

# INTRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA

## INTRODUCCION HISTORICA

En 1839 se descubre el efecto fotovoltaico

Fines del siglo XIX se descubre la fotoconductividad del selenio y se construye la primera celda experimental en base a este material

En 1904 Albert Eistenin publica un paper sobre el efecto fotovoltaico (simultáneamente con su teoría de la relatividad)

En 1941 se construye lo más parecido a lo que hoy es una celda solar, en selenio y con una eficiencia del 1%

En 1955, Western Electric, comercializa por primera vez una celda solar

En tal época se incentiva su desarrollo para aplicación en satélites

En un par de años se pasa de eficiencias del 4,5 al 9%

# INTRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA

## INTRODUCCION HISTORICA

En 1958 se lanza el primer satélite con celdas fotovoltaicas

1960, eficiencias del 14%....precios prohibitivos para aplicaciones terrestres

En 1973, con la crisis del petróleo, se da un verdadero impulso a aplicaciones del tipo que hoy nos interesa: silicio policristalino, celdas de película delgada, silicio amorfo, etc..

A principios de los 80 la mayor fábrica produce 1MW de celdas solares por año; 1982: una producción mundial de 9,3MW; 1983: 21,3MW

1985: eficiencias del 20%

En el cambio de milenio ya existían plantas de más de 1MW

# INTRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA

## LA CELDA SOLAR

*Conversión de la energía solar en eléctrica sin piezas móviles ni combustión*

Se produce en materiales semiconductores en los cuales es posible modificar su conductividad y generar una corriente eléctrica

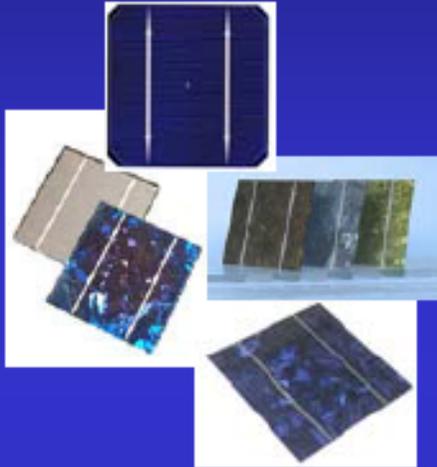
Los electrones de la banda de valencia de tales materiales absorben energía y pasan a la banda de conducción para ser llevados a un circuito externo produciendo una corriente eléctrica

La «partida» de los electrones producen «huecos» que también se «mueven» como una corriente eléctrica pero en sentido opuesto al asumido clásicamente

Para que no exista una recombinación debe existir un campo eléctrico el cual es producido por una juntura del tipo de la del diodo semiconductor

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Célula FV



Módulo FV

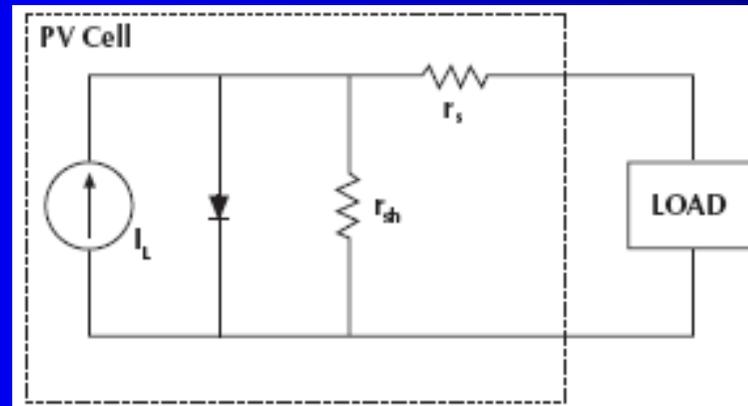


Campo de paneles FV



# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Se trata de predecir el comportamiento de una célula fotovoltaica bajo diferentes condiciones operativas a partir de la información de los parámetros nominales de la misma:



$$I = I_L - I_D - I_p = I_L - I_0 \left[ e^{(V + IR_s / V_t)} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

$I_L$ , corriente de generación o de “iluminación”

$I_0$ , corriente inversa de saturación de diodo o de “oscuridad”

$R_s$ , resistencia serie

$R_p$ , resistencia paralelo

$V_t$ , voltaje térmico

$m$ , factor de idealidad del diodo (1 para diodo ideal)

$K$ , constante de Boltzmann ( $1,381 \times 10^{-23}$  J/K)

$T$ , temperatura K

$e$ , carga electrónica ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)

$$V_t = \frac{mkT}{e}$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Datos típicos de Módulo fotovoltaico:

Características eléctricas		TE 2000		
Tensión nominal		18 V		
Potencia típica (Wc)		190	200	210
Potencia mínima		185	195	205
Potencia máxima		195	205	215
Tolerancia (Wc)		-5 / +5 Wc		
Tolerancia (%)		-3 / +3 %		
Tensión a potencia máx.	Vpm (V)	26,8	27,1	27,3
Intensidad a potencia máx.	lpm (A)	7,1	7,4	7,7
Tensión en circuito abierto	Voc (V)	33,1	33,4	33,6
Corriente en corto circuito	Isc (A)	7,7	7,9	8
Influencia de la temperatura				
Temp. coef. de tensión		-114,48 mV / °C		
Temp. coef. corriente		+2,4 mA / °C		
Temp. coef. de potencia		-0,43 % / °C		
NOCT (°C)		45		

**NOCT**, Temperatura de Operación Nominal de la Célula, temperatura alcanzada por la célula cuando es sometida a las siguientes condiciones de operación:

Irradiancia de 800 w/m<sup>2</sup>  
Determinada distribución espectral  
Temperatura ambiente de 20°C  
Velocidad del viento de 1 m/s

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Un generador esta compuesto de varias células, en general no iguales entre ellas.

Se pueden alcanzar buenos grados de precisión con modelos sencillos:

- 1.- Despreciar la resistencia paralelo  $R_p$
- 2.- Suponer la corriente  $I_L$  igual a la corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ )
- 3.-  $e^{(V+IR_s/V_t)} \gg 1$
- 4.- Las células son todas iguales y trabajan con la misma iluminación y temperatura
- 5.- Las caídas de tensión en los conductores de interconexión se pueden despreciar

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Para un generador de varias células:

$$I_G = IN_P$$

$$V_G = VN_S$$

$I_G$  y  $V_G$ , corriente y tensión del generador,  
 $N_P$  y  $N_S$ , células serie y paralelo

Con lo cual:

$$I = N_p \left( I_L - I_0 \left( e^{\frac{V_G/N_S + I_G R_S/N_P}{V_t}} - 1 \right) \right) - \frac{V_G/N_S + I_G R_S/N_P}{R_p}$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Expresiones útiles:

Si se desprecia  $R_P$ ,  $I_L = I_{SC}$  y  $e^{(V+IR_s/V_t)} \gg 1$ :

$$I = I_{SC} - I_0 e^{\frac{V+IR_s}{V_t}}$$

Si  $I = 0$ :

$$V_{OC} = V_t \ln \frac{I_{SC}}{I_0}$$

De donde se deduce:

$$I_0 = I_{SC} e^{-V_{OC}/V_t}$$

Para obtener finalmente:

$$I = I_{SC} \left( 1 - e^{\frac{V-V_{OC}+IR_s}{V_t}} \right)$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Expresiones útiles:

Si se trata de un generador:

$$I_{SCG} = I_{SG} N_P$$

$$V_{OCG} = V_{OC} N_S$$

$$R_{SG} = \frac{R_S N_S}{N_P}$$

Con lo cual:

$$I_G = I_{SCG} \left( 1 - e^{\frac{V_G - V_{OCG} + I_G R_{SG}}{N_S V_t}} \right)$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Parámetros característicos:

La potencia de la célula:

$$P = V \cdot I$$

Determinar el punto de máxima potencia:

$$P_{MAX} \Rightarrow \frac{dp}{dV} = 0$$

Se definen los siguientes valores normalizados:

$$v_{OC} = \frac{V_{OC}}{V_t}$$

$$r_s = \frac{R_s}{(V_{OC}/I_{SC})}$$

Empíricamente esta relación se describe por:

$$FF = \frac{V_M \cdot I_M}{V_{OC} \cdot I_{SC}} = FF_0 (1 - r_s) \quad \text{donde:} \quad FF_0 = \frac{v_{OC} - \ln(v_{OC} + 0.72)}{v_{OC} + 1}$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Parámetros característicos:

$V_M$  e  $I_M$  son la tensión y la potencia en el punto de máxima potencia

Ambos valores vienen determinados por:

$$\frac{V_M}{V_{OC}} = 1 - \frac{b}{v_{OC}} \ln a - r_s (1 - a^{-b})$$

$$\frac{I_M}{I_{SC}} = 1 - a^{-b}$$

Donde:

$$a = v_{OC} + 1 - 2 \cdot v_{OC} \cdot r_s$$

$$b = a / (1 + a)$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Condiciones estándares y *TONC*:

Condiciones estándares para las cuales el fabricante suministra las características operativas:

*Irradiancia: 1kW/m<sup>2</sup>*

*Determinada Distribución Espectral*

*Temperatura de la célula: 25°C*

En tales condiciones se debe suministrar al menos:  $P_{MAX}$ ,  $I_{SC}$  y  $V_{OC}$

Esta información se complementa con la medida del *TONC*

*TONC : Temperatura de Operación Nominal de la Célula*

La temperatura que alcanza la célula cuando es operada a:

*Irradiancia: 800W/m<sup>2</sup>*

*Determinada Distribución Espectral*

*Temperatura ambiente: 20°C*

*Velocidad del viento: 1m/s*

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Comportamiento de la célula en una condición distinta de operación

A partir de los 4 parámetros anteriores es posible predecir la curva I-V en cualquier otra condición de operación de irradiancia,  $G$ , y temperatura ambiente,  $T_a$

Para ello, a las 5 suposiciones iniciales se agregan:

6.- La corriente de cortocircuito depende “linealmente” de la irradiancia:

$$I_{sc}(G) = C_1 \cdot G$$

Esto presupone despreciar los efectos de la distribución espectral de la radiación y de la temperatura (de todas maneras el error es inferior al 0.5%)

7.- La Tensión de circuito abierto depende exclusivamente de la temperatura de las células y se puede expresar como:

$$\frac{dV_{oc}}{dT_c} = -2.3 [mv/^{\circ}C]$$

Se están despreciando los efectos de la iluminación sobre  $V_{oc}$  (errores menores al 1%)

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Comportamiento de la célula en una condición distinta de operación

8.- La temperatura de trabajo de la célula depende “linealmente” solo de la irradiancia y la temperatura ambiente

$$T_C - T_a = C_2 \cdot G$$

$$C_2 = \frac{TONC(^{\circ}C) - 20}{800[mw/cm^2]}$$

Esto presupone despreciar los efectos sobre  $T_C$  de la velocidad del viento (solo conducción a través del encapsulado)

9.- La resistencia serie es independiente de las condiciones de operación y su valor queda dado por:

$$R_s = \left(1 - \frac{FF}{FF_0}\right) \cdot \frac{V_{OC}}{I_{SC}}$$

$$P_{MAX} = P_{MAXM} / N_{SM}; V_{OC} = V_{OCM} / N_{SM}; I_{SC} = I_{SCM} / N_{PM}$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Interconexión de módulos fotovoltaicos

Se ha supuesto que la células y los módulos son todos iguales y operan en una idéntica condición; esto no es así:

- ❑ Dispersión por el proceso de fabricación
- ❑ Distintas condiciones de operación

Esto tiene fundamentalmente dos efectos:

- ❑ La potencia máxima que entrega el generador es inferior a la suma de las máximas individuales (pérdidas por dispersión)
- ❑ Algunas células pueden convertirse en “cargas”

### Pérdidas por dispersión:

Dos células serie:

$$V = V_{OC} - IR_S + V_t \ln \left( 1 - \frac{I}{I_{SC}} \right)$$

$$V_{OCA} = V_{OC1} + V_{OC2}$$

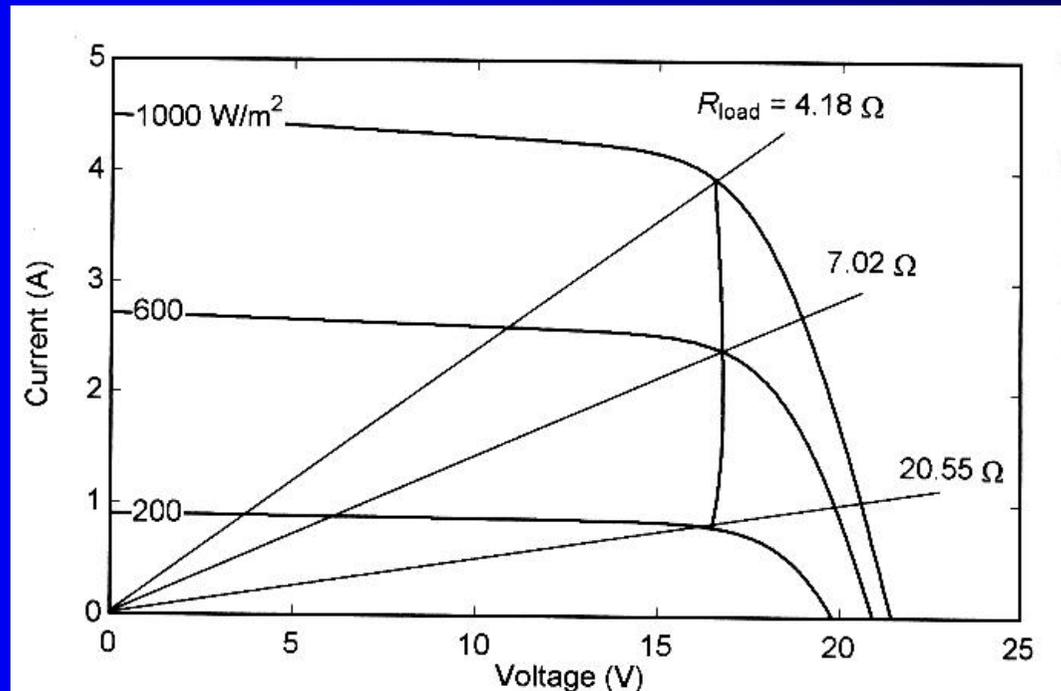
$$R_{SA} = R_{S1} + R_{S2}$$

$$V_A = V_1 + V_2 = V_{OCA} - IR_{SA} + V_t \ln \left( \left( 1 - \frac{I}{I_{SC1}} \right) \left( 1 - \frac{I}{I_{SC2}} \right) \right)$$

# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Características de la carga y sistemas acoplados directamente

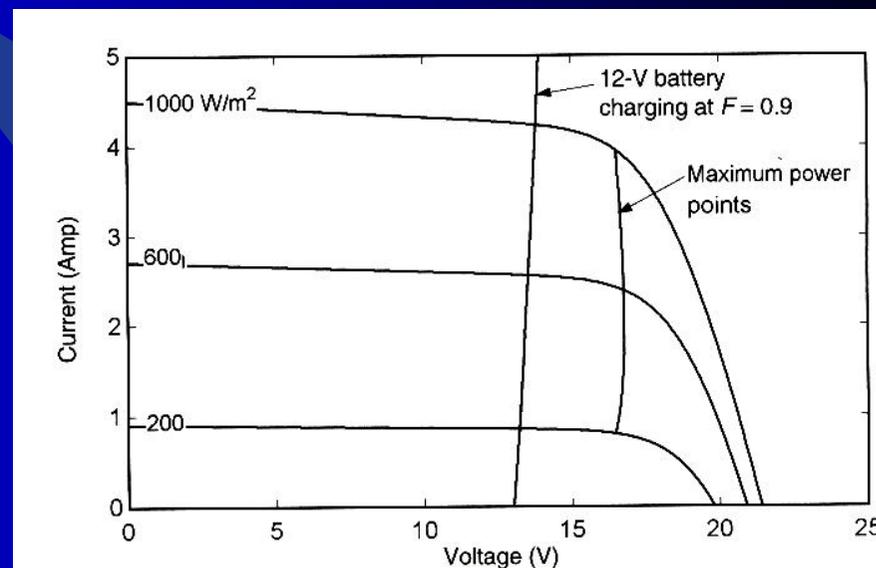
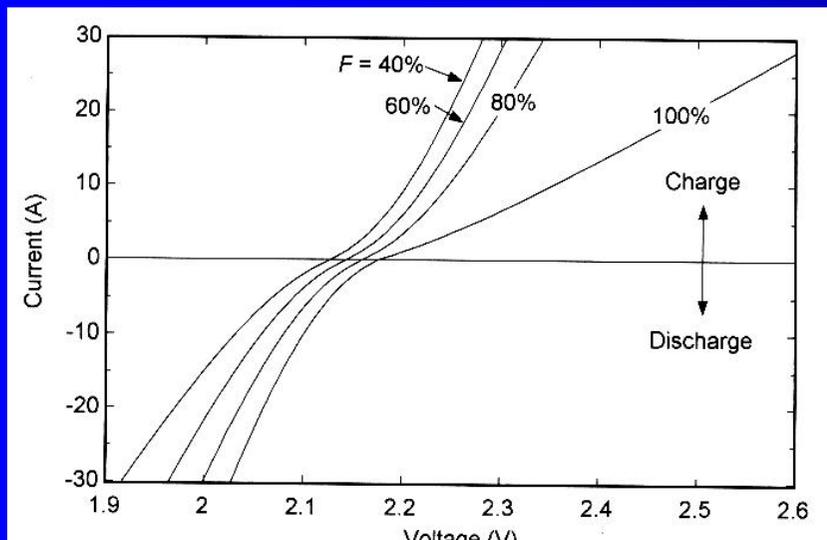
El punto de operación (V-I) del generador y la carga: carga resistiva, baterías...



# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Características de la carga y sistemas acoplados directamente

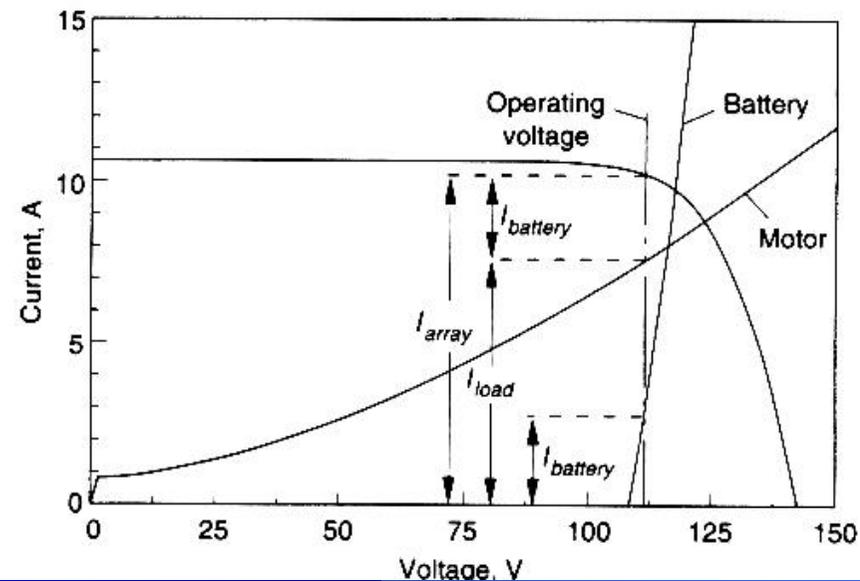
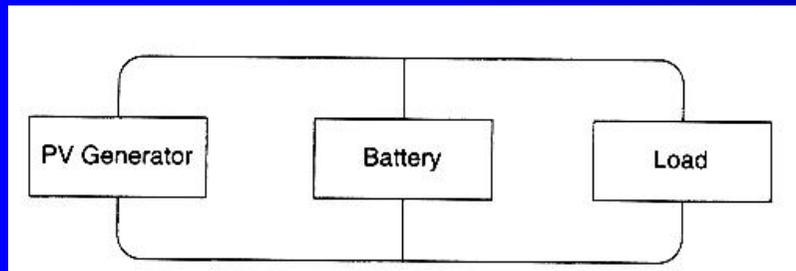
### Característica de carga y descarga de una batería ácida



# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

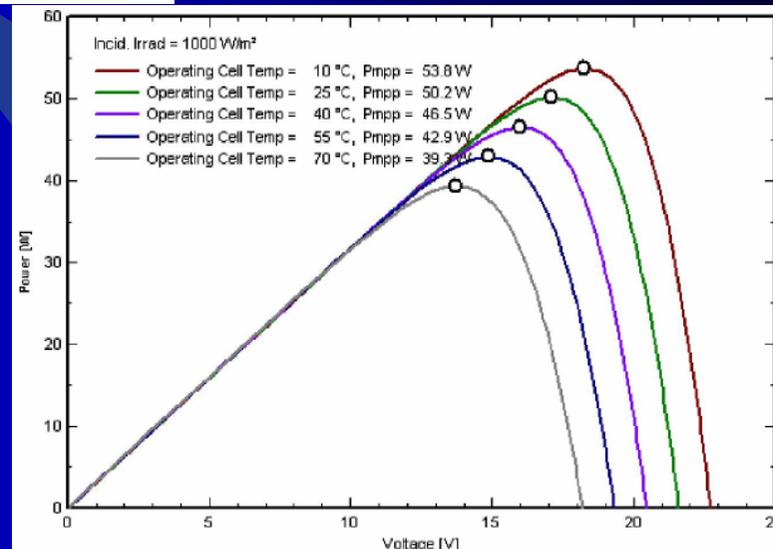
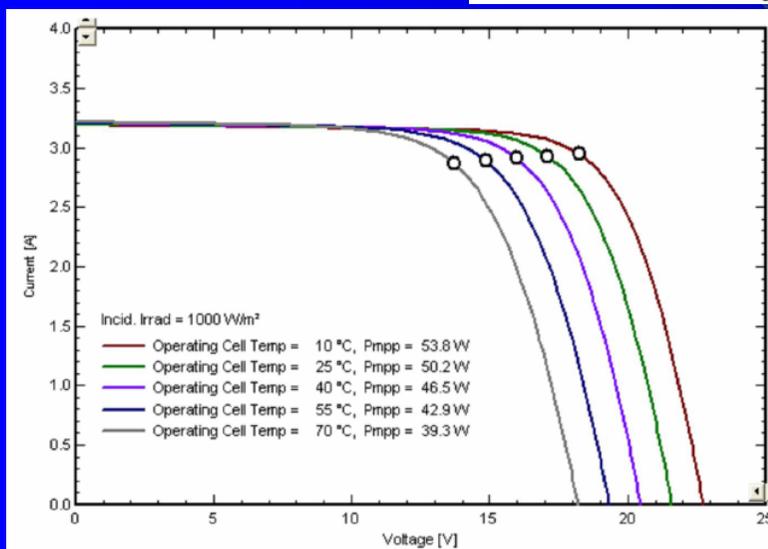
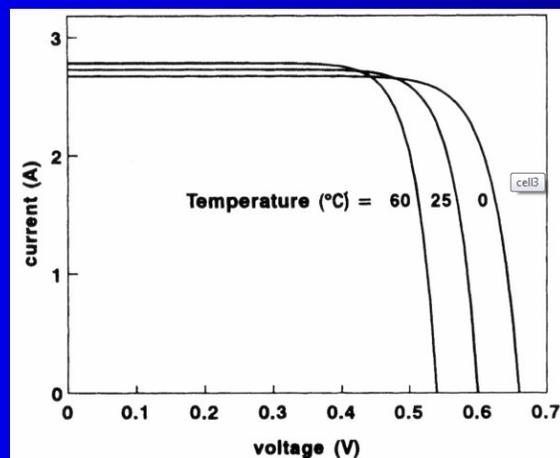
Características de la carga y sistemas acoplados directamente

Característica del generador PV, motor y batería:



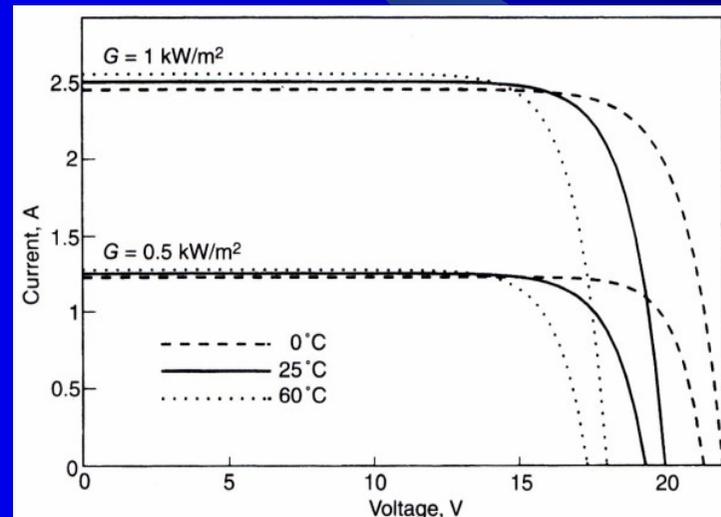
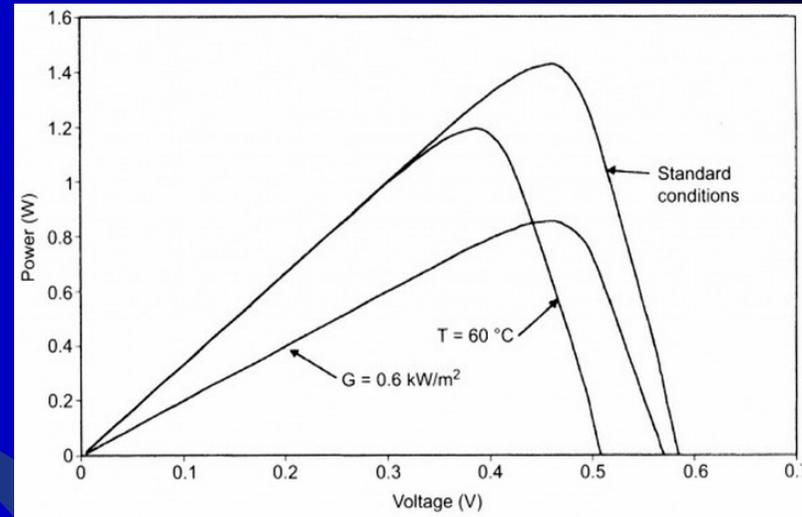
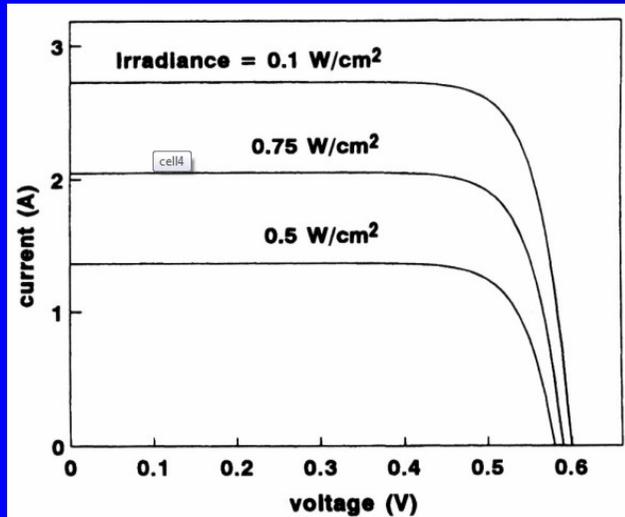
# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CELDA PV



# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

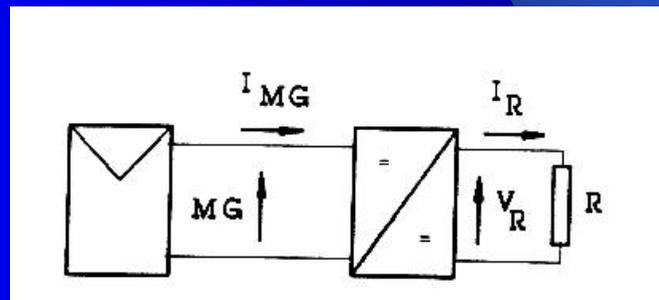
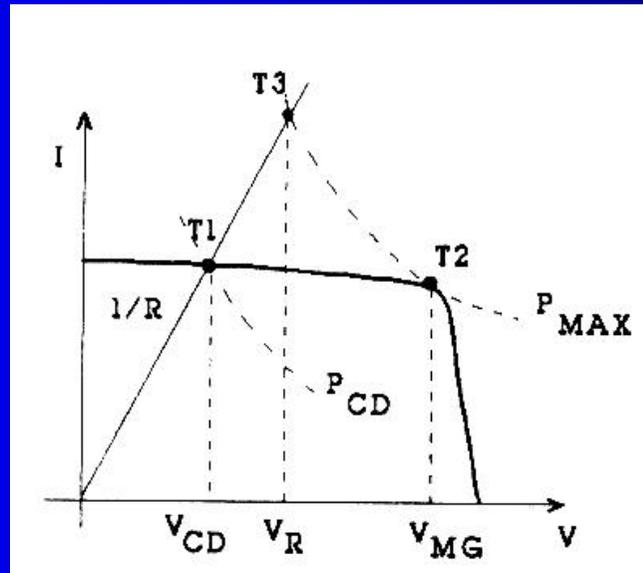
## EFFECTO DE LA IRRADIANCIA Y TEMPERATURA



# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Controles y MPPT (Maximum Power Point Trackers)

Presentación general del problema:



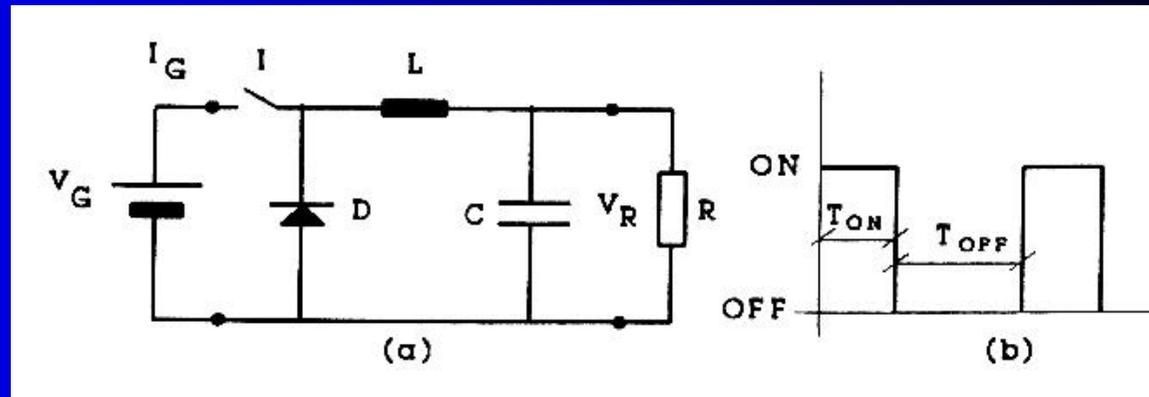
# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Controles y MPPT (Maximum Power Point Trackers)

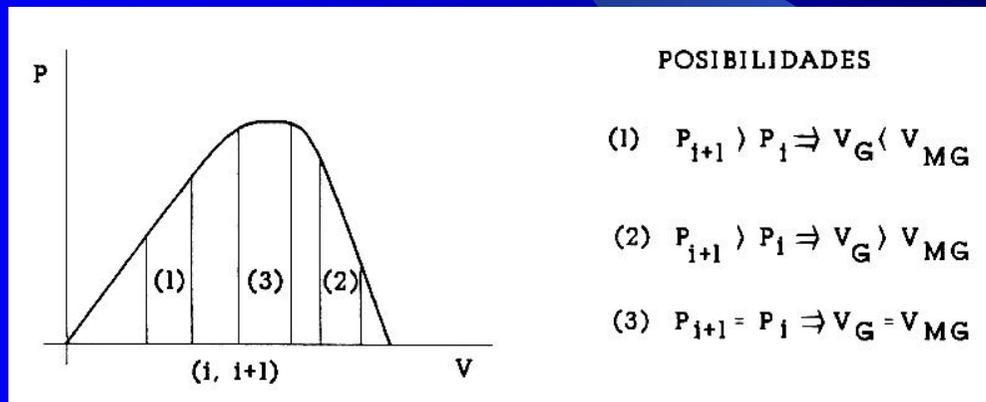
Presentación general del problema:

$$\frac{V_R}{V_G} = \frac{I_G}{I_R} = \frac{T_{ON}}{T}$$

$$T = T_{ON} + T_{OFF}$$



El valor óptimo de  $T_{ON}/T$  puede determinarse muestreando la potencia a la entrada del convertidor y comparando cada valor con el anterior:



# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Controles y MPPT (Maximum Power Point Trackers)

