

ENERGIA SOLAR UNA ALTERNATIVA POTENCIAL EN CASTILLA LA MANCHA

FERNANDO RUEDA
ABRIL 2005

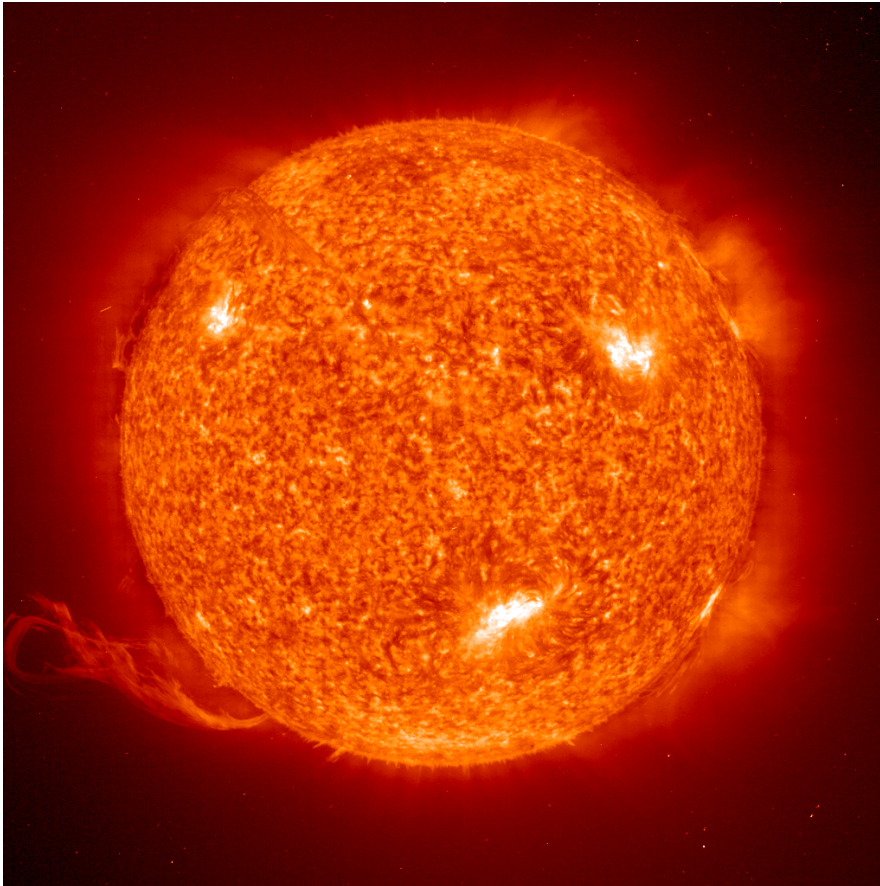
IBERDROLA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA, S.A.



IBERDROLA

Ingeniería y Consultoría, S.A.

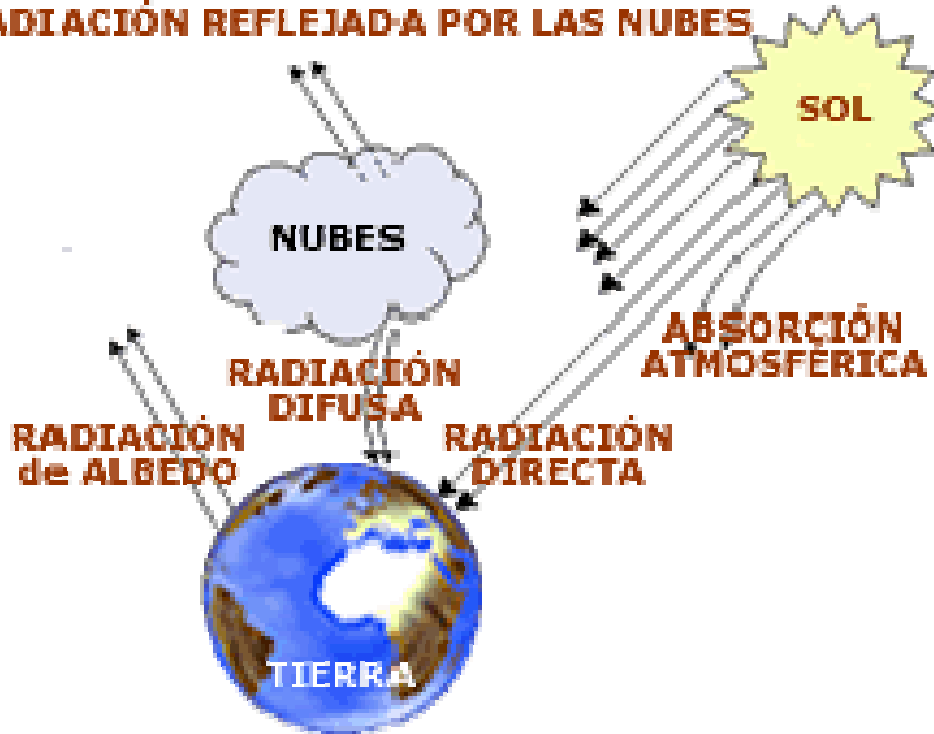
INDICE



- Radiación Solar
- Tecnologías
- Beneficios ambientales

RADIACION SOLAR

RADIACIÓN REFLEJADA POR LAS NUBES



- Radiación solar extraterrestre:
 $I_g = 1367 \text{ W/m}^2$
- Al atravesar la atmósfera:
 - Radiación Global.
 - Radiación Directa
 - Radiación difusa
 - Albedo
- En la práctica:
 - $I_b \approx 1000 \text{ W/m}^2$
 - Se puede concentrar

RADIACION SOLAR

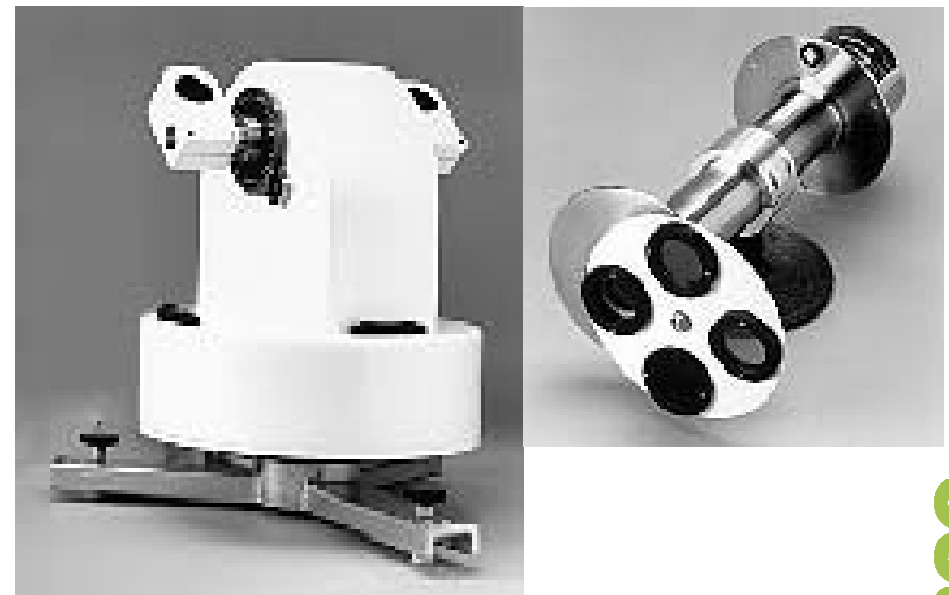
- MEDICION DE LA RADIACIÓN:

