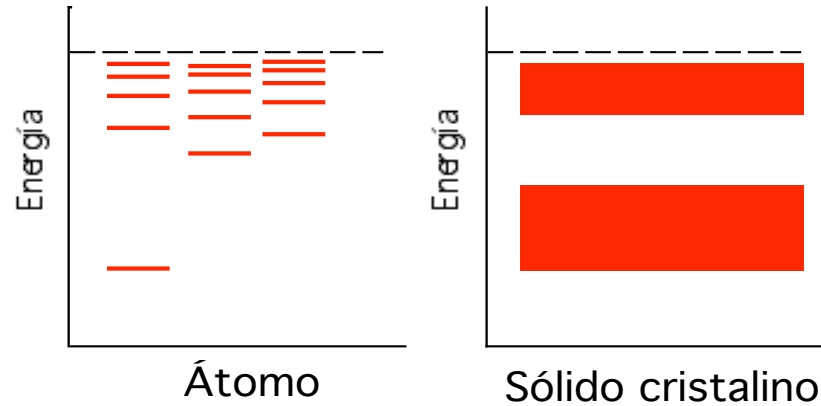




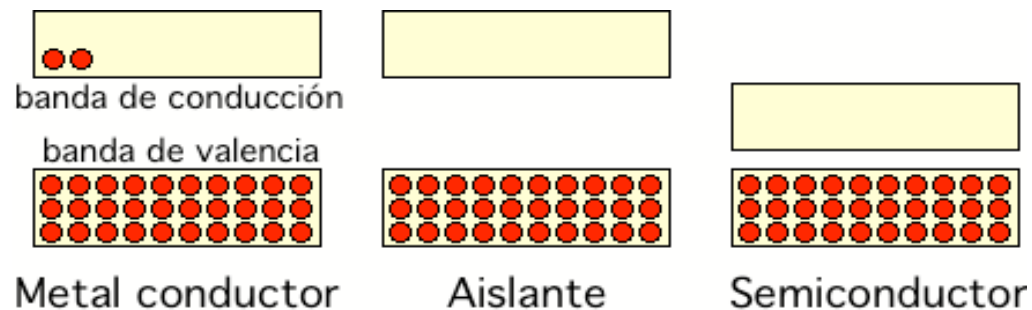
Física y Tecnología Energética

17 - Energía Solar. Fotovoltaica.

Estructura electrónica de los sólidos



- Los electrones en un átomo sólo pueden tener unos determinados valores de energía.
- En un sólido pueden tener energías comprendidas en unas ciertas bandas



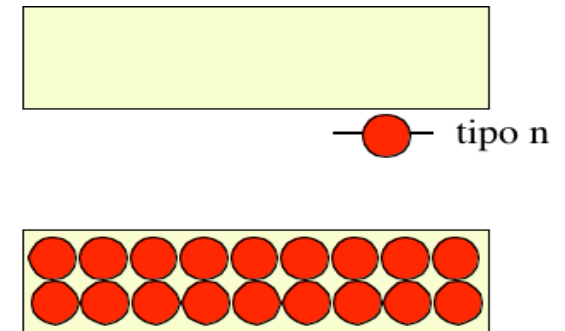
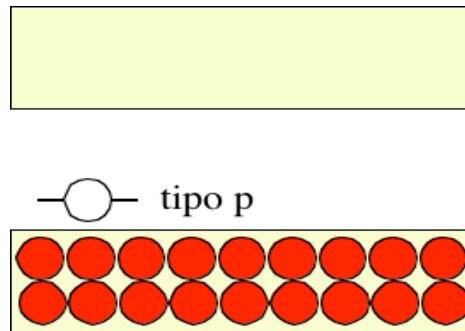
- Los e^- en la banda de conducción se pueden mover y por lo tanto generar corriente I
- En un semiconductor hace falta un campo E de una cierta magnitud para conseguir que un e^- suba a la banda de conducción y el material se vuelva conductor

Unión p-n

Semiconductores dopados

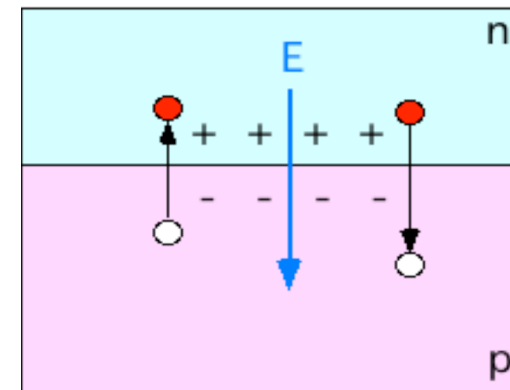
Si tipo n. El Si (4e) se
dopa con P, As,
Sb (5e)

Si tipo p. El Si (4e) se
dopa con B, Al,
In (3e)

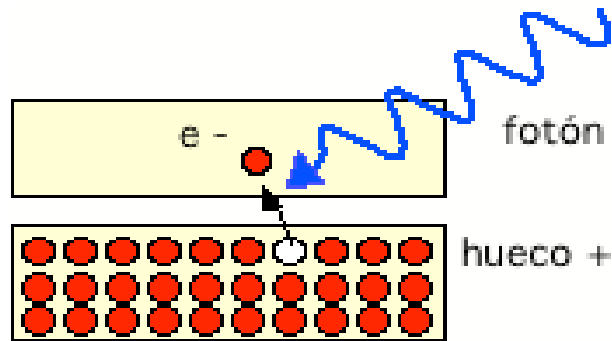


En una unión p-n se genera un campo Eléctrico

- Los electrones y los huecos se difunden a través de la separación p-n recombinándose.
- Se pierde la neutralidad eléctrica apareciendo un campo E que inhibe la difusión



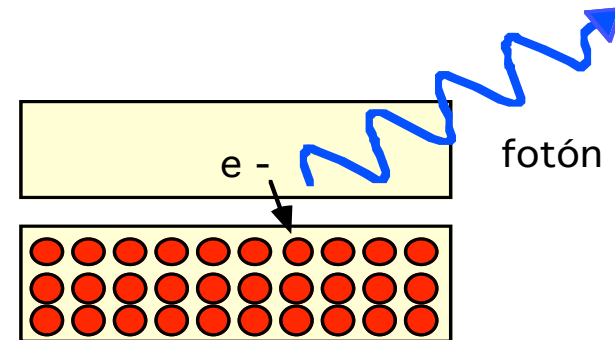
Efecto fotoconductor y fotovoltaico



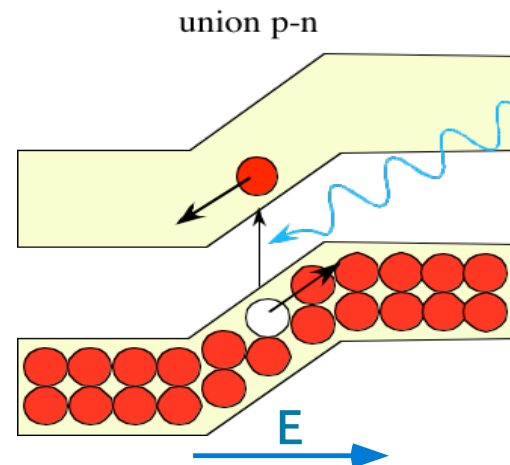
En un semiconductor, al absorber un fotón con energía suficiente un electrón pasa a la banda de conducción, generándose un par electrón-hueco