Esquemas de diseño del control dc-dc: Método de la conductancia incremental

$$P = V \times I$$

Derivado respecto de  $V$

$$dP/dV = d(VI)/dV$$

$$dP/dV = I dV/dV + V dI/dV$$

$$dP/dV = I + V dI/dV$$

$$(1/V)dP/dV = I/V + dI/dV$$

$$G = I/V$$

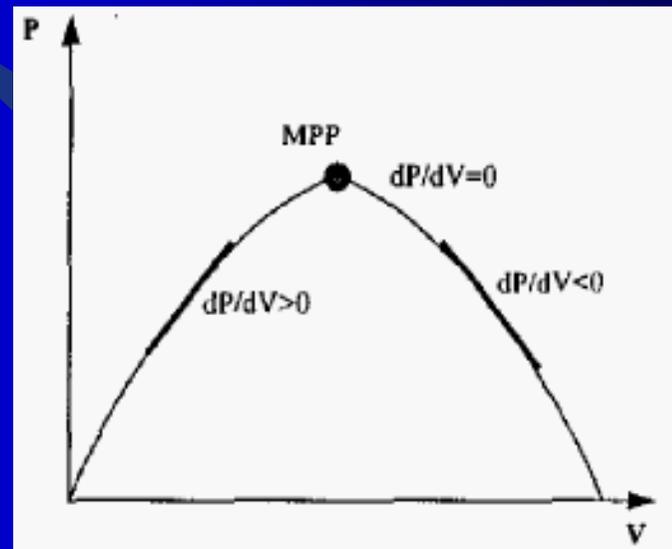
$$\Delta G = dI/dV$$

$$(1/V)dP/dV = G + \Delta G$$

$$dP/dV > 0 \Leftrightarrow G > \Delta G$$

$$dP/dV = 0 \Leftrightarrow G = \Delta G$$

$$dP/dV < 0 \Leftrightarrow G < \Delta G$$

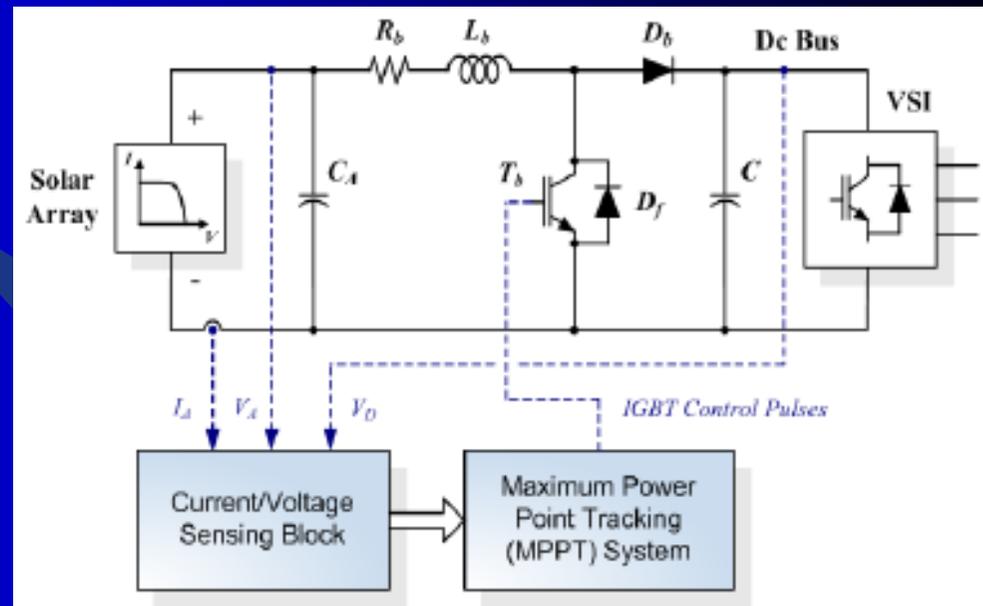


# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## Controles y MPPT (Maximum Power Point Trackers)

Esquemas de diseño del control dc-dc:

El convertidor dc-dc produce una tensión de salida chopeada y controla las relaciones de tensiones de entrada y salida adaptando las características del sistema fotovoltaico a la impedancia equivalente presentada por la barra de dc al inversor



# MODELADO BÁSICO DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

## EXPRESIONES BÁSICAS ÚTILES PARA EL MODELADO

<p>1.- Corriente de cortocircuito de la célula</p> $I_{SC} = G(W/m^2) \frac{I_{SC,STC}}{1000W/m^2} \quad (4)$	<p>2.- Temperatura de la célula</p> $T_c(^{\circ}C) = T_a(^{\circ}C) + \left( \frac{TONC(^{\circ}C) - 20}{800W/m^2} \right) G(W/m^2) \quad (5)$
<p>3.- Tensión de circuito abierto de la célula</p> $V_{OC}(V) = V_{OC,STC}(V) - 0,0023(T_c(^{\circ}C) - 25) \quad (6)$	<p>4.- Tensión de célula normalizada</p> $v_{oc} = \frac{V_{OC}}{V_t} \text{ siendo } V_t \text{ el voltaje térmico} \quad (7)$ $V_t(V) = 0,025 \frac{T_c(^{\circ}C) + 273}{300} \quad (8)$
<p>5.- Factor de forma para una célula ideal sin considerar la resistencia serie</p> $FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad (9)$	<p>6.- Resistencia normalizada</p> $r_s = 1 - \frac{FF_{STC}}{FF_0} \quad (10)$
<p>7.- Tensión y corriente de célula en el punto de máxima potencia</p> $V_{MAX} = V_{OC} \cdot \left[ 1 - \frac{b}{v_{oc}} \cdot \ln a - r_s \cdot (1 - a^{-b}) \right] \quad (11)$ $I_{MAX} = I_{SC} \cdot (1 - a^{-b}) \quad (12)$ $a = v_{oc} + 1 - 2 \cdot v_{oc} \cdot r_s \quad (13)$ $b = \frac{a}{1 + a} \quad (14)$	
<p>8.- Máxima potencia de la célula (<math>P_{MAX}</math>)</p> $P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX} \quad (15)$	<p>9.- A partir de los valores calculados para las células del generador se suponen los siguientes valores de operación para el generador:</p> $V_{MAXG} = V_{MAX} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs} \quad (16)$ $I_{MAXG} = I_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \quad (17)$ $P_{MAXG} = P_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs} \quad (18)$

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## TECNOLOGIAS

Básicamente, las de mayor desarrollo actual son 4:

- Silicio cristalino, c-Si: mono-cristalino (mc-Si) y poli-cristalino (pc-Si)
- Silicio amorfo, a-Si: tándem (a-Si +  $\mu$ c-Si) y triple capa (a-Si + a-SiGe)
- Cadmio-Telurio, CdTe
- Cobre-Indio-Galio-Selenio, CGIS

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## TECNOLOGIAS

### Silicio Cristalino:

Cuando se habla de mono o poli-cristalino se trata de silicio, el elemento sólido más abundante de la tierra....obtenido de rocas de cuarzo

El silicio puro funde a  $1400^{\circ}\text{C}$  y se cristaliza, se obtienen piezas cilíndricas que se cortan en láminas de 0,5mm de espesor y de 12x12mm (aprox), que pulidas conforman las celdas monocristalinas

Se unen dos laminas diferentes para obtener un campo electrostático y sobre cada láminas un conductor para extraer la energía

De superficies de aprox.  $150\text{ cm}^2$  se pueden sacar 2Wp

Las monocristalinas (300 a 350 micras) requieren mucho silicio y su eficiencia está alrededor del 20%

Las policristalinas, básicamente de desechos de las mono, 17%

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## TECNOLOGIAS

### Silicio Amorfo (capa fina – thin film):

Se deposita una capa muy fina de silicio (20 a 30 micras) sobre un vidrio o lámina flexible de PVC

Se pueden construir de grandes superficies, de distintas formas e inclusive pueden ser flexibles

Más baratas que las anteriores pero eficiencias por la mitad de las anteriores. La eficiencia se puede mejorar con varias capas incluyendo solo estructura amorfa o combinación con cristalina (tandem)

Su rendimiento es relativamente estable con la temperatura y un mejor comportamiento en condiciones de baja radiación

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## TECNOLOGIAS

### Cadmio-Telurio:

El Cadmio es un subproducto de la extracción del Zinc, del Plomo y del Cobre

El telurio es un producto semimetálico que se combina con el Cadmio para producir el Teluro de Cadmio (CdTe) Se deposita una capa muy fina de silicio (20 a 30 micras) sobre un vidrio o lámina flexible de PVC

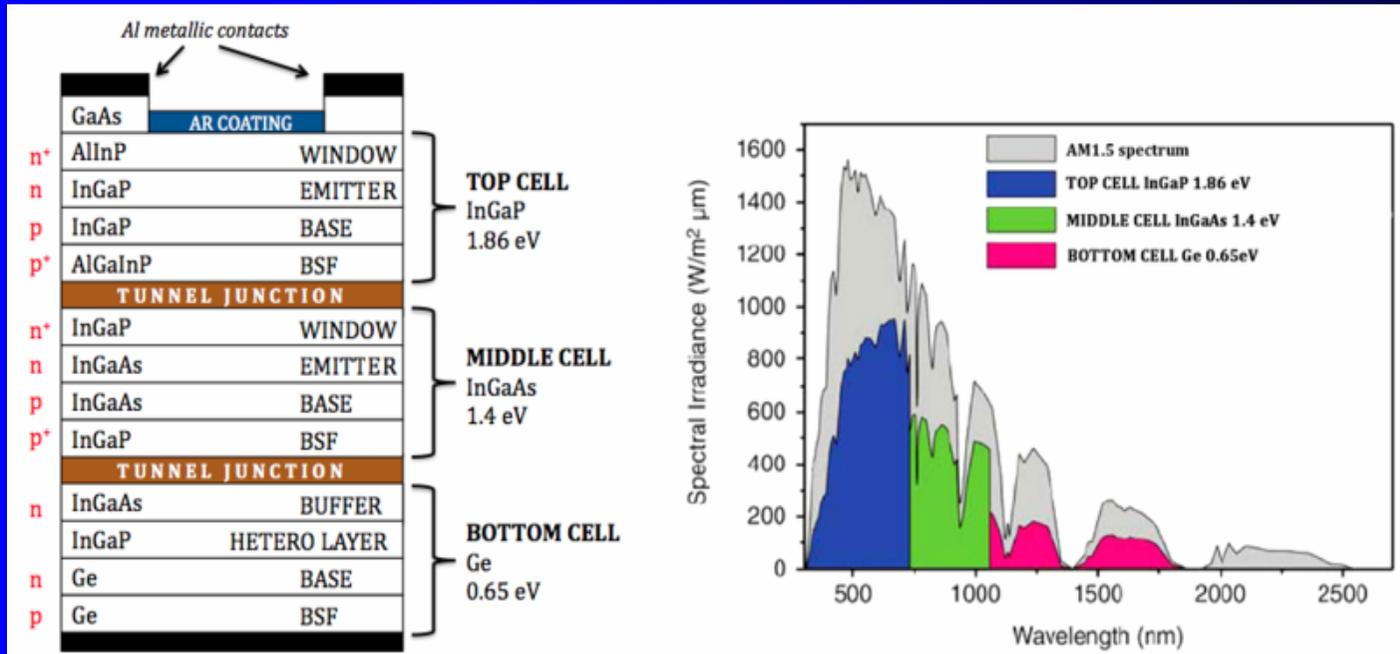
Este producto puede englobarse dentro de las tecnologías de capa fina y resultan de relativamente bajo costo

Algunas limitaciones de su empleo se originan por la eventual contaminación de los restos de cadmio en particular en condiciones de incendio y fundamentalmente por no estar muy en claro el tratamiento de los residuos

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## TECNOLOGIAS

Multi-Juntas:

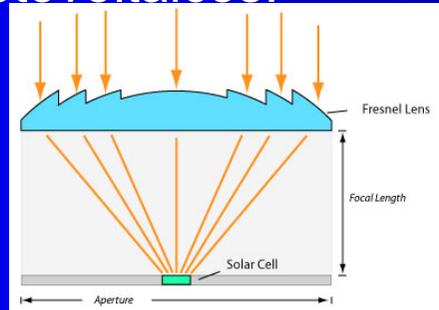


# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## TECNOLOGIAS

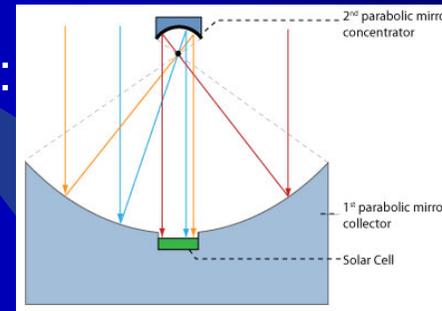
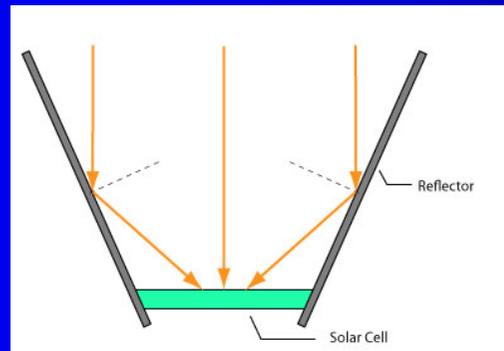
Concentradores fotovoltaicos:

Lentes de Fresnel



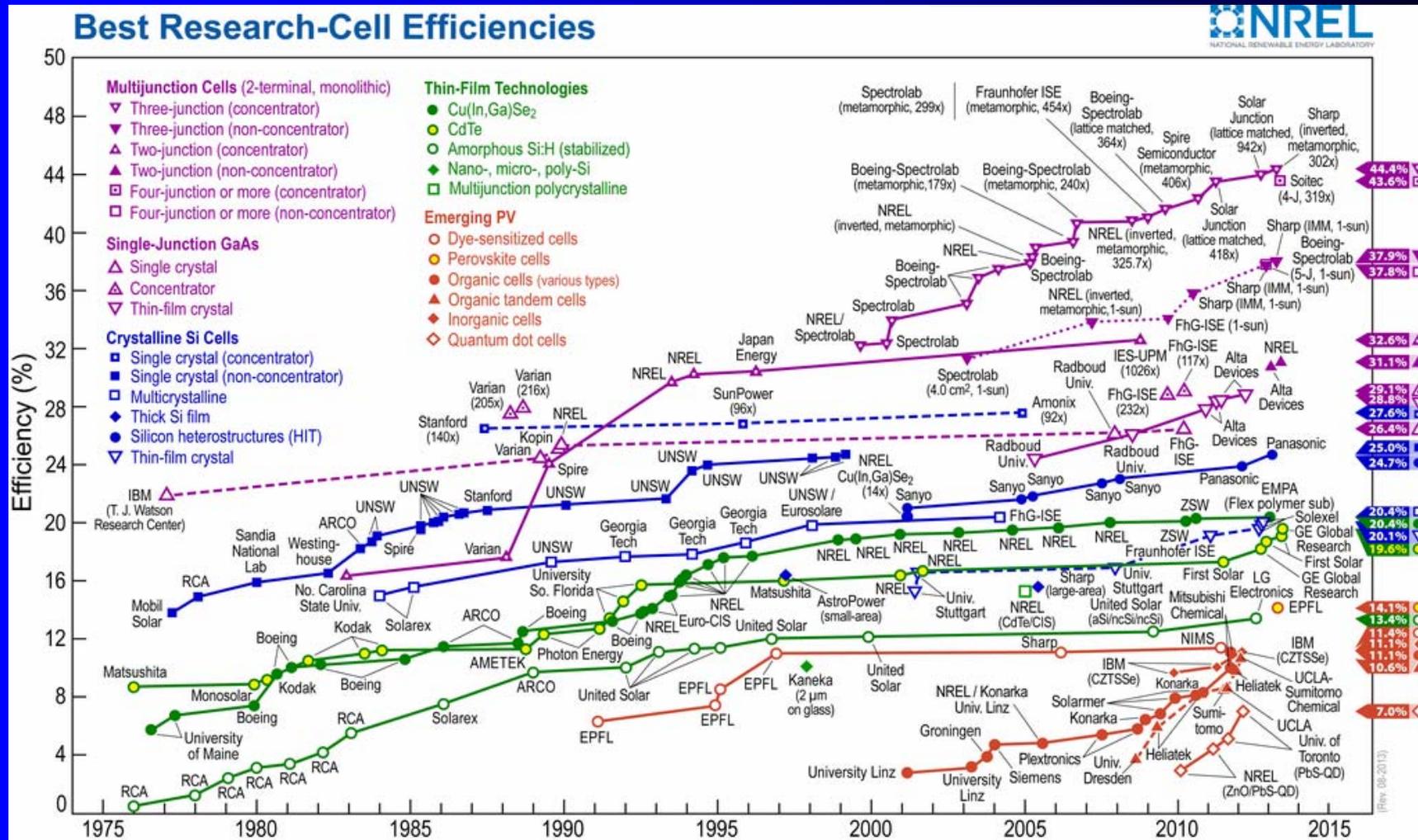
Espejos parabólicos:

Reflectores:



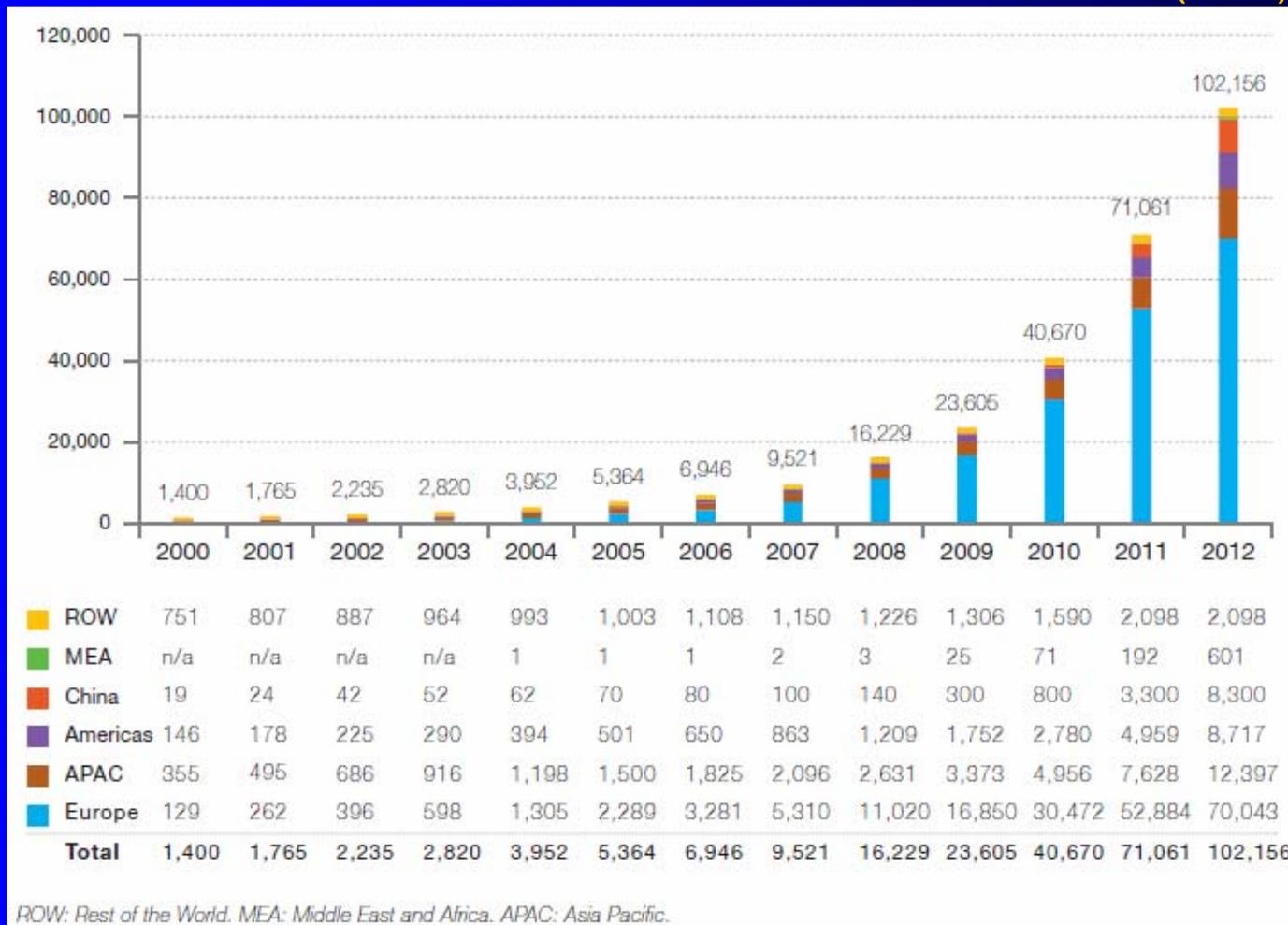
# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## EFICIENCIAS



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

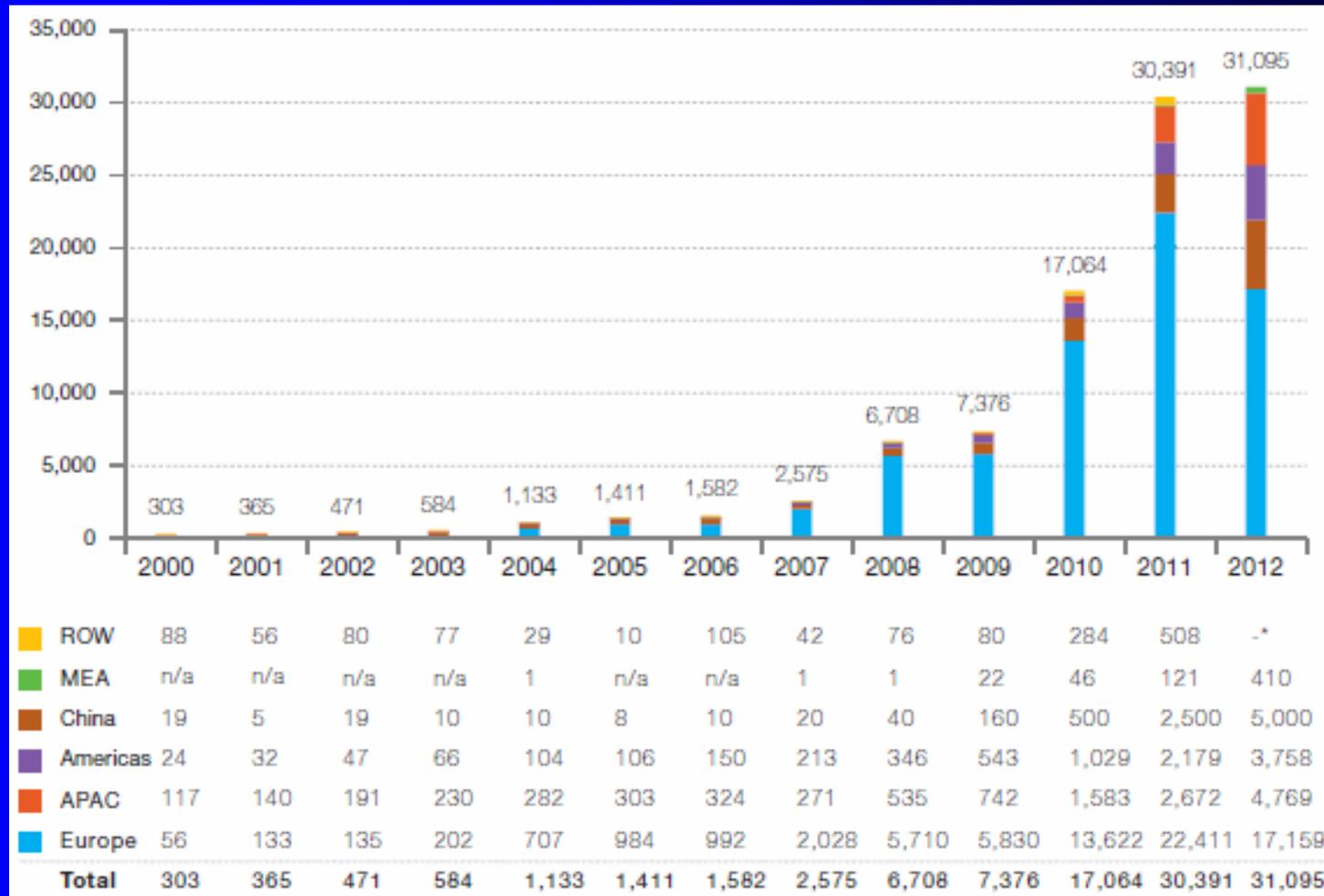
## POTENCIA INSTALADA TOTAL GLOBAL ACUMULADA (MW)



fuentes: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## POTENCIA INSTALADA ANUAL GLOBAL (MW)



fuentes: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## POTENCIA INSTALADA ANUAL GLOBAL (MW)

La baja en las instalaciones de 2012 no representan una declinación; grandes retrasos de grandes obras

Crecimiento 2011: grandes potencias instaladas en Italia

Dos tercios de la potencia total en 2012 (21,3GW) se concentra en cinco países: Alemania=7,6; China=5;Italia=3,4;USA=3,3;Japón=2

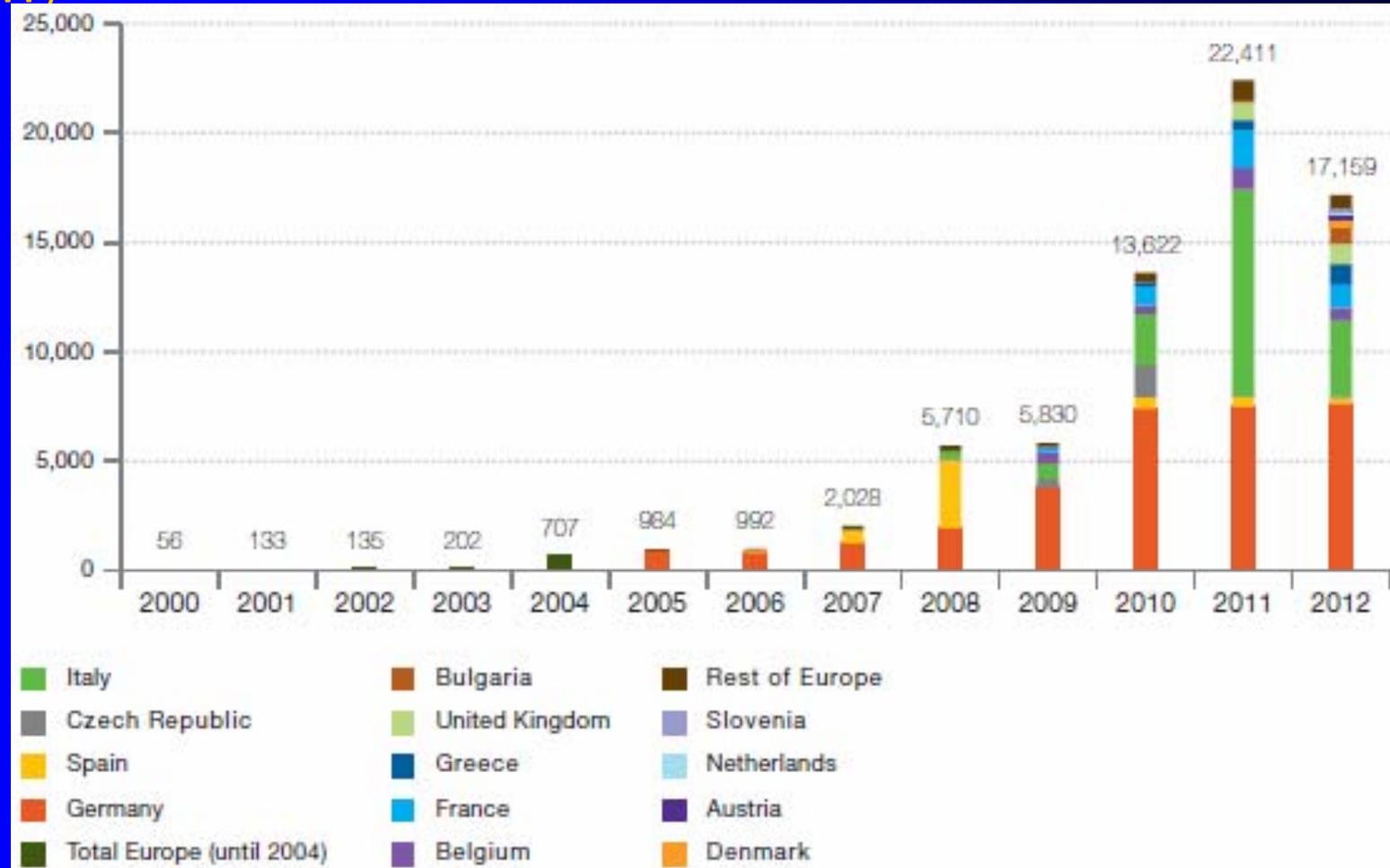
África y América latina: Se esperaría un incremento sostenido de la demanda de energía y, al lado de esto, un surgimiento de la demanda de instalación PV

El desarrollo del mercado europeo se atribuye a unos pocos países, pero en el tiempo es fundamentalmente sostenido por el mercado alemán

fuelle: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

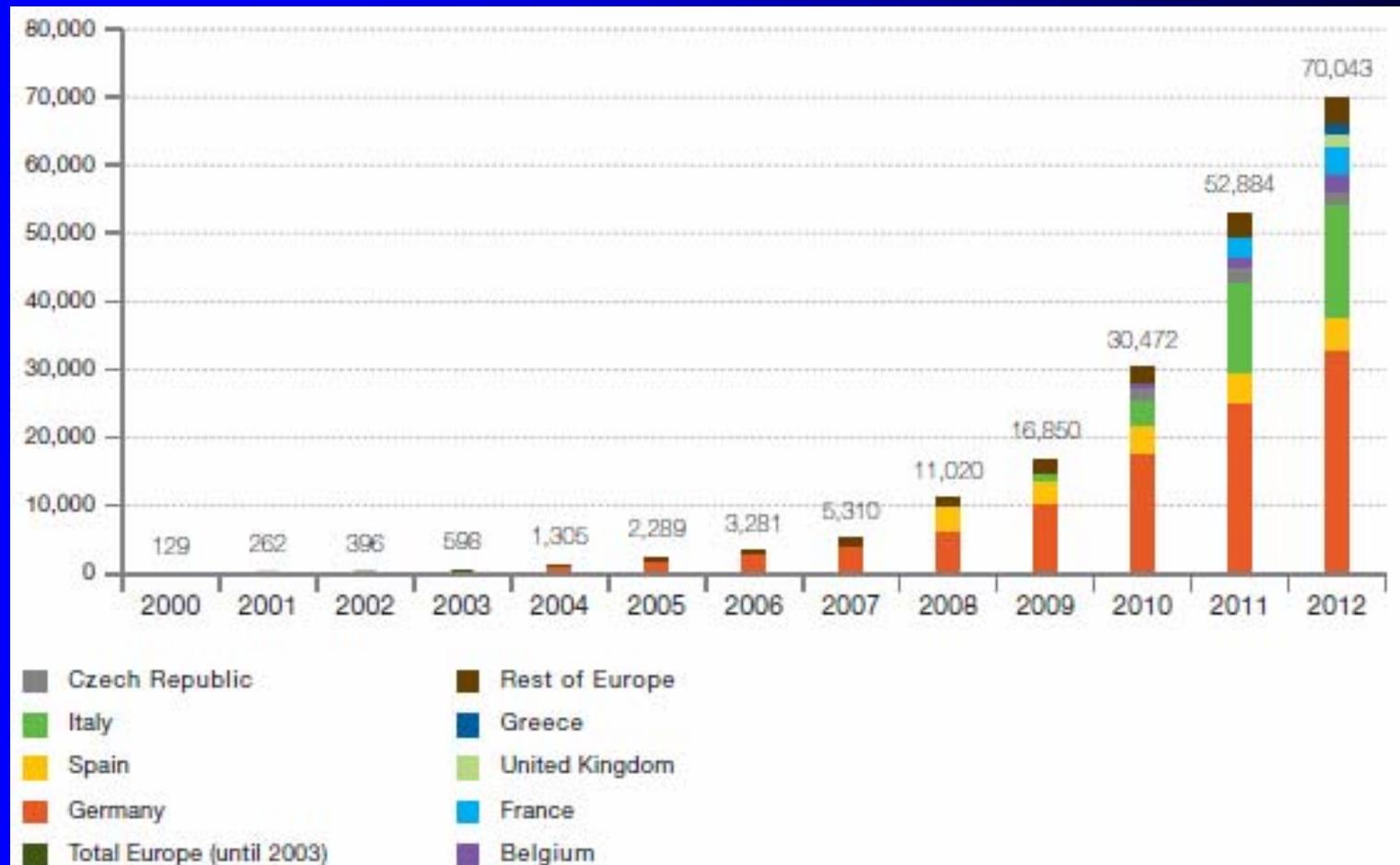
## EVOLUCION DE LA CAPACIDAD INSTALADA POR AÑO EN EUROPA (MW)



fuentes: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

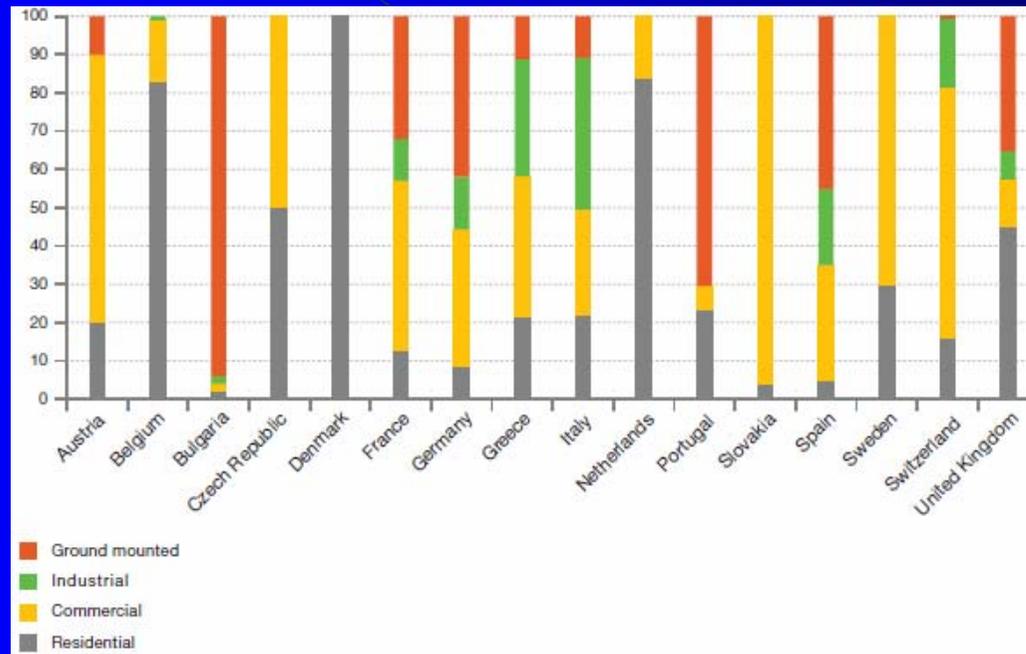
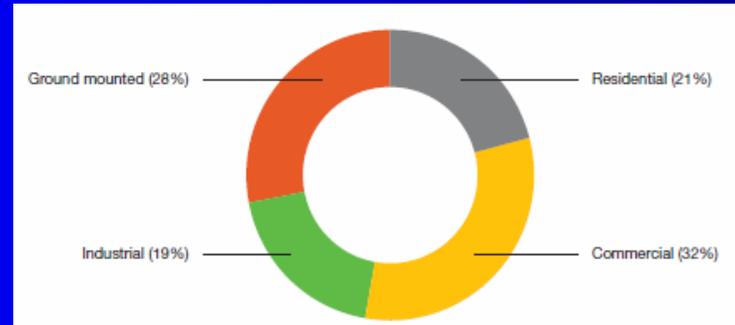
## EVOLUCION DE LA CAPACIDAD ACUMULADA POR AÑO EN EUROPA (MW)



fuelle: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SEGMENTACIÓN DEL MERCADO PV EN EUROPA EN 2012

