

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

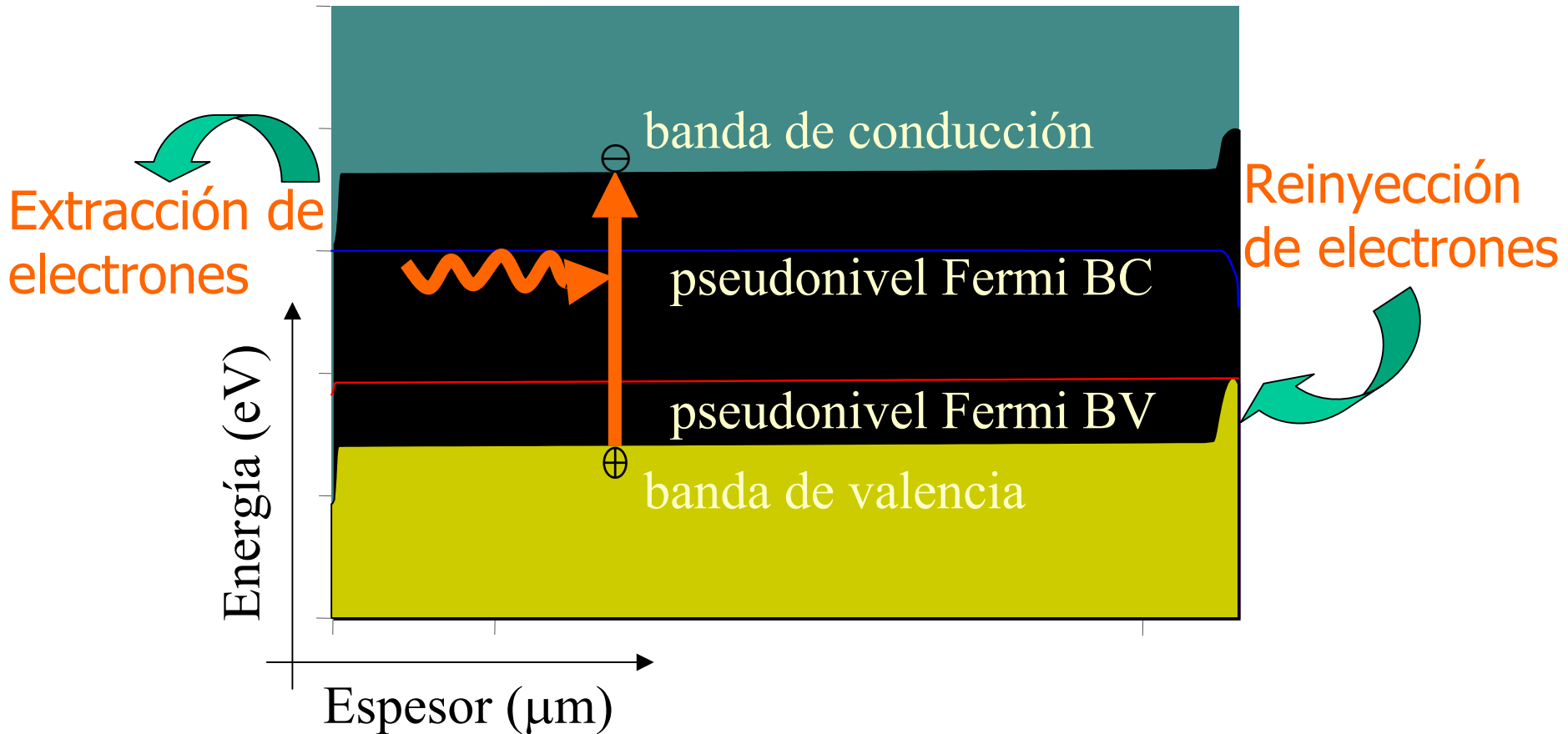
Aspectos económicos y medioambientales

Alternativas a la tecnología de silicio cristalino

Conclusiones

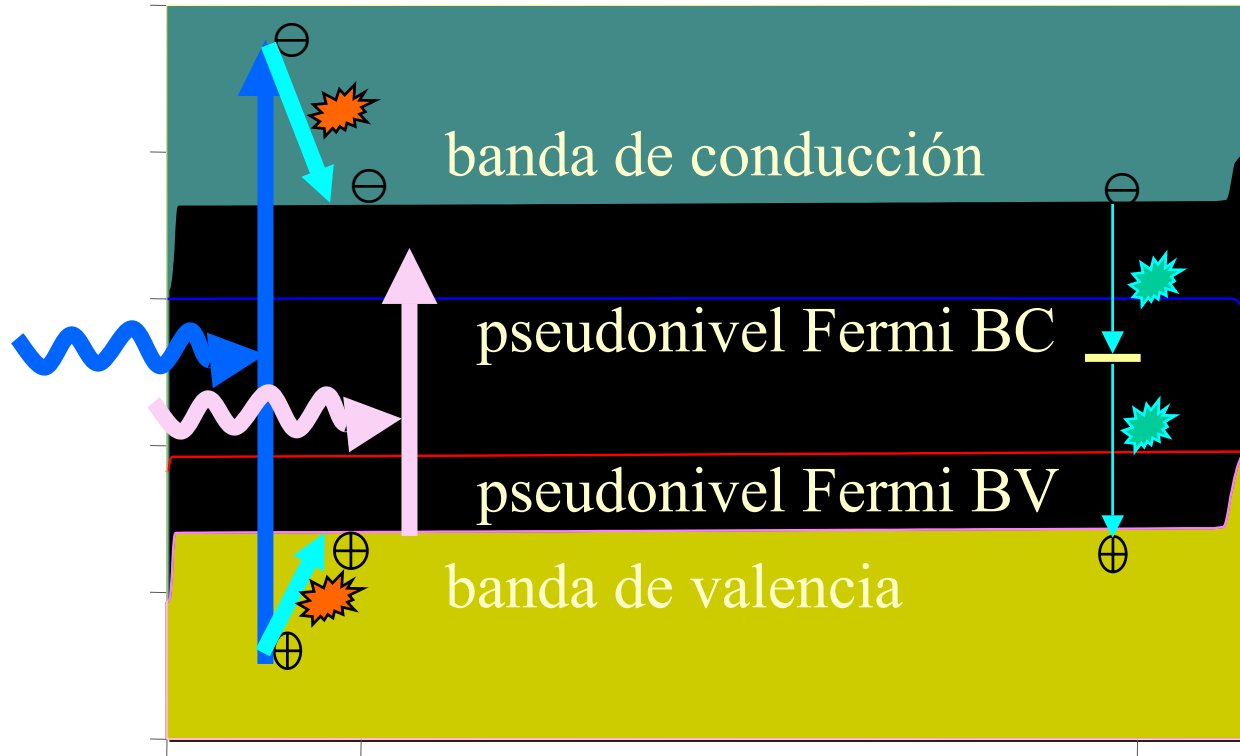


El efecto fotovoltaico

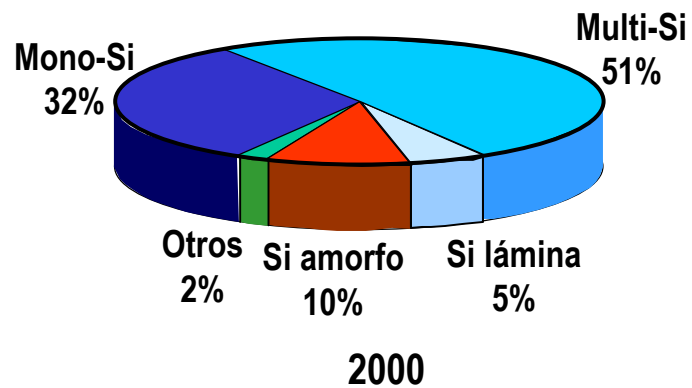
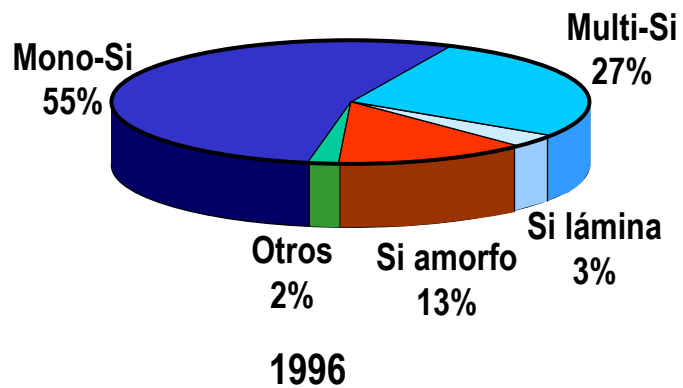
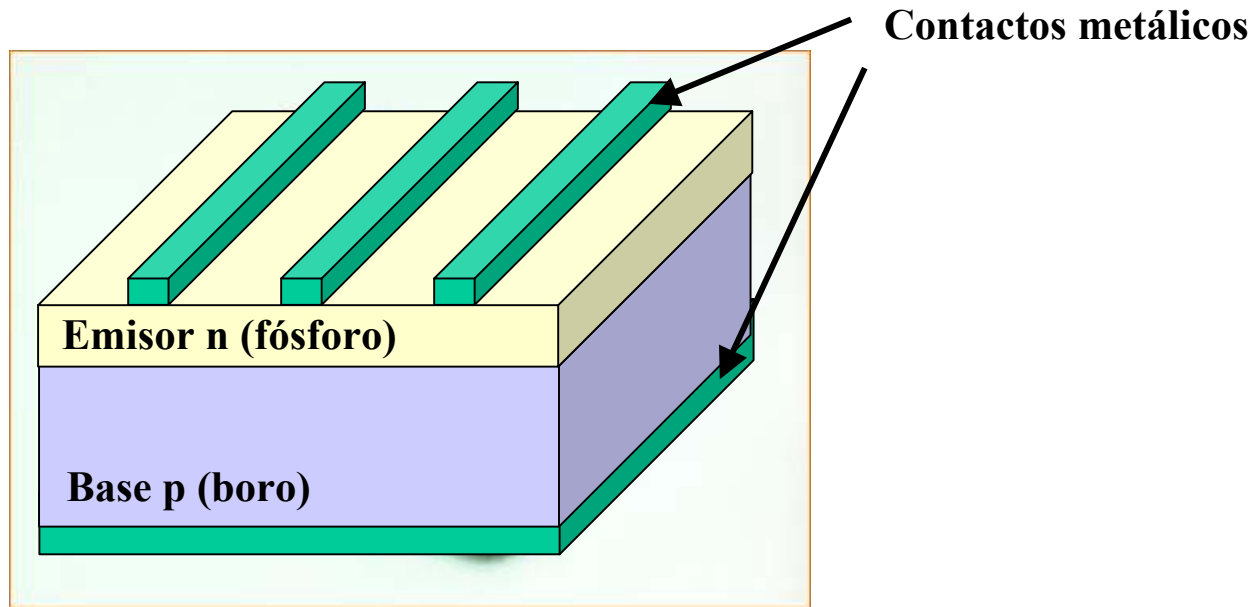


