

# “La energía solar termoeléctrica: situación tecnológica actual y potencial de desarrollo”

## CENTRALES ELÉCTRICAS TERMOSOLARES



**Manuel Romero**

Director

División Energías Renovables  
CIEMAT

Avda. Complutense 22  
28040 Madrid



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA

**Ciemat**

Centro de Investigaciones  
Energéticas, Medioambientales  
y Tecnológicas



# La mayor planta solar del mundo se construirá en Arizona

La compañía andaluza Abengoa Solar se encargará de levantar las instalaciones de 280 megavatios. -La planta venderá alrededor de 4.000 millones de dólares de energía limpia durante 30 años

INMACULADA G. MARDONES - Madrid - 21/02/2008

Vota

Resultado ★★☆☆ 2 votos

Comentarios - 32  

La compañía andaluza Abengoa Solar construirá, a 100 kilómetros de Fénix, Arizona, la mayor central de energía solar del mundo con una potencia de 280 megavatios, equivalentes a una central térmica convencional. La generación se producirá mediante cilindros parabólicos que concentran la radiación solar a un tubo por el que discurre un fluido que produce vapor y mueve una turbina convencional. Otra compañía española, Acciona, dispone también de una planta solar en el estado norteamericano de Nevada de más de 60 megavatios de potencia. En España se construyen plantas de parecidas características de no más de 50 megavatios de potencia para ajustarse a las primas que retribuyen este tipo de energías de origen renovable.

Los recibos de la luz reflejarán cada una de las fuentes y su impacto ambiental



El contrato de construcción y la venta de la electricidad generada ha sido firmado por Abengoa con Arizona Public Service (APS), la mayor empresa de electricidad de Arizona y cuenta con una extensa red que da servicio a más de un millón de clientes en once estados. APS, cuya sede principal se encuentra en Phoenix, es la mayor filial de Pinnacle West Capital Corporation que cotiza en la bolsa de Nueva York. (NYSE:PNW).



Sistema de generación eléctrica mediante la captación de la radiación solar- ABENGOA

Ésta y todas las respuestas en ParaSaber.com



# Acciona invierte mil millones en 4 parques termosolares en España

- Las instalaciones se ubicarán en Extremadura y Andalucía
- La firma gastará en energías renovables 1.815 millones en EEUU a corto plazo



Vista aérea del parque Nevada Solar One de Acciona, similar a los que hará en España.

AGUSTI SALA

BOULDER CITY ENVIADO ESPECIAL

Acciona redoblará su apuesta por la energías renovables con la construcción de cuatro grandes parques solares termoeléctricos en España que representan un total de 200 megavatios (MW) de potencia y una inversión de casi 1.000 millones de euros entre este año y el 2010. Las instalaciones serán similares a las de Nevada Solar One, la planta de la compañía en Boulder City cerca de Las Vegas, en el desierto de Nevada (EEUU). Ésta es la tercera mayor









del mundo, inaugurada oficialmente este fin de semana, aunque funciona desde finales del 2007.

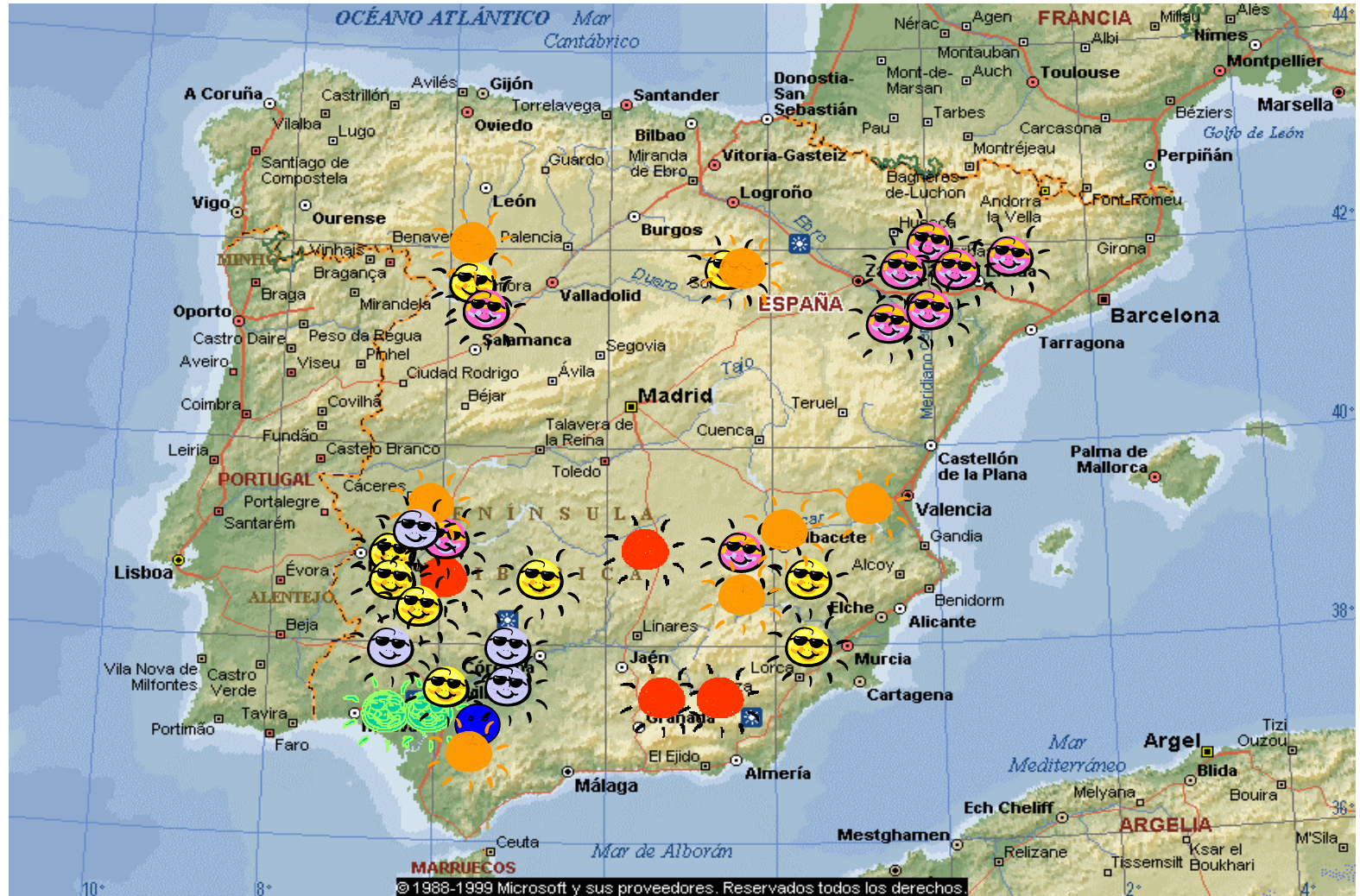
El grupo presidido por José Manuel Entrecanales dedicará también 1.815 millones hasta el año que viene a construir plantas termosolares en EEUU como las previstas en España y también parque eólicos.