Piranómetro



Mide radiación **global**

Pirheliómetro



Mide radiación **directa**

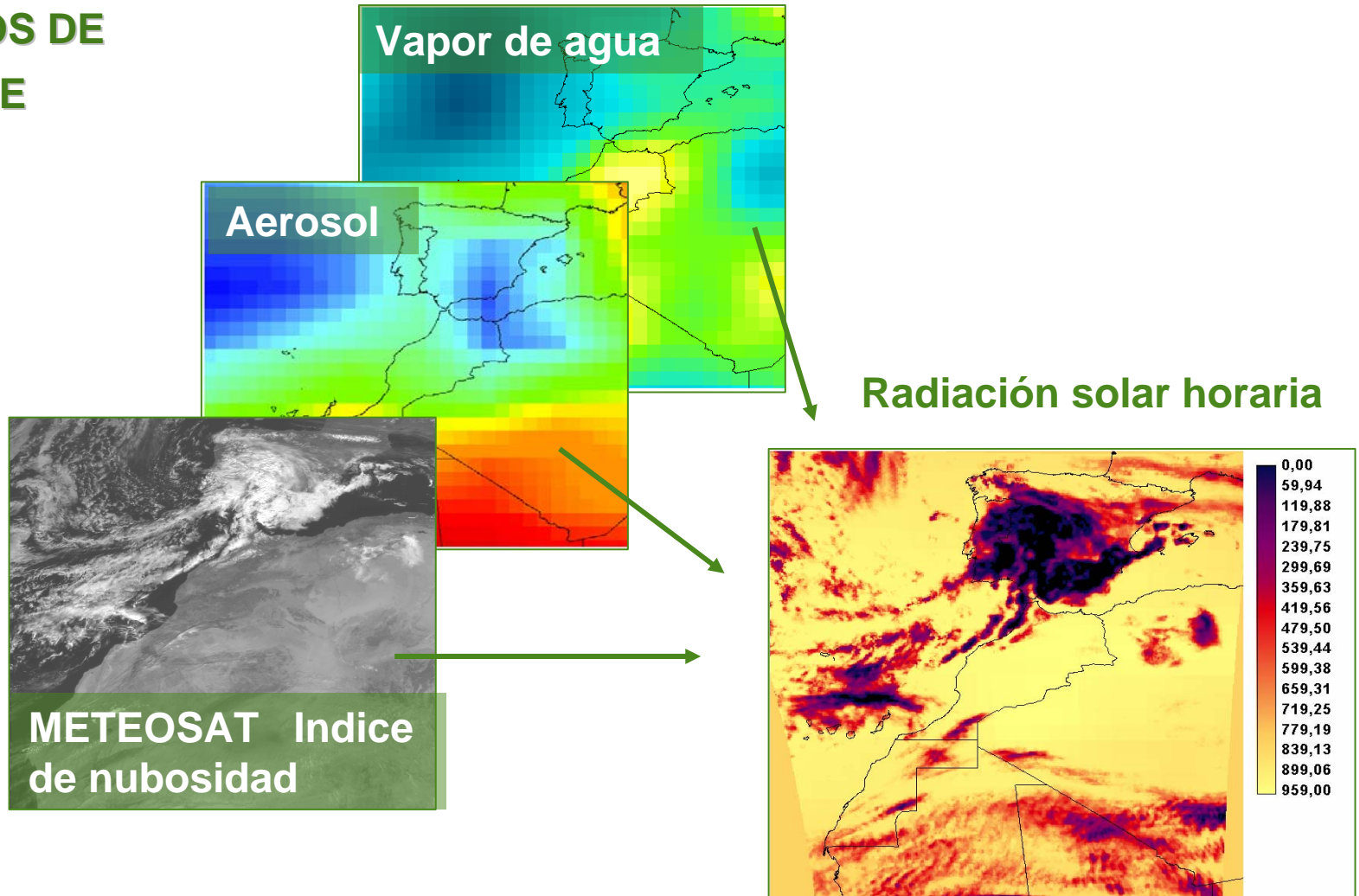
RADIACION SOLAR

ESTACIÓN METEOROLÓGICA



RADIACION SOLAR

MODELOS DE SATELITE

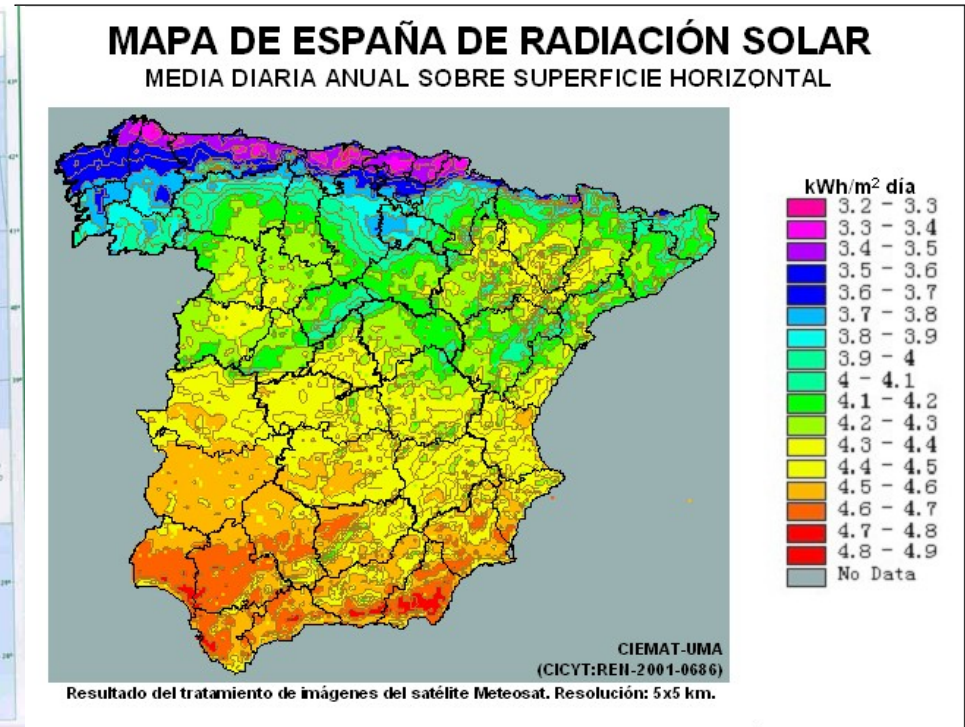


RADIACION SOLAR

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA



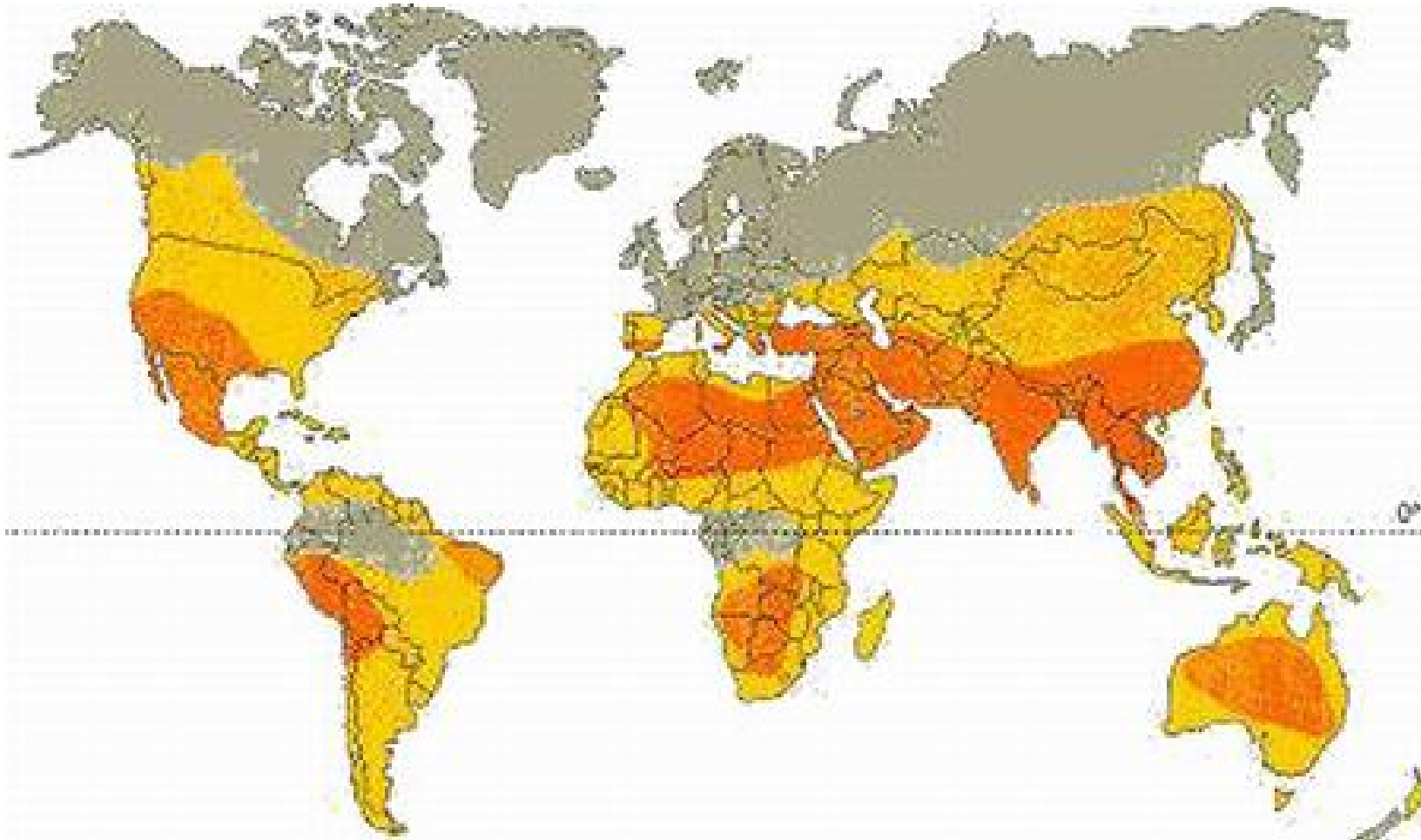
**Atlas de radiación global.
INM 1984.**



**Mapa de radiación de satélite.
CIEMAT 2001.**

RADIACION SOLAR

EN EL MUNDO



TECNOLOGÍAS



