociado a la aparición de equipo especializado.

Análisis económico sectorial

Nuevos conceptos tecnológicos

NANOTECNOLOGIA



Tercera generación de módulos FV

Eficiencia

La tercera generación de módulos trata de superar mediante enfoques diferentes las eficiencias teóricas basadas en las limitaciones físicas de los materiales

- El objetivo es el traspaso de la barrera teórica establecido por Shockley-Queiser en 31% en 1961

La mejora de eficiencia se busca en consonancia con mejores materiales que mantengan los rendimiento a alta temperatura

Costes de Inversión

Las ganancias de eficiencia derivan en ahorros importantes de costes, tales como estructura, suelo, etc...

Los laboratorios trabajan con la restricción de aumentar la eficiencia a menores costes

Costes de Operación

La reducción de los costes de mantenimiento proviene de la reducción del tamaño de las placas debido a la mayor eficiencia

↑ Aumentos de la eficiencia hasta el 66%

↓ Reducción del coste en diez años del 33%¹

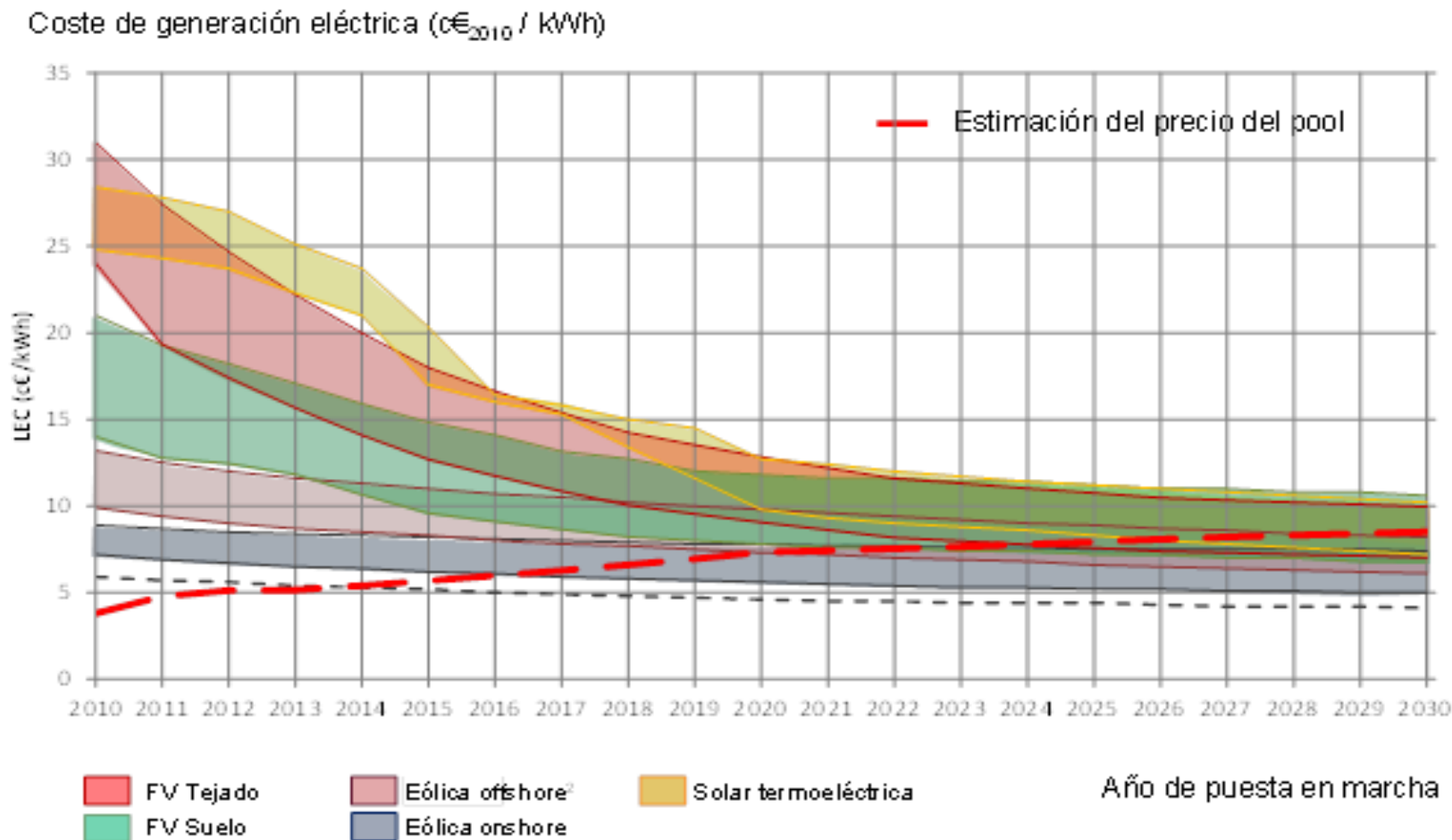
↓ Reducción del coste en diez años del 28%¹