$$h\nu > \Delta E$$

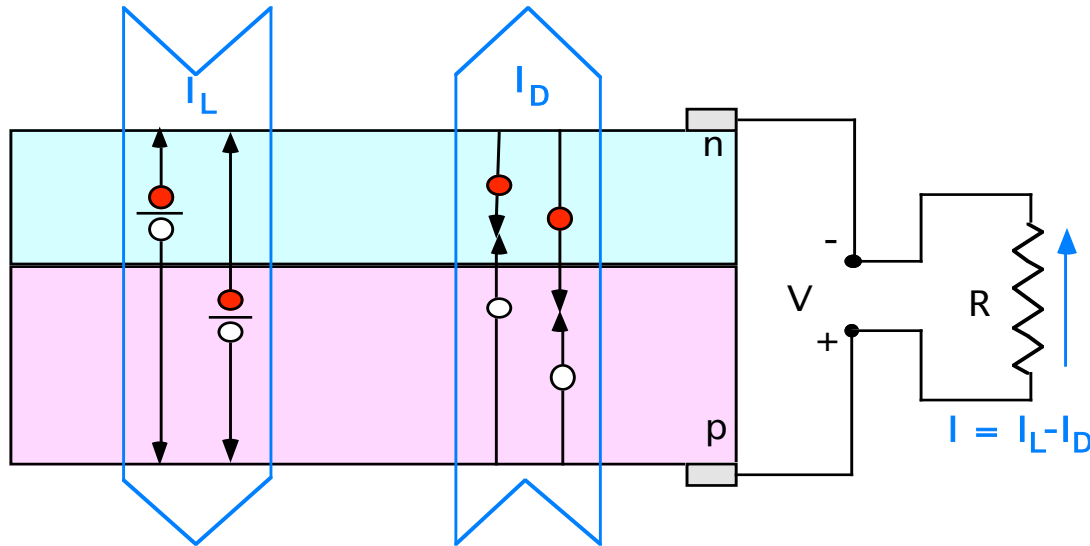
En la unión p-n hay un campo eléctrico, entonces el electrón y el hueco se separan y no pueden recombinarse



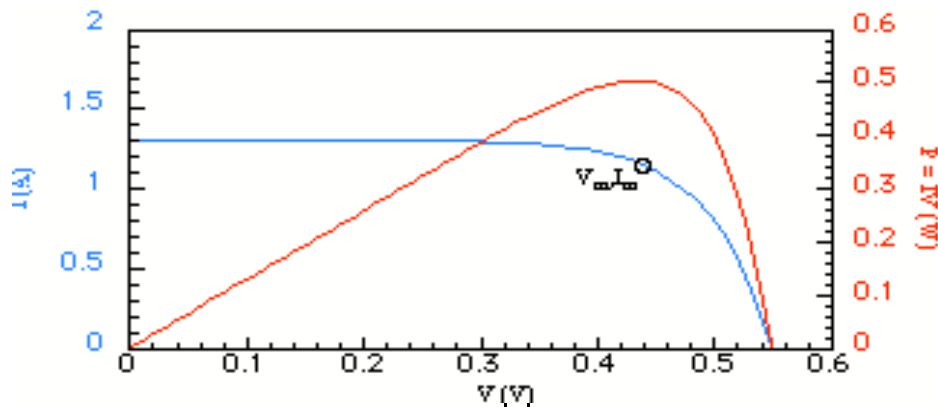
Pero a los pocos μs ...



Célula fotovoltaica

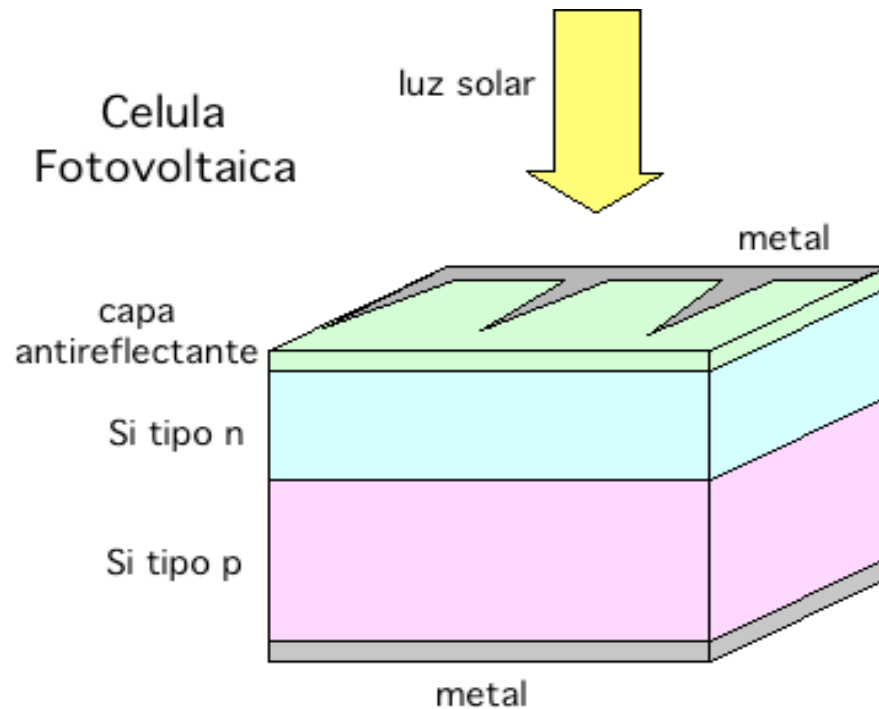


- Al incidir la luz se generan pares electrón-hueco que se separan por acción del campo eléctrico, generándose la corriente I_L .
- Esta corriente se compensa con la corriente de difusión I_D .



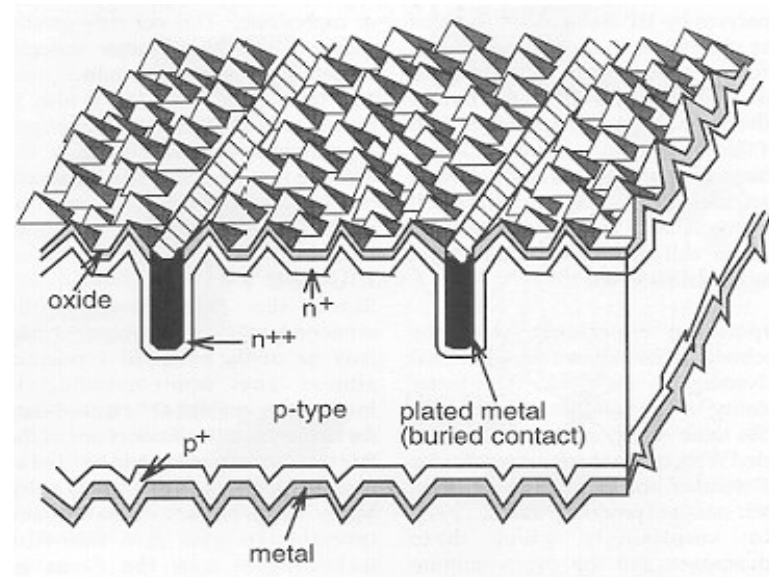
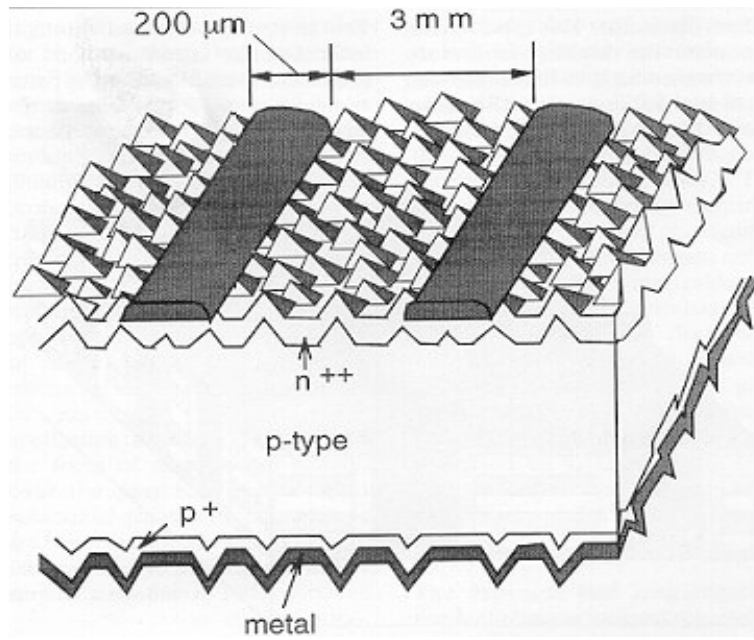
Para extraer la máxima potencia conviene operar con los valores V_m, I_m