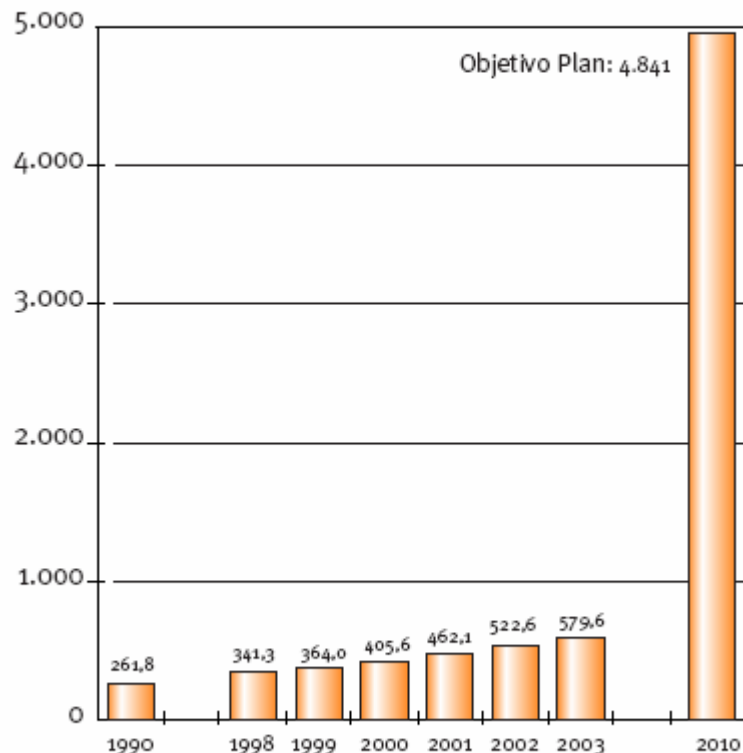
SOLAR TÉRMICA
Calentar un fluido



SOLAR FOTOVOLTAICA
Electricidad solar

BAJA TEMPERATURA

Superficie instalada de colectores solares y previsiones
(miles de m²)



Datos 2003 provisionales.

Fuente: IDAE.

- Objetivos PFER (2010):
4.500.000 m²
- Total hasta 2003:
580.000 m²
- Evolución actual:
60.000 m²/año
- Valores bajos pero posible cambio de ritmo (ordenanzas)
- Andalucía ⇒ La Comunidad más activa
- Castilla la Mancha ⇒ Poca actividad pero gran potencial.