**TECNOLOGÍA PROPIA** Cada nuevo proyecto solar de Acciona en España contará con una superficie de 1,3 millones de metros cuadrados (equivalente a más de 170 campos de fútbol) y serán los primeros de estas características que funcionen en el país, aunque ya hay otros previstos de Iberdrola o ACS. Las plantas emplearán una tecnología propia, que genera



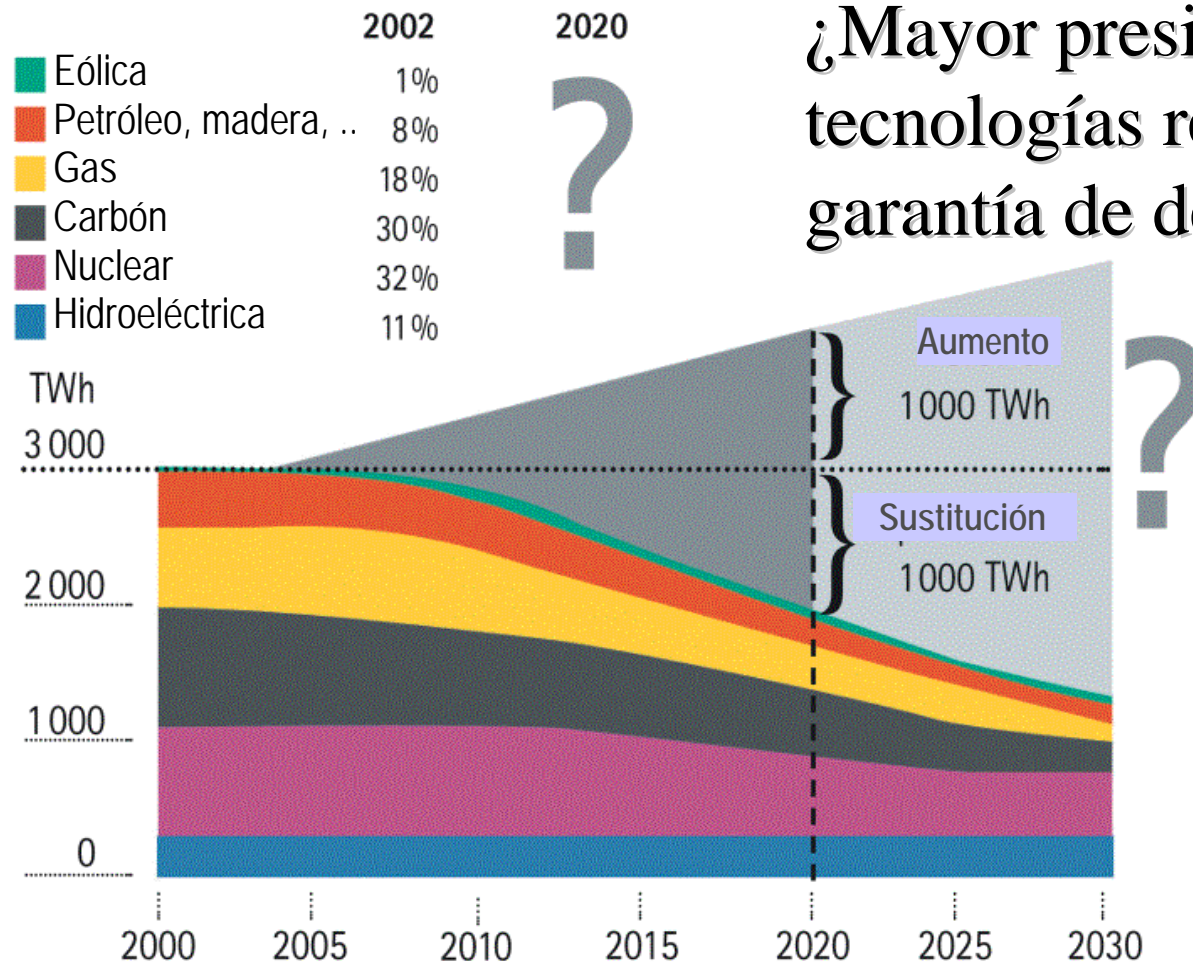
# Mapa no oficial de iniciativas de CET en España

-  Iberdrola
-  ACS/SM
-  Abengoa
-  Sener
-  Samca
-  Acciona
-  Ibereolica
-  Sacyr/Solel



> 2000 MW

# Penetración mercado = Calidad en despacho

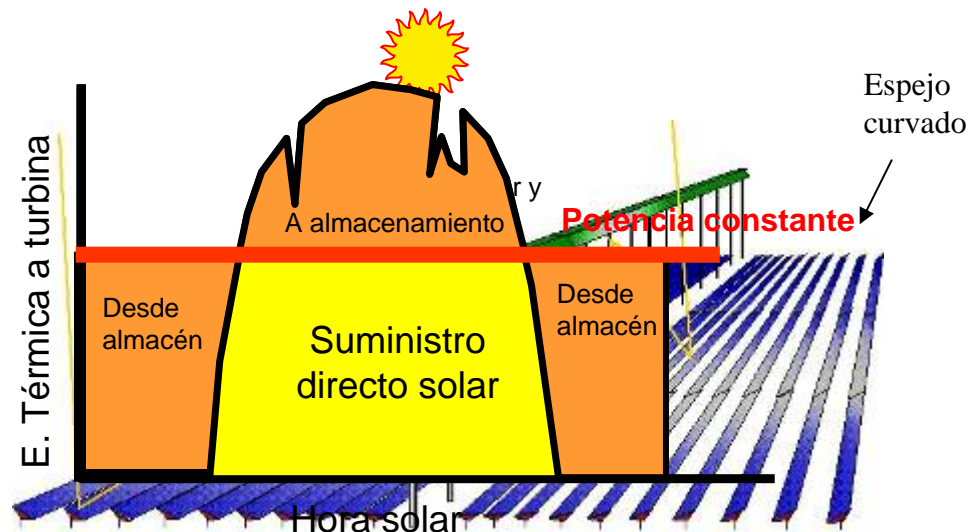
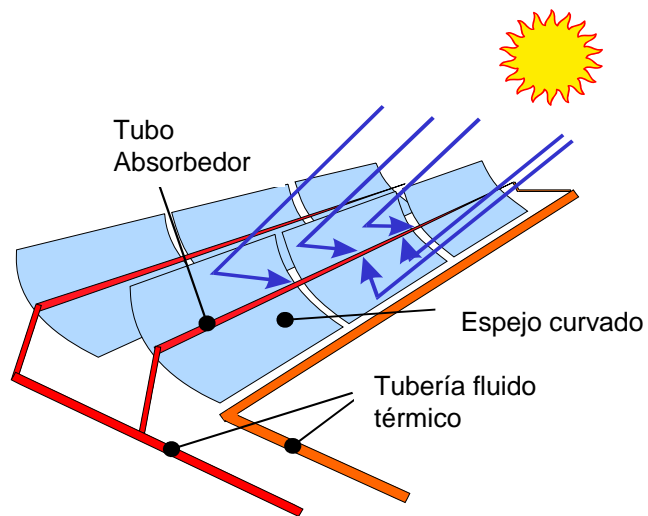


**VGB**  
POWERTECH

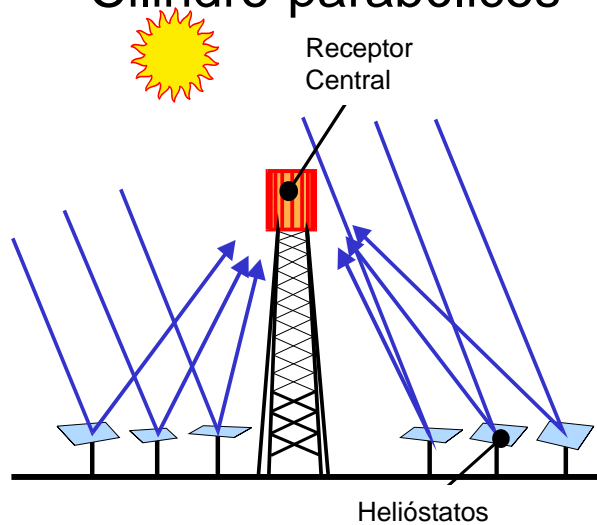
**Desarrollo de la generación eléctrica en la UE-25 entre 2000 y 2030**