- Los fotones bombean electrones de la banda de valencia a la de conducción
- Contactos apropiados aseguran la entrega de los electrones de la banda de conducción a la carga, y su recuperación por la banda de valencia

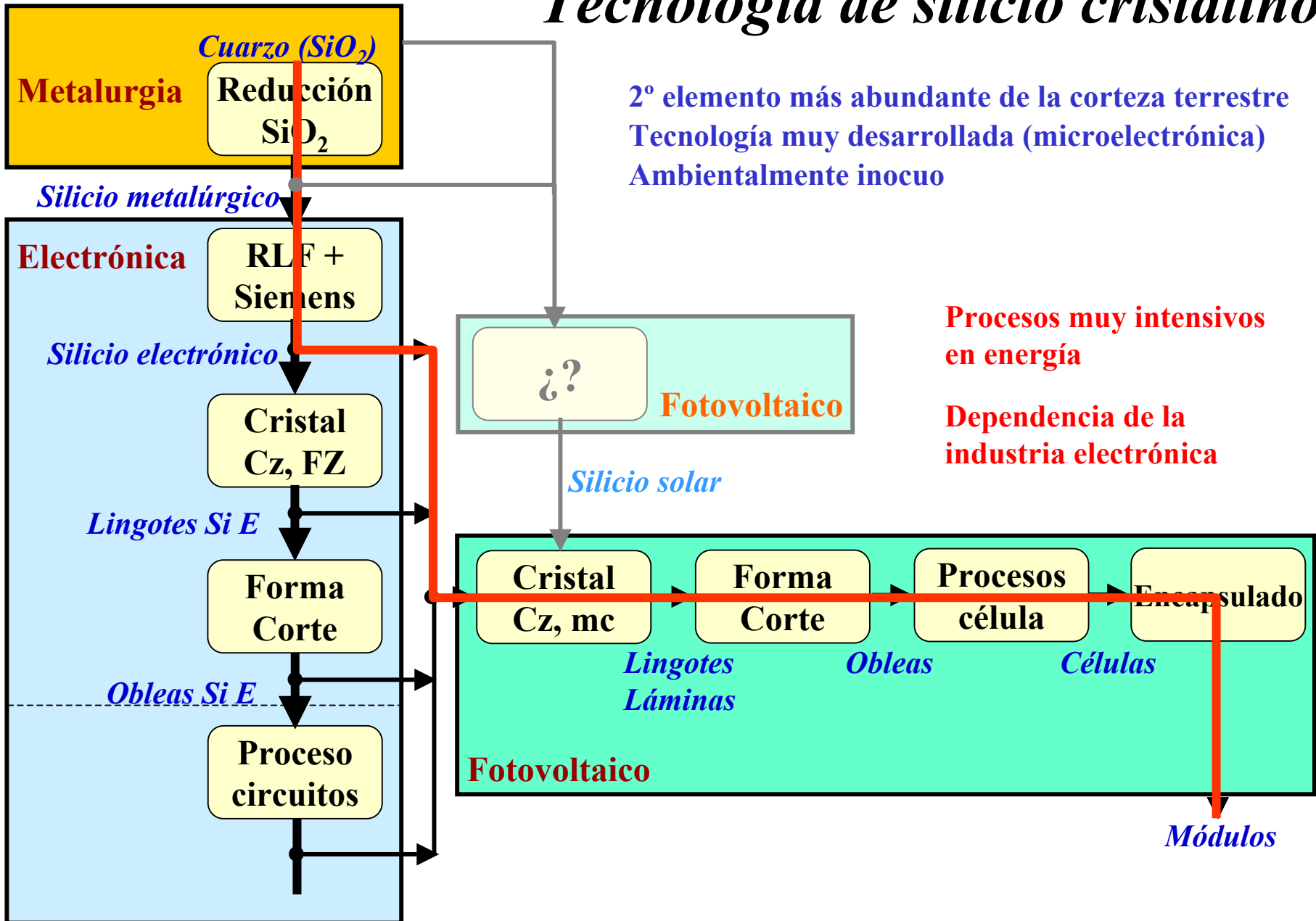
Pérdidas en las células



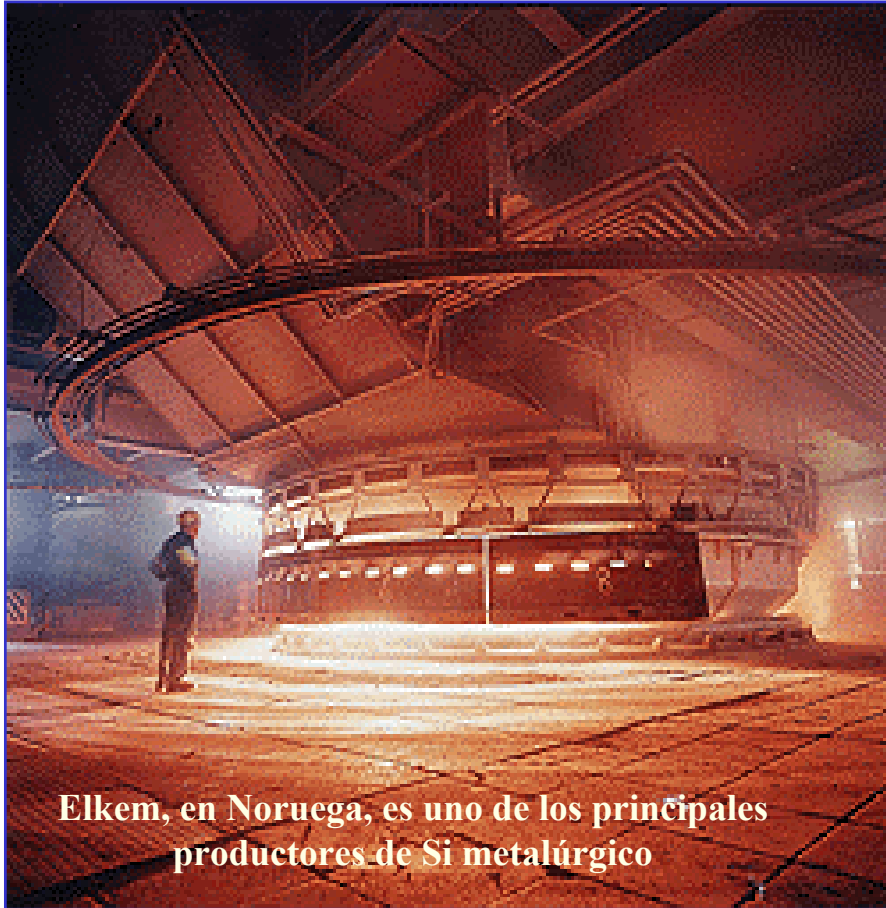
- **Generación:** No se aprovecha toda la energía de los fotones
- **Recombinación:** No todos los electrones bombeados se extraen



