

# *La energía solar fotovoltaica: presente y futuro*

Carlos del Cañizo Nadal

Instituto de Energía Solar

Universidad Politécnica de Madrid

Jornadas Energía Solar

**Universitat de les Illes Balears**

12 de Abril de 2003



**Efecto fotovoltaico**

**Fabricación de células solares y módulos**

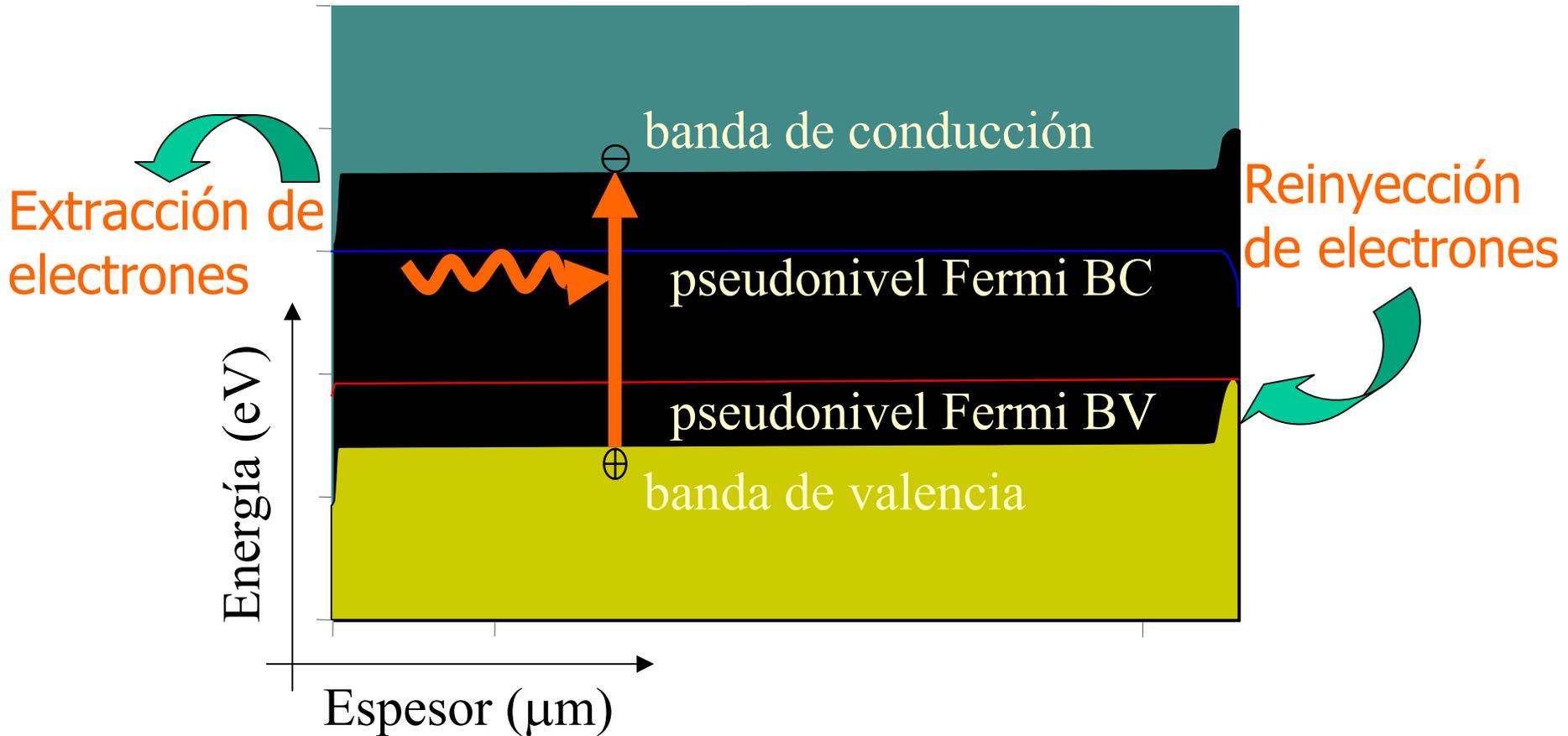
**Aspectos económicos y medioambientales**