# Energía solar termoeléctrica

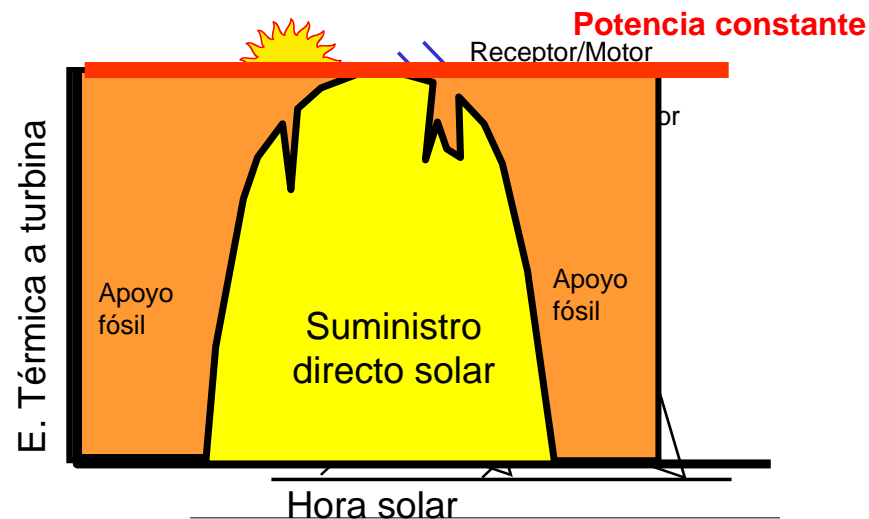


## Cilindro-parabólicos



## Receptor Central

## Fresnel Lineal

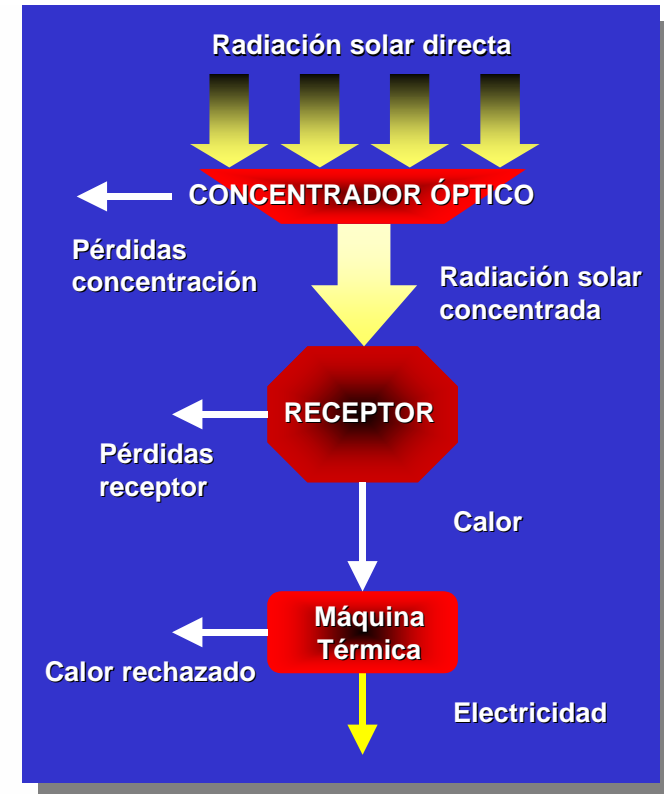
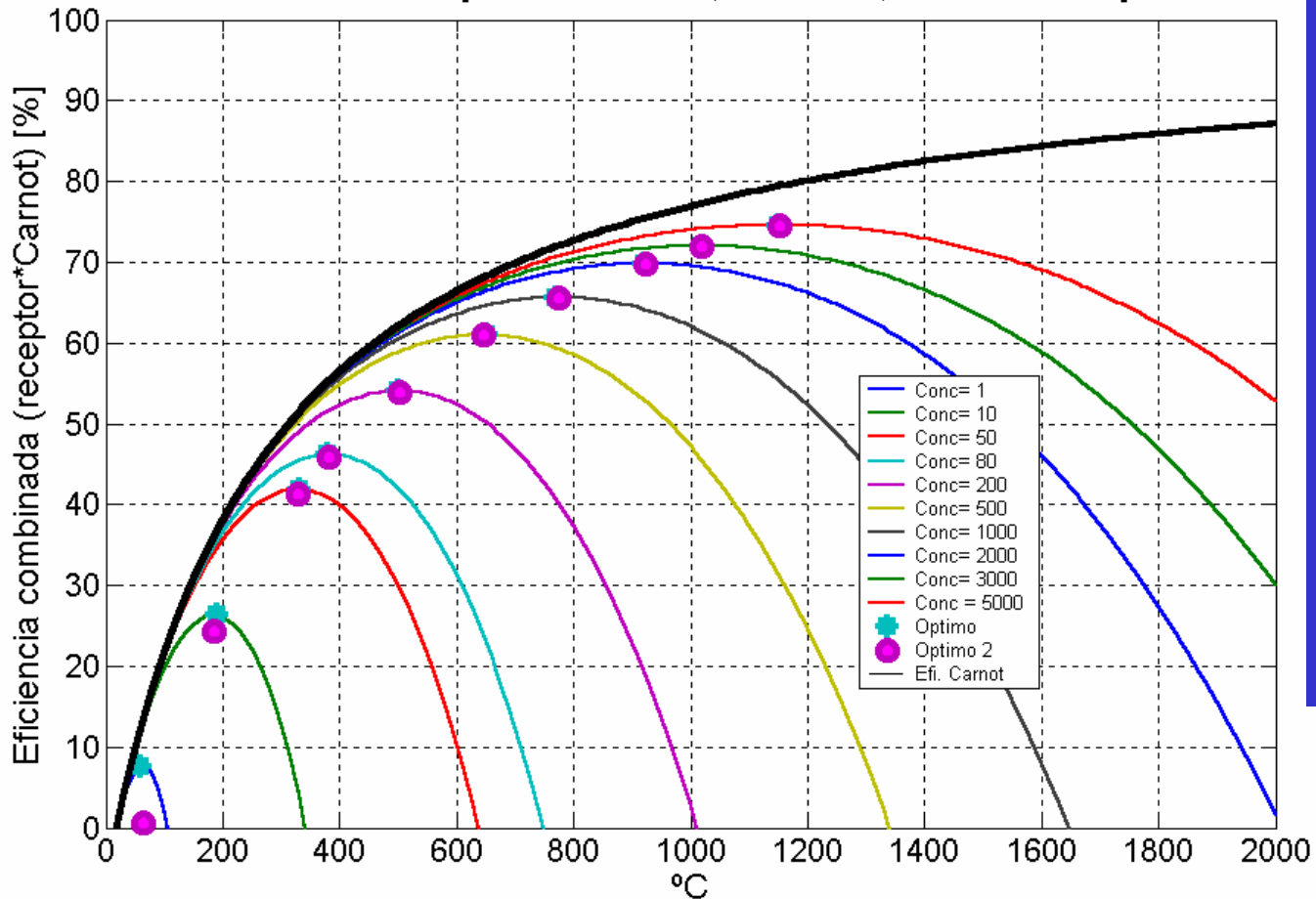