Tecnología de silicio cristalino



1 Producción de silicio de grado metalúrgico



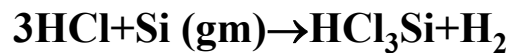
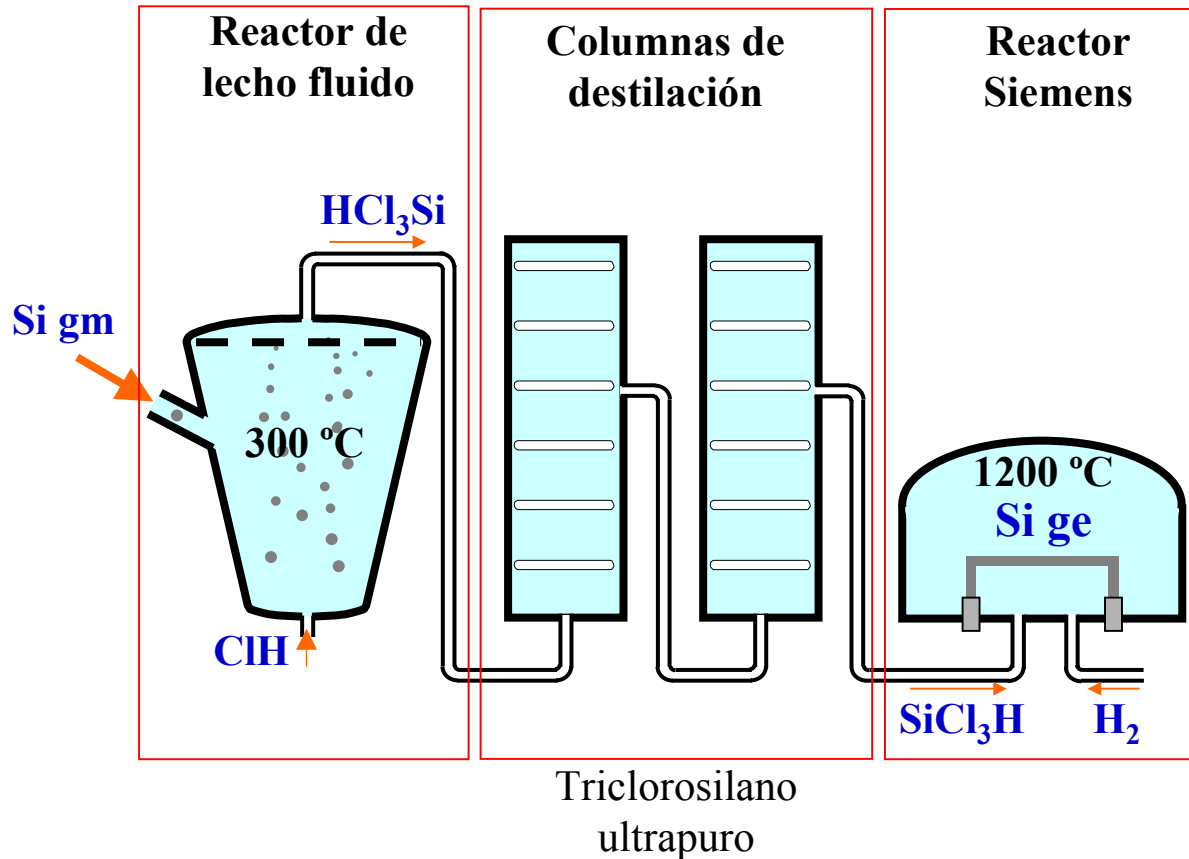
Elkem, en Noruega, es uno de los principales productores de Si metalúrgico