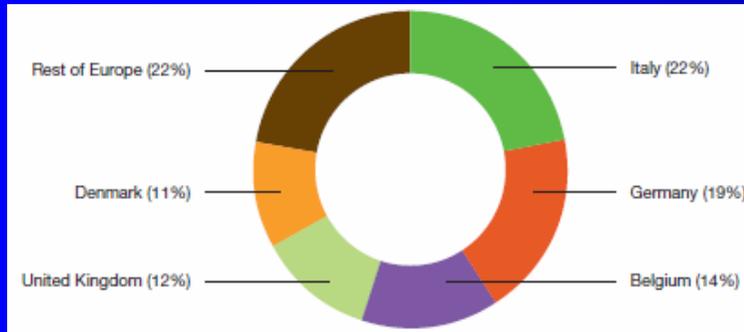


fuelle: EPIA

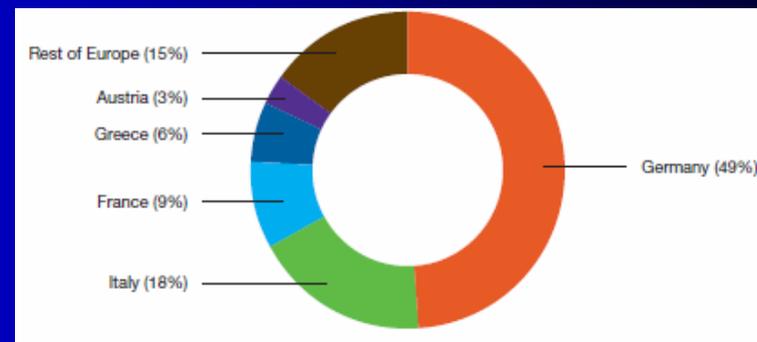
# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SEGMENTACIÓN DEL MERCADO PV EN EUROPA EN 2012

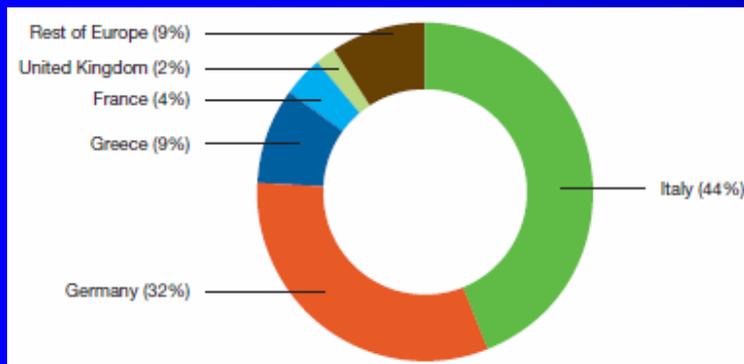
### TOP 5 MERCADO RESIDENCIAL



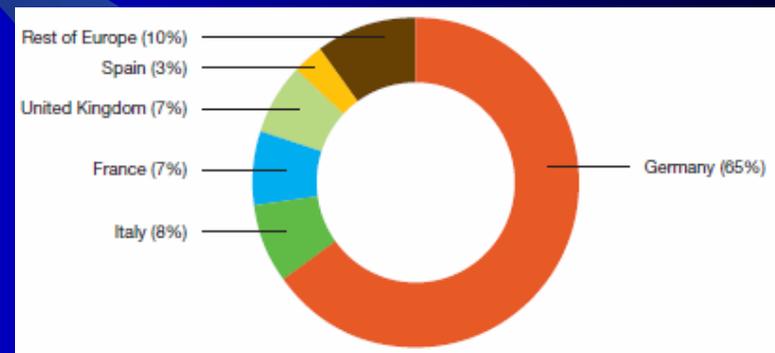
### TOP 5 MERCADO COMERCIAL



### TOP 5 MERCADO INDUSTRIAL



### TOP 5 MERCADO TIERRA

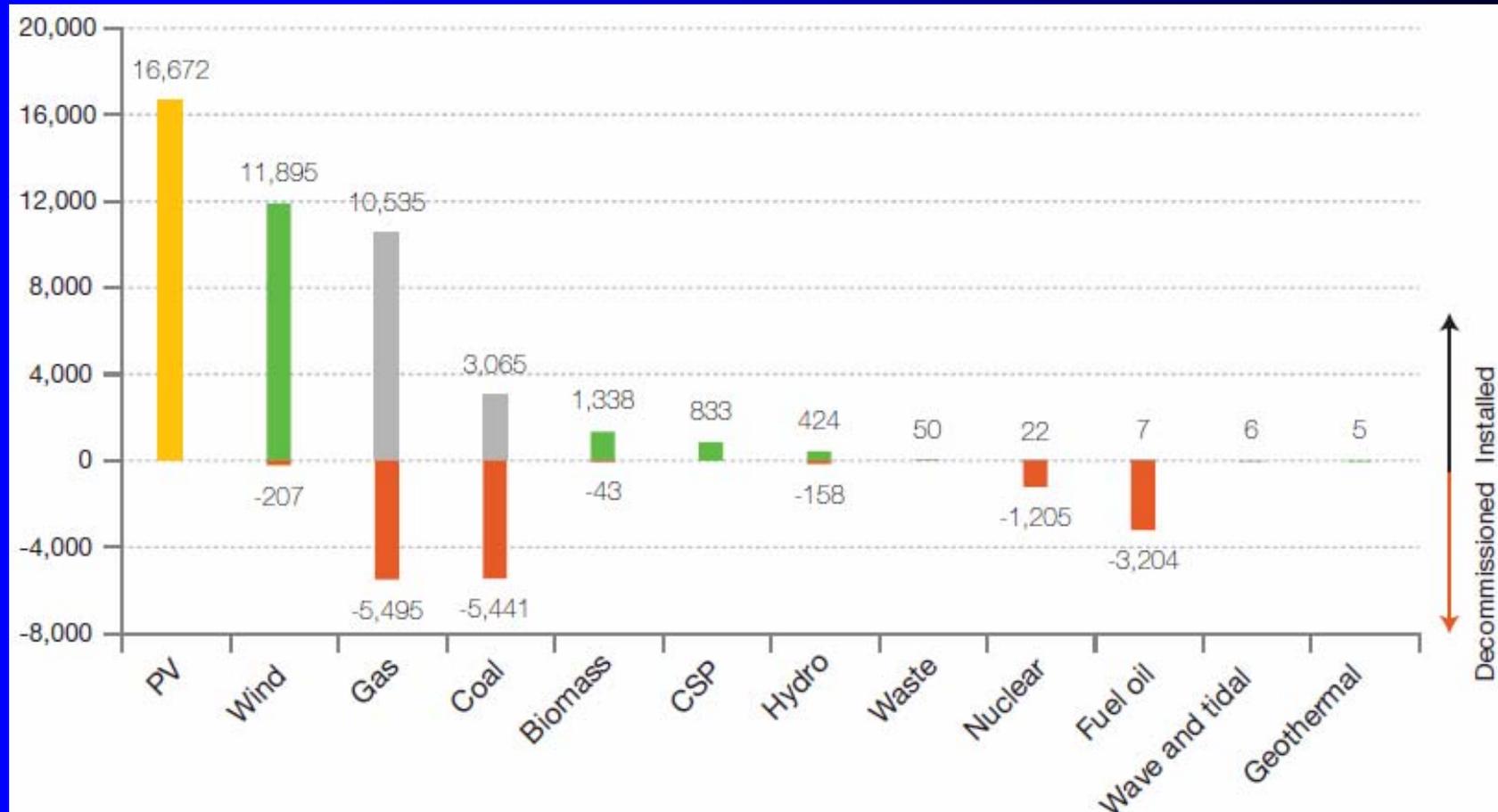


fuelle: EPIA



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

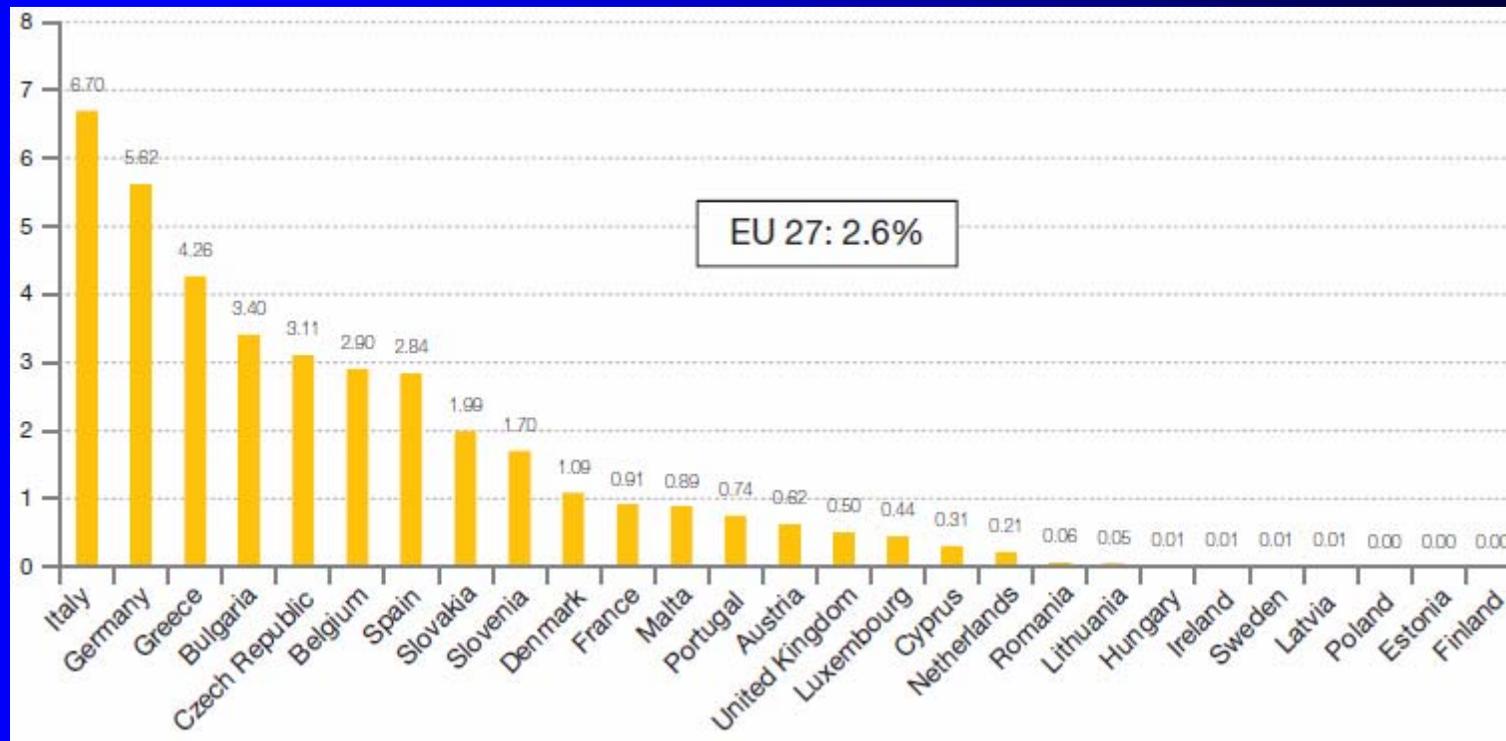
## POTENCIA INSTALADA EN 2012 EN EUROPA (MW)



fuelle: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## CONTRIBUCIÓN DE PV A LA DEMANDA DE ENERGÍA EN 2012 EN EUROPA (%)



2010 = 1,15%;

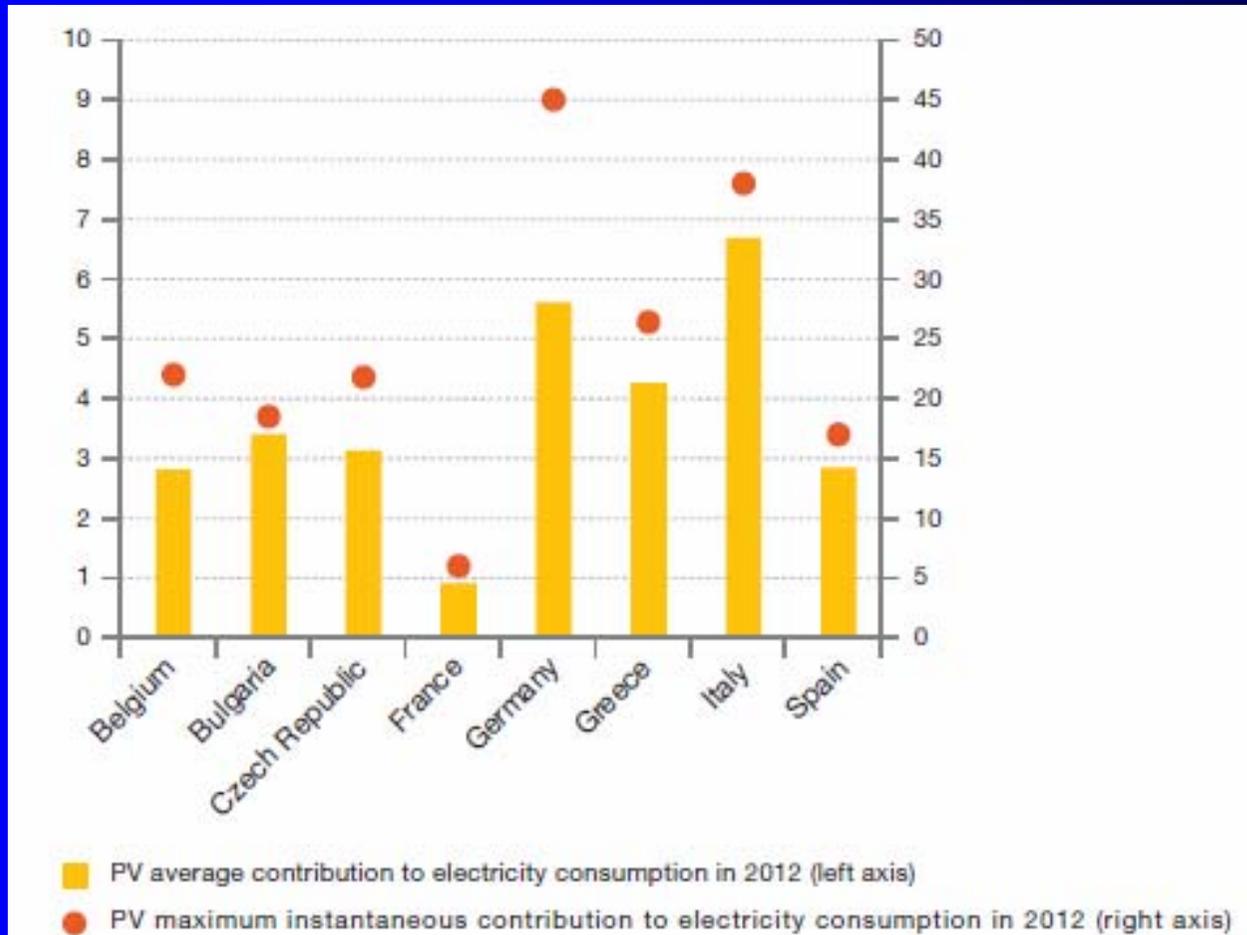
2011 = 2%;

2012 = 2.6%;

fuelle: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## CONTRIBUCIÓN PV AL CONSUMO DE ELECTRICIDAD (MAXIMOS INSTANTANEOS Y MEDIOS) EN 2012 EN EUROPA



fuentes: EPIA

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## Módulos fotovoltaicos comerciales



Células EFG (ASE)



Teja Fotovoltaica (Isofoton)



Gama Kyocera



Módulos flexibles (UNI-Solar)