La 3ª generación de módulos utiliza nuevos materiales bajo nuevos enfoques pudiendo alcanzar aumentos de eficiencia hasta del 66%

Análisis económico sectorial

Perspectivas de futuro

Energía Solar Fotovoltaica



Capítulo 6

Tendencias futuras

Tendencias futuras

Nueva reglamentación

LEY de Ahorro, Eficiencia Energética y Energías Renovables

- Oportunidad de consolidar el apoyo a las energías renovables.
- Proporcionará una penetración horizontal de las EERR en todos los sectores.

RD de conexión de instalaciones de pequeña potencia

- Potenciará y ampliará lo establecido en el RD 1663/2000, incorporando aspectos de la Directiva de Renovables:
 - **Simple notificación** para la autorización de instalaciones de pequeña potencia asociadas a consumos existentes.
 - Nuevo procedimiento más sencillo para el resto de instalaciones.
 - Conexión a **redes interiores**.

Orden de Calidad para instalaciones FV

- Se establecerán los requisitos mínimos de calidad exigibles a las instalaciones fotovoltaicas.

Tendencias futuras

Balance Neto

MECANISMO DE BALANCE NETO PARA FACILITAR LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA A PARTIR DEL AUTOCONSUMO

Instalaciones de **pequeña potencia** destinadas a **producir para autoconsumo, y asociadas a suministros existentes.**

- La red actúa como colchón para absorber excedentes de producción puntual, con la participación del **COMERCIALIZADOR** y otros agentes del sistema eléctrico.
- Los **excedentes** de energía **no se pagan** sino que **se compensan** descontándose directamente de la factura del abonado.
- Los **excedentes no compensados por falta de consumo se acumulan** para próximas facturaciones (con un plazo máximo para la compensación).
- Posibilidad de diseñar **incentivos** para facilitar la **gestión de la red**.

Esta **nueva filosofía**, permitirá que se limite la demanda energética sobre el sistema y se evolucione desde un concepto centrado solo en la generación, hacia otro enfocado también a la **gestión de la demanda**.

Tendencias futuras

Balance Neto

El mecanismo de **balance neto** está diseñado para consumidores netos.

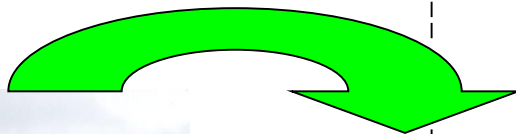
La producción debe estar dimensionada en relación al consumo, y solo apoyarse en la red para adecuar la curva de producción con la curva de demanda

AUTOCONSUMO



Consumo una parte de la energía generada

Excedentes puntuales



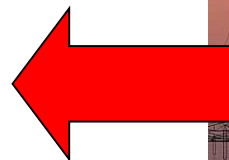
Demanda-Producción



ENTREGA



Balance de
Consumo Neto



Entrego la energía generada que no consumo (vacaciones, momentos del día sin consumos, etc.....)

Tendencias futuras

Directiva de EE.RR.

La Directiva 2009/28/CE establece los objetivos nacionales a 2020

Las Energías Renovables deberán representar en España el **20% del consumo de energía final**

Se establece también una trayectoria indicativa:

	Cuotas de Energías Renovables
2011-2012	10,96%
2013-2014	12,09%
2015-2016	13,79%
2017-2018	11,05%
2020	20%

Art 13. **Procedimientos administrativos, reglamentos y códigos**

- **Coordinación** e información de las normas.
- **Transparencia** y proporcionalidad de las tasas.
- Simplificación de procedimientos incluida **simple notificación**.
- Medidas para el aumento de ER en la **construcción** para el uso de niveles mínimos de energía.

Art 14. **Información y Formación**

- Disponibilidad de sistemas de **certificación** o cualificación para los instaladores (2012).
- **Reconocimiento** de certificaciones de otros Estados miembros.
- **Información** y formación adecuada a los ciudadanos

Tendencias futuras

PANER / PER 2020

PANER

Responde a los contenidos descritos por la UE.