**Alternativas a la tecnología de silicio cristalino**

**Conclusiones**

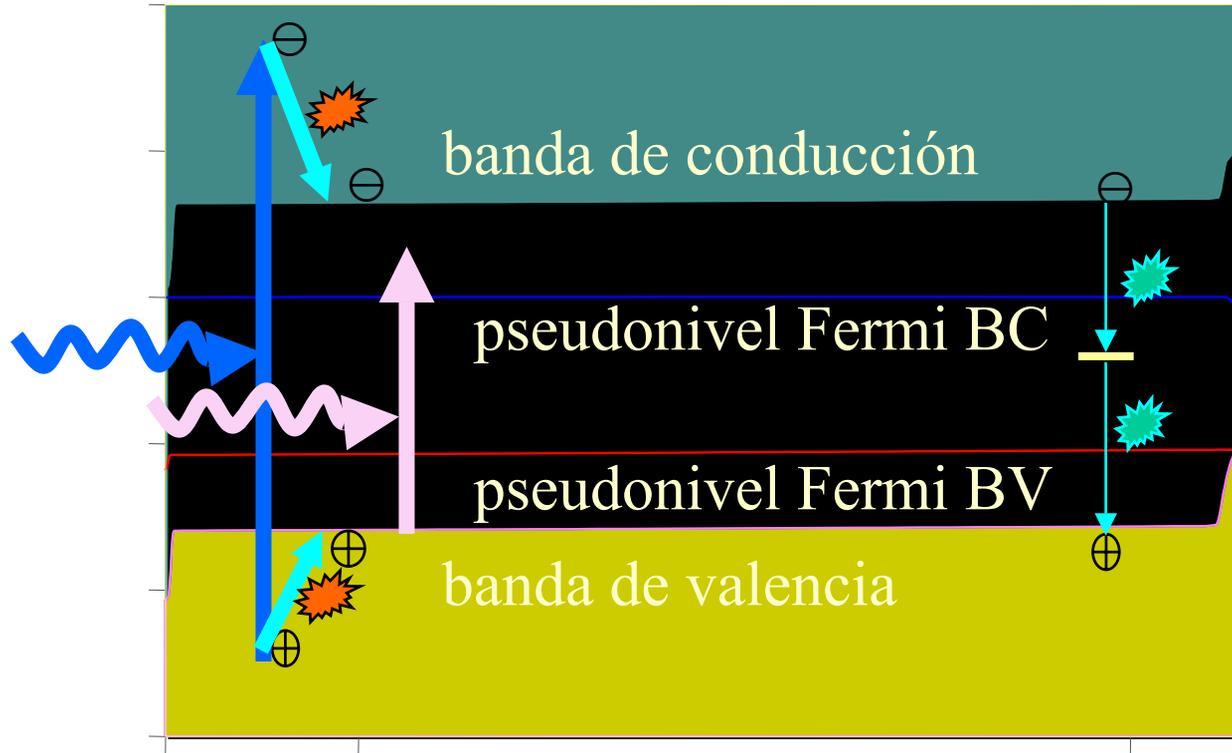


# El efecto fotovoltaico

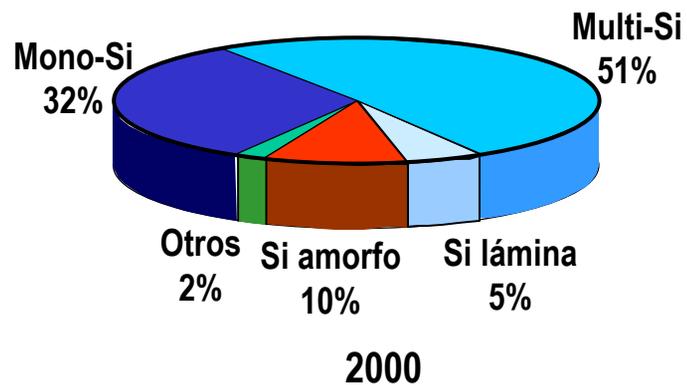
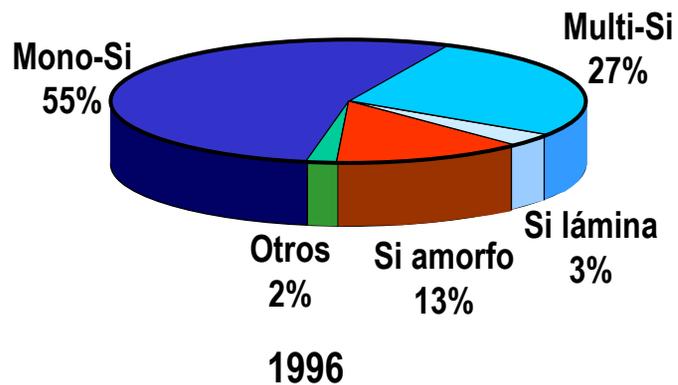
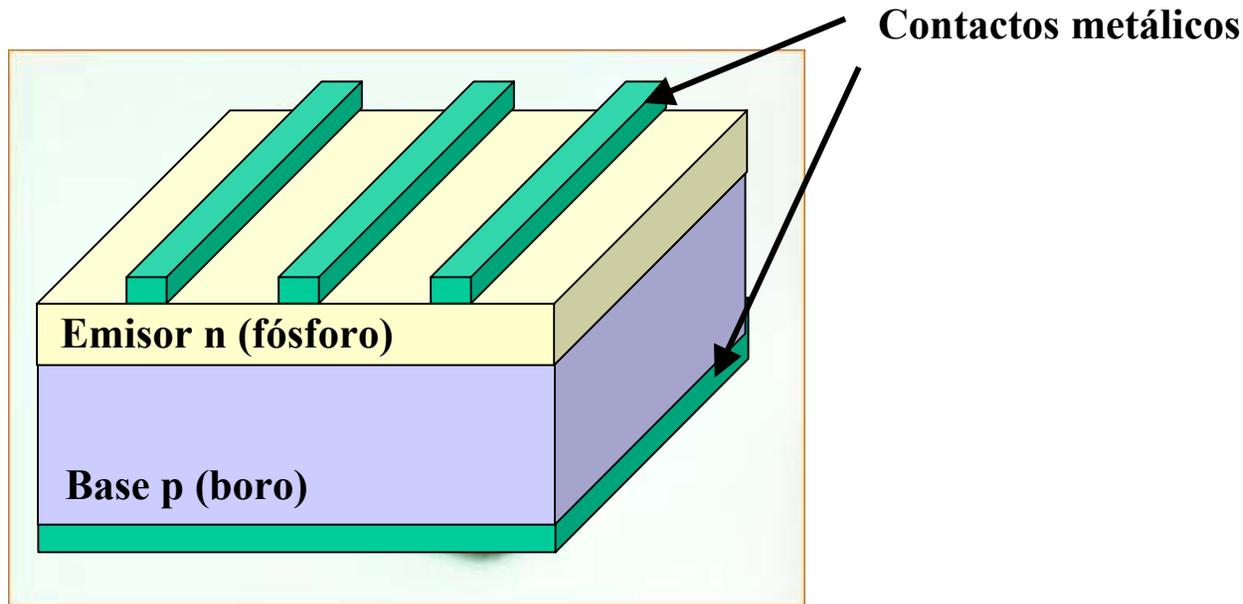


- Los fotones bombean electrones de la banda de valencia a la de conducción
- Contactos apropiados aseguran la entrega de los electrones de la banda de conducción a la carga, y su recuperación por la banda de valencia

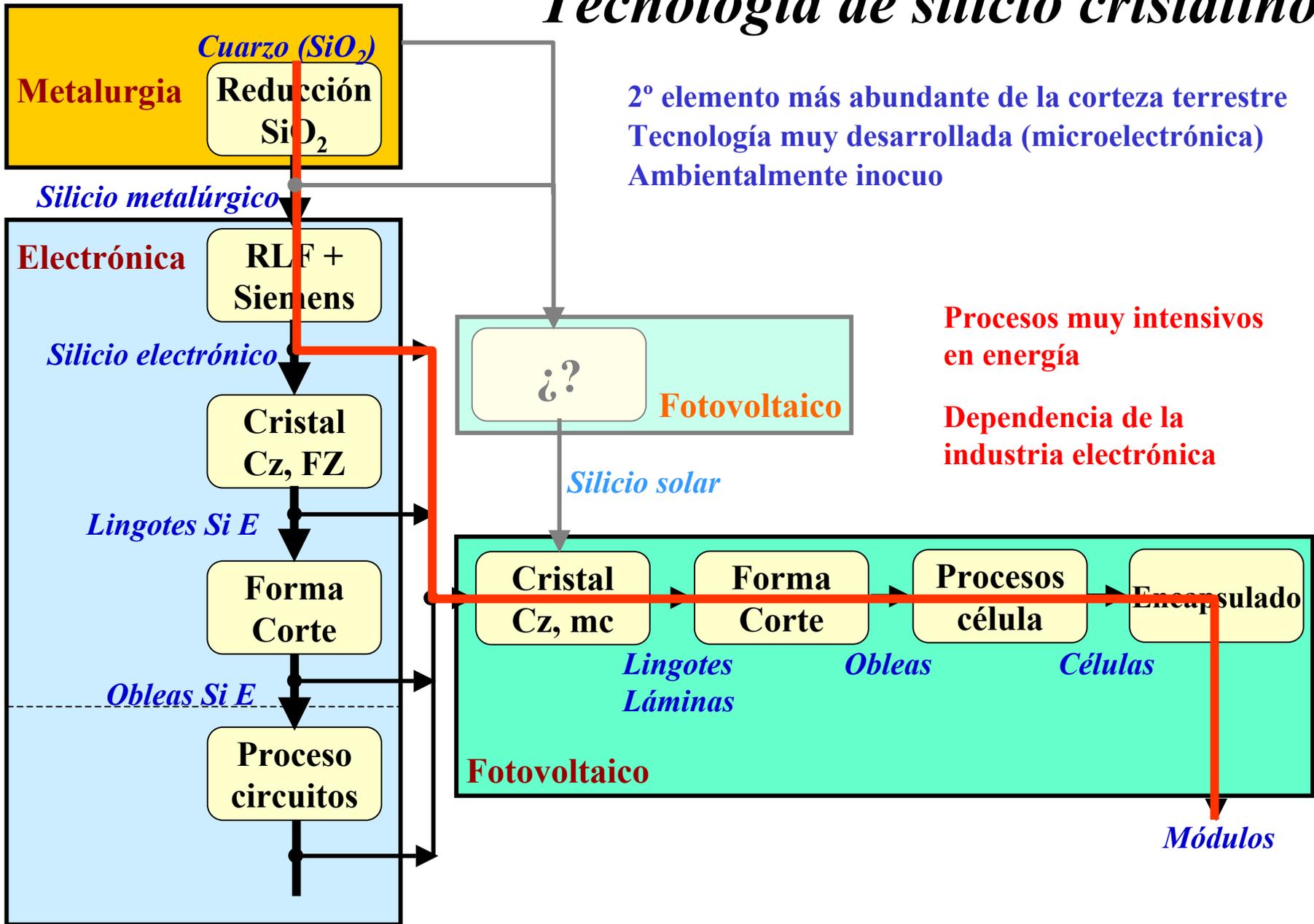
# Pérdidas en las células



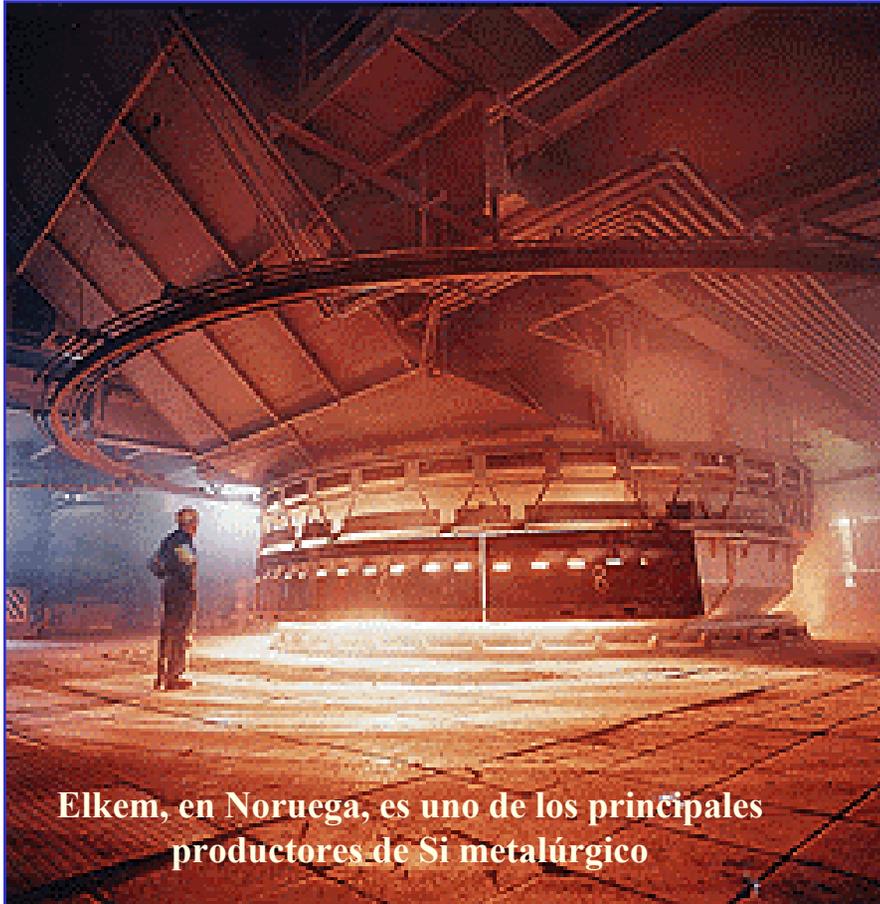
- **Generación:** No se aprovecha toda la energía de los fotones
- **Recombinación:** No todos los electrones bombeados se extraen