TECNOLOGÍAS - TÉRMICA

- **BAJA TEMPERATURA.**

- HASTA **120 °C** APROX.
- MULTITUD DE TIPOLOGÍAS.
- USOS DOMÉSTICOS.
 - AGUA CALIENTE
 - CALENTAMIENTO PISCINAS
 - CALEFACCIÓN
 - AIRE ACONDICIONADO
- USOS INDUSTRIALES.
 - POCO EXTENDIDO.

- **ALTA TEMPERATURA**

- A PARTIR DE **300 °C**.
- GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD – APLICACIÓN PRINCIPAL
- USOS INDUSTRIALES – APLICACIONES PUNTUALES

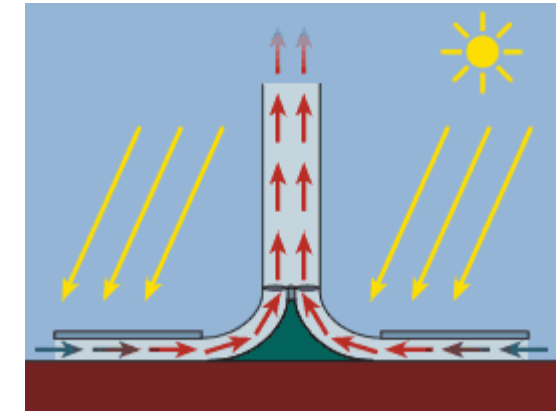
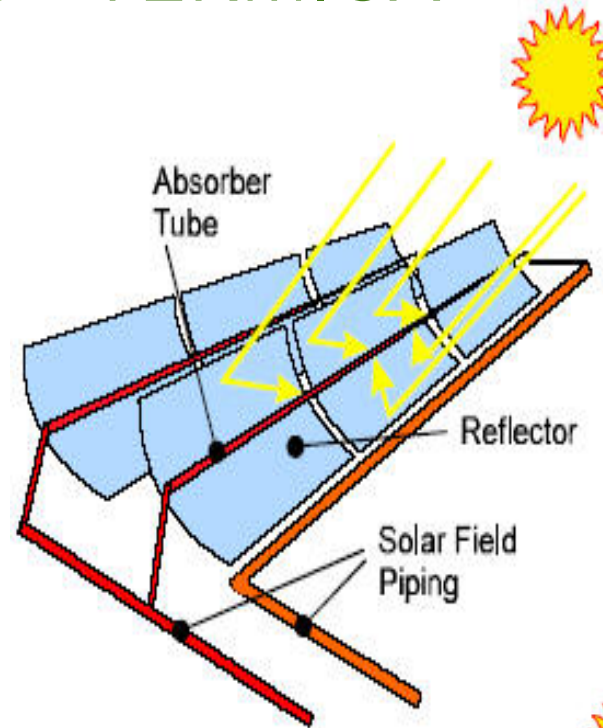
ALTA TEMPERATURA

- Objetivos **PFER (2010):** **200 MW**
- RD 436/2004 \Rightarrow 300% de la Tarifa media (7,3 c€/kWh) \Rightarrow 21,9 c€/kWh
- Ninguna planta en ejecución hasta el momento.
- Existen diversas iniciativas en España, que ya superan con creces los objetivos del PFER (posible incremento de objetivos a corto plazo).
- Gran potencial en Andalucía, Murcia y sur de Extremadura.
- Castilla la Mancha \Rightarrow Puede haber sitios que superen el umbral mínimo de radiación en Ciudad Real, Albacete o Toledo.

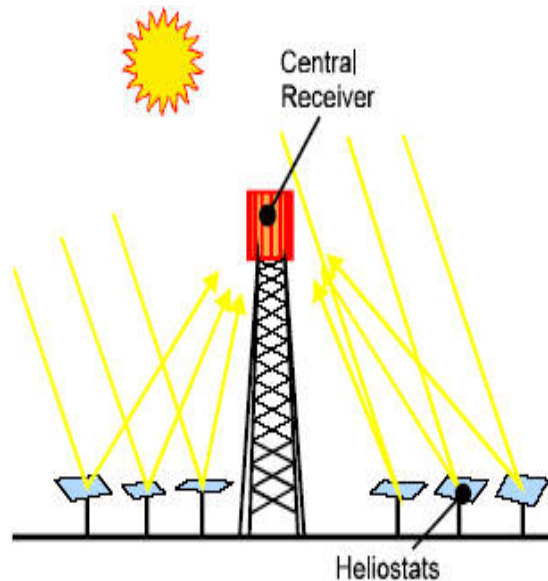
ALTA TEMPERATURA – SOLAR TERMOELÉCTRICA

- Concentran la radiación solar \Rightarrow altas temperaturas de fluido.
- Sólo se puede concentrar la radiación solar directa.
- Las tecnologías más usadas actualmente:
 1. Concentradores cilindro-parabólicos.
 2. Sistemas de torre central.
 3. Discos parabólicos.
 4. Chimenea solar.

TECNOLOGÍAS - TÉRMICA

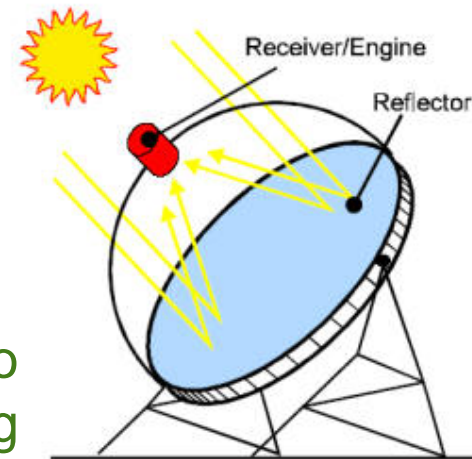


Chimenea solar



Cilindro-parabólicos

Torre central



Disco Stirling

- **Concentradores cilindro-parabólicos**

Concentran la radiación en un tubo ubicado en el foco de una parábola.

Las parábolas, siguen al sol en **UN SOLO EJE**.

Factor de concentración de la radiación entre 30 y 80 veces.

En fase comercial

- **Sistema de torre central**

Concentran la radiación en un receptor ubicado en lo alto de una torre. Para ello, se utilizan espejos (heliostatos), que siguen al sol en **DOS EJES**.

Factor de concentración entre 200 y 1000 veces.

En desarrollo

- **Discos parabólicos**

Un disco parabólico que sigue al sol en **DOS EJES**, concentra la radiación en el foco caliente de un motor Stirling.

Factor de concentración entre 1000 y 4000 veces.

En desarrollo

- **Chimenea solar**

Chimenea, invernadero y turbina eólica. El aire caliente circula por convección natural a través de una turbina eólica en la base de una chimenea de gran altura.

No hay concentración ni seguimiento solar.