Células fotovoltaicas

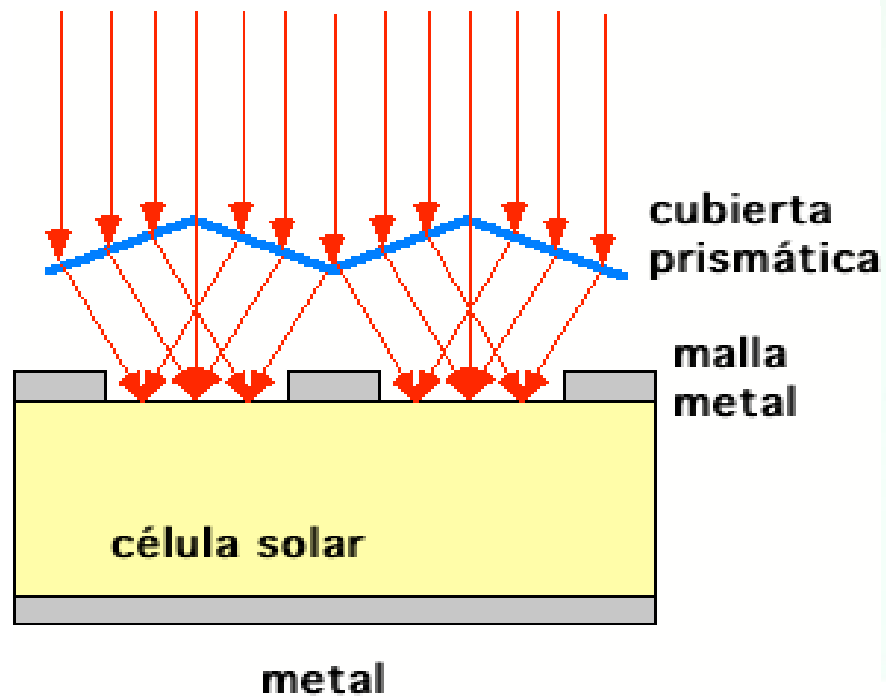


- El semiconductor con sus dos zonas p y n debe tener contactos metálicos por ambos lados.
- En el lado de la iluminación el contacto debe dejar pasar la luz
- Si el “peine” metálico es demasiado estrecho no recoge bien la corriente y además aumenta la resistencia eléctrica
- Hay que procurar que la luz no se refleje en la primera superficie

Células fotovoltaicas

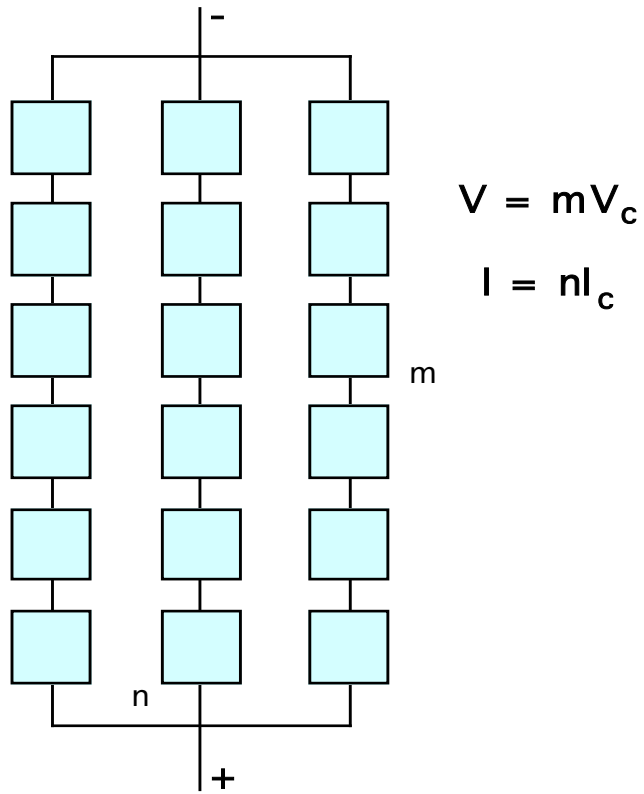


Células fotovoltaicas



La luz se puede concentrar para evitar los contactos metálicos y mejorar la eficiencia