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



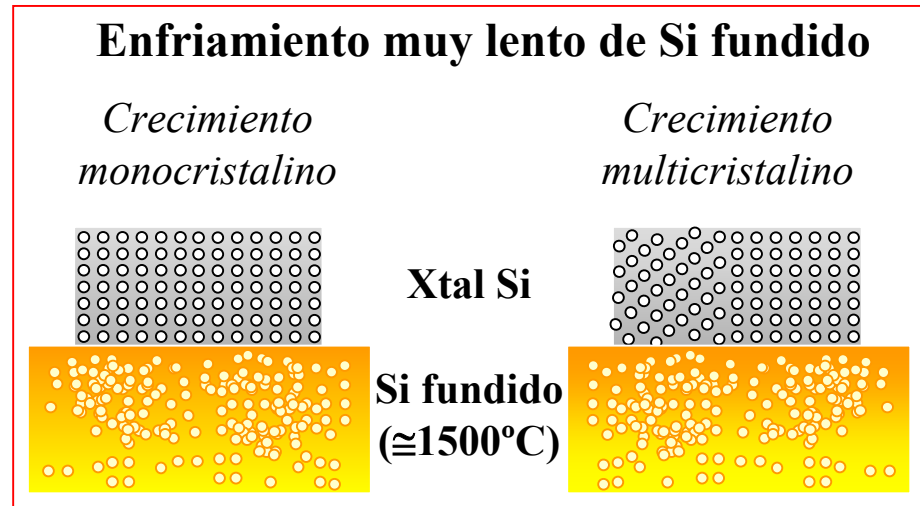
Silicio de grado electrónico



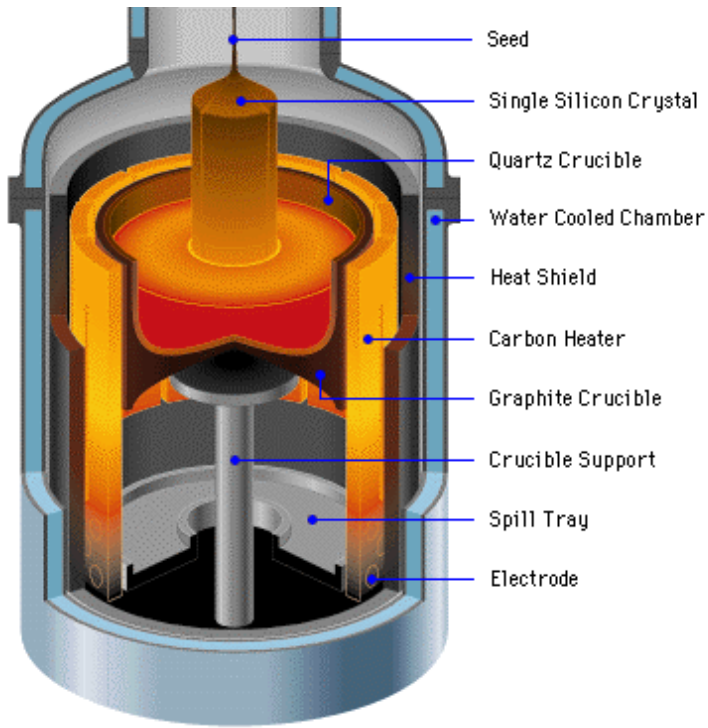
Columnas de destilación



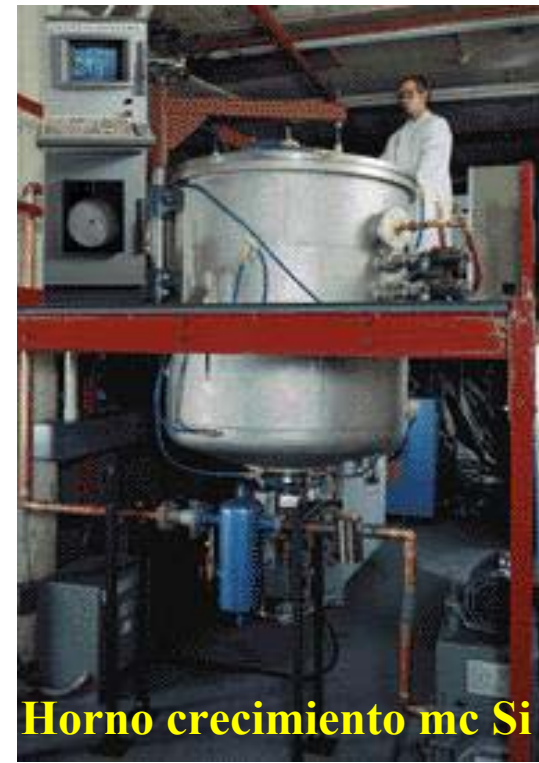
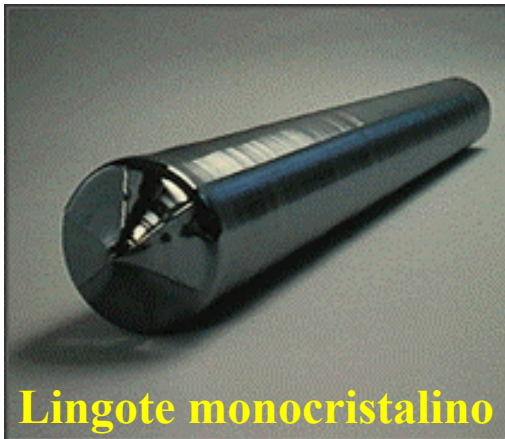
3 *Cristalización*



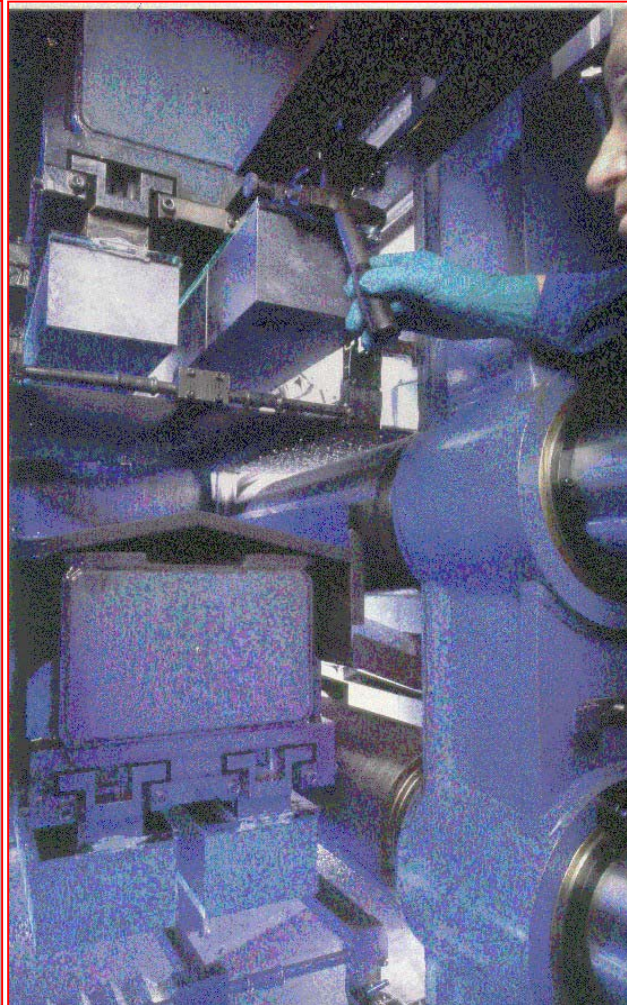
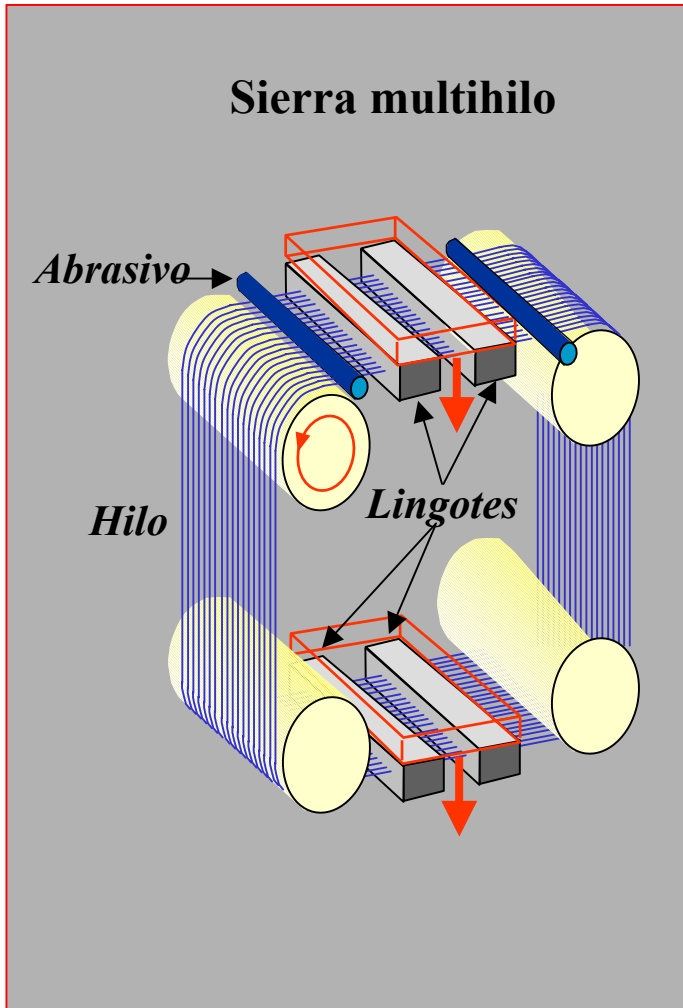
Gran consumo de energía



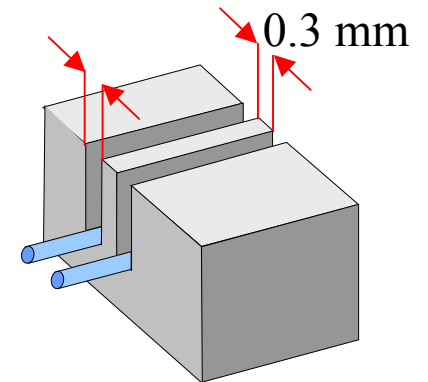
Método de crecimiento Czochralski



4 Fabricación de obleas

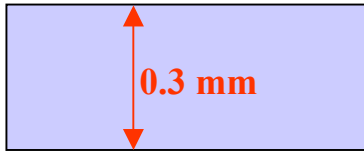


Pérdidas de material de casi el 50%



5 Fabricación de células (I)

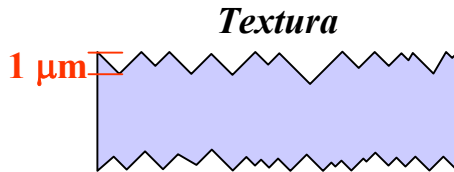
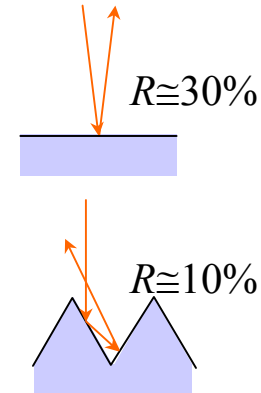
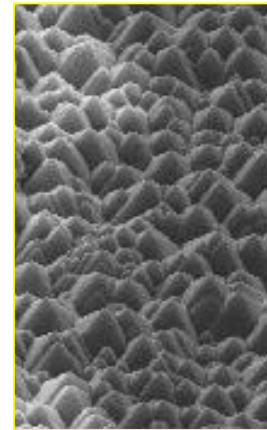
Obleas 100 cm² tipo p (B 10¹⁶ cm⁻³)