# Tecnología de silicio cristalino



# 1 Producción de silicio de grado metalúrgico



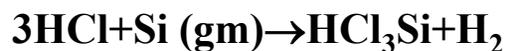
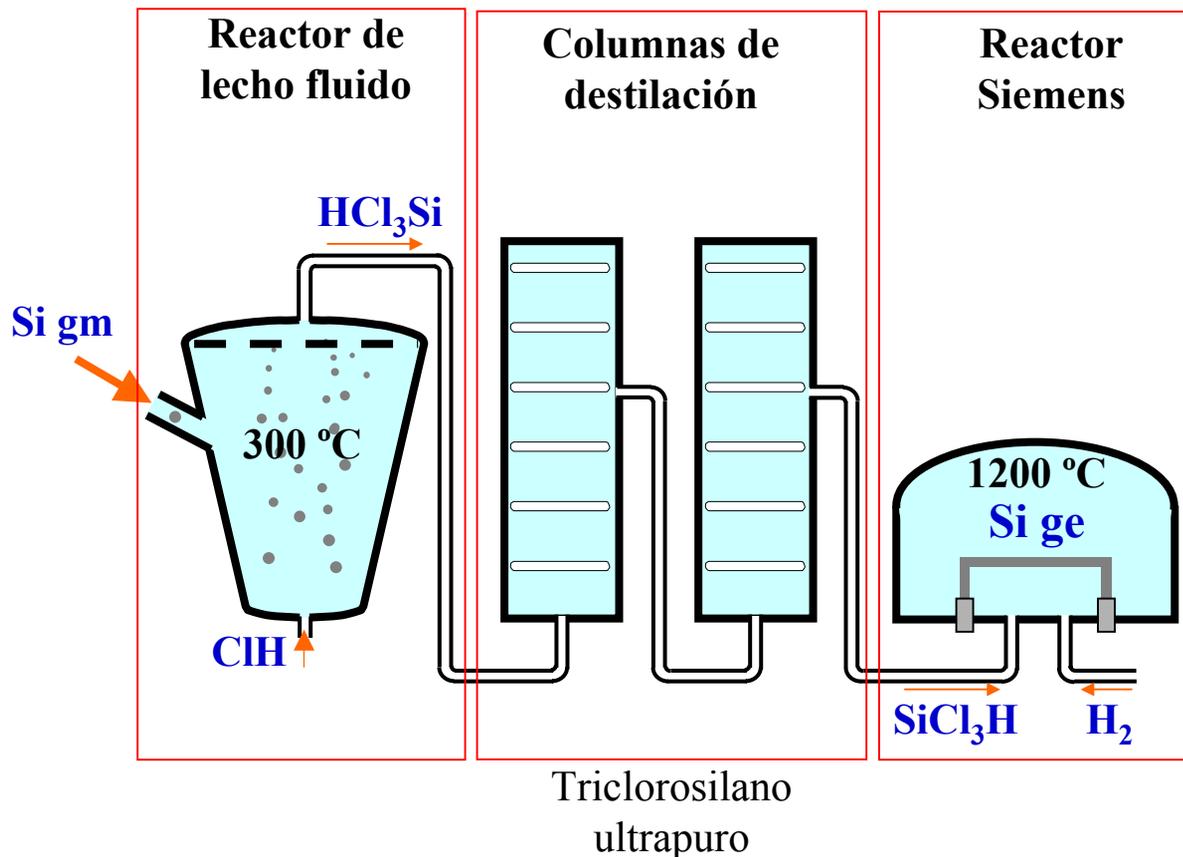
Elkem, en Noruega, es uno de los principales productores de Si metalúrgico



Horno de arco. Los electrodos tienen 1 m de diámetro

- Reducción del cuarzo con carbón en horno de arco pureza  $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$
- Producto: silicio de grado metalúrgico (silicio metal): 98% de pureza
- La electrónica utiliza una pequeña fracción del Si gm producido, dedicado en su mayor parte para la metalurgia
- En España: Ferroatlántica

## 2 Producción de silicio de grado electrónico



- Materia prima: Si gm
- Producto: Si grado electrónico (pureza 99.9999999%)
- Consumo de gran cantidad de energía