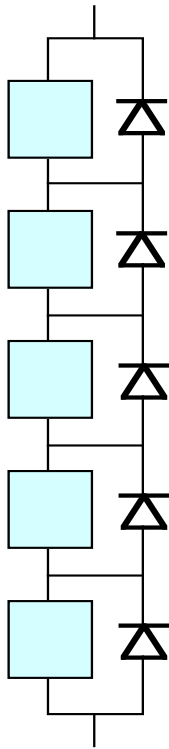
Módulos y Paneles Solares



Conectando las células en serie se aumenta el voltaje V

Conectándolas en paralelo se aumenta la corriente I

Conexiones en un módulo solar

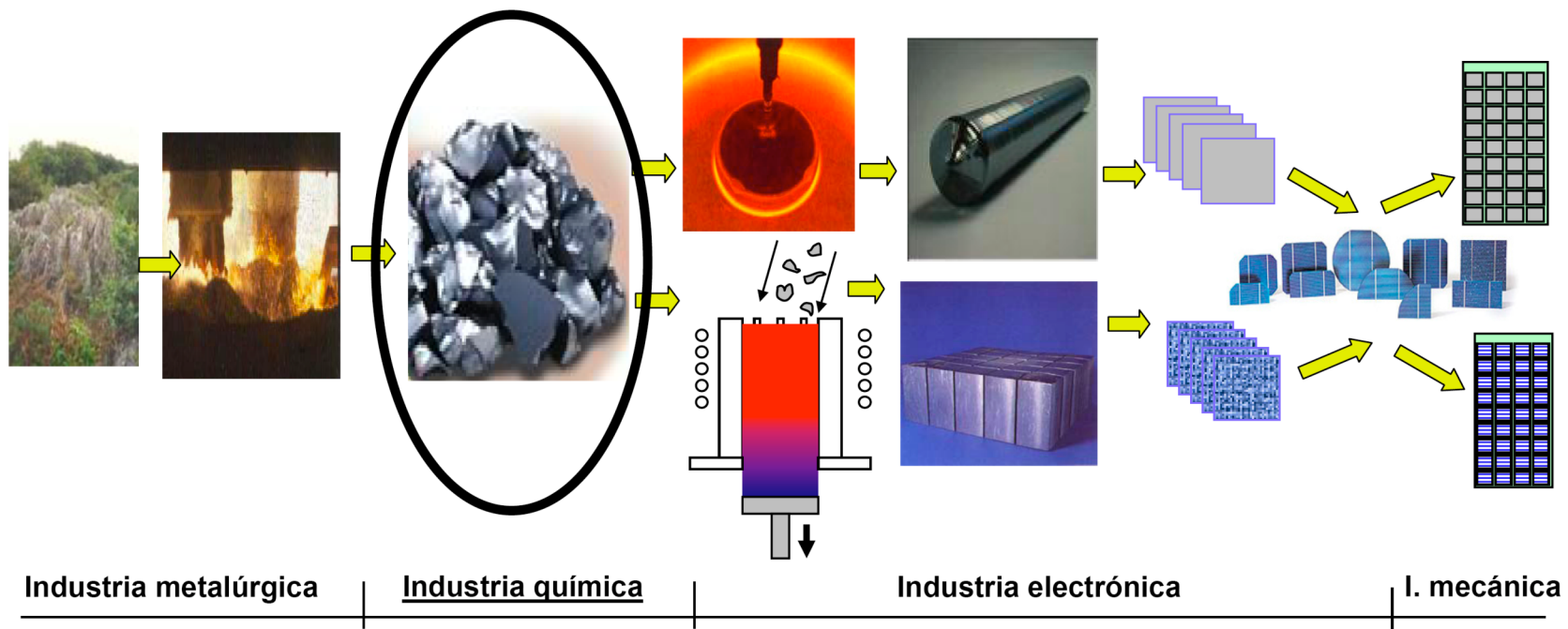


- Si una célula fotovoltaica falla o está en sombra no genera corriente y se convierte en una resistencia
- Entonces disipa toda la energía generada por las demás I^2R , calentándose
- Para evitarlo conviene conectar diodos en paralelo con cada célula o grupo de células
- Ahora cuando una célula no está trabajando la corriente no circula por ella sino por el diodo

Proceso Industrial

- De sílice a silicio de grado metalúrgico
- De silicio de grado metalúrgico a silicio de grado solar (polisilicio)
- De polisilicio a célula fotovoltaica
- De célula a módulo fotovoltaico

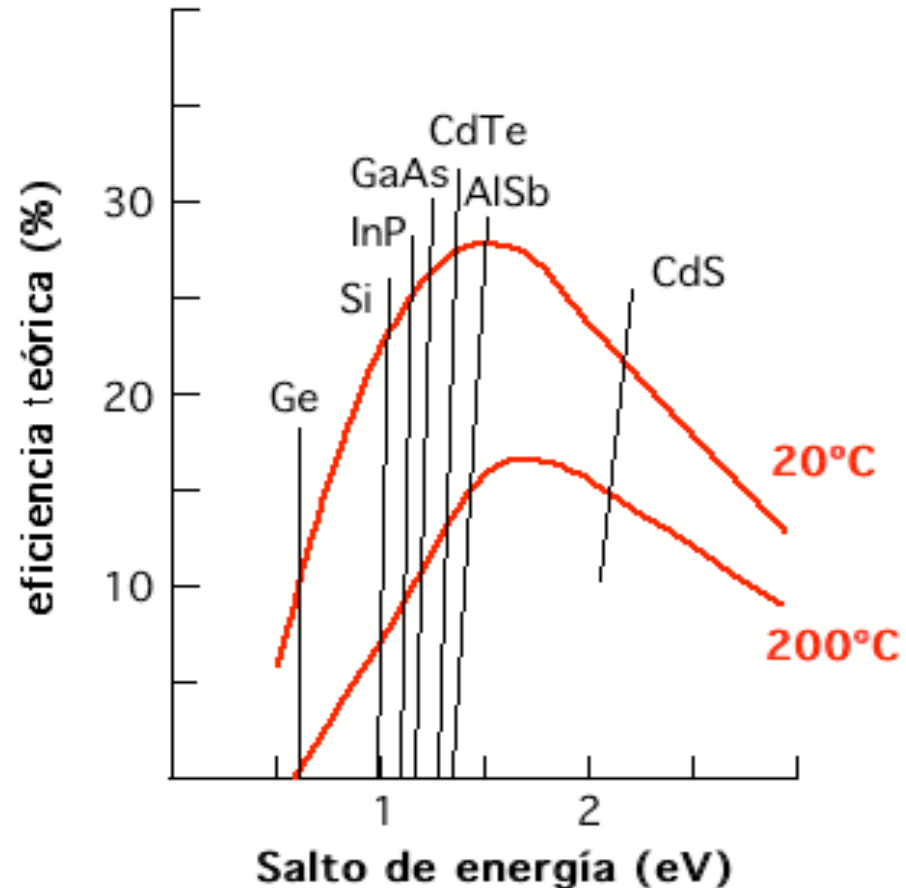
- > Industria metalúrgica
- > Industria química
- > Industria electrónica
- > Industria mecánica



La fabricación de paneles es complicada y **consume** energía (emite CO₂ ?)

Eficiencia Teórica

- Los fotones con poca energía no pueden generar pares electrón-hueco
- Los fotones con demasiada energía generan los pares demasiado cerca de la primera superficie y se recombinan, sin producir corriente
- Dada la composición de la luz solar que llega a la tierra la eficiencia **Pelétrica / Pluminosa** depende del salto de energía entre bandas del semiconductor.



Eficiencia de las células fotovoltaicas

- La eficiencia teórica solo tiene en cuenta la creación de pares según la composición en longitudes de onda (IR, V ,UV) de la luz incidente.
- Además hay que tener en cuenta:
 - Pérdidas por reflexión de la luz
 - No generación en las zonas en sombra
 - Pérdidas por resistencia eléctrica de las conexiones y de la célula
 - Si concentramos la luz aumenta la corriente pero hay una disminución de la eficiencia al aumentar la temperatura