## Discos parabólicos

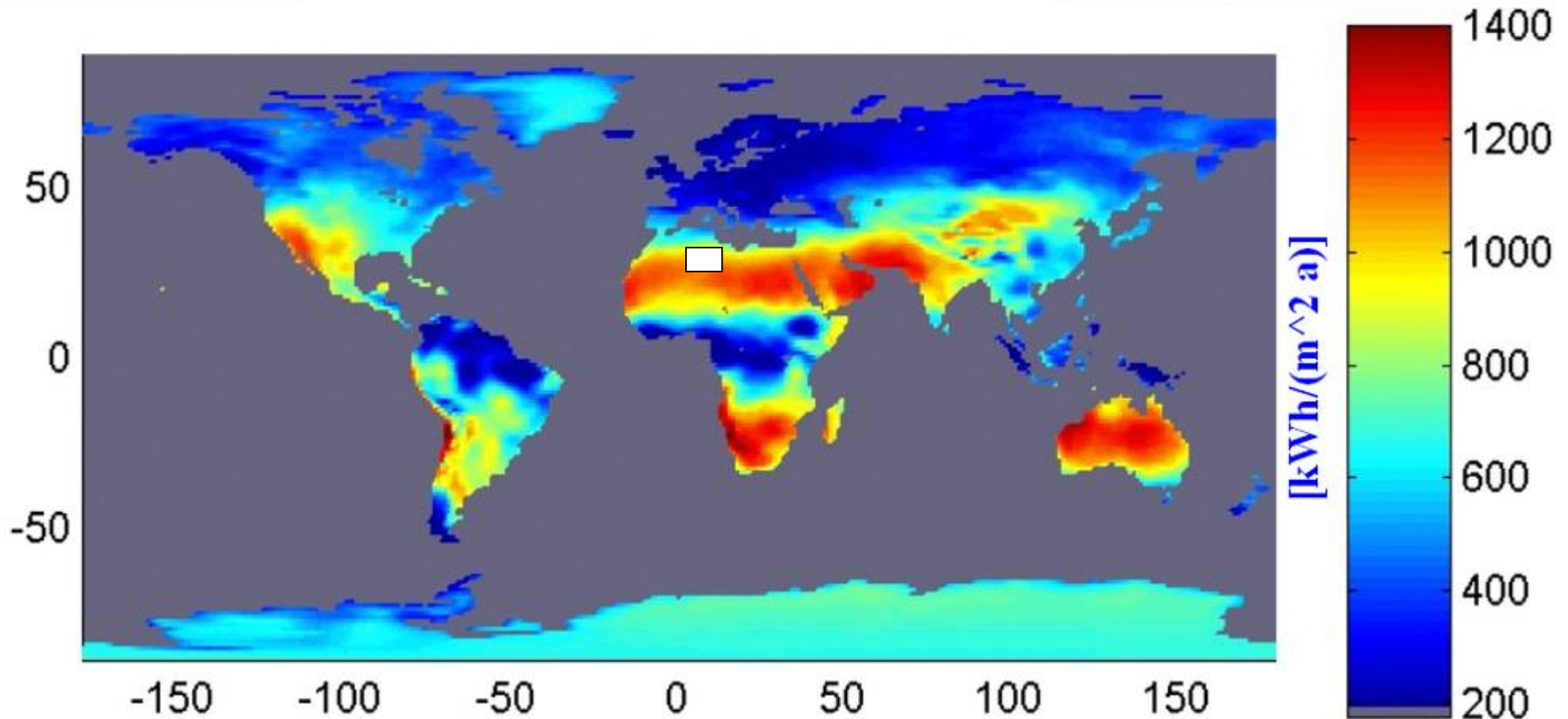
# Concentración y Ciclo Termodinámico

**Eficiencia de un sistema termosolar ideal  
(concentrador óptico, receptor y máquina térmica)**

MODELO 1. [Abs = Emis = 1; Idir = 770; Tamb = 20 °C]



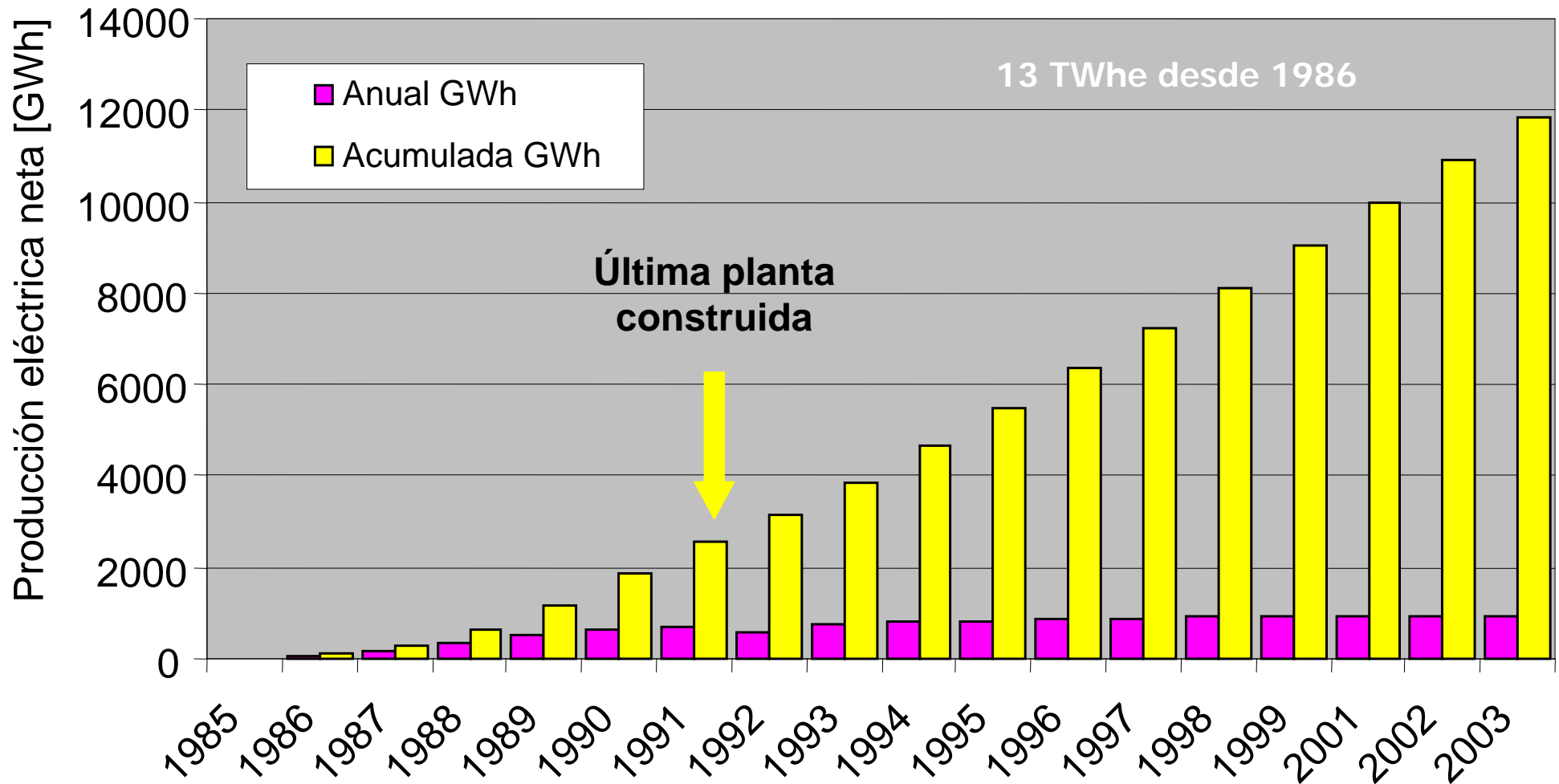
# ¿Y quién dijo espacio?