**Reactor de lecho fluido**

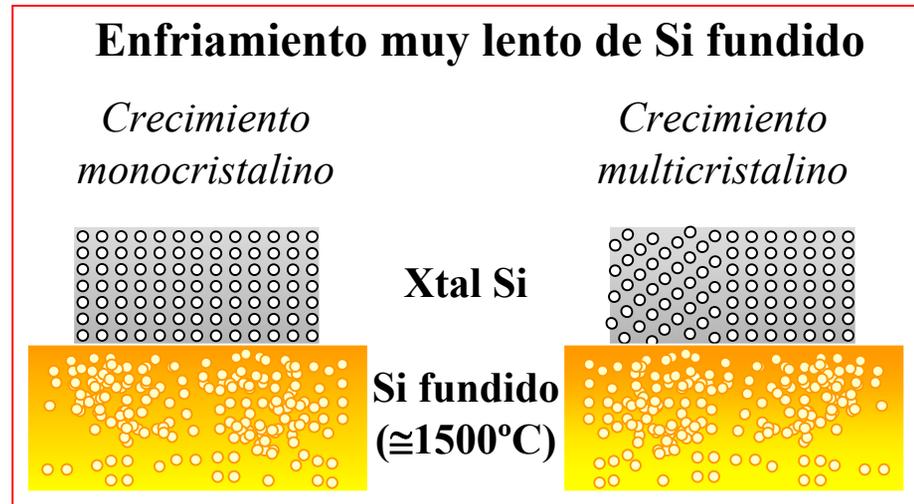


**Silicio de grado electrónico**

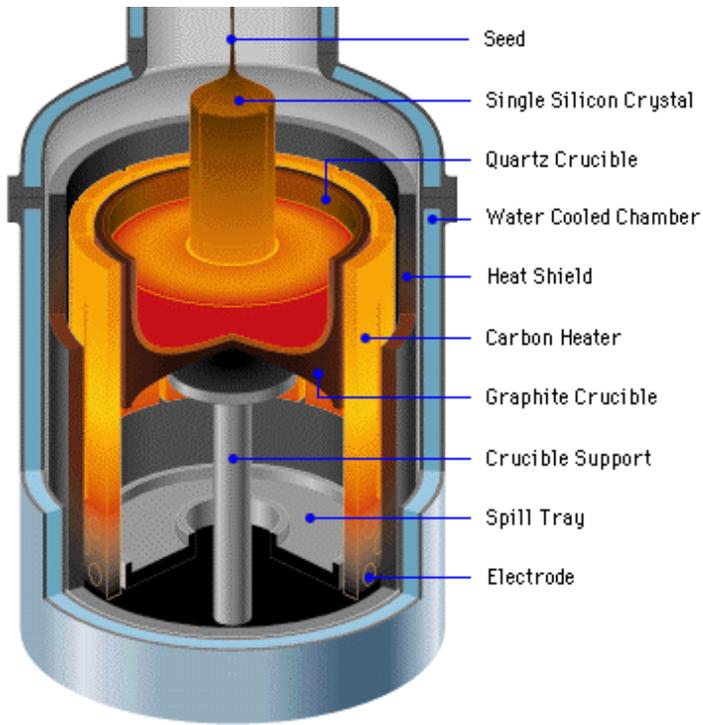


**Columnas de destilación**

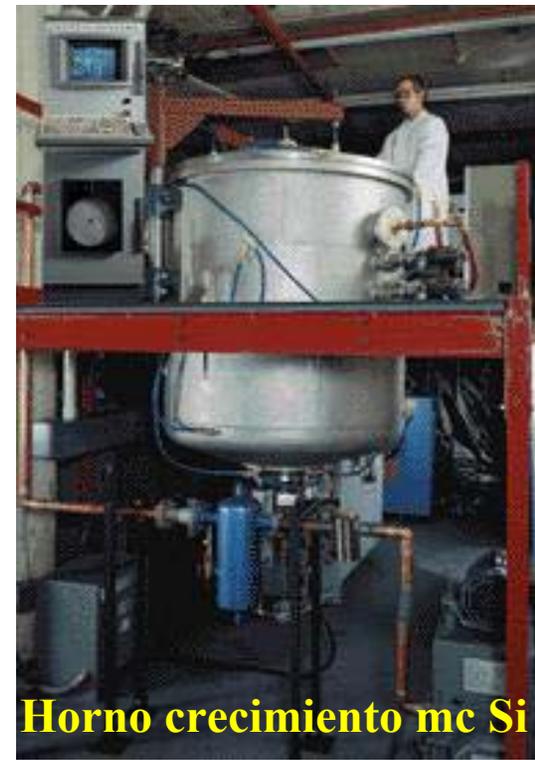
### 3 *Cristalización*



**Gran consumo de energía**



**Método de crecimiento Czochralski**



**Horno crecimiento mc Si**

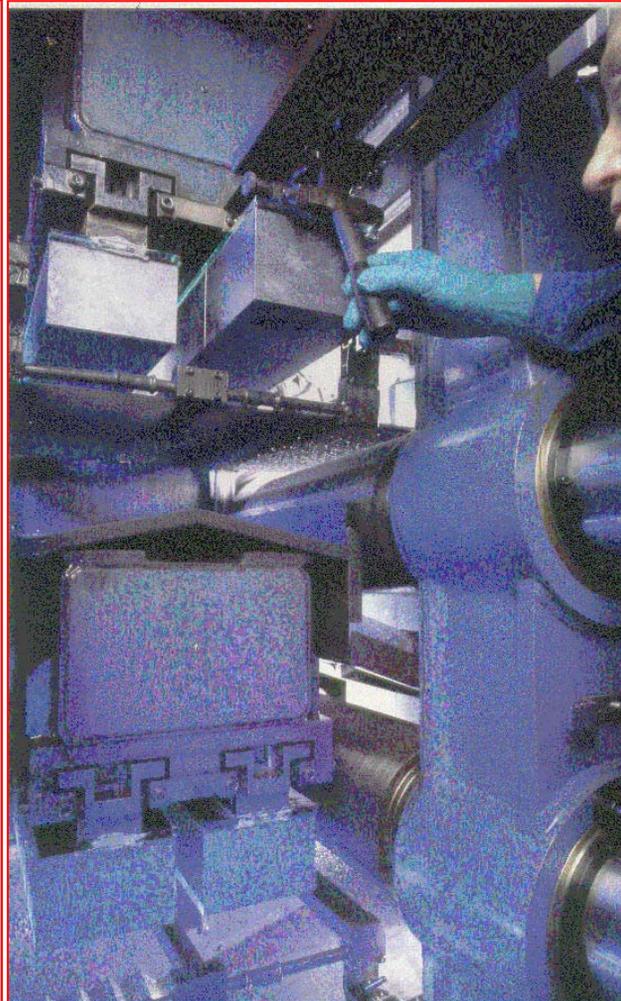
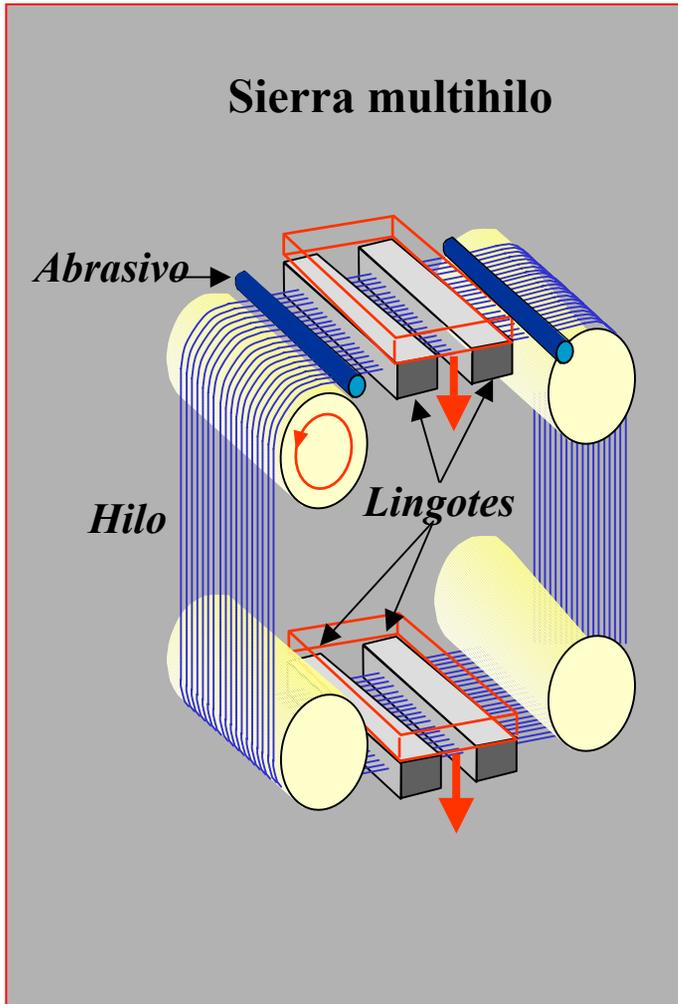


**Lingote monocristalino**

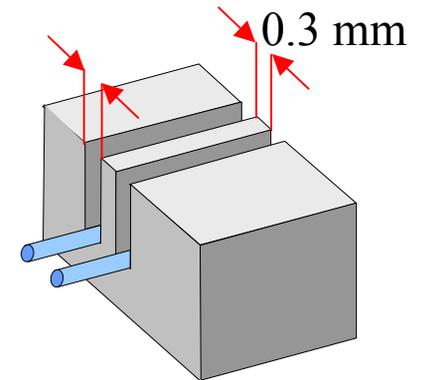


**Bloque Si mc cortado en lingotes**

## 4 Fabricación de obleas

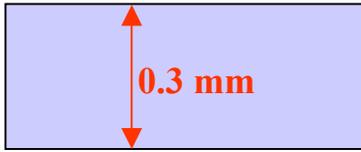


Pérdidas de material de casi el 50%



# 5 Fabricación de células (I)

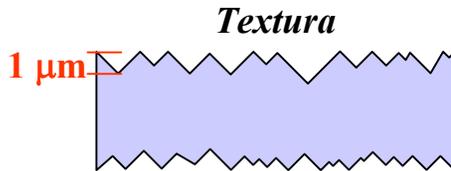
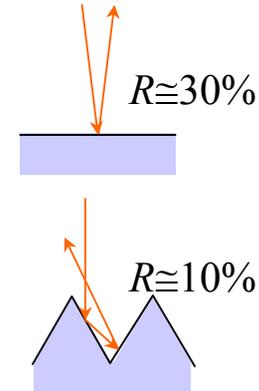
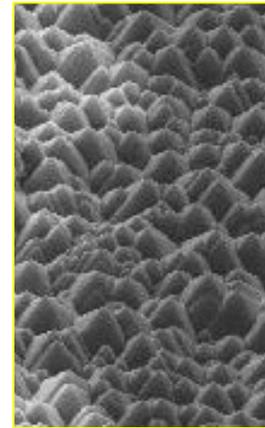
Obleas 100 cm<sup>2</sup> tipo p (B 10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>)