En desarrollo

TECNOLOGÍAS – TÉRMICA

Concentradores Cilindro-Parabólicos

ANTECEDENTES: *Plantas SEGS (Solar Electricity Generating System)*



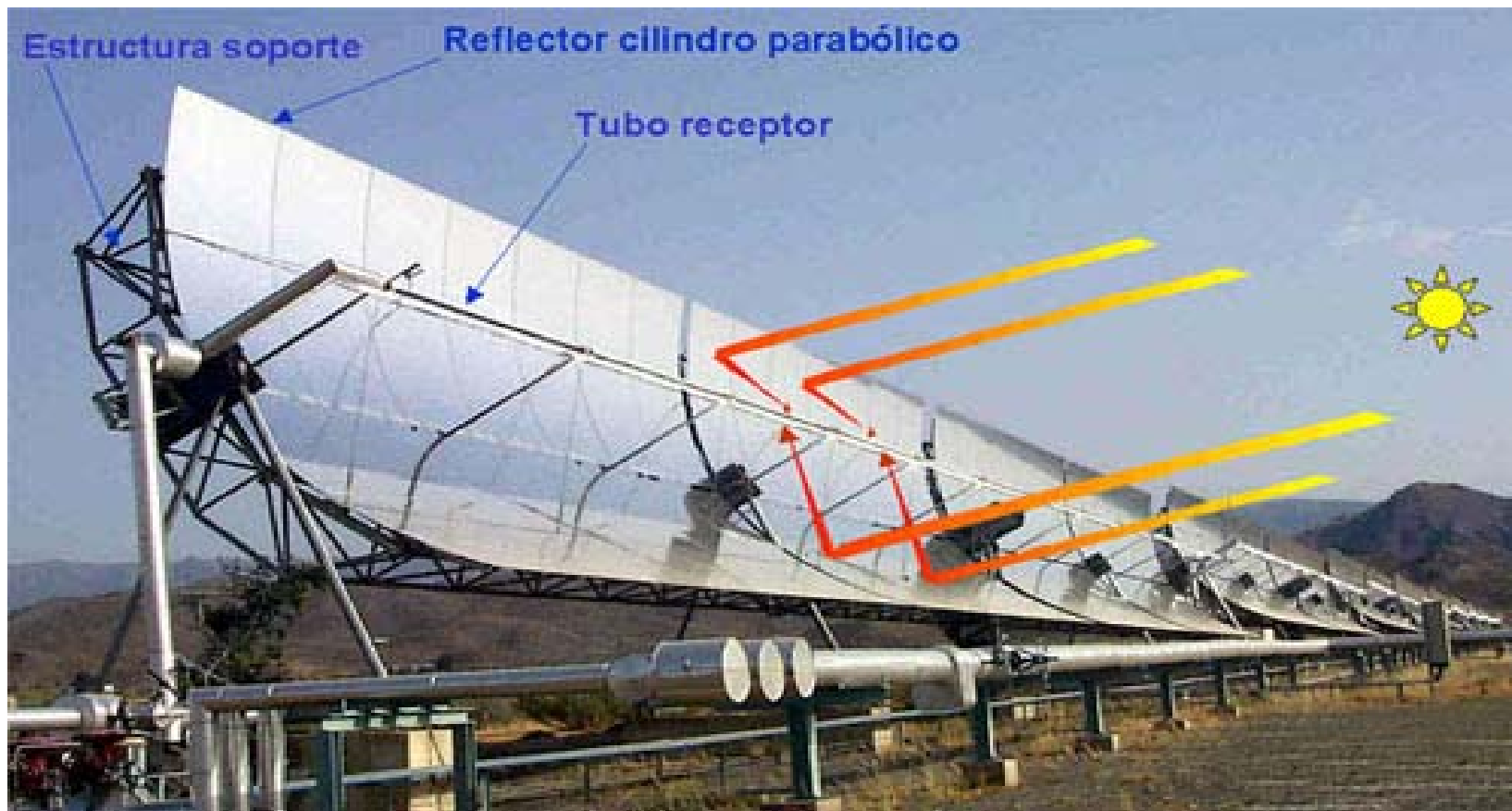
- Nueve plantas en total (354 MWe):
 - SEGS I, 14 MW.
 - SEGS II a VII, 30 MW.
 - SEGS VIII y IX, 80 MW.
- Primera planta puesta en marcha en 1984.
- Han generado más de 10.000.000 de MWh.
- Más de 25.000 horas en operación.

TECNOLOGÍAS – TÉRMICA

Concentradores Cilindro-Parabólicos

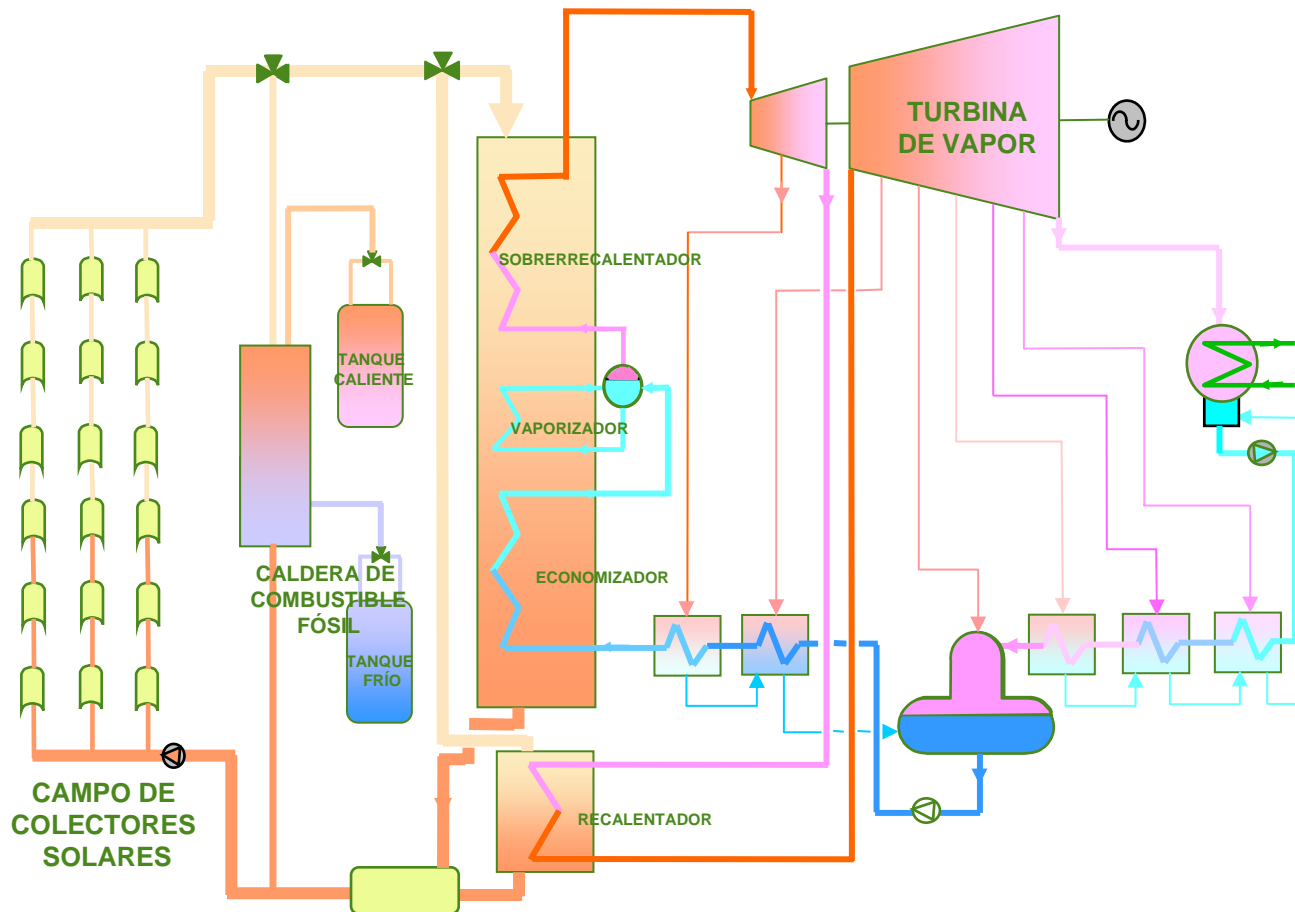
Principio fundamental:

Convertir energía solar en energía eléctrica



TECNOLOGÍAS - TÉRMICA

Concentradores Cilindro-Parabólicos



Principio de funcionamiento:

1. El campo solar calienta aceite (HTF)
2. Con el aceite se genera vapor.
3. Con el vapor se genera electricidad.

Opciones:

- A. Almacenamiento Térmico.
- B. Hibridación con Combustible Fósil.

TECNOLOGÍAS - TÉRMICA

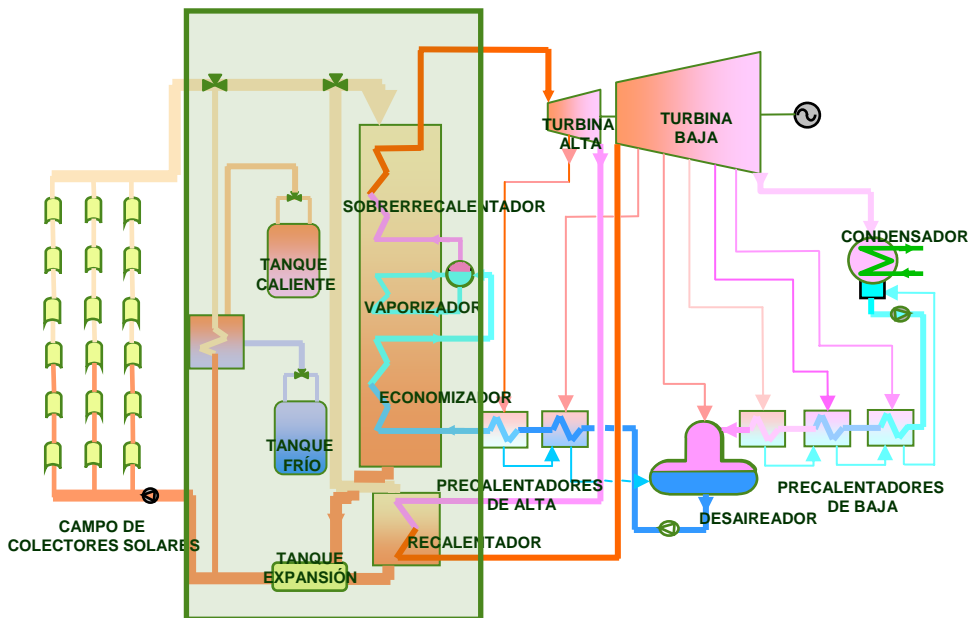
Concentradores Cilindro-Parabólicos

Evolución tecnológica

Plantas **DSG** (Direct Steam Generation).

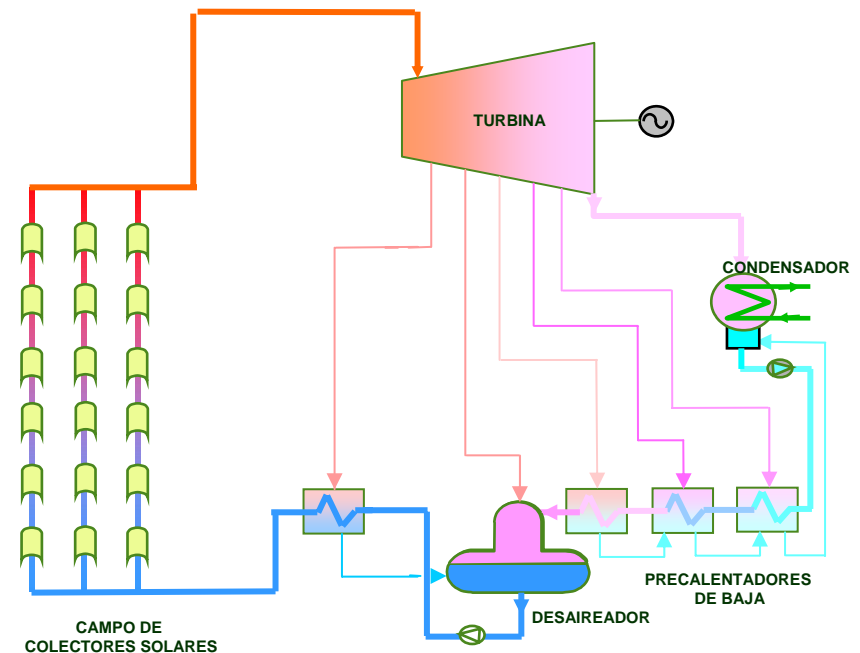
- Eliminar el aceite térmico \Rightarrow Generar vapor directamente en el tubo absorbedor
- No hay antecedente comercial, pero sí planta piloto (Almería, en operación desde 1998)