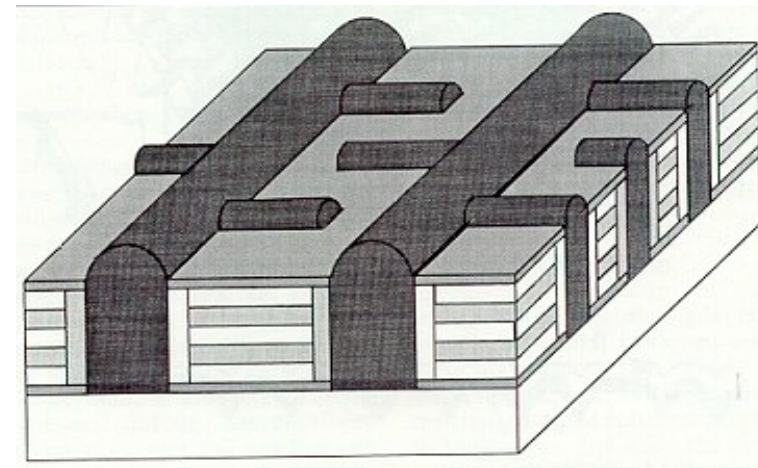
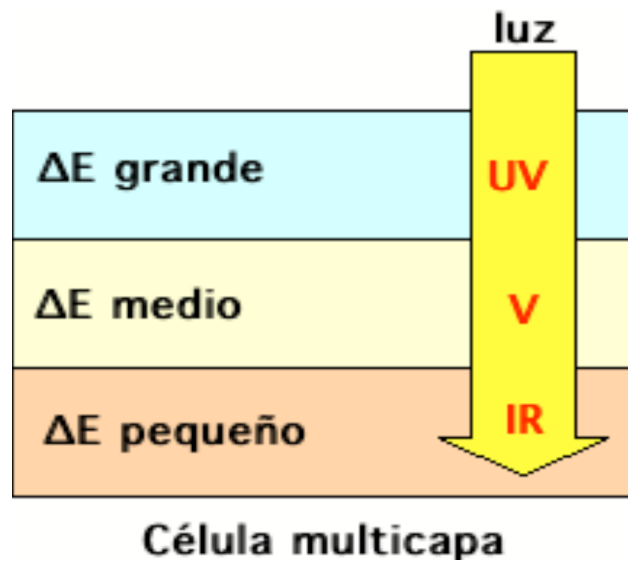
Eficiencias experimentales comprobadas

Si (monocristal)	24.4 %
Si (policristal)	19.8 %
Si (amorfo)	12.7 %
Ga As	25.1 %
InP	21.9 %
CdTe	16.0 %

En general son muy caras y complicadas de construir salvo las de Si

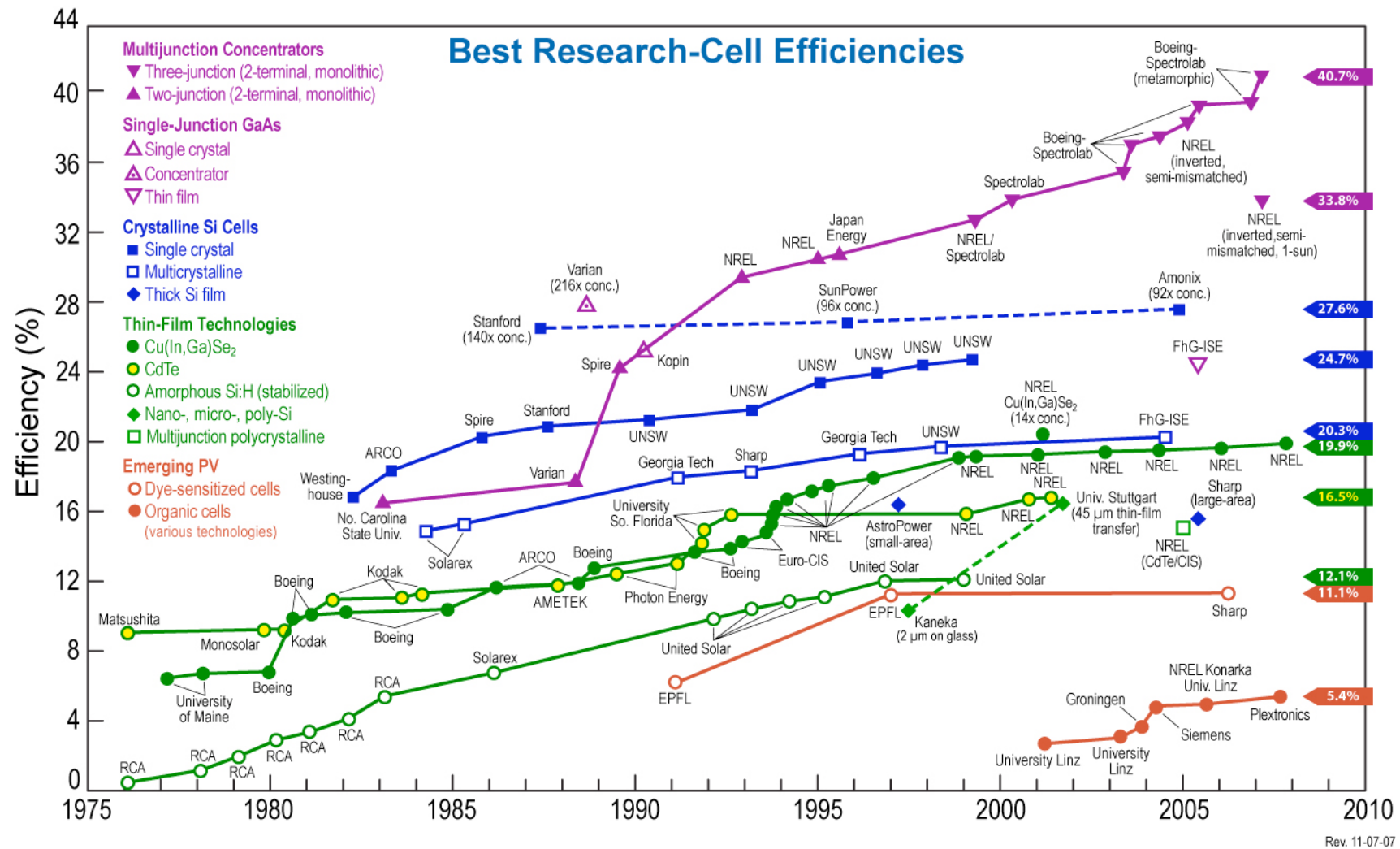
Células multicapa

La eficiencia se puede aumentar aprovechando toda la luz con varias capas de semiconductores distintos

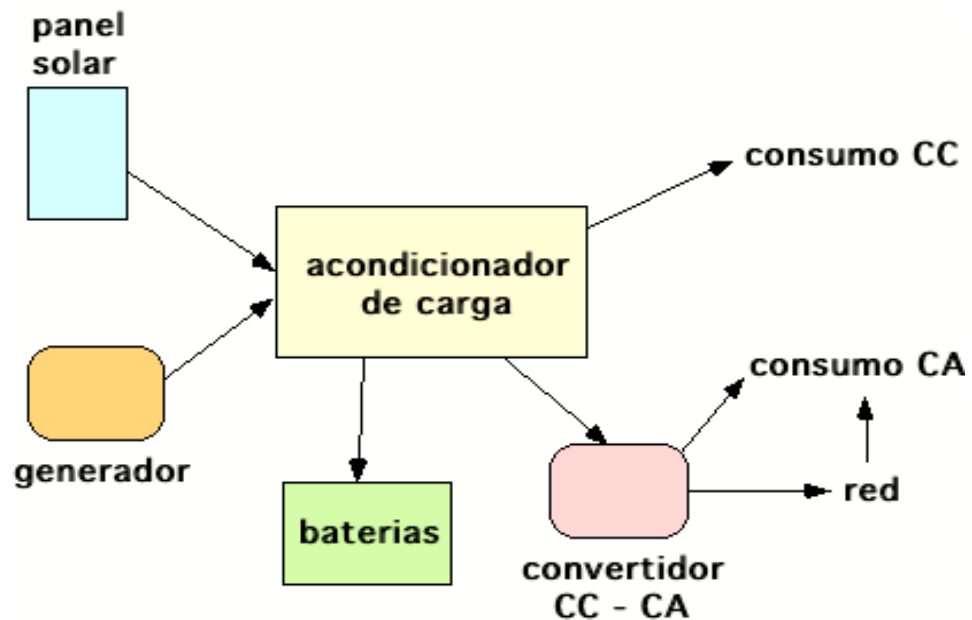


En principio sería posible superar el 70% de eficiencia
En la práctica (2007) GaInP/GaAs/Ge con 40.7%