Limpieza inicial y decapado

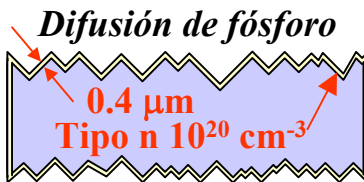


NaOH



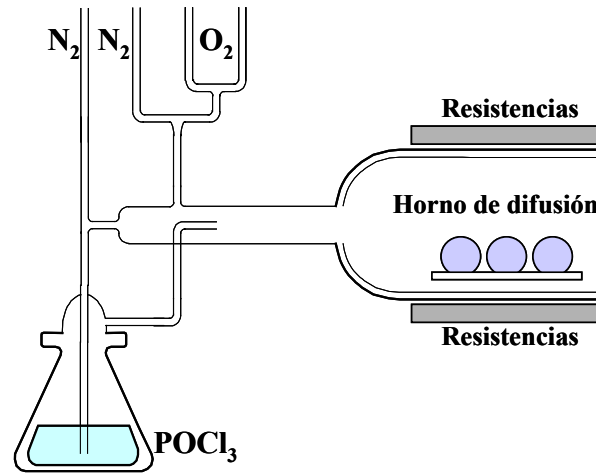
Baño NaOH
85 °C

Limpieza



900 °C, 1/2 h

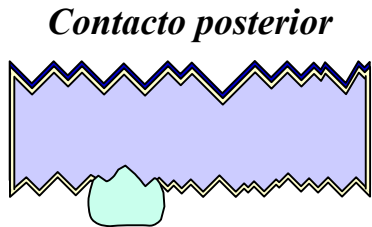
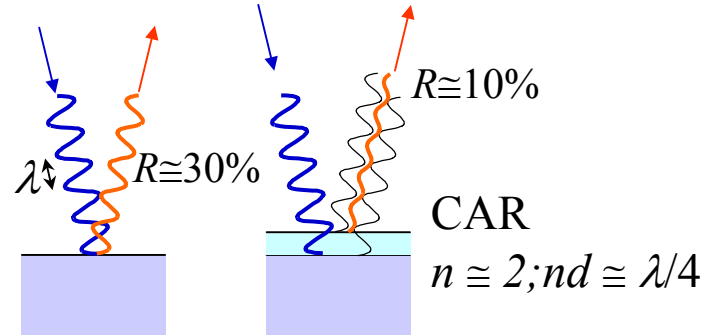
Limpieza



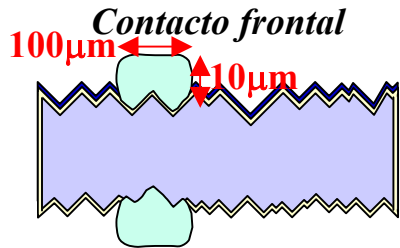
5 Fabricación de células (II)



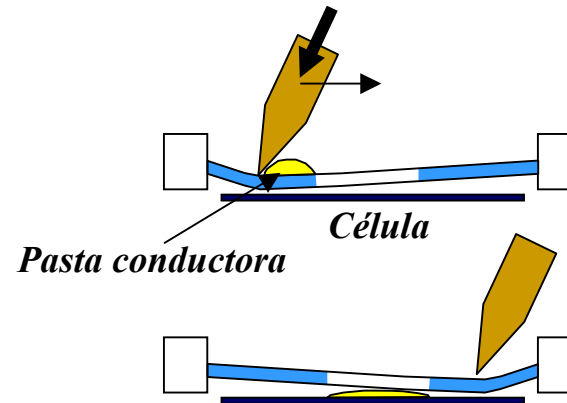
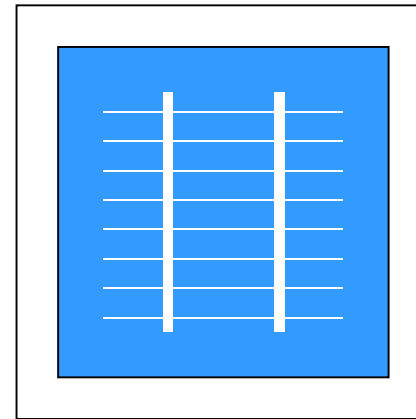
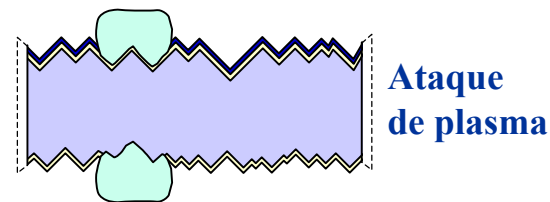
CVD
TiO₂



Depósito serigráfico
de pasta conductora
Quemado horno IR
(800°C, 10 min)



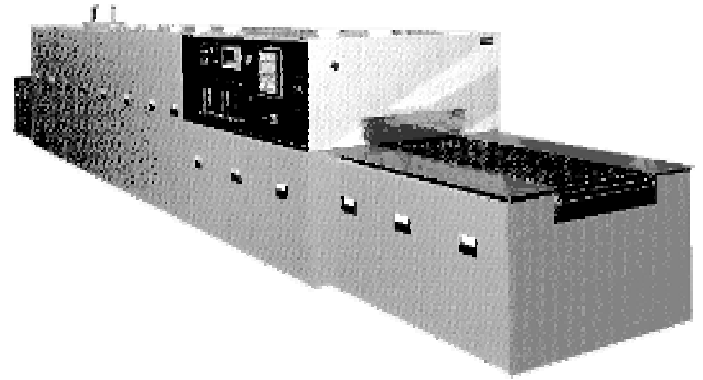
Ataque de bordes



Medida y clasificación



Serigrafiadora automática



Horno de cinta para quemado de pasta

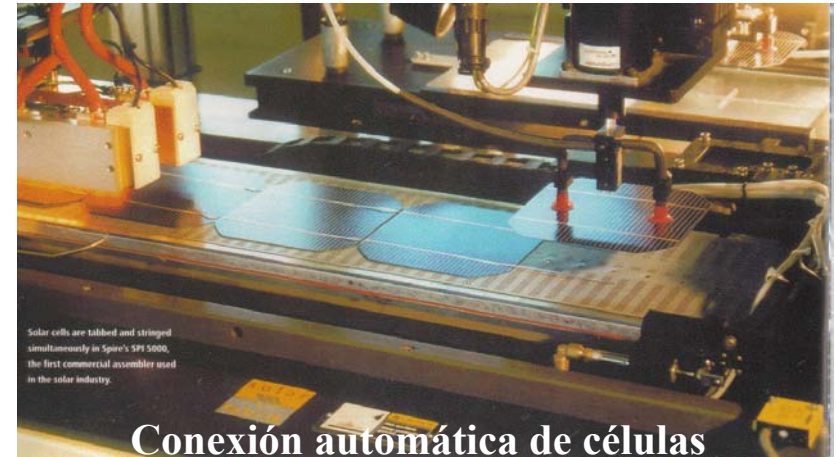
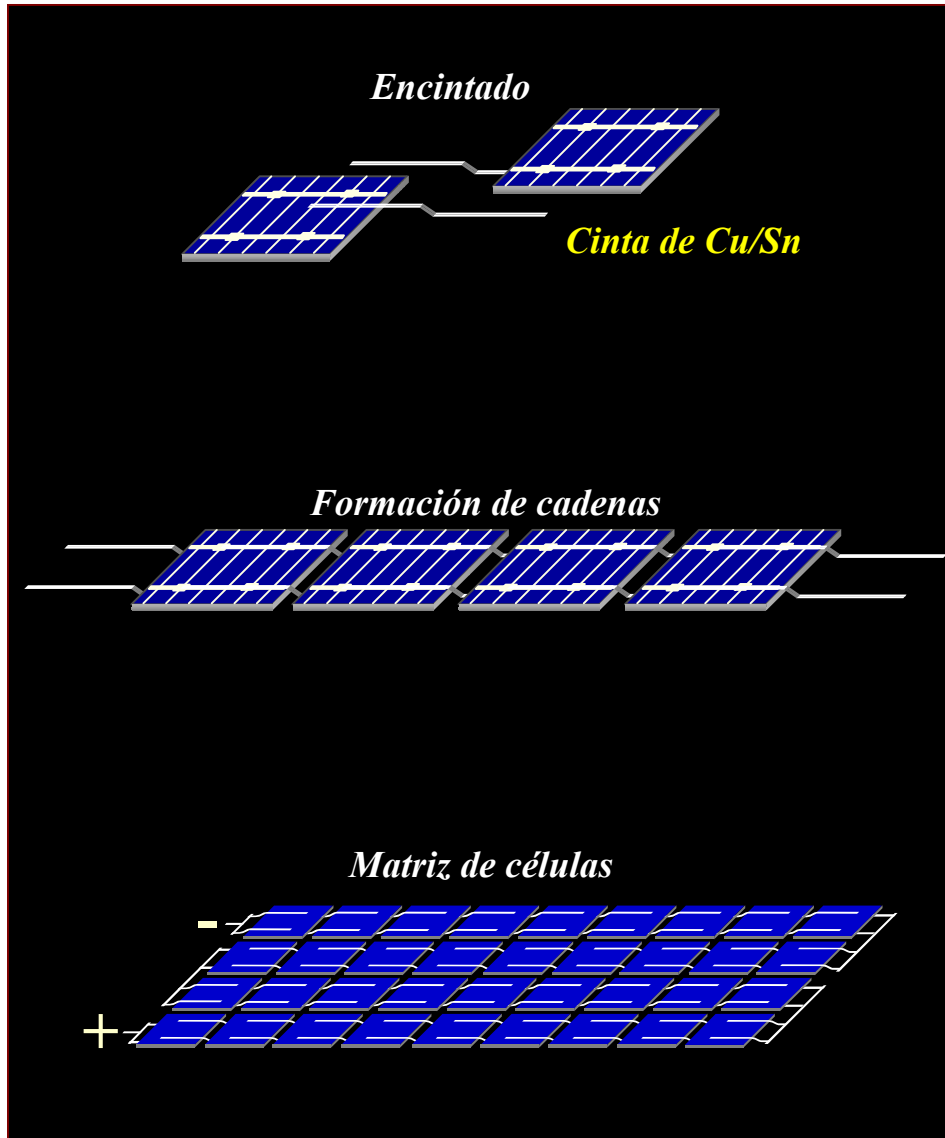