Se valorará y definirá la aportación de las diferentes energías renovables al logro de los objetivos definidos en la Directiva.

Se definirán objetivos globales para los próximos 10 años (2020).

PER 2020

Se definirán objetivos por áreas para los próximos 10 años (2020).

Se identificarán barreras y se propondrán medidas para superarlas por áreas tecnológicas.

La Energía Solar jugará un papel clave en el logro de los objetivos establecidos por la Directiva para 2020.

La Energía Solar jugará un **papel clave** en el logro de los objetivos establecidos por la Directiva para 2020.

Tendencias futuras

Energía Solar Fotovoltaica

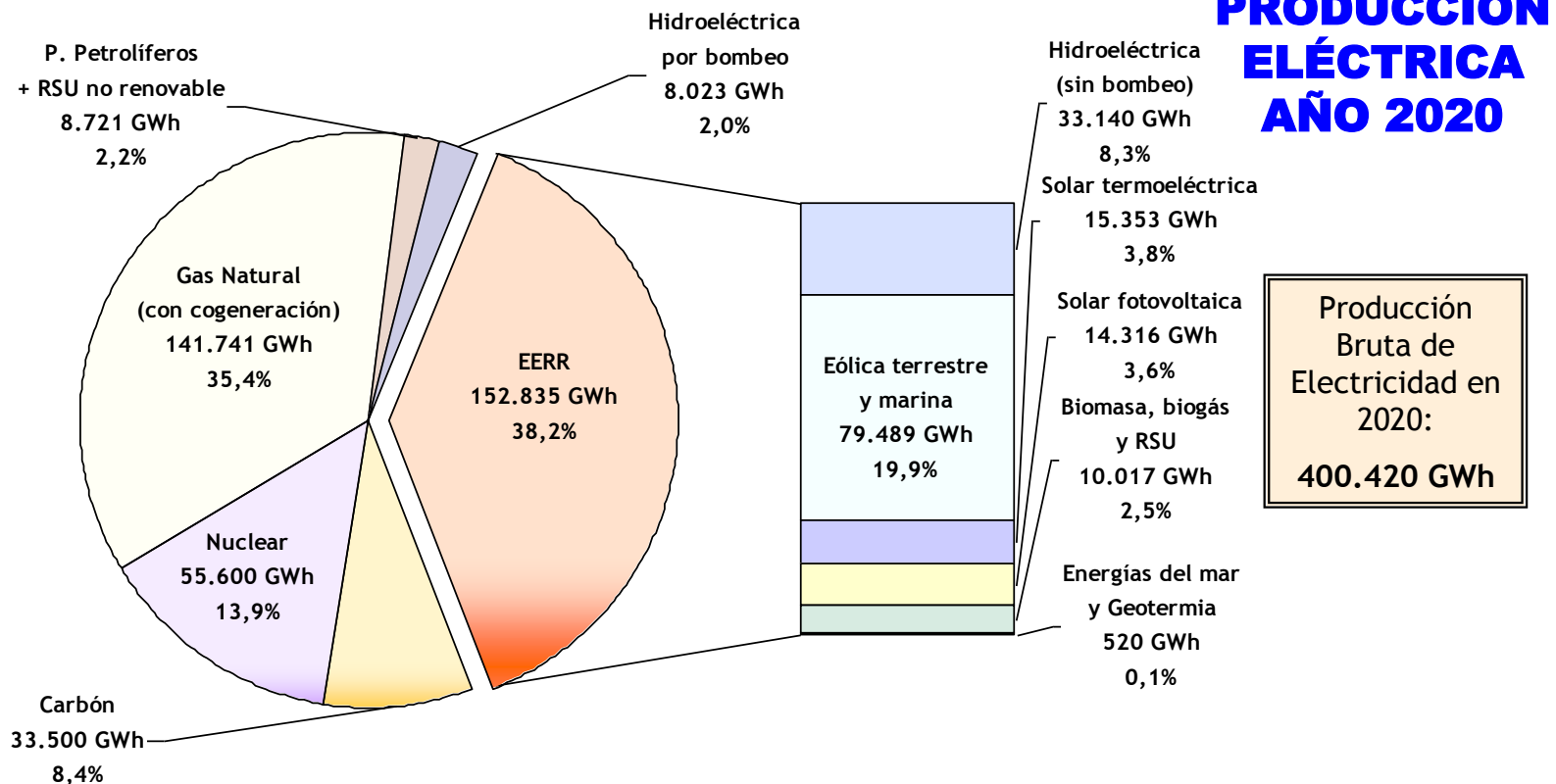
PANER / PER 2020 - Evolución de las EE.RR. para la generación de energía eléctrica