Eficiencia de las células fotovoltaicas



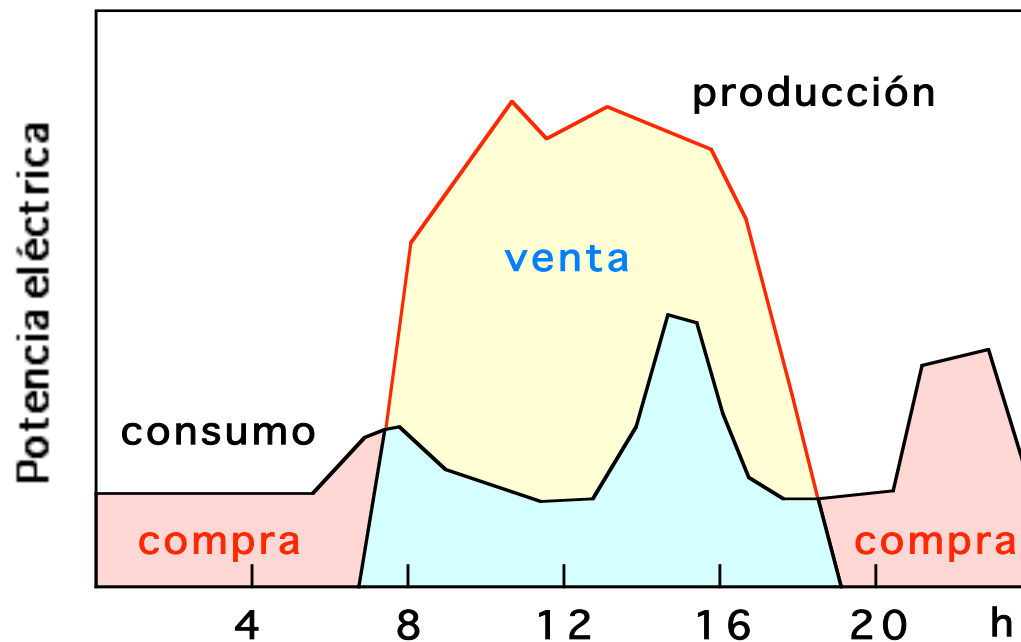
Instalación solar fotovoltaica



En una instalación solar es necesario:

- Si está aislada, generador auxiliar y almacenamiento (baterías) para adaptar la generación y el consumo
- Conexión a la red para lo mismo
- Convertidor Corriente Continua - Alterna (eficiencias >80%)
- Aparatos que funcione con CC (motores, fluorescentes)
- Acondicionador de carga que controle electrónicamente todos los procesos para operar los paneles solares en condiciones óptimas

Sistema FV conectado a la red



- Una instalación pequeña de 4 kW generará unos 5000 kWh/año y costará unos 26 800 €
- Si el sistema tiene una vida útil de 25 años el coste estimado sería de 0,51 €/kWh
- El precio de mercado de la red eléctrica está entre 0,03 y 0,06 €/kWh
- El gobierno Español da desde el 2000 una subvención de 0,44 € por kWh producido por energía solar durante los primeros 25 años de la instalación y 0,35€ a partir de entonces

Energía solar fotovoltaica en España

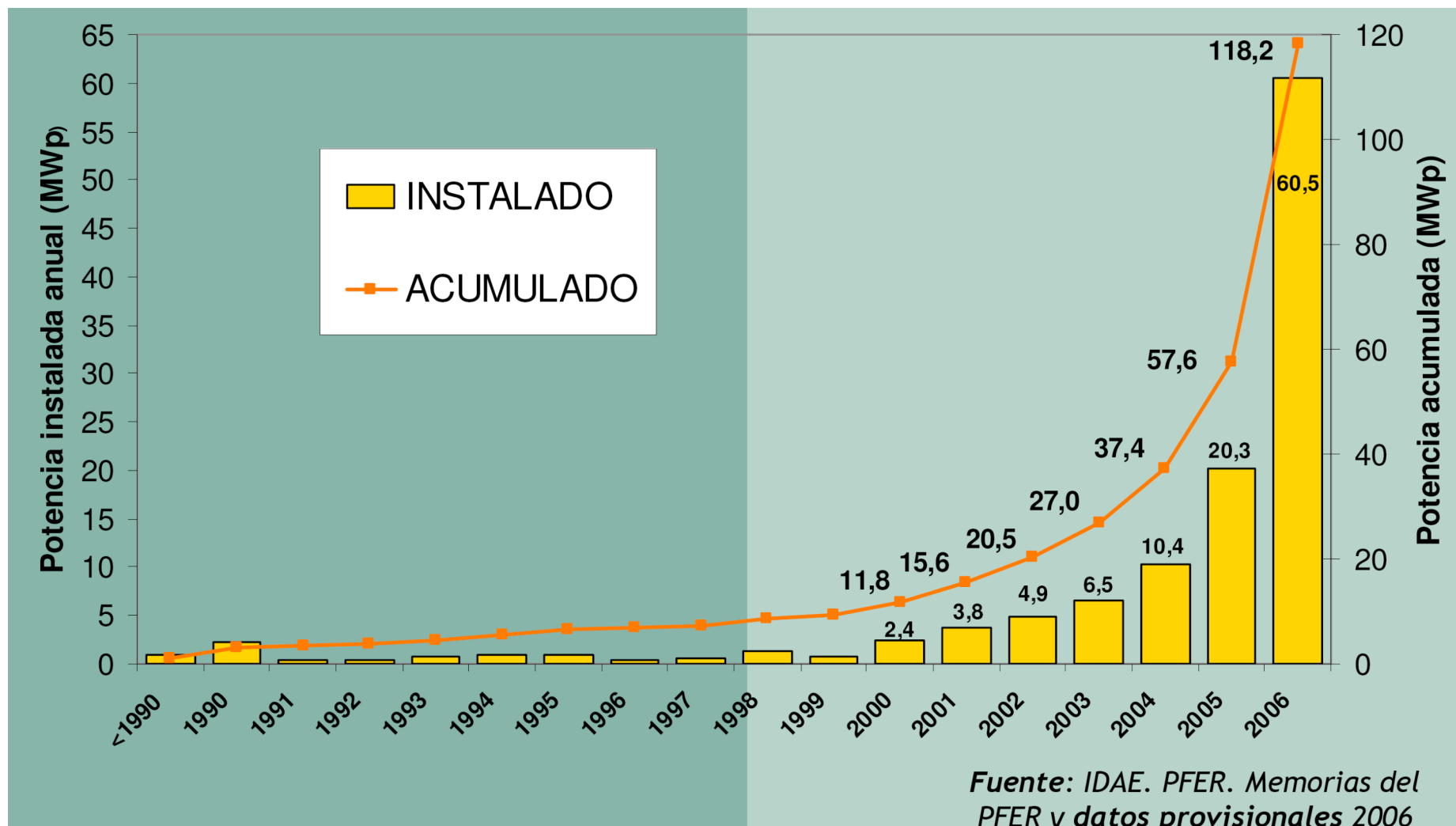
- En España se consumen unos 200 000 GWh de energía eléctrica cada año
- Suponiendo una eficiencia del 10% con células fijas se pueden generar 50 W/m² durante 2000 horas al año (Almería 2937 horas, Santander 1732 h)
- Con energía solar se pueden generar 100 kWh/ /m²
- Para generar toda la que se consume se necesita una superficie de 2000 km² (44km×44km)
- La superficie actual de cubiertas y tejados proporcionaría una parte no despreciable del consumo eléctrico. (Superficie urbanizada en España ~5000 km²)