Limpieza inicial y decapado



NaOH



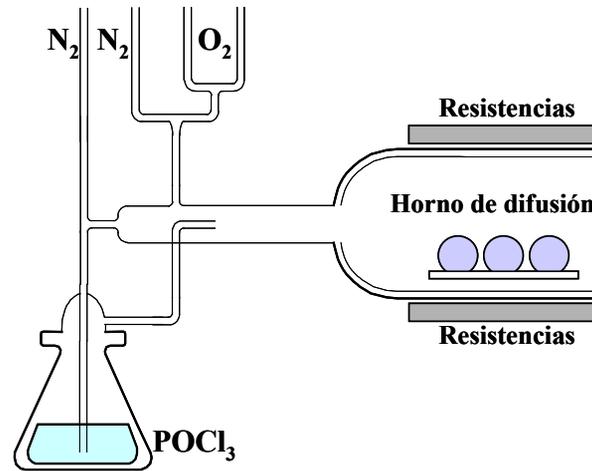
Baño NaOH  
85 °C

Limpieza

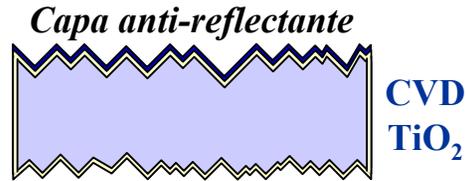


900 °C, 1/2 h

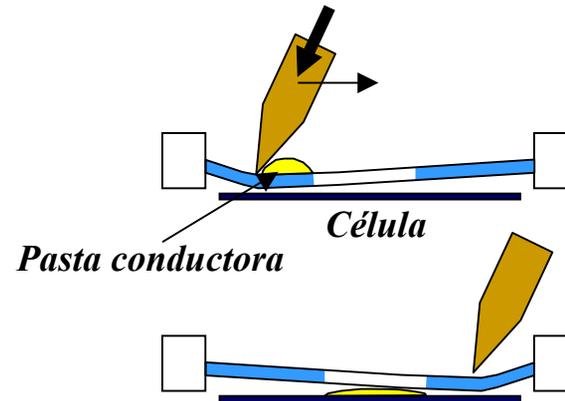
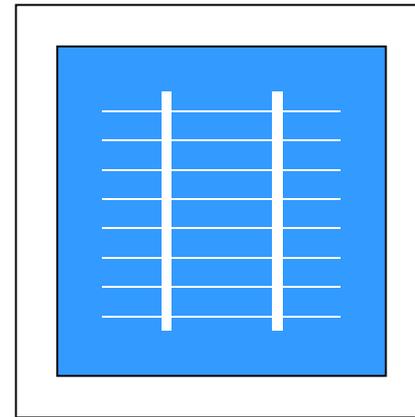
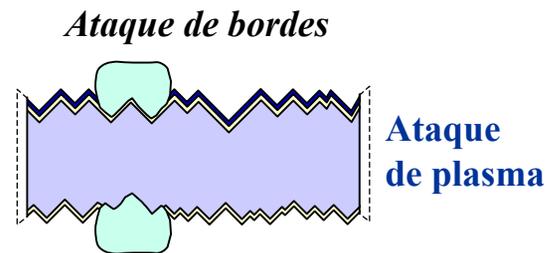
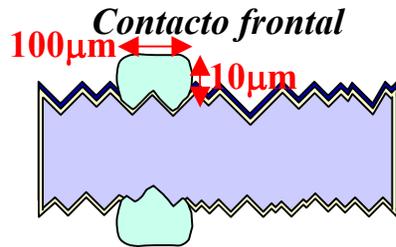
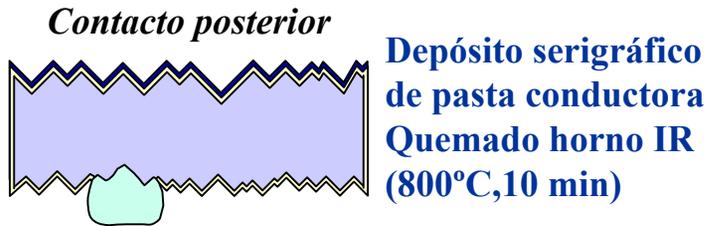
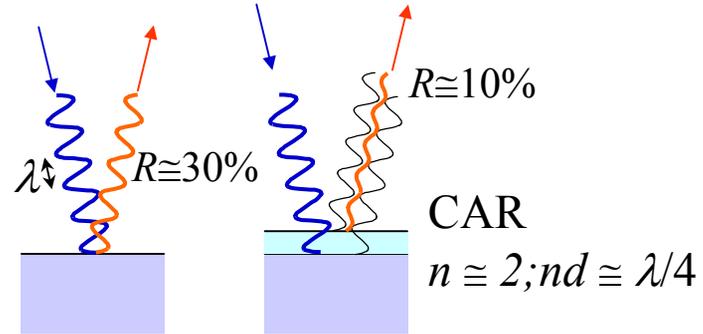
Limpieza