	2005		2010		2015		2020	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Energía hidroeléctrica (*)	18.220	35.503	18.687	34.617	20.049	36.732	22.362	39.593
<i>de la cual por bombeo:</i>	2.727	5.153	2.546	3.640	3.700	6.577	5.700	8.023
Energía geotérmica	0	0	0	0	0	0	50	300
Solar fotovoltaica	60	41	4.021	6.417	5.918	9.872	8.367	14.316
Solar termoeléctrica	0	0	632	1.144	3.048	7.913	5.079	15.353
Energía hidrocinética, del oleaje, maremotriz	0	0	0	0	0	0	100	220
Eólica en tierra (*)	9.918	20.729	20.155	40.978	27.847	56.786	35.000	70.502
Eólica marina (*)	0	0	0	0	150	300	3.000	7.753
Biomasa	601	2.653	752	4.517	965	5.962	1.587	10.017
<i>sólida</i>	449	2.029	596	3.719	745	4.660	1.187	7.400
<i>biogás</i>	152	623	156	799	220	1.302	400	2.617
<i>Biolíquidos (29)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL (sin bombeo)	26.072	53.773	41.701	84.034	54.277	110.988	69.844	150.030

Tendencias futuras

Energía Solar Fotovoltaica

Contribución de EERR en Energía PANER en 2020



La contribución de las renovables al consumo final bruto de electricidad (es decir, habiendo aplicado el saldo de intercambios internacionales a la producción bruta de electricidad) en 2020 será del 40% una vez normalizada la producción hidráulica y eólica (cálculo según Directiva 2009/28/CE).

Tendencias futuras

Papel futuro de la tecnología solar FV

Papel predominante para la tecnología solar **FV** en un nuevo esquema del sistema eléctrico:

- Papel relevante en la **generación distribuida** de electricidad. Cambio de concepto hacia las **Redes inteligentes**
- Papel protagonista en **edificios** (integración arquitectónica, tejados y fachadas).
- Papel destacado en **otras iniciativas** (p.ej. vehículo eléctrico).
- El logro de **Paridad de Red** (Grid Parity), puede provocar un incremento significativo de la potencia instalada.
- Grandes expectativas en **reducción de costes**.

Capítulo 7

Actividades del IDAE

Actividades del IDAE

Energía Solar Fotovoltaica

Innovación - Guascor Fotón (UPM)

- **Madrid** (IES, ETSI Telecomunicaciones, UPM).
- Alta concentración solar (**250x**) con lentes de Fresnel.
- Potencia nominal **25 kW**.
- Puesta en marcha en diciembre **2006**.



CONVENIO

UPM (IES, ETSIT) – IDAE – GUASCOR FOTÓN

Financiación 100% IDAE

Actividades del IDAE

Energía Solar Fotovoltaica

Integración arquitectónica - FORUM 2004 Fase II

- **Barcelona** (Cubierta de la EDAR del Besós).
- Potencia pico **mayor de 650 kWp.**
- Potencia nominal **mayor de 600 kW.**
- Superficie cubierta **7.000 m².**
- Altura pórtico **10 m.**
- Conexión **25 kV.**
- Módulos **integrados** en la cubierta.
- Conectada en julio de **2008.**



CONVENIO MITyC – AYTO. BARCELONA

Financiación IDAE 100%

Actividades del IDAE

Energía Solar Fotovoltaica

Promoción y difusión - SOLARIZATE I y II

- Todo el **territorio nacional**.
- Fase I: 52 centros.
- Fase II: 50 centros.
- Total: **102 centros**.
- Potencia nominal unitaria **2,5 kW**.
- Potencia total: **255 kW**.
- Inversión total de **2.500.000 €**.
- Monitorización remota.
- Difusión, Formación y apoyo didáctico en: **www.solarizate.org**
- Puesta en marcha desde **2006**.



CONVENIO IDAE - GREENPEACE

Financiación IDAE 100%

Master profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental 2011

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA



nuestra
energía

Carlos Montoya Rasero
Jefe Departamento Solar - IDAE
cmontoya@idaes.es