## Heat Output of Solar Fields for SEGS (Solar Thermal Power Plants)



# 2,5 Millones de m<sup>2</sup> de colectores en California



# Las barreras para entrar en el mercado

- Ausencia de regulaciones y tarifas favorables.
- Muy pocas referencias con despacho a red.
- Carencia de tecnologías apropiadas para generación directa de vapor.
- Receptores solares con periodos muy limitados de operación.
- Primeras opciones prometedoras para almacenamiento térmico pero difíciles de manejar.
- Concentradores solares con buenas prestaciones pero modestas reducciones de costes.
- Alta percepción de riesgo tecnológico.
- La mayoría de las tecnologías a falta de escalación.



# La construcción de plantas ha comenzado de nuevo



NEVADA SOLAR ONE – ACCIONA SOLAR POWER

# La mayor planta solar del mundo se construirá en Arizona

La compañía andaluza Abengoa Solar se encargará de levantar las instalaciones de 280 megavatios. -La planta venderá alrededor de 4.000 millones de dólares de energía limpia durante 30 años

INMACULADA G. MARDONES - Madrid - 21/02/2008

Vota Resultado ★★★★★ 169 votos

Comentarios - 32

La compañía andaluza Abengoa Solar construirá, a 100 kilómetros de Fénix, Arizona, la mayor central de energía solar del mundo con una potencia de 280 megavatios, equivalentes a una central térmica convencional. La generación se producirá mediante cilindros parabólicos que concentran la radiación solar a un tubo por el que discurre un fluido que produce vapor y mueve una turbina convencional. Otra compañía española, Acciona, dispone también de una planta solar en el estado norteamericano de Nevada de más de 60 megavatios de potencia. En España se construyen plantas de parecidas características de no más de 50 megavatios de potencia para ajustarse a las primas que retribuyen este tipo de energías de origen renovable.

Los recibos de la luz reflejarán cada una de las fuentes y su impacto

El contrato de construcción y la venta de la electricidad generada ha sido firmado por Abengoa con Arizona Public Service (APS), la mayor empresa de electricidad de Arizona y



Sistema de generación eléctrica mediante la captación de la radiación solar- ABENGOA

Lo más visto ...valorado ...enviado

7 de junio de 2007

## Acciona Connects 64 MW Solar Thermal Plant to Nevada Grid

Nevada Solar One will generate up to 134 M kWh of electricity per year.

Boulder City, Nevada [RenewableEnergyAccess.com]

Acciona Solar Power announced that its Nevada Solar One project, a 64-megawatt (MW) solar thermal plant built over the course of 16 months, officially began supplying power to the Nevada Power grid this week.

The plant, which represents an investment of more than \$250 million, uses large-scale, parabolic trough technology to enable heat transfer from the sun's rays to generate up to 134 million kilowatt-hours (kWh) of electricity per year. It is the largest-capacity solar power plant built in the world in 16 years and the third largest of its kind.

"Solar thermal technology is one of the most exciting renewable energy sources emerging today that is scalable and commercially viable."

-- Pete Duprey, Acciona Energy North America, CEO

All of the plant's electricity production is being sold to Nevada Power Company and



## Cobra inicia la construcción de Extresol-1 en Torre de Miguel Sesmero (Badajoz)

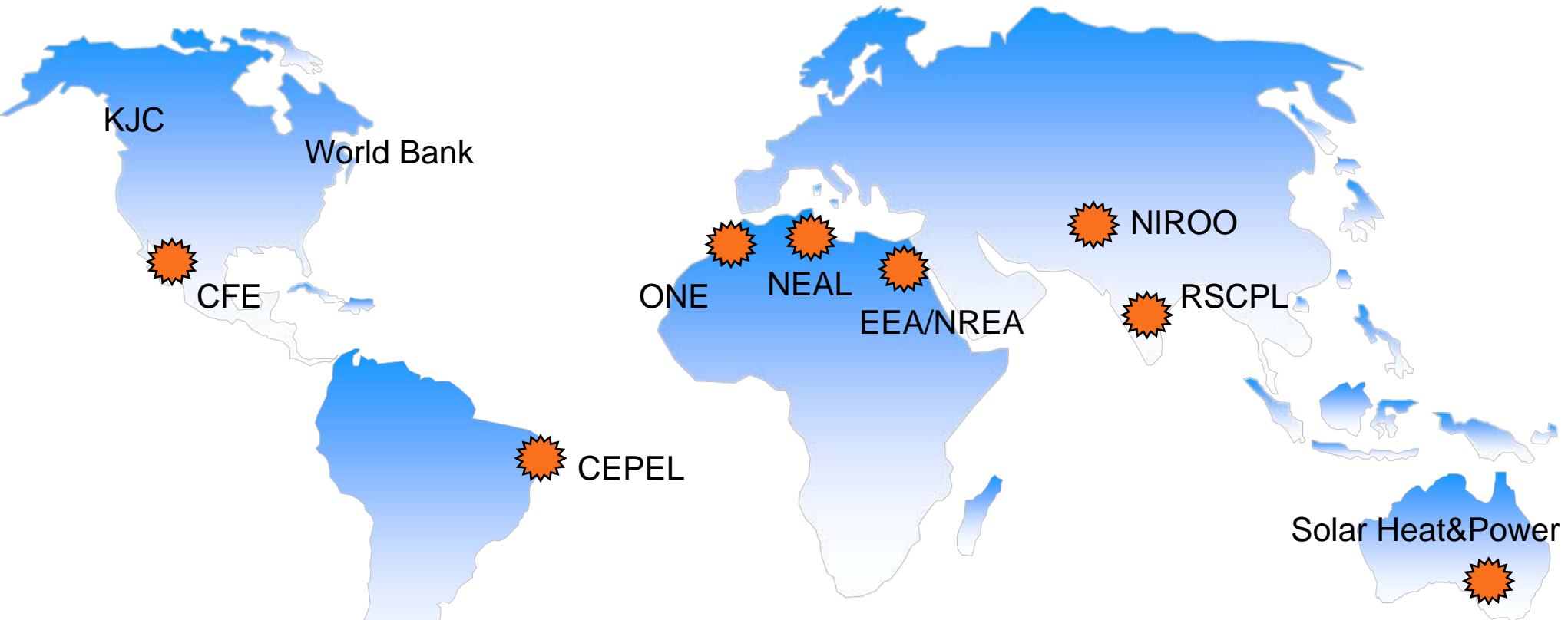
Extresol-1 entrará en funcionamiento en 2009 con una potencia de 50 MW y evitará la emisión de 149.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año

La empresa de Servicios Industriales del Grupo ACS promueve el proyecto con una inversión de 300 millones

27 de Julio de 2007. Grupo Cobra, empresa perteneciente al área de Servicios Industriales del Grupo ACS, ha iniciado hoy las obras de construcción de la planta termosolar Extresol-1, que dará lugar en la provincia de Badajoz al segundo mayor complejo termosolar de Europa.