## 5 Fabricación de células (II)



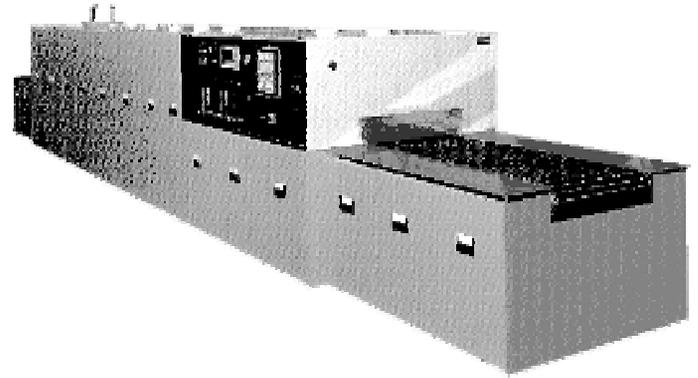
CVD  
TiO<sub>2</sub>



Medida y clasificación



**Serigrafiadora  
automática**



**Horno de cinta para  
quemado de pasta**

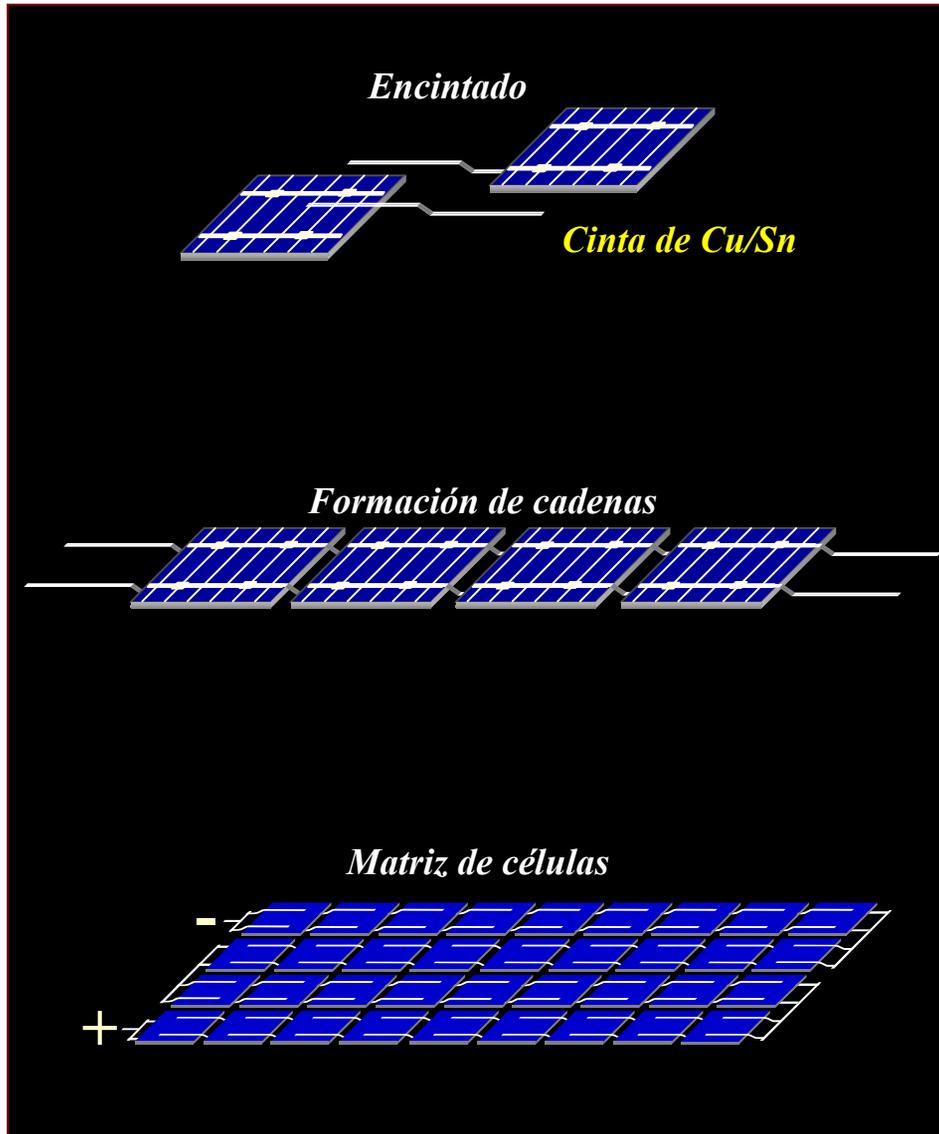


**Factoría de Scanwafer (Noruega)**

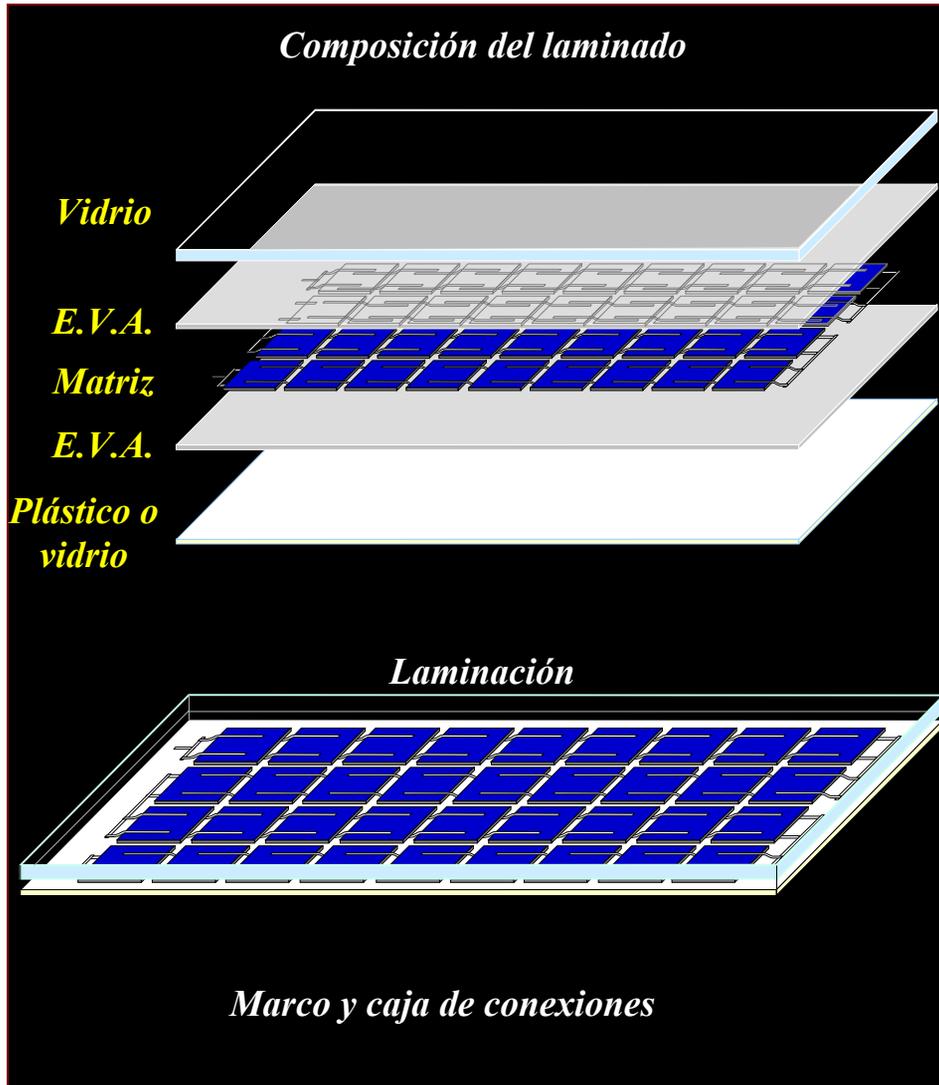


**Tubos de difusión**

## 6 Fabricación de módulos (I)



## 6 Fabricación de módulos (II)



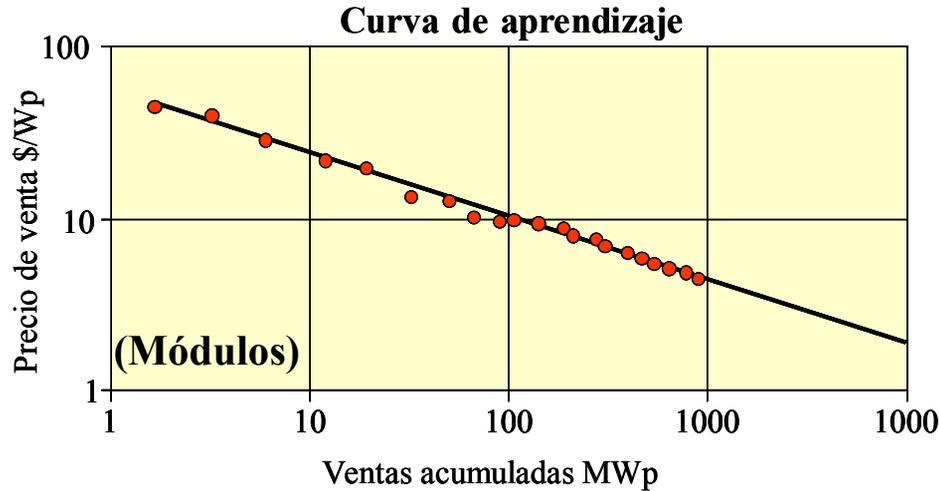
**Laminación:**

**Presión a 100°C + Curado a 150°C:**

*El EVA fluye, embebiendo completamente las células, se vuelve transparente y solidifica*

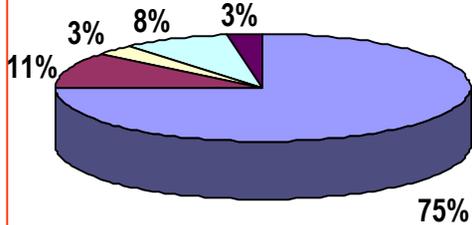


# Coste



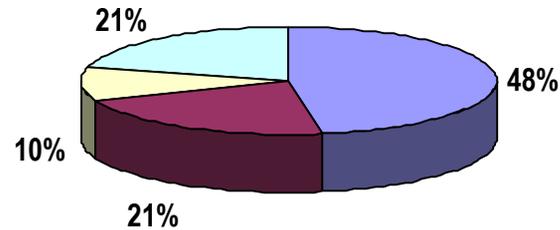
**Descenso continuado del coste del Wp  
Para competir con fuentes  
convencionales, se ha de reducir al  
menos 5 veces**

## CÉLULA SOLAR



- Obleas de silicio
- Pasta serigráfica
- Productos químicos
- Mano de obra
- Energía eléctrica

## MÓDULO



- Células solares
- Materiales laminado
- Materiales acabado
- Proceso de fabricación

**La oblea de silicio pesa hasta un 40%  
en el módulo ...**

**... pero el módulo puede ser un  
porcentaje pequeño del sistema final**

Fuente: J.L. Balenzategui *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la ESFV*, Ciemat, Madrid, 2000



## *Aspectos medioambientales*

- El tiempo de recuperación energética es el tiempo que el sistema fotovoltaico necesita para producir la energía que se invirtió en su fabricación
- Gran dispersión debido a la diferencia de hipótesis (productividad, inclusión de otros elementos del sistema ...)
- TODOS los estudios predicen que dicho tiempo es menor que la duración neta del sistema

**Ejemplo: Estudio de Knapp y Jester (2000) Módulo sc Si SP75 (Siemens)**

**El tiempo de recuperación energética (2-3 años) es significativamente menor que la duración del sistema (más de 25 años)**