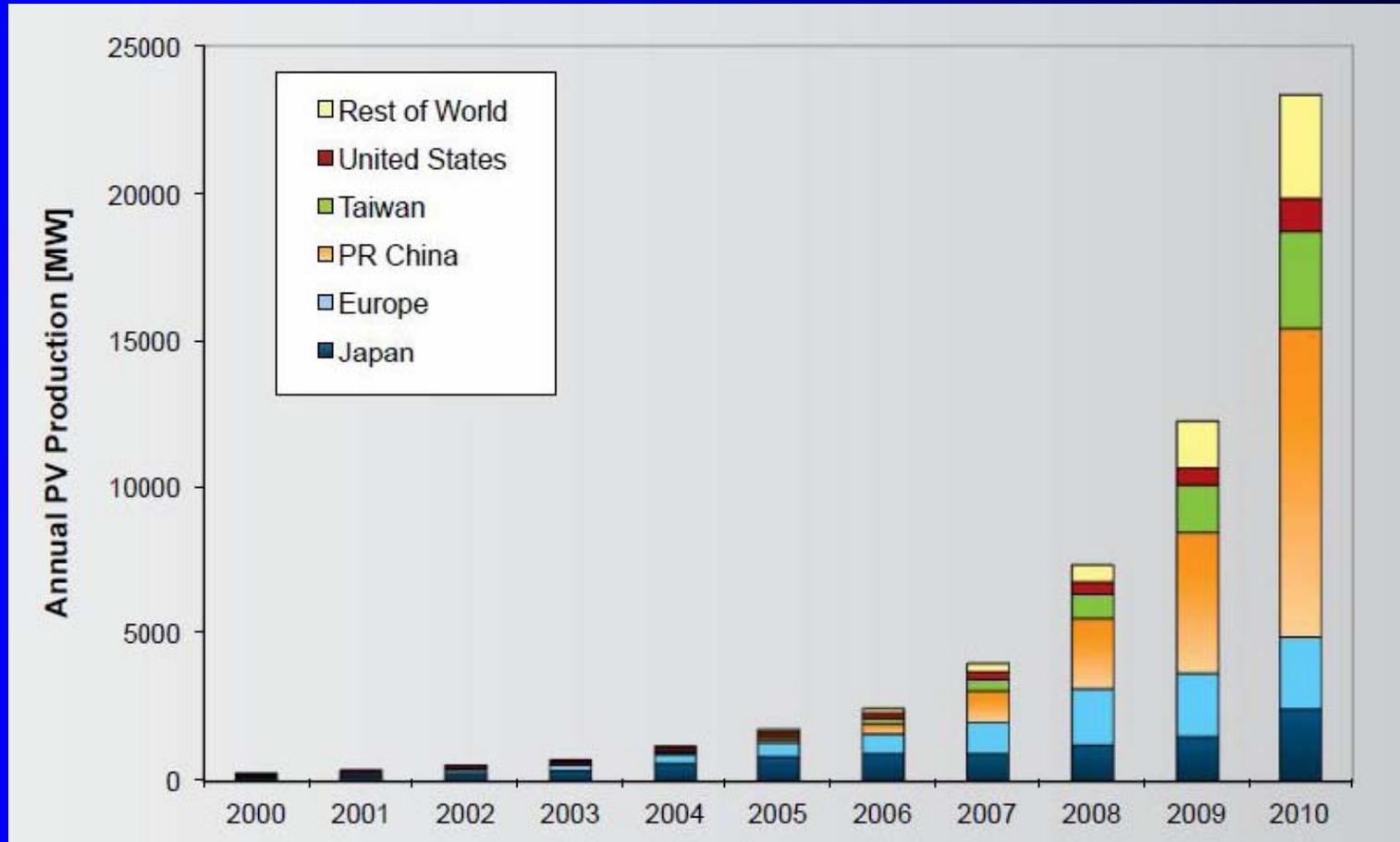


Célula transparentes (Sunways)



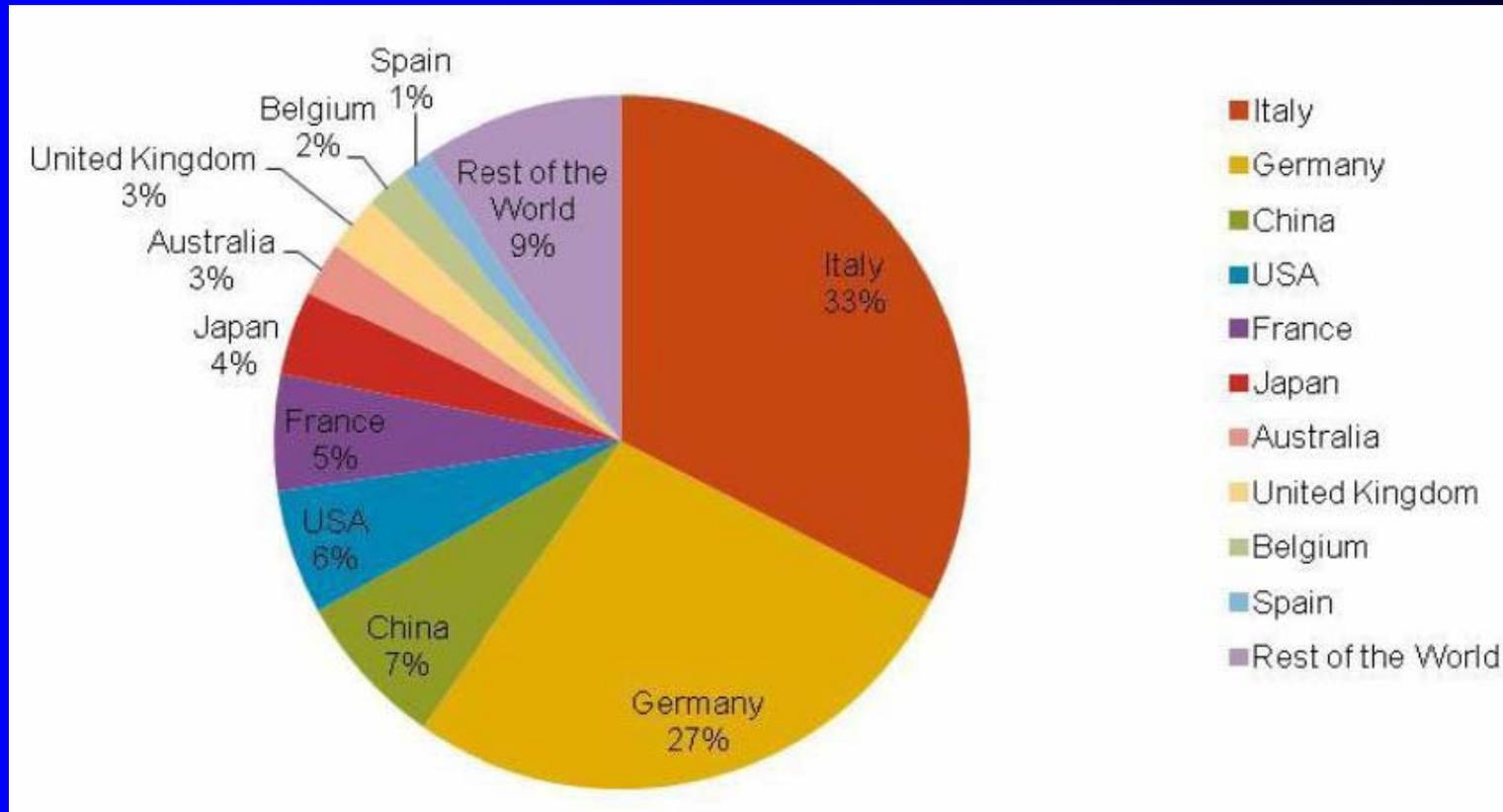
# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## PRODUCCIÓN ANUAL DE MW FOTOVOLTAICOS POR REGIONES



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

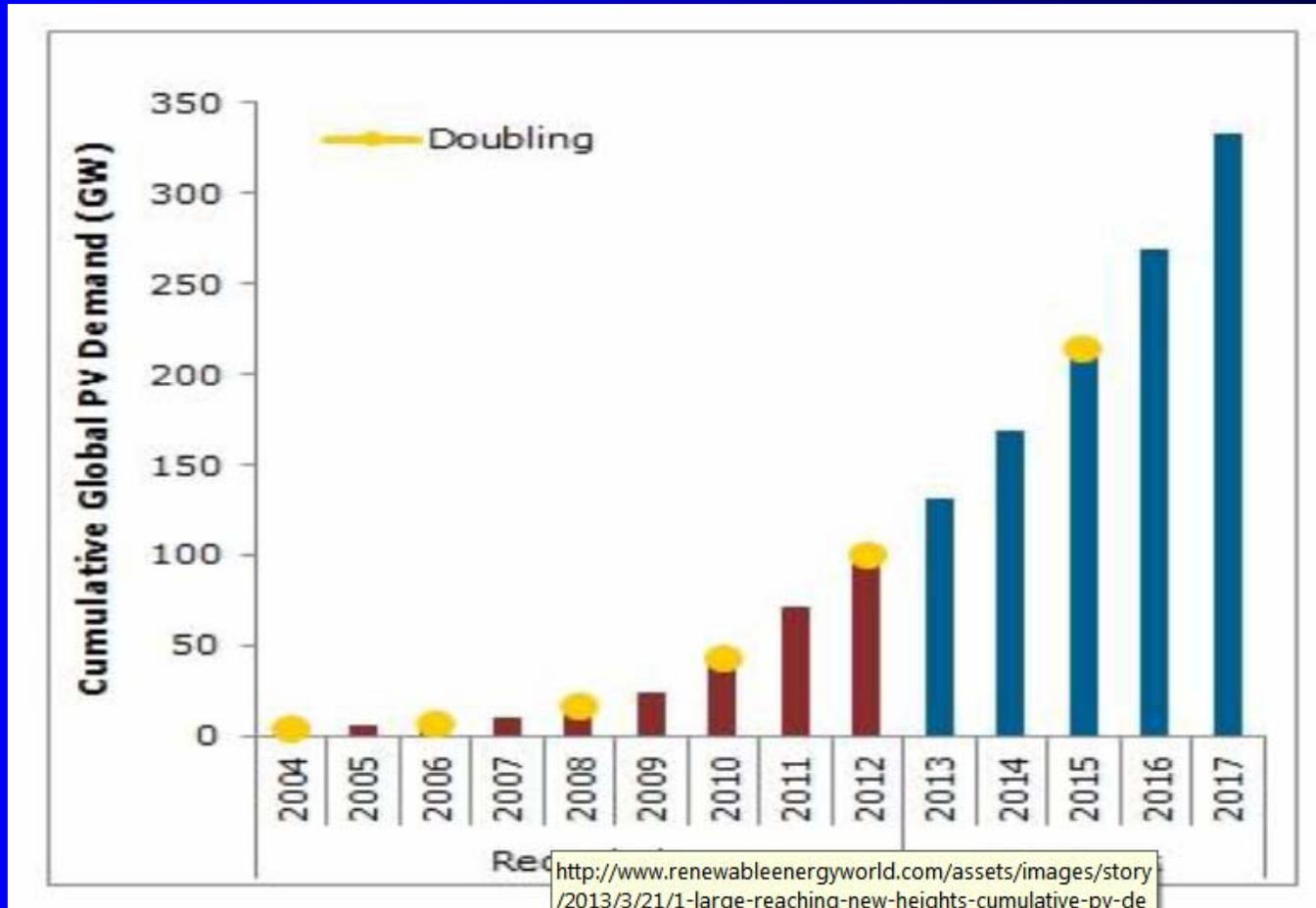
## CONSUMIDORES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS 2012



fuelle: NREL

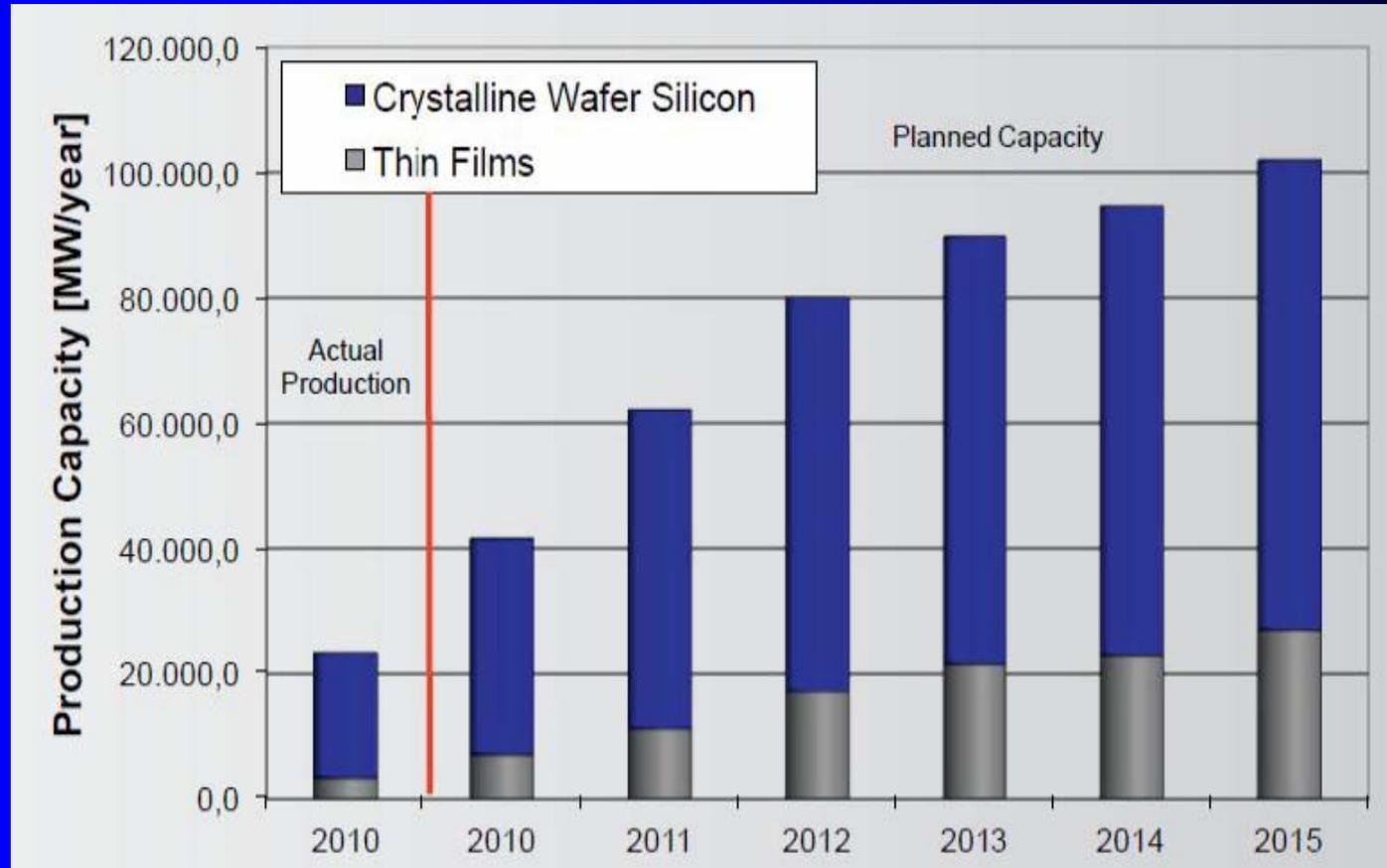
# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## DEMANDA HISTORICA Y PROYECTADA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

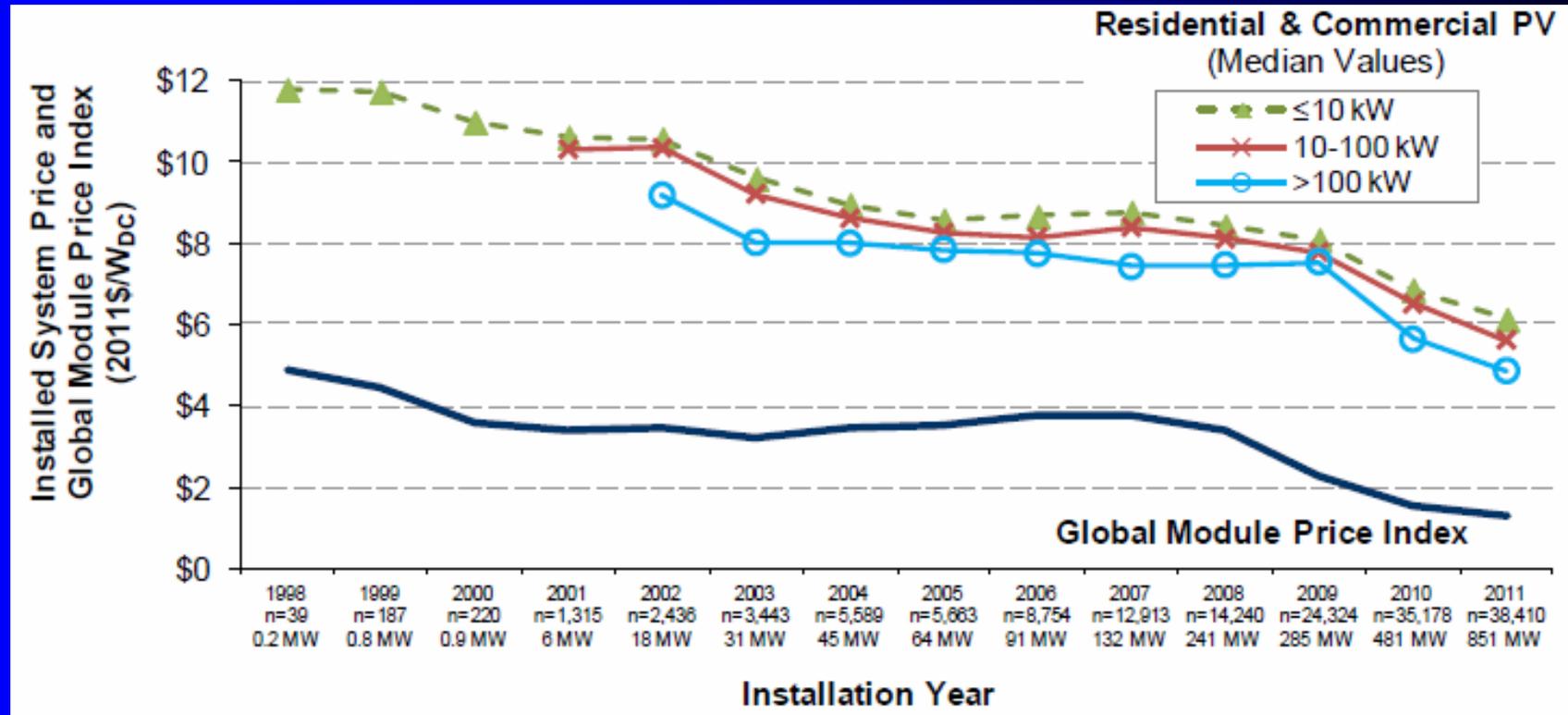
## PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN MUNDIAL