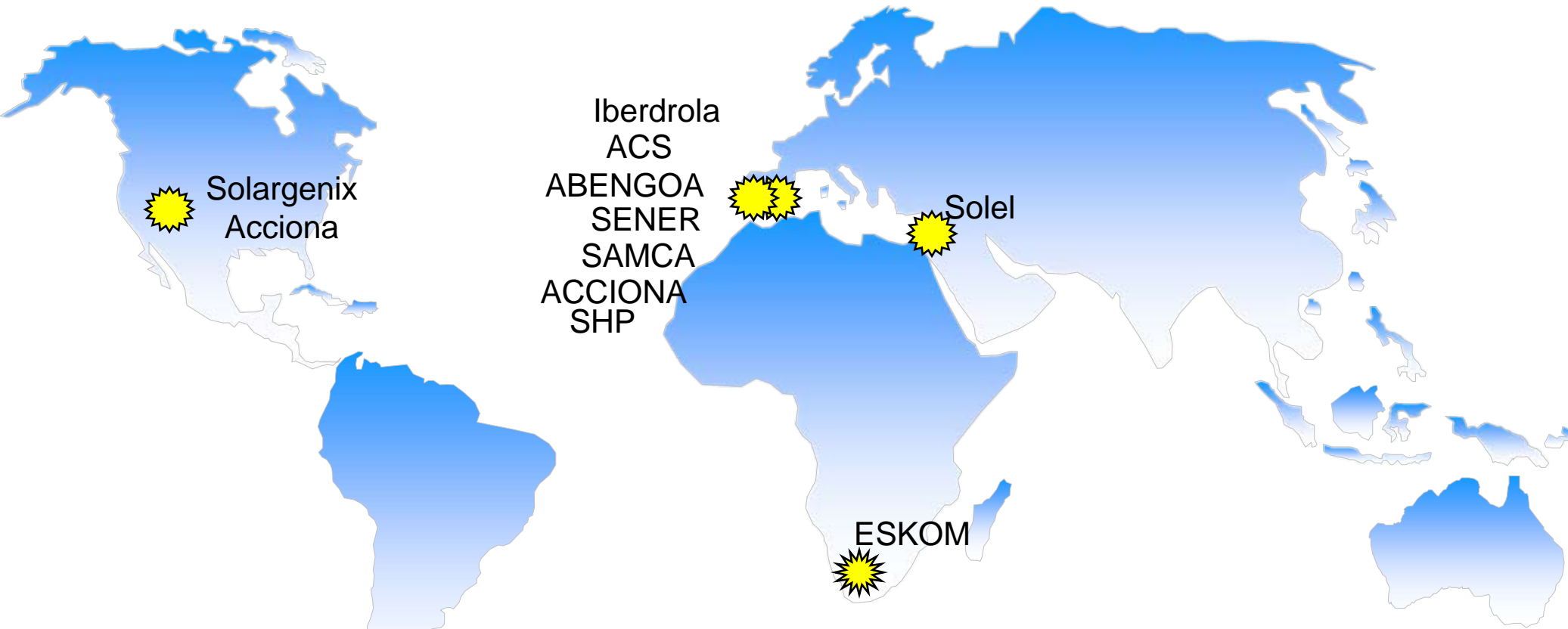


# Proyectos de plantas CET híbridas solar-fósil



| LOCATION  | Cycle                | Solar Technology  | Solar Cap. MW | Aperture [m <sup>2</sup> ] |
|-----------|----------------------|-------------------|---------------|----------------------------|
| Algeria   | Combined Cycle       | Trough            | 54            | 400'000                    |
| Egypt     | Combined Cycle       | Trough            | 35            | 200'000                    |
| India     | Combined Cycle       | Trough            | 35            | 200'000                    |
| Mexico    | Combined Cycle       | Investor's Choice | >25           | 200'000                    |
| Morocco   | Combined Cycle       | Investor's Choice | 30-50         | 200'000                    |
| Iran      | Combined Cycle       | Trough            | 67            | 500'000                    |
| Brazil    | Combined Cycle       | Investor's Choice | ?             | ?                          |
| Australia | Regenerative Rankine | Linear Fresnel    | 35            | 132'500                    |

# Proyectos de plantas CET sólo solar

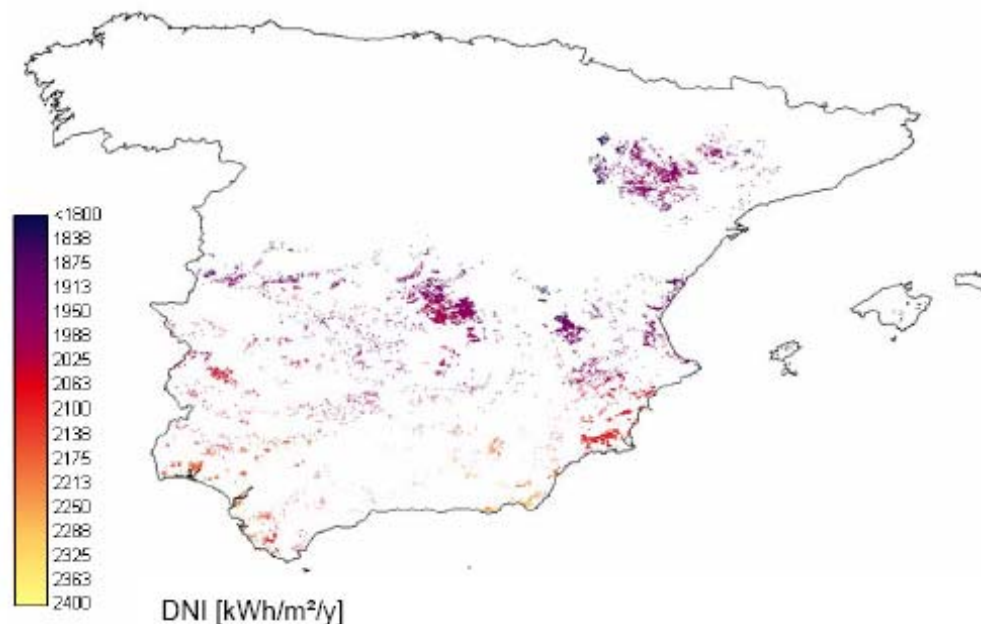
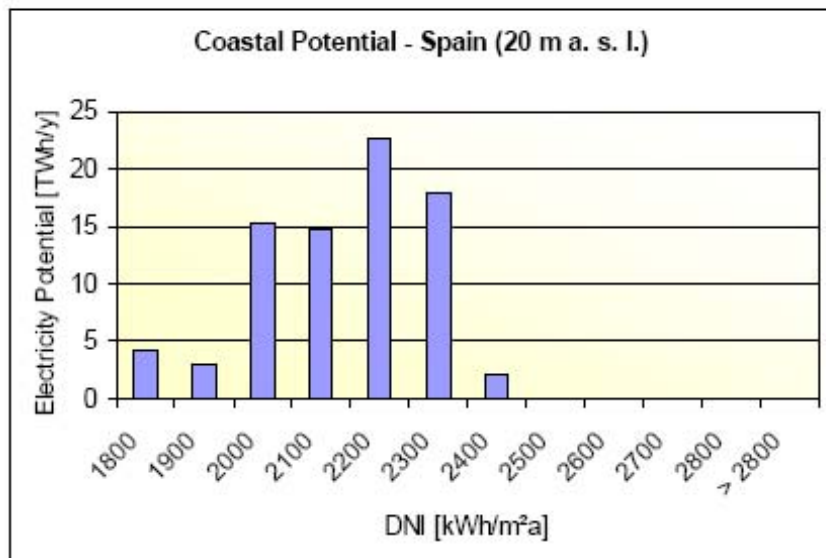
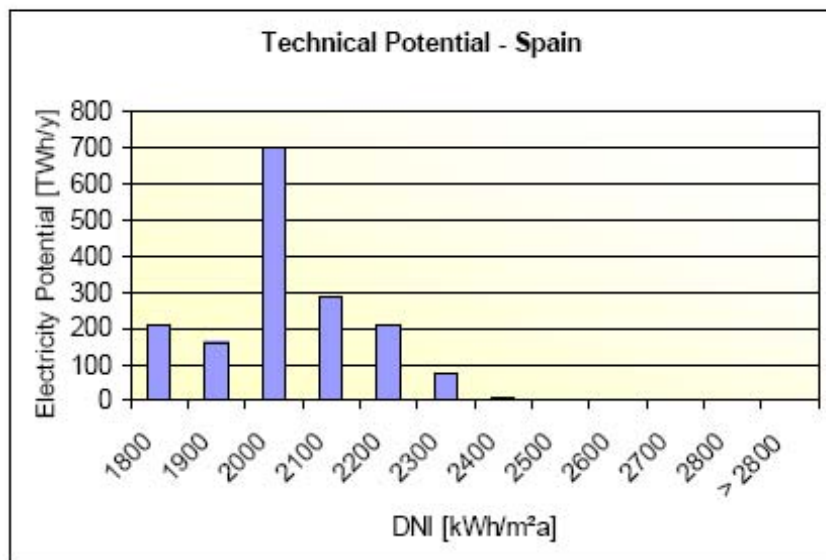