Factoría de Scanwafer (Noruega)

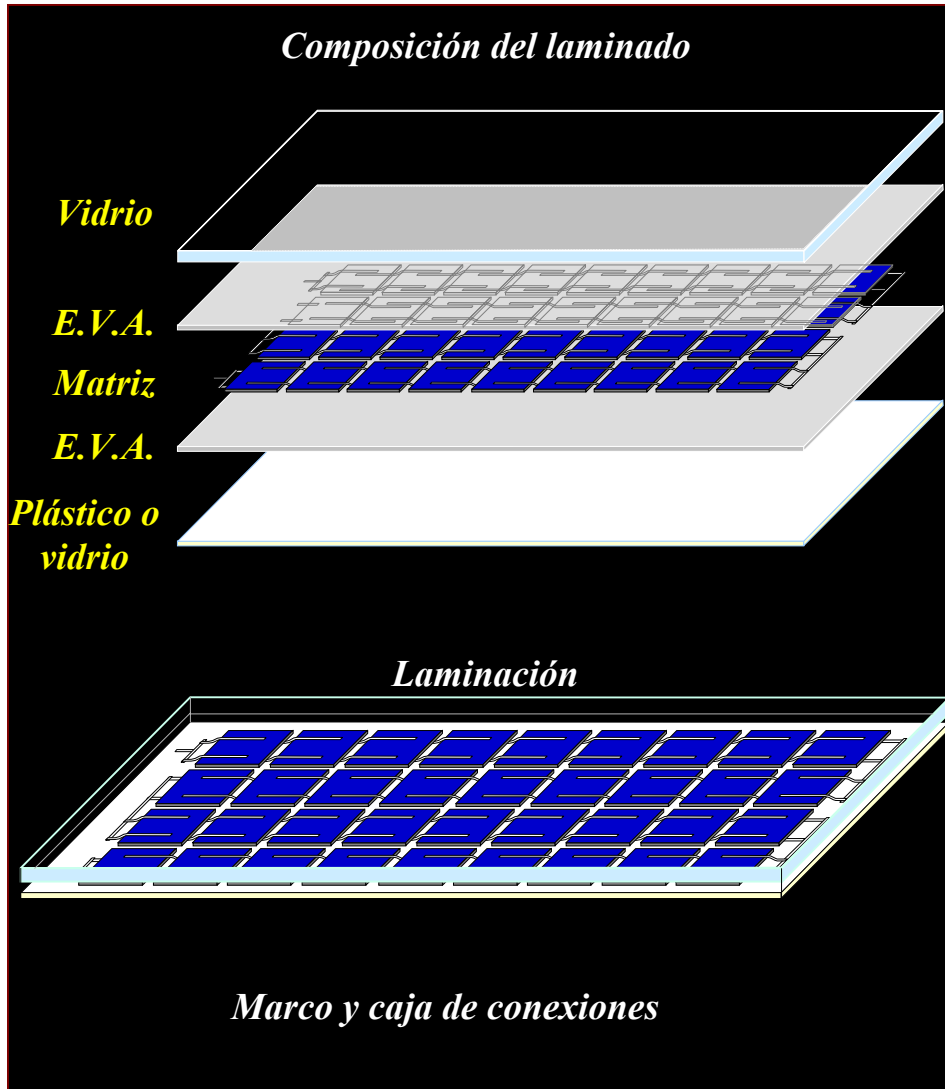


Tubos de difusión

6 Fabricación de módulos (I)



6 Fabricación de módulos (II)



Laminación:

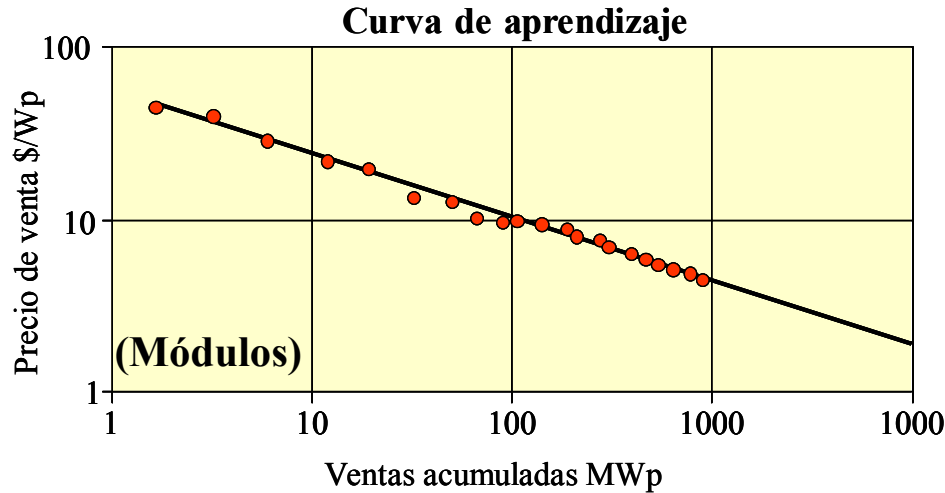
Presión a 100°C + Curado a 150°C:

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



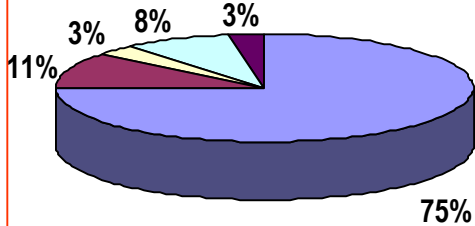
Laminadora

Coste



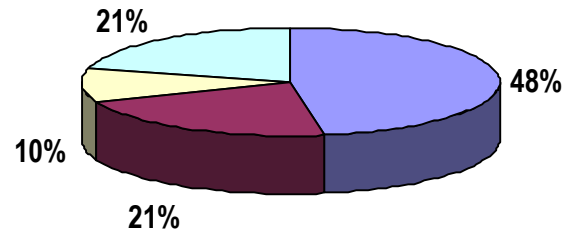
**Descenso continuado del coste del Wp
Para competir con fuentes
convencionales, se ha de reducir al
menos 5 veces**