Plan Nacional de Energías Renovables

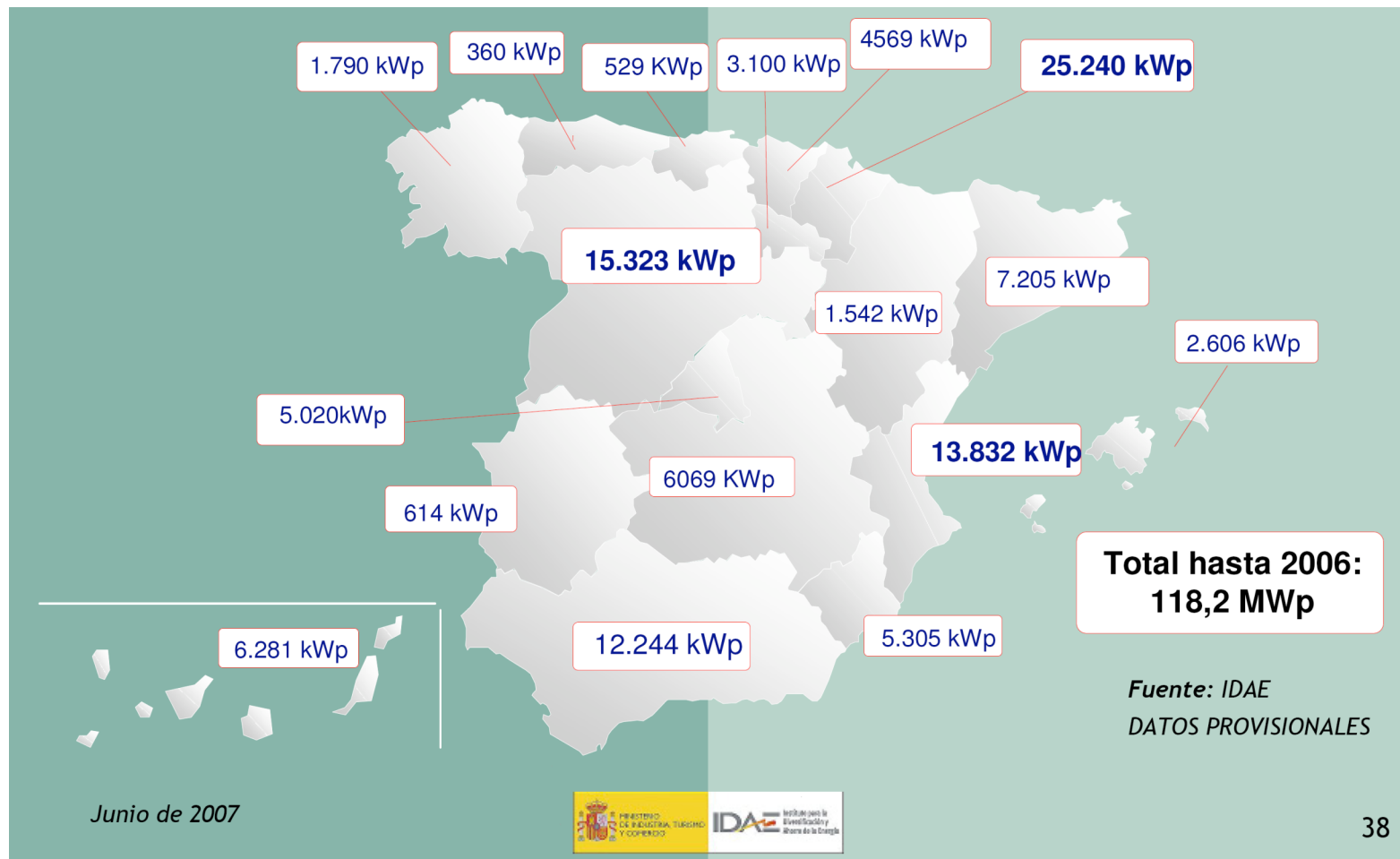
- En 1998 se producen 3.8 GWh de electricidad FV
- En el 2010 estarán en funcionamiento 400 MWp que darán 920 GWh de FV

Se facilita la conexión a la red y se subvenciona la electricidad solar para que sea competitiva