fuelle: NREL

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

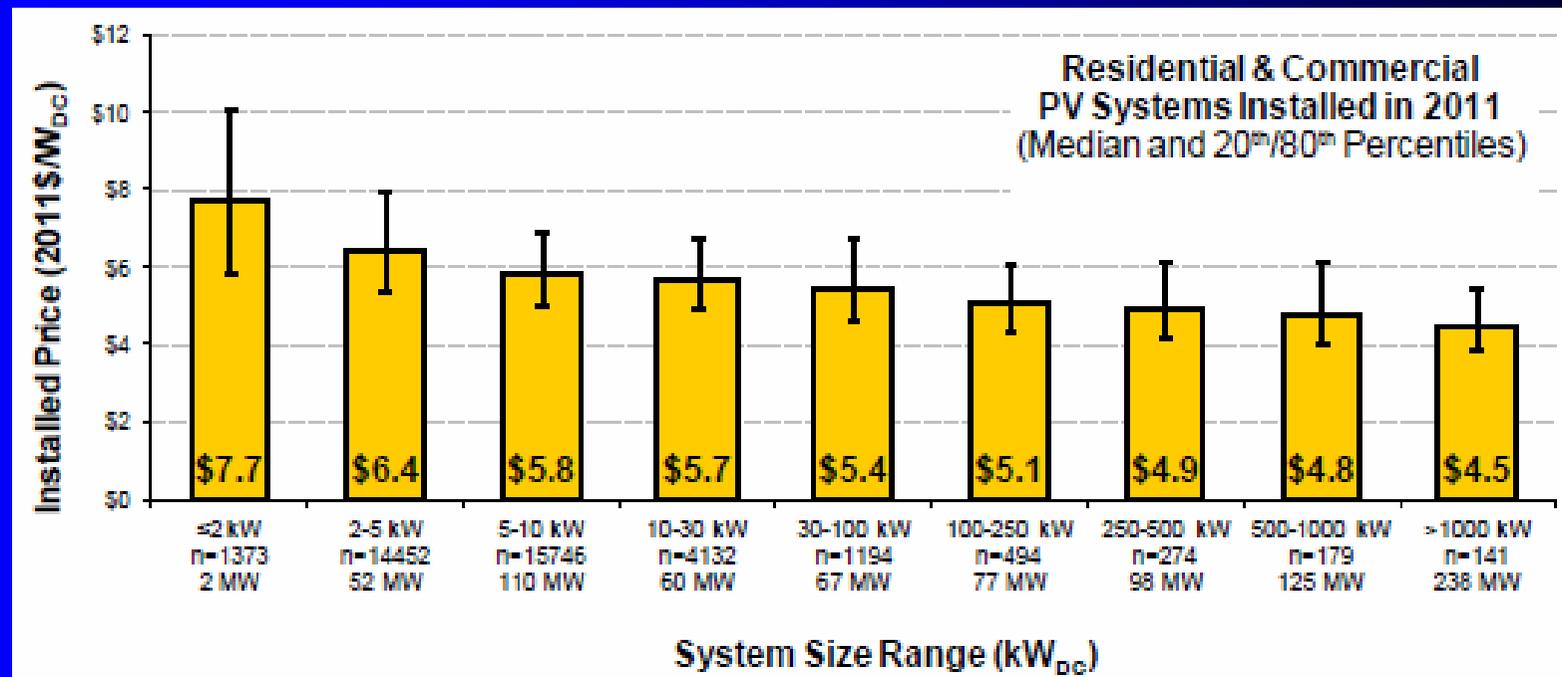
## PRECIOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS PV EN USA INSTALACIONES RESIDENCIALES Y COMERCIALES



fuelle: U.S. department of energy

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

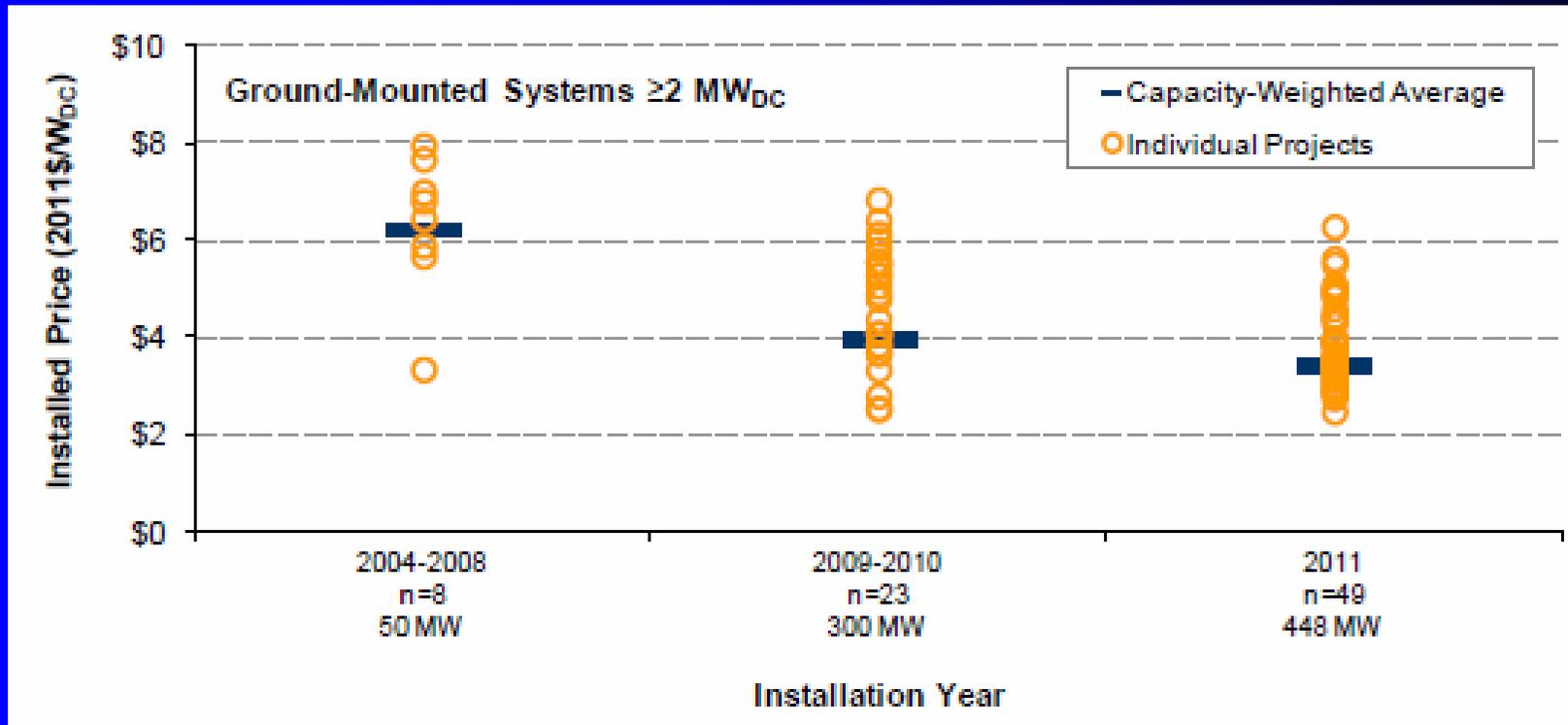
## PRECIOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS PV EN USA INSTALACIONES RESIDENCIALES Y COMERCIALES



fuelle: U.S. department of energy

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

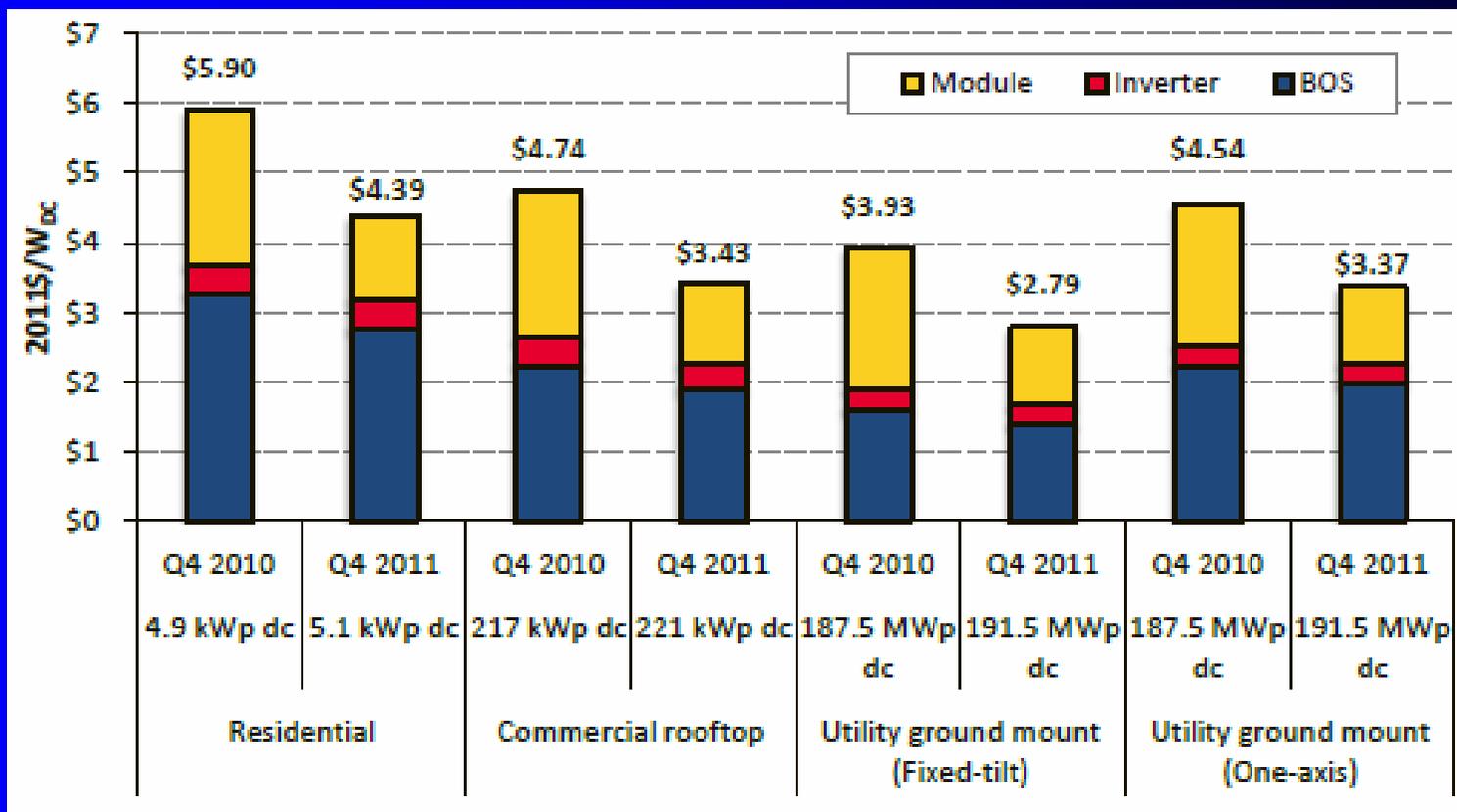
## PRECIOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS PV EN USA GRANDES INSTALACIONES



fuelle: U.S. department of energy

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

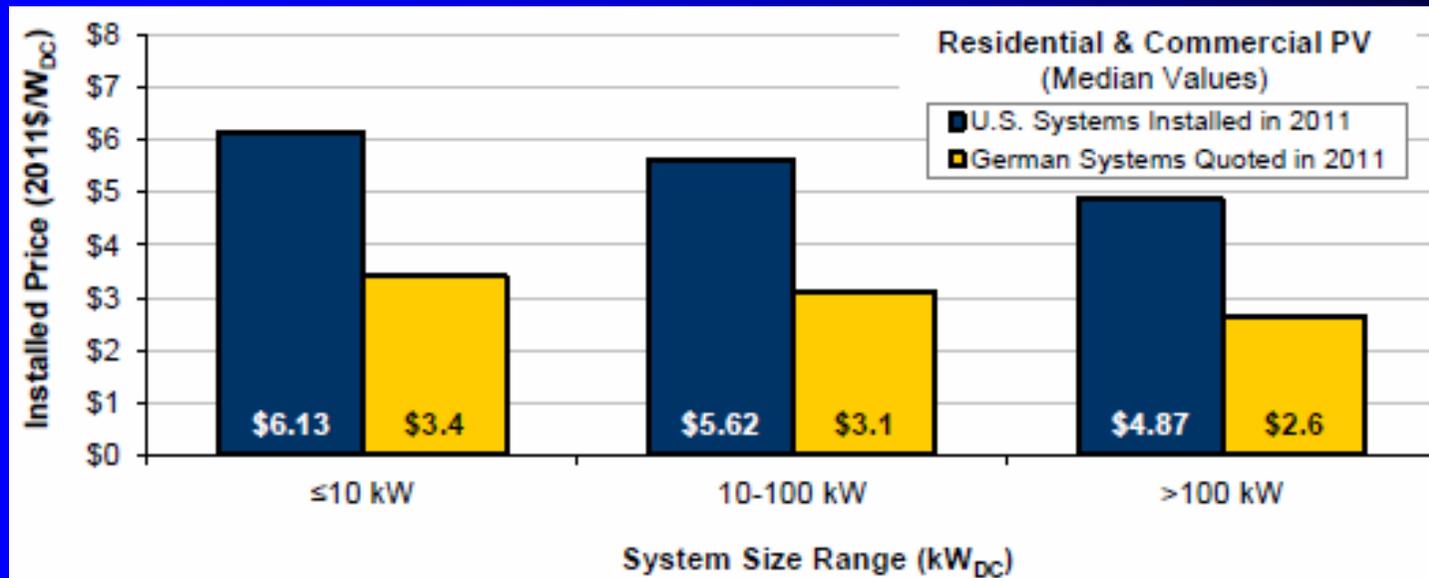
## PRECIOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS PV EN USA