| LOCATION     | Cycle           | Solar Technology      | Solar Cap. MW | Aperture [m <sup>2</sup> ] |
|--------------|-----------------|-----------------------|---------------|----------------------------|
| Spain (>20)  | Steam Cycle     | Trough (Andasol-type) | 50            | 549'360                    |
| Spain        | Steam Cycle     | Tower (Solar Tres)    | 17            | 285'200                    |
| Spain        | Saturated steam | Tower (PS10)          | 10            | 88'290                     |
| South Africa | Steam Cycle     | Solar Tower           | 100           | 1'100'000                  |
| Israel       | Steam Cycle     | Trough                | 50            | 500'000                    |
| USA          | Steam Cycle     | Trough (Solargenix)   | 64            | ?                          |
| Portugal     | Saturated steam | CLFR                  | 6.5           | ?                          |



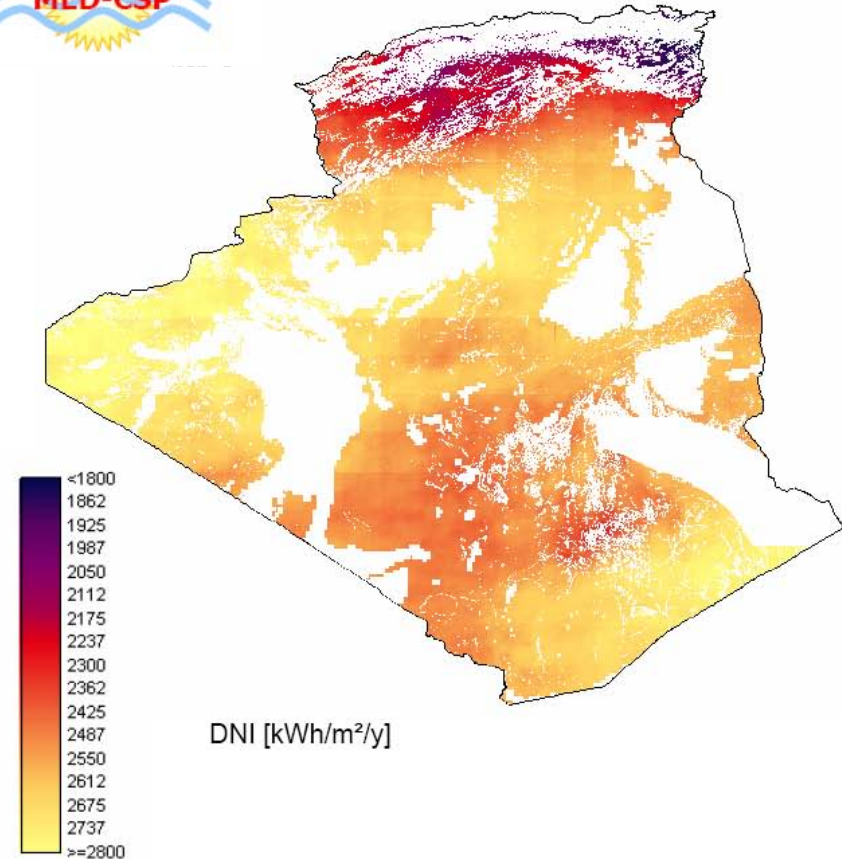
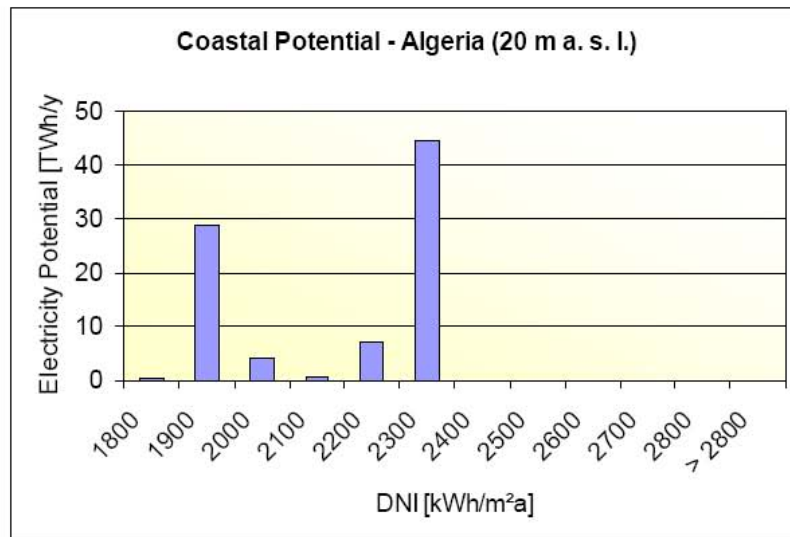
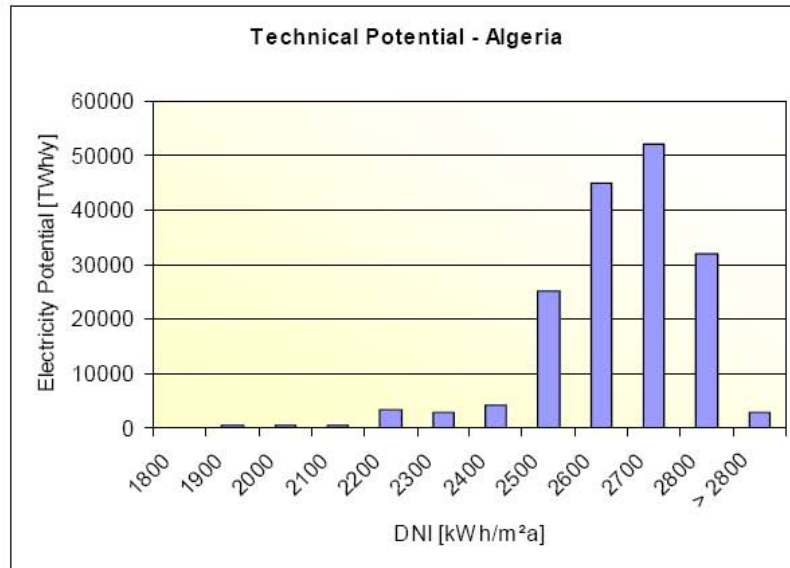