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

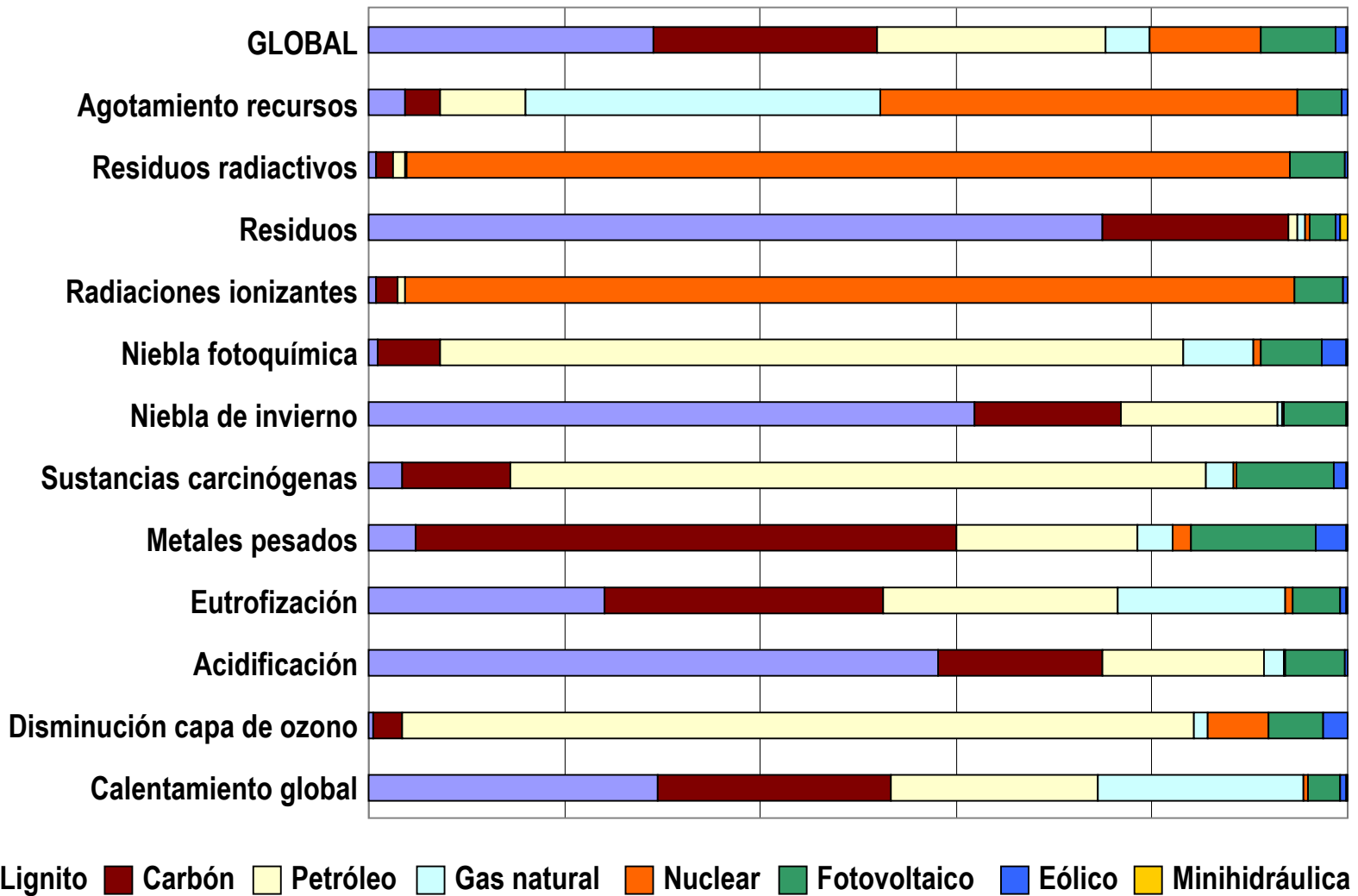
Emisiones evitadas por el uso de sistemas FV

- 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

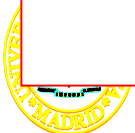


Análisis del Ciclo de Vida

Comparación entre tecnologías de generación eléctrica



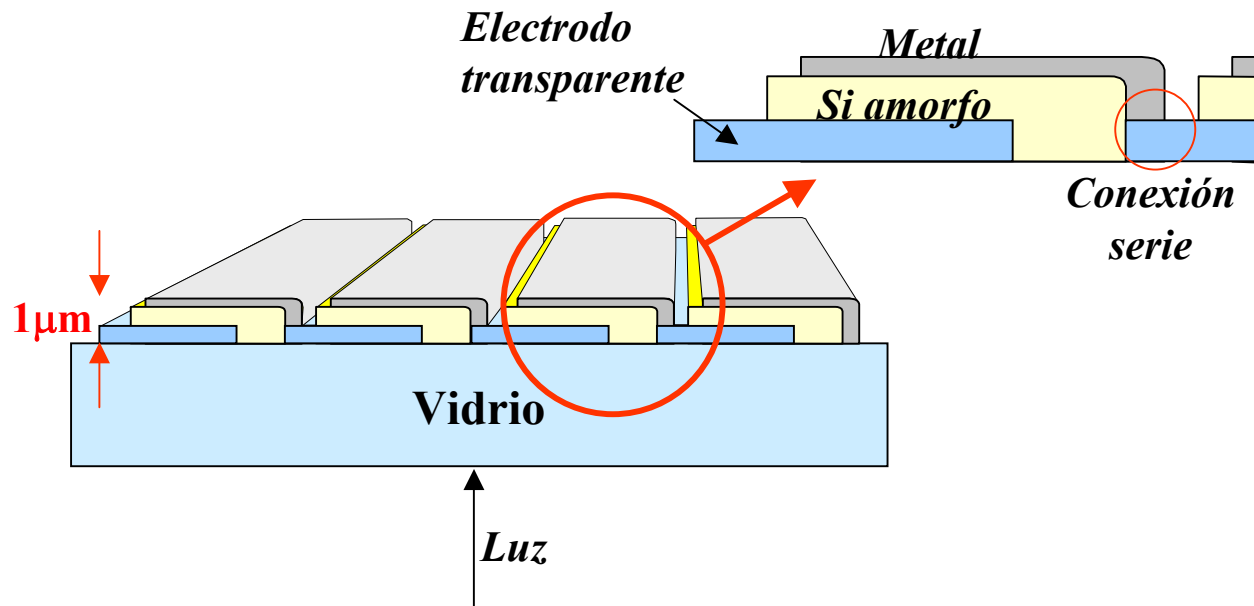
“Impactos ambientales de la producción eléctrica: análisis de ciclo de vida de ocho tecnologías de generación eléctrica”, IDAE 2000