**La energía producida es 9 – 17 veces la invertida**

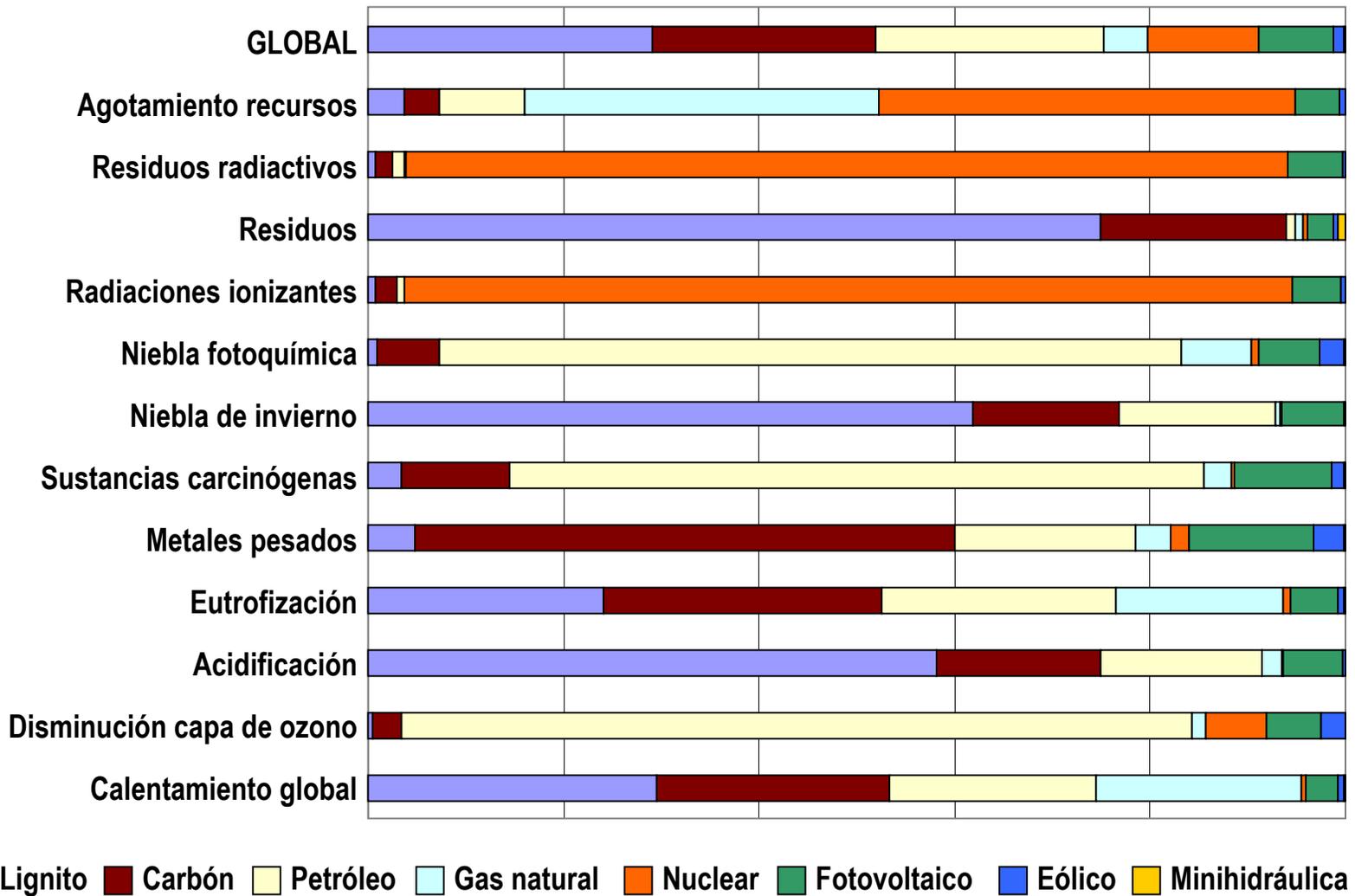
### *Emisiones evitadas por el uso de sistemas FV*

- Los sistemas fotovoltaicos sólo generan emisiones en fase de fabricación: directa y, sobre todo, indirectamente, por la energía invertida
- Una vez amortizada la inversión energética, la energía producida durante el resto de su vida útil (la energía neta) está libre de emisiones
- Por tanto, se evitan las emisiones que se producirían si se generara esta energía con energía convencional



# Análisis del Ciclo de Vida

## Comparación entre tecnologías de generación eléctrica



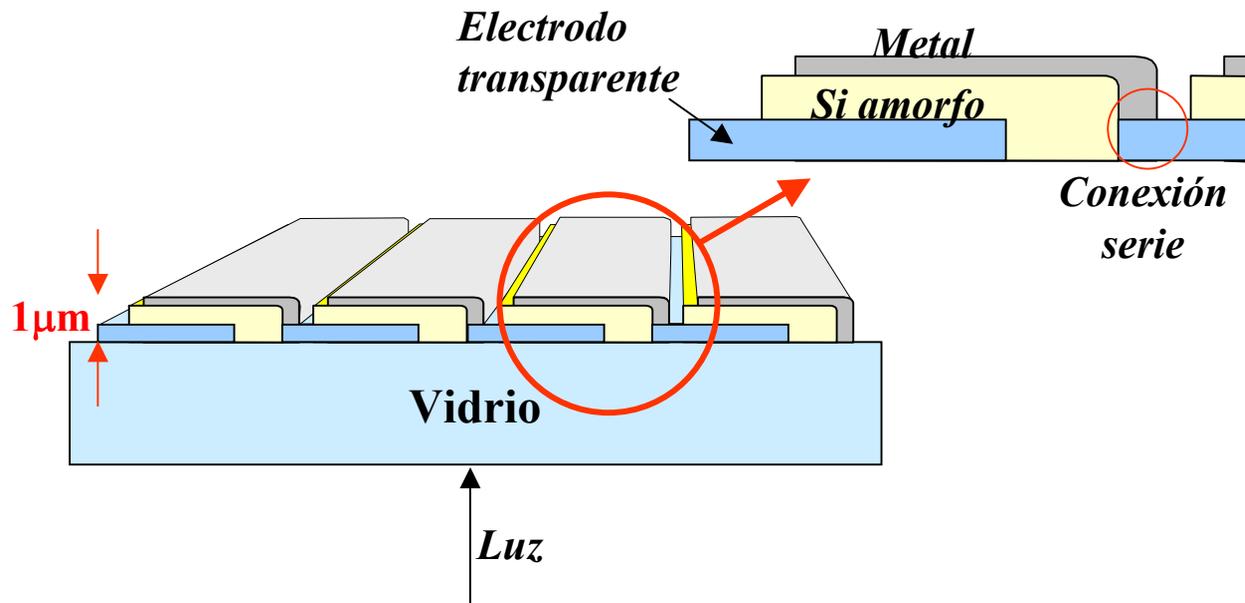
“Impactos ambientales de la producción eléctrica: análisis de ciclo de vida de ocho tecnologías de generación eléctrica”, IDAE 2000



# Capas delgadas

La mayor parte de la luz se absorbe en una capa de unas pocas micras (dependiendo del material): posibilidad de **AHORRO**

Fabricación integral del módulo: las capas se depositan e interconectan sobre un sustrato (el propio vidrio, a menudo)