fuelle: U.S. department og energy

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

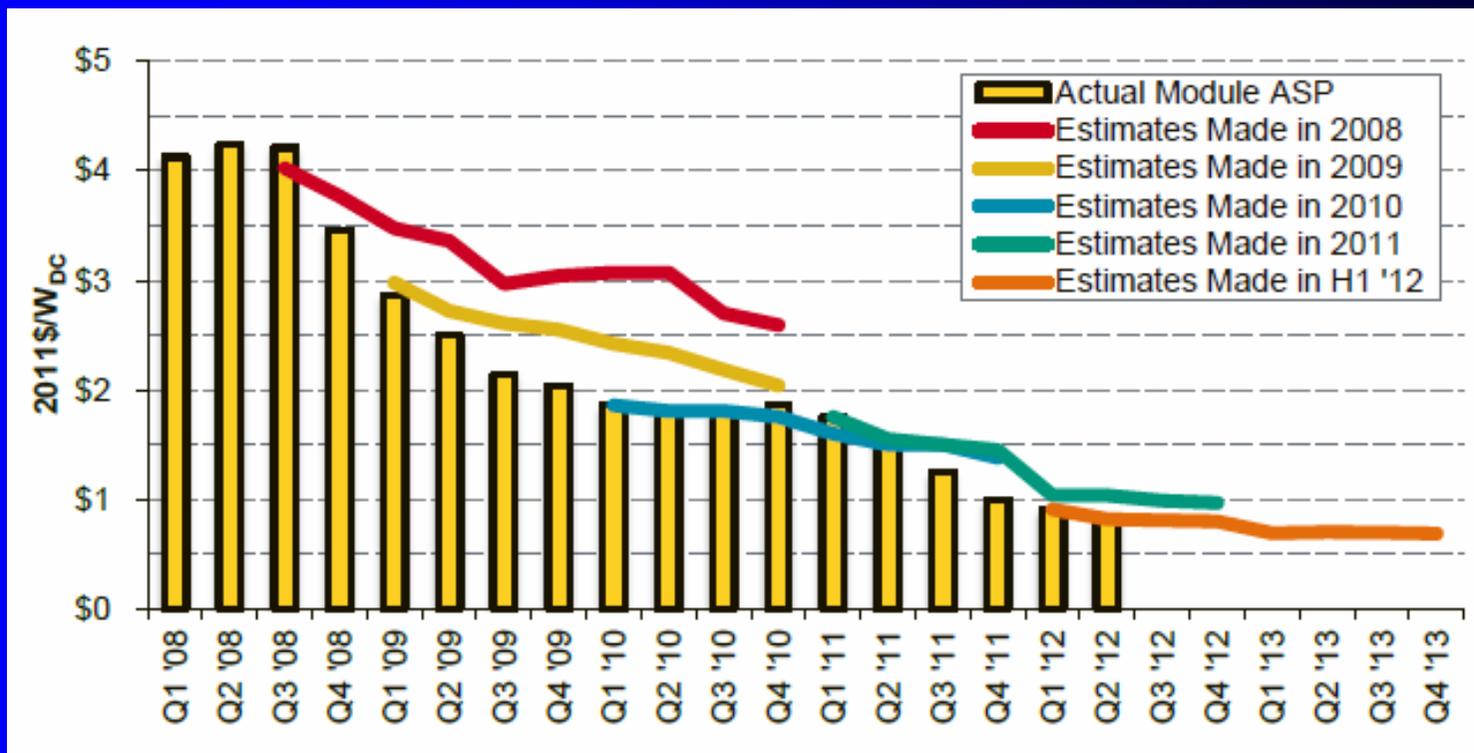
## COMPARACION DE PRECIOS INSTALACIÓN DE SISTEMAS PV ENTRE USA Y ALEMANIA



fuentes: U.S. department of energy

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

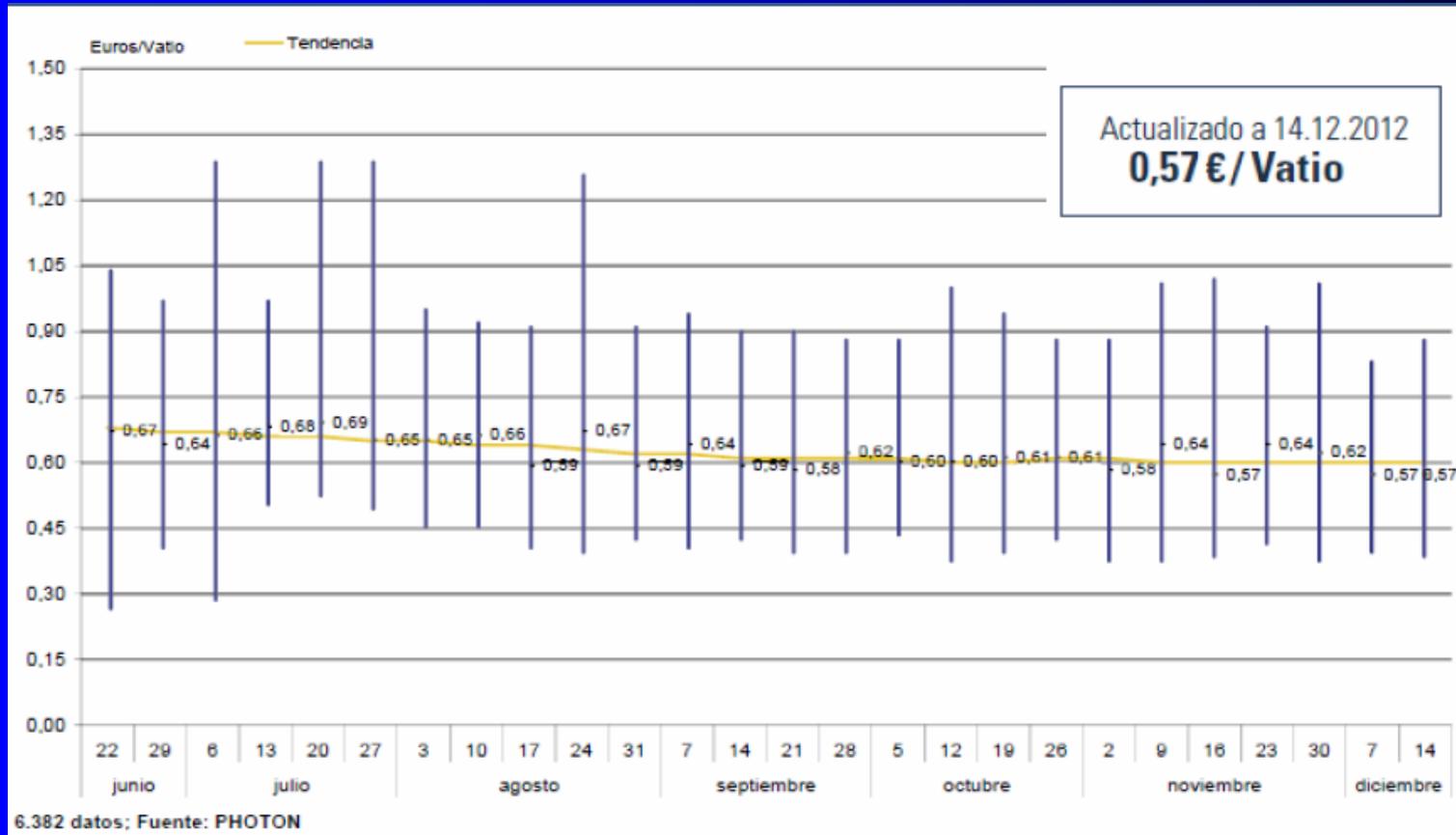
## EVOLUCION DE PRECIOS DE LOS MODULOS PV USA



fuelle: U.S. department og energy

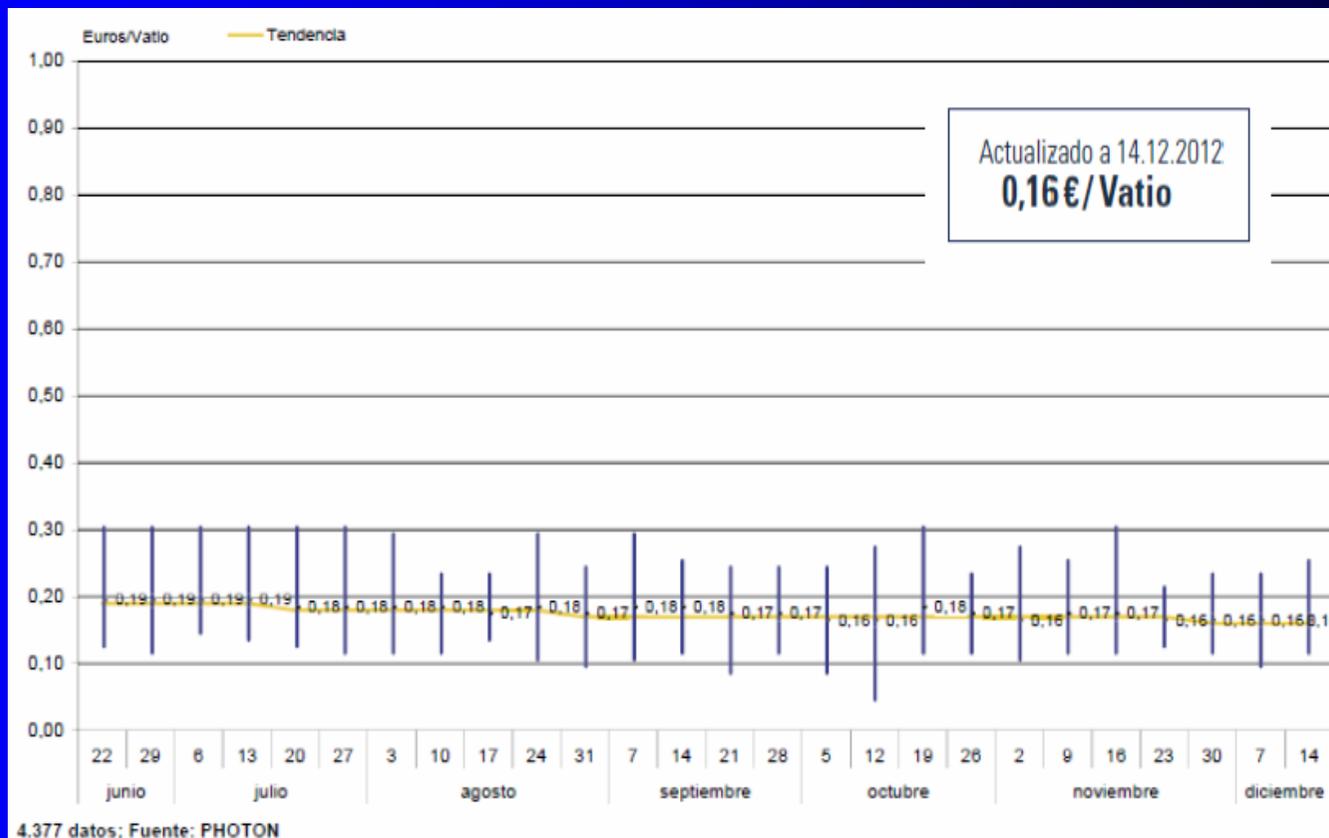
# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## EVOLUCION DE PRECIOS EN EL MERCADO ALEMAN PARA SILICIO POLICRISTALINO



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## EVOLUCION DE PRECIOS EN EL MERCADO ALEMAN DE INVERSORES ENTRE 10 Y 100Kw



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Lo que sigue lo comentaba hace algunos años como  
«grandes novedades».....

Pero.....

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SITUACIÓN ACTUAL

ESPAÑA: Un caso particular

### En 1998 por Real Decreto:

Se establece la retribución de la energía vertida  
Las primas se actualizan anualmente y se revisan cada 4 años

Tarifa 1998:

66 pta/kWh para instalaciones de <5kW

36 pta/kWh para instalaciones de >5kW

Tarifa 2004:

40 ce/kWh para instalaciones de <5kW

22 ce/kWh para instalaciones de >5kW

El escalón de 5kW promueve la instalación de plantas por debajo de este valor

Surge el concepto "Huerta Solar": Comunidad de propietarios que comparten servicios de operación, mantenimiento, gestión, vigilancia y seguridad de las instalaciones

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SITUACIÓN ACTUAL

ESPAÑA: Un caso particular

### En 2004, Real Decreto:

La retribución se fija respecto de una Tarifa Eléctrica Media (TMR) o de Referencia

Revisión tarifaria cada 4 años a partir del 2006

Solo afecta nuevas instalaciones

### Instalaciones < de 100kW:

Primeros 25 años:

575% TMR, 44.04 ce/kWh

A partir de los 25 años:

460% TMR, 35.23 ce/kWh

### Instalaciones > de 100kW:

Primeros 25 años:

300% TMR, 22.97 ce/kWh

A partir de los 25 años:

240% TMR, 18.38 ce/kWh

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SITUACIÓN ACTUAL

ESPAÑA: Un caso particular

El Real Decreto marca un nuevo escalón: 100kW

- Milagro, Navarra, Diciembre 2006

- 9,5 MWp de potencia instalada, en 753 seguidores solares.

- 753 propietarios con un único promotor (52.000EUR → 5kWp)

- Ocupa una superficie de 500.000m<sup>2</sup> (700x700m)

- Suministra una energía equivalente al consumo de 5.000 viviendas.

- Otros ejemplos: Sesma (1,57MWp), Árguedas II (2,05MWp), Castejón (2,6MWp) todos en Navarra; Socuéllamos (2,6MWp) en Castilla La Mancha



*Huerta solar  
de Árguedas,  
Navarra*



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SITUACIÓN ACTUAL

ESPAÑA: Un caso particular

### En 2007, Real Decreto:

Tres escalones de potencia con sus respectivos precios ajustados con el IPC:

**Instalaciones < de 100kW**

**Instalaciones > de 100kW y < 10MW**

**Instalaciones > de 10kW y < 50MW**

Se preveía 371 MW para el 2010, antes de fines del 2007 se alcanza ese valor

En mayo de 2008 ya había 1000MW instalados

Fuerte crecimiento en instalaciones intermedias (hasta 10MW), en particular, muchas con sistemas de seguimiento

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SITUACIÓN ACTUAL

ESPAÑA: Un caso particular

### En 2008, Real Decreto:

Dos tipos de instalaciones:

Tipo I: Instalaciones sobre cubiertas, fachadas, urbanas e instalaciones agropecuarias

$P_{max} = 2MW$

Tipo I.1:  $P < 20kW$

Tipo I.2:  $P > 20kW$

Tipo II: Instalaciones sobre suelo

$P_{max} = 10MW$

Tarifa regulada:

TIPOLOGÍA		TARIFA REGULADA (c€/kWh)
TIPO I:	Subtipo I.1 ( $P \leq 20 kW$ )	34.00
	Subtipo I.2 ( $P > 20kW$ )	32.00
TIPO II:		32.00

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SITUACIÓN ACTUAL

ESPAÑA: Un caso particular

### En 2008, Real Decreto:

Dos tipos de instalaciones:

Tipo I: Instalaciones sobre cubiertas, fachadas, urbanas e instalaciones agropecuarias

$P_{max} = 2MW$

Tipo I.1:  $P < 20kW$

Tipo I.2:  $P > 20kW$

Tipo II: Instalaciones sobre suelo

$P_{max} = 10MW$

Tarifa regulada

Sistema de convocatorias y asignaciones de tarifas por cada convocatoria

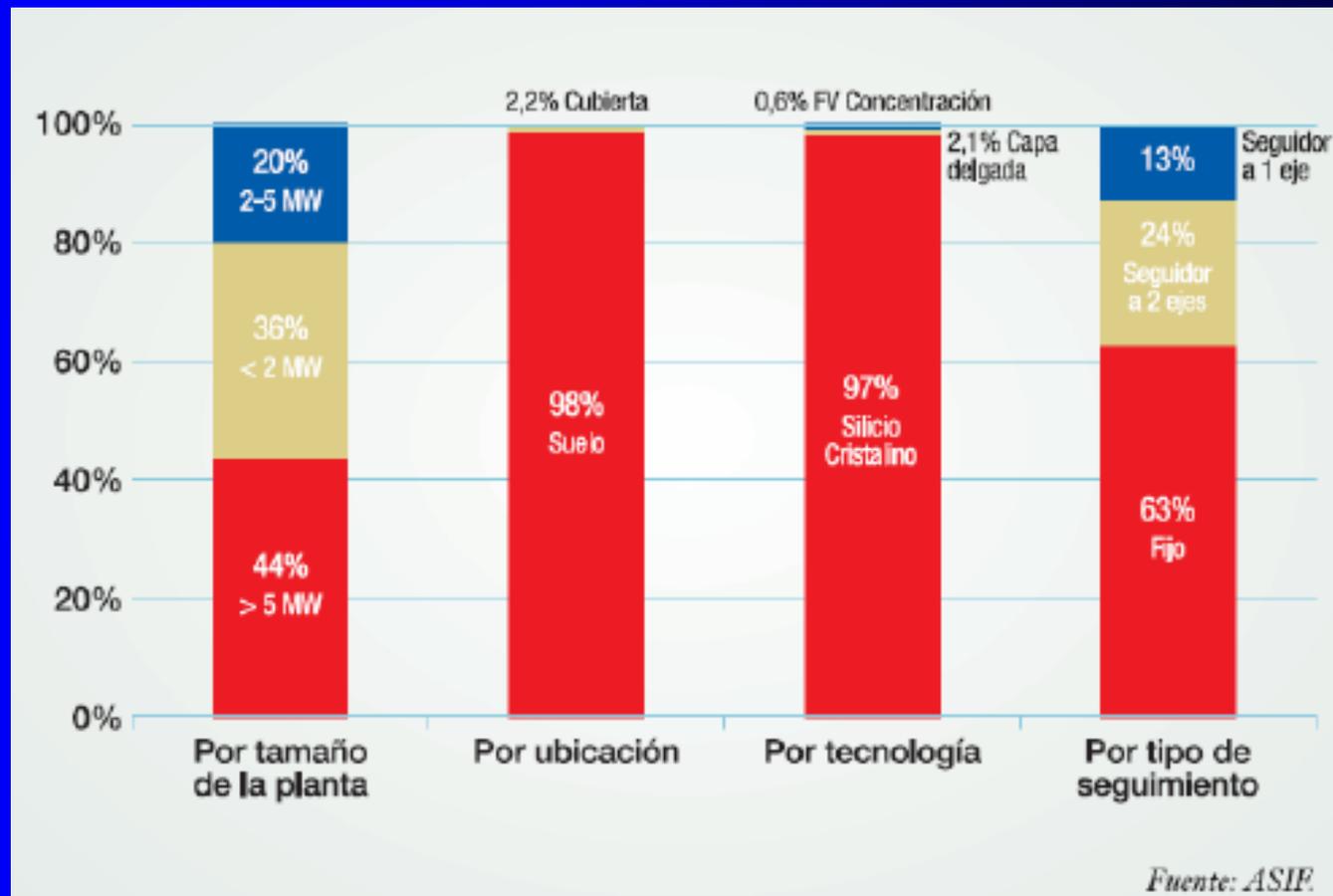
Cada convocatoria tiene cupo, la incidencia en la tarifa depende de la participación en la convocatoria anterior y la actual.....

# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SITUACIÓN ACTUAL

ESPAÑA: Un caso particular

Tipología del Parque Fotovoltaico Español:



# GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## Secuencia de ensayos EN 61215