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

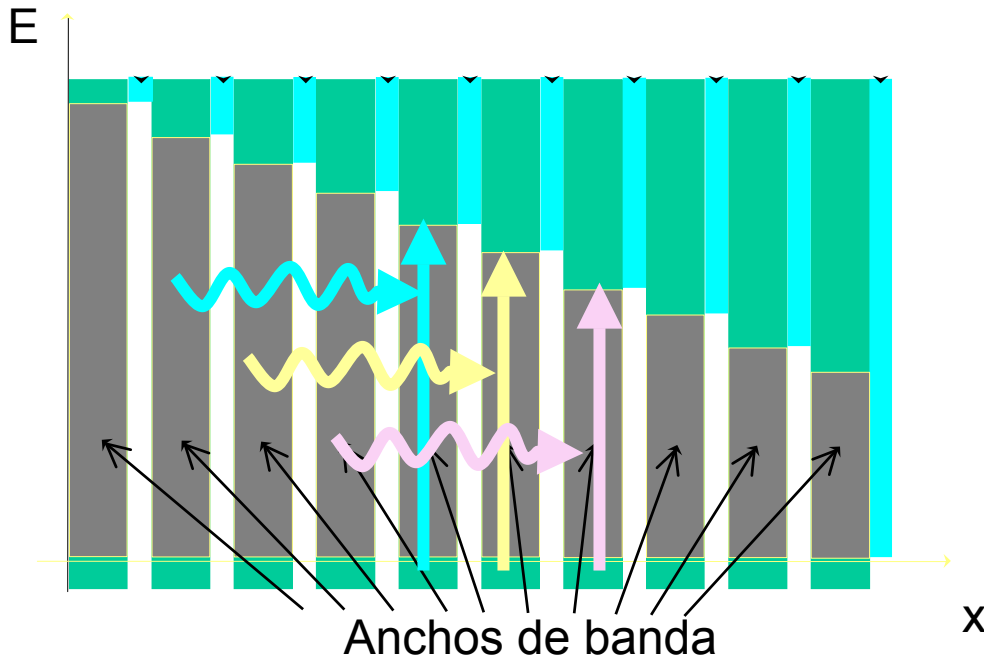
Baja eficiencia
~6% estable

CdS/CdTe, CIS

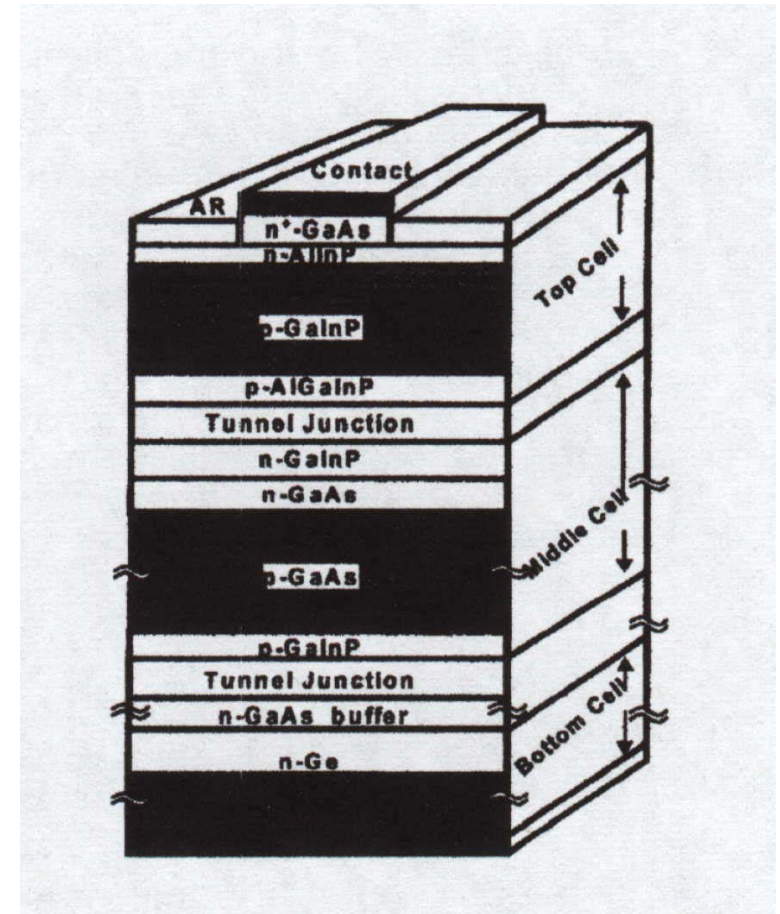
Escasez y toxicidad de los materiales

Nuevos conceptos: Células de tercera generación

- Células tándem

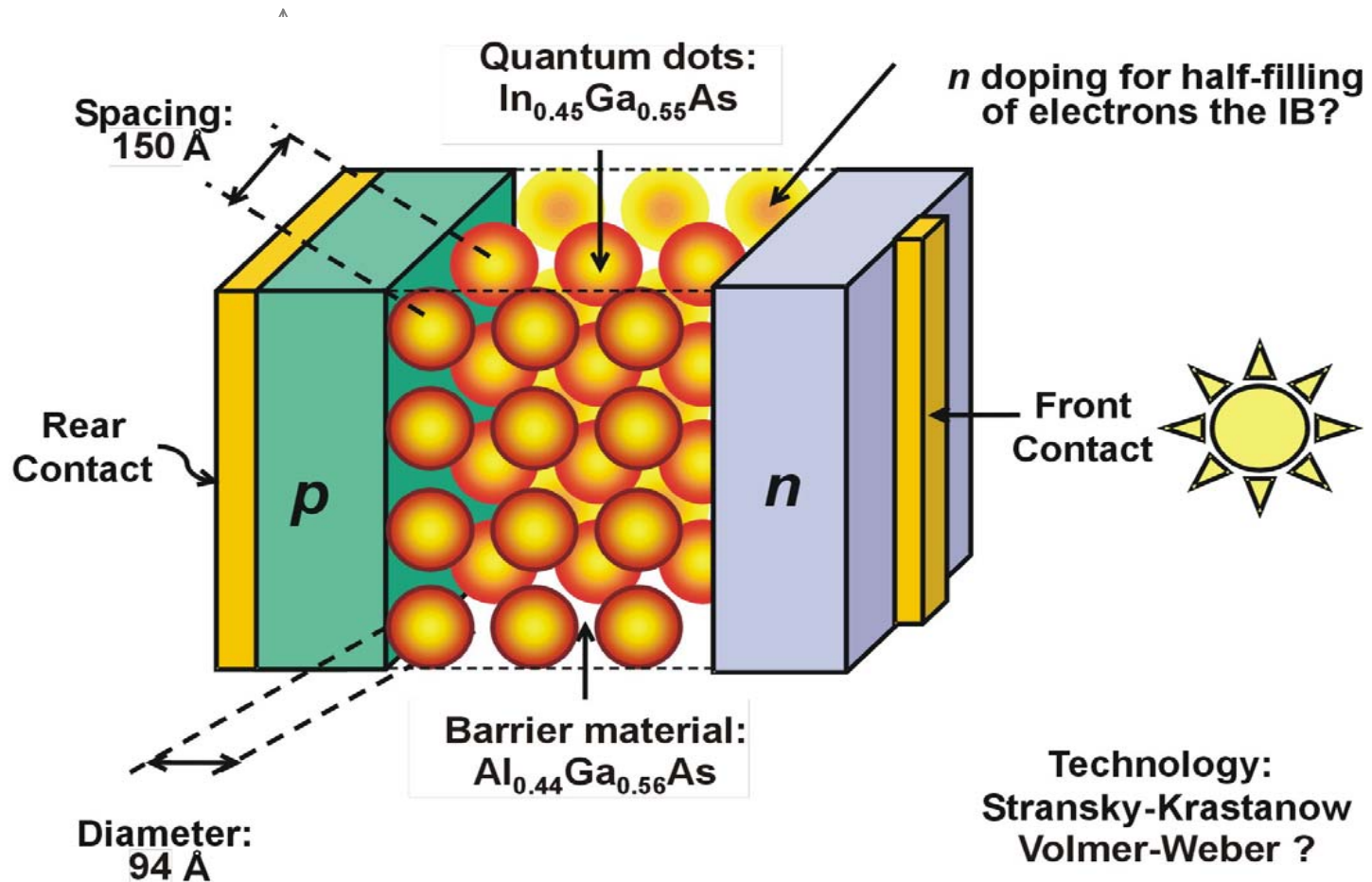


Límite teórico: $\eta=86,3\%$



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

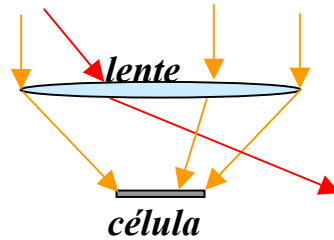
- **La célula solar de banda intermedia**



Límite de eficiencia: 63,3%

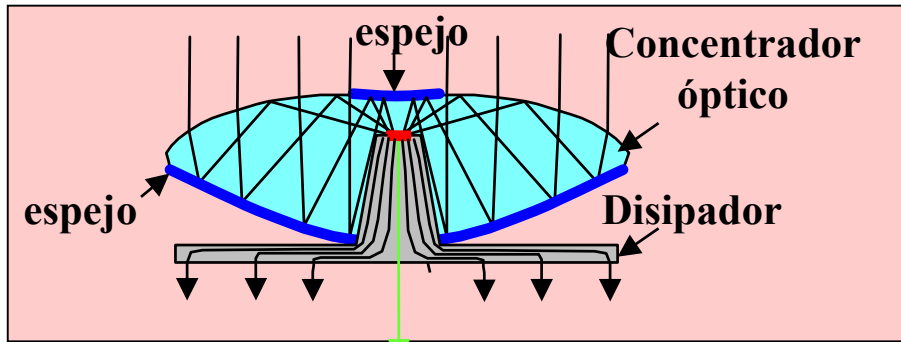


Aplicaciones terrestres: concentración

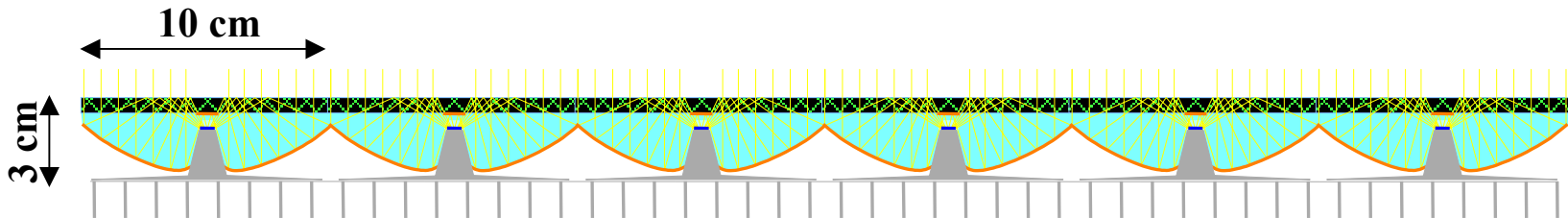


Se ahorra en área de célula y se sustituye por dispositivos ópticos (lentes o espejos)

1.000 soles = 1 MW/m²



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 3^a generación, de alto rendimiento, son necesarias para abrir camino a una electrificación solar masiva