Si amorfo

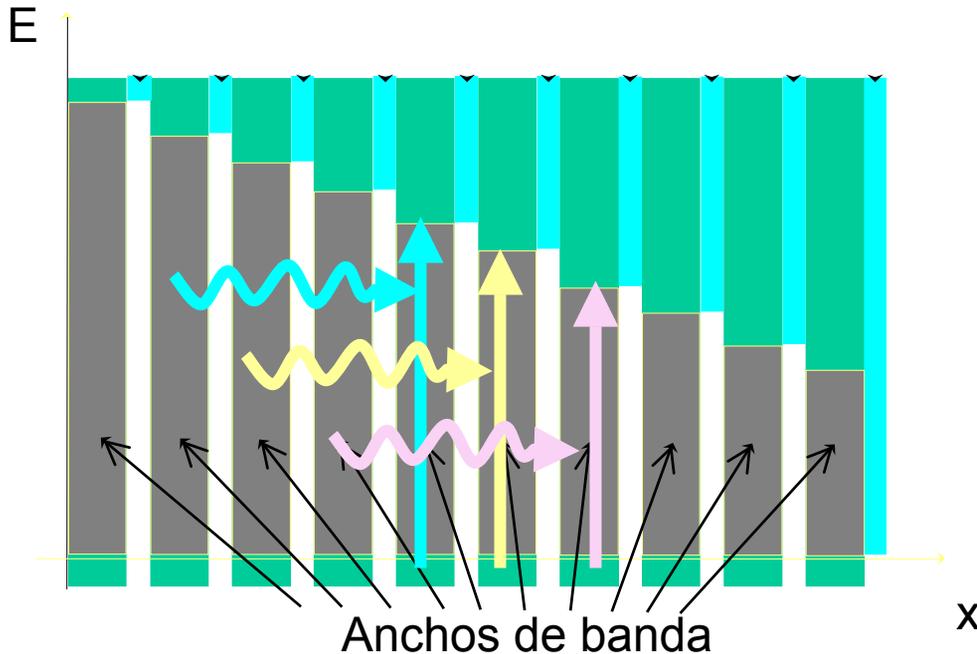
Baja eficiencia  
~6% estable

CdS/CdTe, CIS

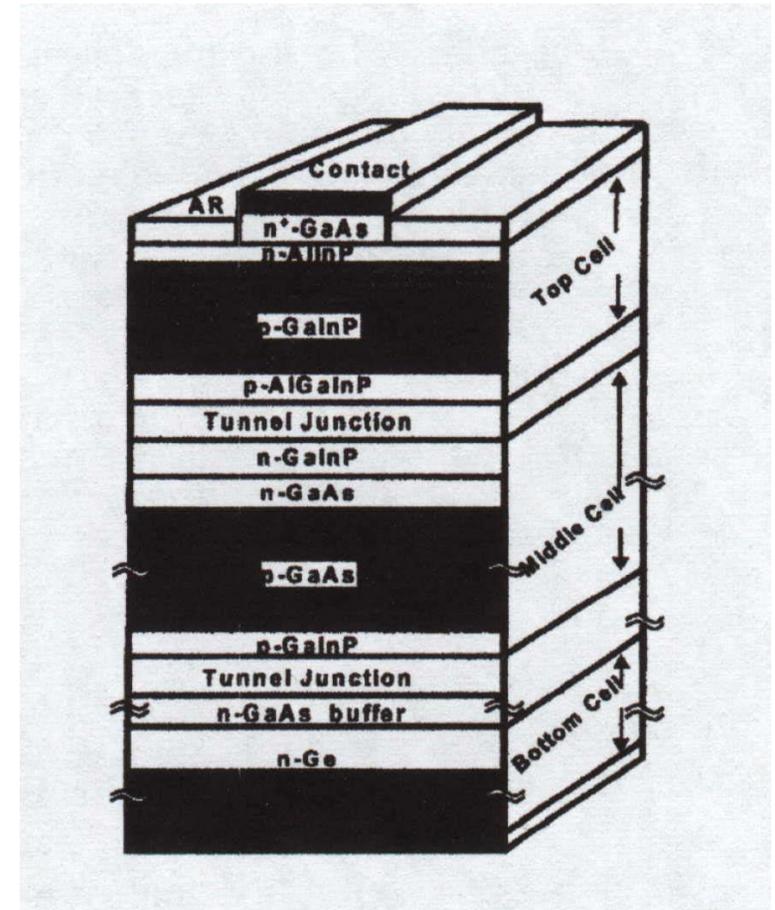
Escasez y toxicidad de los materiales

# Nuevos conceptos: Células de tercera generación

- Células tándem

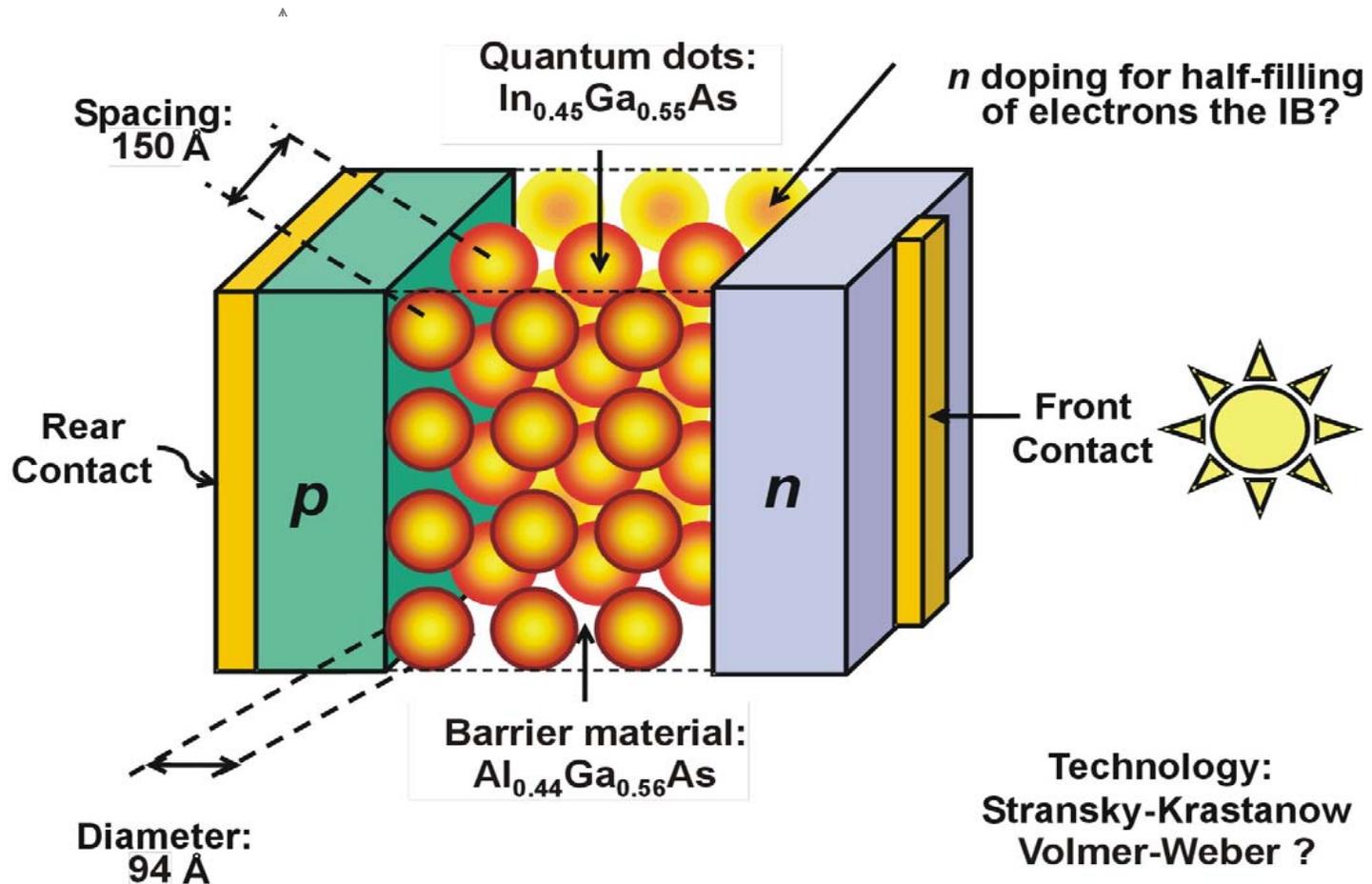


Límite teórico:  $\eta=86,3\%$



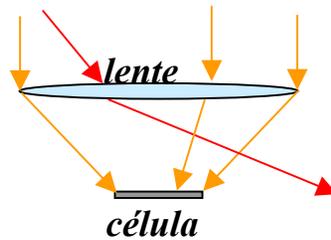
Tres uniones  
 $\eta=32,2\%$

- **La célula solar de banda intermedia**



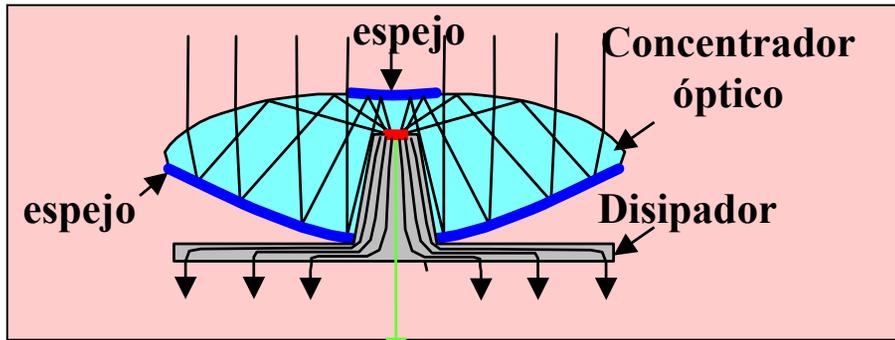
Límite de eficiencia: 63,3%

# Aplicaciones terrestres: concentración

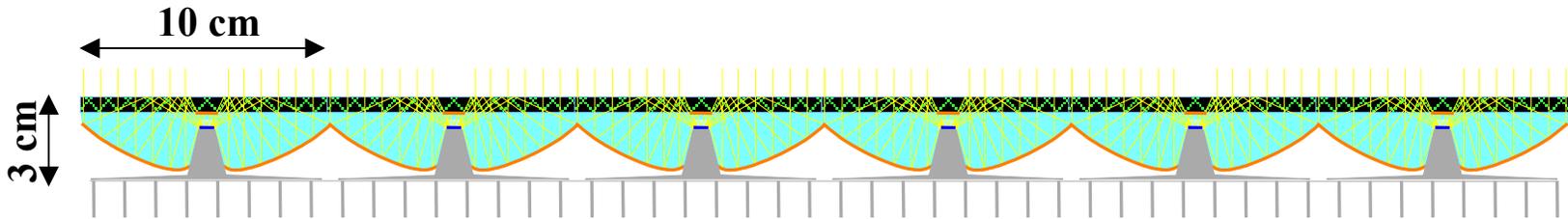


Se ahorra en área de célula y se sustituye por dispositivos ópticos (lentes o espejos)

**1.000 soles = 1 MW/m<sup>2</sup>**



Célula de AsGa  
26% a 1000 soles



# Conclusiones

- El mercado fotovoltaico crece explosivamente
- La tecnología actual se basa en el silicio cristalino
- La producción de silicio purificado barato es hoy una amenaza para su crecimiento, y una oportunidad para nuevos conceptos
- Células de 3ª generación, de alto rendimiento, son necesarias para abrir camino a una electrificación solar masiva