Planta SEGS con aceite



SE ELIMINA

Planta DSG con agua-vapor



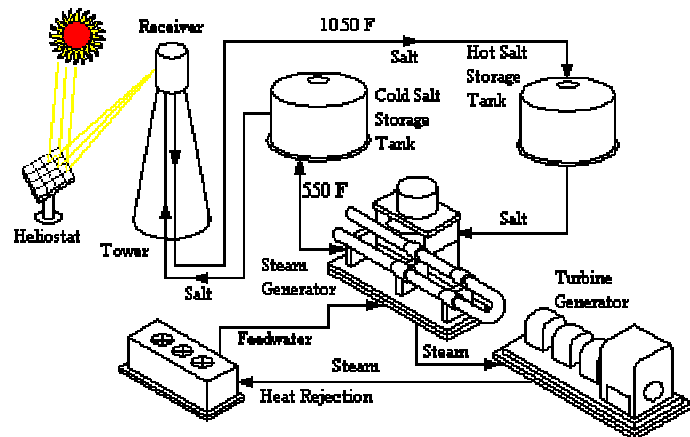
TECNOLOGÍAS – TÉRMICA

Torre central

Sistema de Torre Central



- Existió planta demostración (Solar Two, 10 MWe) en Dagget, California.
- Primera planta comercial del mundo en ejecución (PS10 Sevilla, 10 MWe).
- Principio básico:
 - Un campo de heliostatos concentra la radiación en un receptor situado en la parte alta de una torre. Por el receptor se hace circular un fluido que se calienta a elevada temperatura, lo que permite generar vapor. El vapor se utiliza en una turbina para generar electricidad.
 - En la planta PS10, se utiliza un receptor que concentra la radiación en unos tubos en cuyo interior se genera vapor directamente. Este vapor se lleva a turbina para generar electricidad.



TECNOLOGÍAS – TÉRMICA

Disco Stirling

Disco parabólico



- No existe antecedente comercial a gran escala.
- Se han comercializado diversos prototipos de potencias entre 10 y 25 kWe.
- Principio básico:
 - Un disco parabólico concentra la radiación solar, que incide en un receptor ubicado en el foco del disco. Adosado a dicho receptor existe un intercambiador de calor que calienta el fluido de trabajo (Helio o Hidrógeno). El fluido a alta presión y temperatura se expande en los pistones de un motor de tipo Stirling, el cual mueve el eje de un pequeño generador eléctrico.
 - Cada unidad es autónoma y genera entre 10 y 25 kWe.

TECNOLOGÍAS – TÉRMICA

Comparación

	Cilindro parabólicos	Centrales de torre	Disco/motor
Tamaño (MW)	30-80	10-15	5-15 *10 ⁻³
Temperatura operación	390 °C	565 °C	750 °C
Estado comercial	Comercial	Demostración	Prototipos
Riesgo tecnológico	Bajo	Medio	Alto
Inversión (€/kW)	3.702	4.074	11.659
O&M (€/MWh)	9,26 €	6,49 €	18,63 €

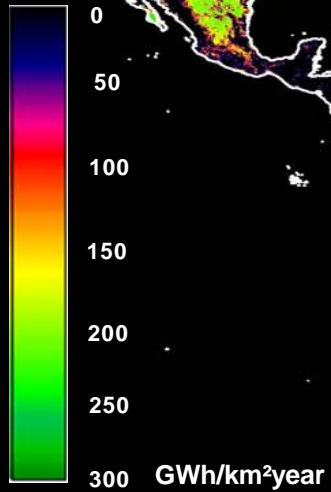
TECNOLOGÍAS – TÉRMICA

Chimenea Solar



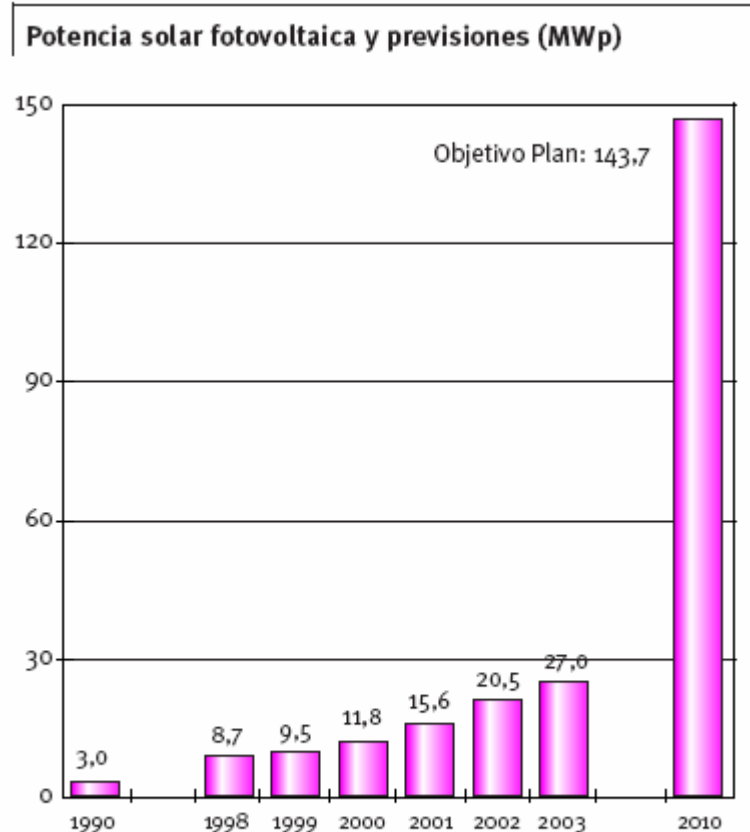
- Manzanares 1981-1989
- Altura: 195 m
- Diámetro chimenea: 10 m
- Diámetro captación: 240 m
- Peso torre: 200 t
- Potencia: 50 kW
- Principio básico
 - Un amplio techo de vidrio abierto por el perímetro, calienta el aire debajo de él por efecto invernadero. En el centro del techo de vidrio se sitúa una gran chimenea por la que circula el aire, moviendo una turbina eólica.
 - No se requiere agua para funcionar.
 - Gran sencillez de operación.

Potencial



Demanda

light emissions as indicator for electricity demand



Datos 2003 provisionales.
Fuente: IDAE.

- Objetivos PFER (2010):
143,7 MW
- Total hasta 2003:
27 MW
- RD 436 \Rightarrow 575% \Rightarrow 42 c€/kWh
(límite <100 kW)
- Crecimiento vertiginoso.
- Escasez de silicio posible obstaculo
- Regulado por subvenciones.
- Navarra y Cataluña, las principales.
- En 2004, se ha detectado gran actividad en Andalucía y Castilla la Mancha.

TECNOLOGÍAS - FOTOVOLTAICA

- TIPOS DE **PANELES FV**
 - SILICIO POLICRISTALINO / MONOCRISTALINO
 - CÉLULAS MULTIUNIÓN.
 - OTRAS TECNOLOGÍAS.

- TIPOS DE **INSTALACIONES**
 - SISTEMAS ESTÁTICOS.
 - SISTEMAS CON SEGUIMIENTO.
 - SISTEMAS CON CONCENTRACIÓN.