Energía solar fotovoltaica en España



Energía fotovoltaica en España

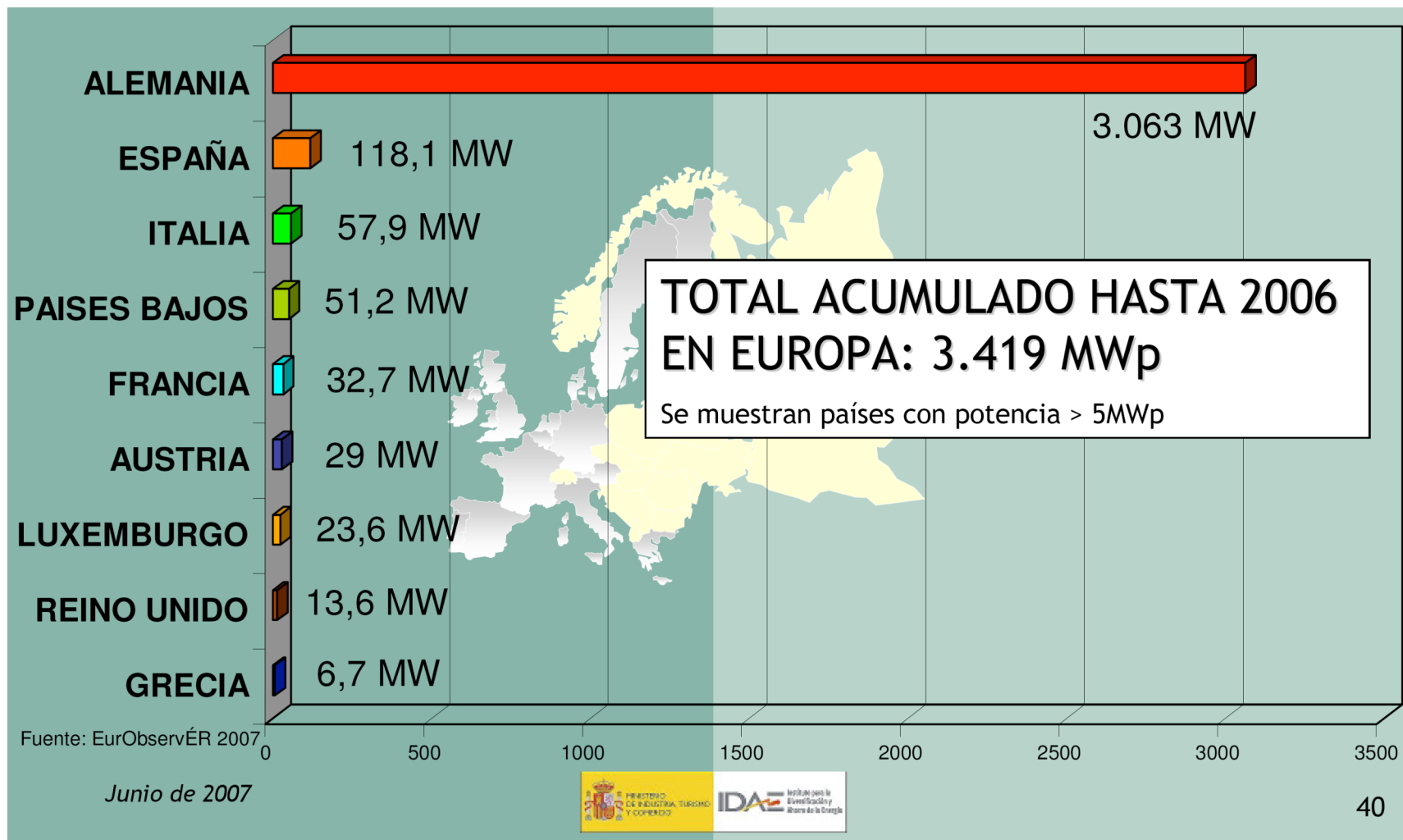


Energía solar fotovoltaica en España

El mayor parque solar del mundo en Beneixama (Alicante)
Con una superficie de 500.000 m² generará anualmente 30 GWh

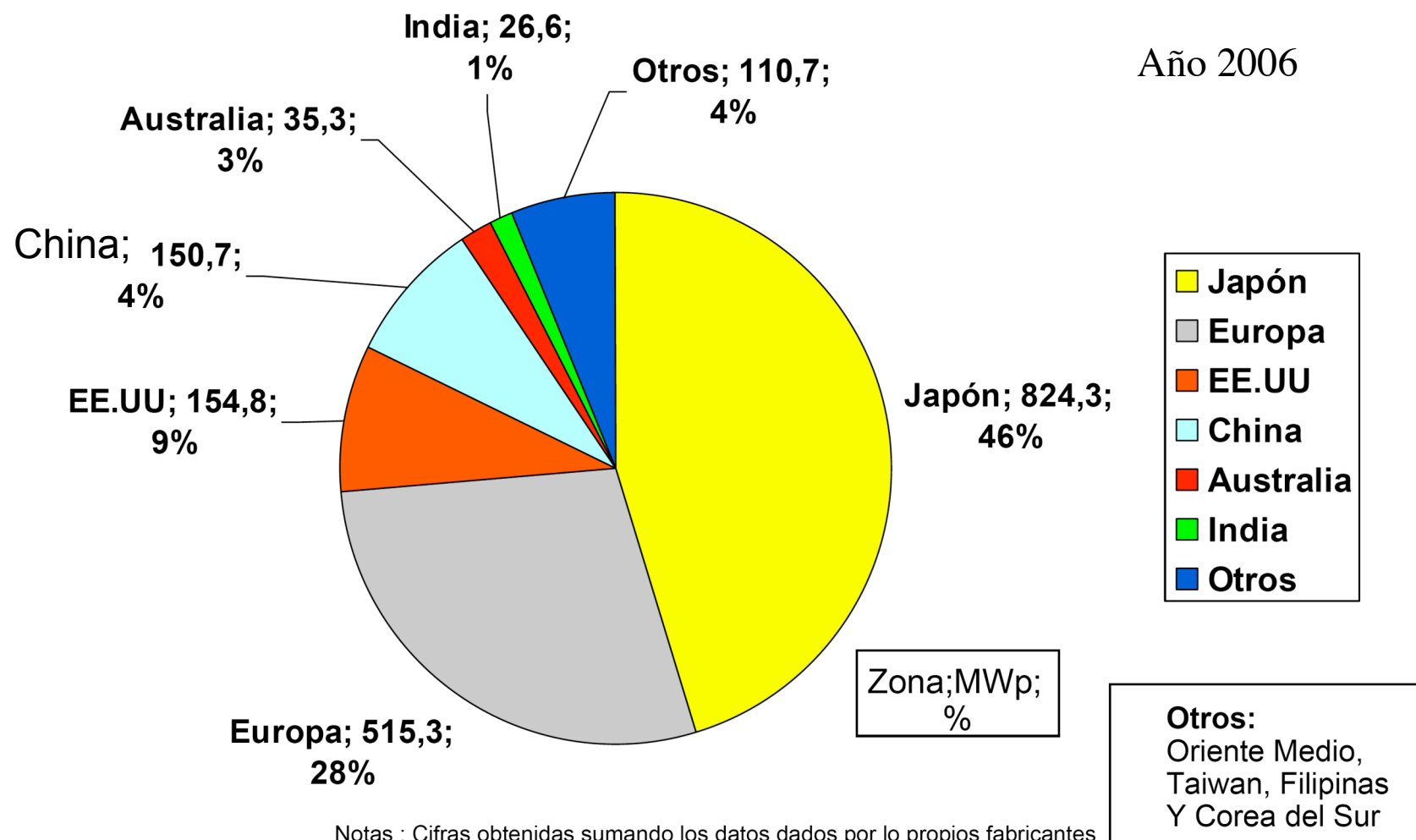


Energía fotovoltaica en Europa



Fabricación mundial de celulas fotovoltaicas

Año 2006



Notas : Cifras obtenidas sumando los datos dados por lo propios fabricantes
Fuente: Photon International

Ventajas e inconvenientes de la energía solar

- Ventajas:
- Es muy abundante e inagotable
 - No contamina, no hay residuos, no altera el clima ?
- Inconveniente:
- Es intermitente y aleatoria.
 - Son necesarios sistemas complementarios

- **Térmica de baja temperatura**

- Permite ahorrar en agua caliente y calefacción. Una caldera individual de gas cuesta unos 600 € y una instalación de paneles con acumulador de calor unos 1 800 €.
- Hay quejas de los usuarios (agua a 70°C en verano y a 20°C en invierno)

- **Térmica de alta temperatura**

- Dada la baja eficiencia, una central solar de MWs ocupa mucha superficie.
- Un uso masivo podría provocar cambios microclimáticos.
- El coste es elevado. El kWh sale a un precio superior al de las centrales térmicas convencionales. No hay economía de escala

Ventajas e inconvenientes de la energía FV

- Es modular. La eficiencia es la misma para sistemas pequeños y grandes.
- Se puede usar individualmente sin necesidad de grandes compañías
- Se pueden emplear superficies inútiles (tejados)
- En zonas alejadas de la red eléctrica es la mejor opción. (zonas aisladas, satélites)
- Necesita gran capacidad de acumulación o conexión a la red eléctrica
- Al fabricar las células solares se consume energía y se emiten contaminantes y CO₂
 - Para fabricar las células de Silicio se consumen unos 20 500 kWh por cada kW instalado
 - Son necesarios unos 4 años (con la irradiación de España) para que empiecen a producir energía neta
- Es muy cara en comparación con la convencional. No hay economía de escala
- Se espera una bajada de precios en el futuro debida a:
 - desarrollo científico de nuevas células y nuevos procedimientos de fabricación
 - producción masiva de paneles