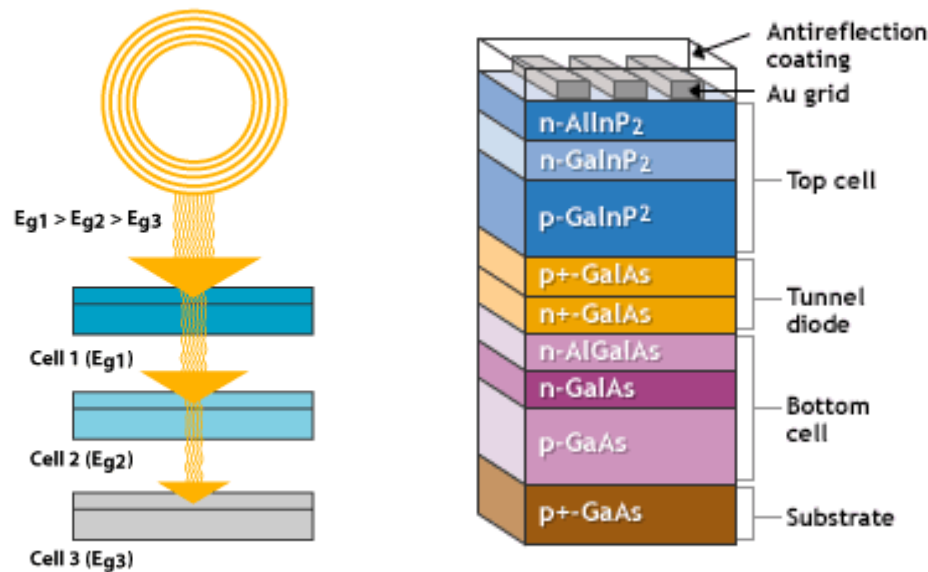
PANELES FV

- Silicio poli- / mono- cristalino
 - La gran mayoría.
 - Poli- más eficiente y más caro.
 - Eficiencia tipo:
 - Poli- 12,5%
 - Mono- 13,5%
- Lámina delgada
 - Todavía muy caros.
 - Utilizan poco material
 - Sobre todo en vidrio-vidrio.
- Células multiunión.
 - Eficiencia teórica muy elevada.
 - Se ha alcanzado el 37%.
 - Tan caros que sólo se usan con concentración.

TECNOLOGÍAS - FOTOVOLTAICA



Lámina delgada en vidrio-vidrio. 'Dejan' pasar la luz.



Célula multiunión.

La energía que se aprovecha es distinta en cada unión.

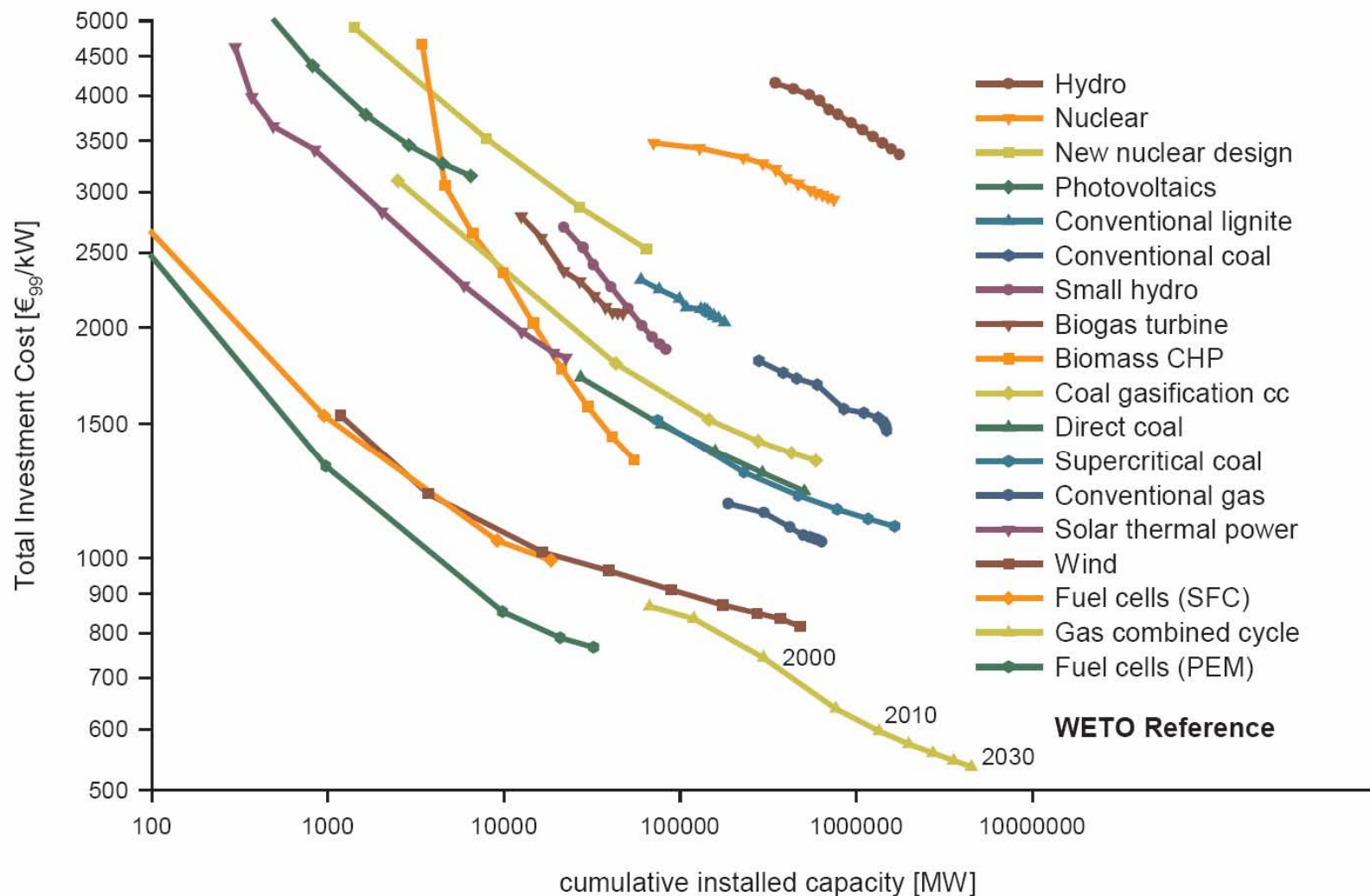


TIPOS DE **INSTALACIONES.**

- Estáticos
- Seguimiento
- Seguimiento+Concentración



COMPARACION TECNOLOGÍAS WETO 2003



BENEFICIOS AMBIENTALES

- **SOLAR TÉRMICA**

- **BAJA TEMPERATURA:** 1 kWh producido evita 1,4 kg de CO₂.
1 m² evita 840 kg CO₂ al año.
- **TERMOSOLAR:** 1 MW evita 688 t/año de CO₂ (ciclo combinado)
1 MW evita 1360 t/año de CO₂ (central carbon)

- **FOTOVOLTAICA**

- Conectada a red 1 kWh producido evita 0,6 kg de CO₂
- Aislada (sustitución diesel) 1 kWh producido evita 1 kg de CO₂