## Solar Thermal Electricity Generating Potentials in Spain



|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Technical Potential:</b> | <b>1646 TWh/y (DNI &gt; 1800 kWh/m²/y)</b> |
| <b>Economic Potential:</b>  | <b>1278 TWh/y (DNI &gt; 2000 kWh/m²/y)</b> |
| <b>Power Demand 2000:</b>   | <b>213 TWh/y</b>                           |
| <b>Power Demand 2050:</b>   | <b>213 TWh/y (Scenario CG/HE)</b>          |
| <b>Tentative CSP 2050:</b>  | <b>25 TWh/y (Scenario CG/HE)</b>           |
| <b>Coastal Potential:</b>   | <b>73 TWh/y (&lt; 20 m a. s. l.)</b>       |
| <b>Water Demand 2050:</b>   | <b>3.4 TWh/y (Power for Desalination)</b>  |

# Iniciativas en el Magreb: El enorme potencial de Argelia



**Technical Potential:** 169440 TWh/y (DNI > 1800 kWh/m²/y)  
**Economic Potential:** 168971 TWh/y (DNI > 2000 kWh/m²/y)  
**Power Demand 2000:** 23 TWh/y  
**Power Demand 2050:** 249 TWh/y (Scenario CG/HE)  
**Tentative CSP 2050:** 165 TWh/y (Scenario CG/HE)  
**Coastal Potential:** 57 TWh/y (< 20 m a. s. l.)  
**Water Demand 2050:** 2.8 TWh/y (Power for Desalination)



# Iniciativas en el Magreb: La conexión CET Africa-Europa

N° 19  
43ème ANNEE

Dimanche 7 Safar 1425  
Correspondant au 28 mars 2004



الجمهورية الجزائرية  
الديمقراطية الشعبية

## الجريدة الرسمية

اتفاقات دولية، قوانين، ومراسيم  
قرارات وآراء، مقررات، منشور، إعلانات وبلاعات

**JOURNAL OFFICIEL**  
DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
CONVENTIONS ET ACCORDS INTERNATIONAUX - LOIS ET DECRETS  
ARRETES, DECISIONS, AVIS, COMMUNICATIONS ET ANNONCES  
(TRADUCTION FRANÇAISE)

Art. 12. — Pour l'électricité produite à partir d'installations utilisant de l'énergie solaire thermique par des systèmes hybrides solaire-gaz, la prime s'élève à 200% du prix par KWh de l'électricité élaboré par l'opérateur du marché défini par la loi n° 02-01 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002 susvisée, et ceci quand la contribution minimale d'énergie solaire représente 25% de l'ensemble des énergies primaires.

Pour les contributions de l'énergie solaire inférieure à 25%, la dite prime est servie dans les conditions ci-après :

— pour une contribution solaire 25% et plus : la prime est de 200%,

— pour une contribution solaire 20 à 25% : la prime est de 180%,

— pour une contribution solaire 15 à 20% : la prime est de 160% ,

— pour une contribution solaire 10 à 15% : la prime est de 140% ,

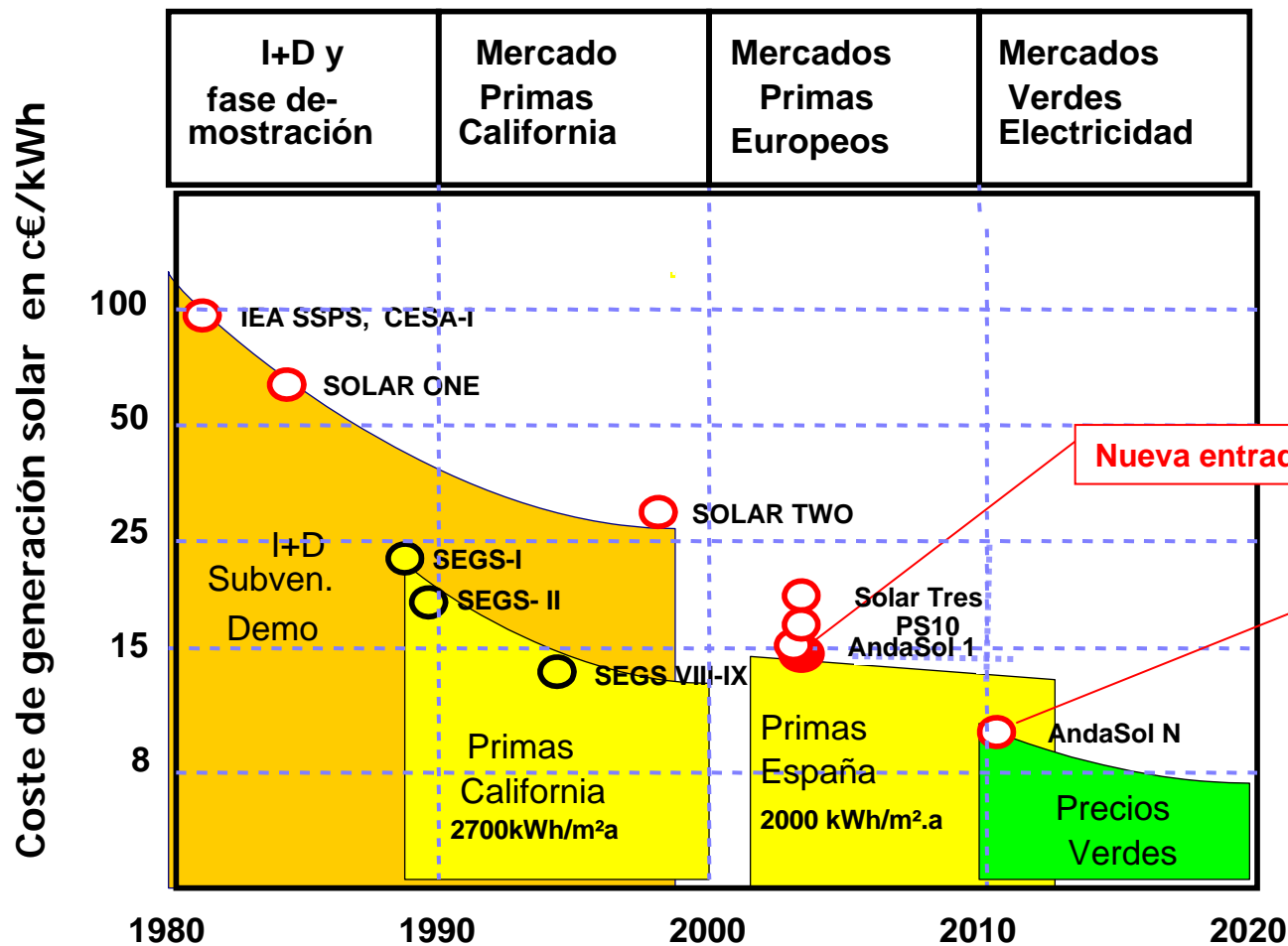
— pour une contribution solaire 5 à 10% : la prime est de 100% ,

— pour une contribution solaire 0 à 5% : la prime est nulle.

Exit  
Pro  
Exit  
Pro  
300

# Penetración de la energía solar termoeléctrica en el mercado

## Todavía en la curva de aprendizaje



Europa: La nueva oportunidad de mercado

Nueva entrada en mercado

Próximas generaciones tecnológicas

Objetivo: 15 GW en 2020 y 6-8 c€/kWh

# Europa: La nueva entrada en el mercado (Por donde van los tiros)

- Primera generación de plantas
- Objetivo prioritario: Fiabilidad operacional
- Ciertas innovaciones aflorando ya:
  - 1) La generación directa de vapor (PS10 y DSG)
  - 2) Grandes sistemas de almacenamiento térmico (Configuración tipo "Andasol")
  - 3) Uso de fluidos alternativos, como las sales fundidas (Solar Tres)
  - 4) Uso de concentradores lineales por reflexión tipo Fresnel (STEP-Tavira)
  - 5) Menor impacto ambiental y consumo de agua



# PLANTA PS10: Generación directa de vapor



Solar receiver

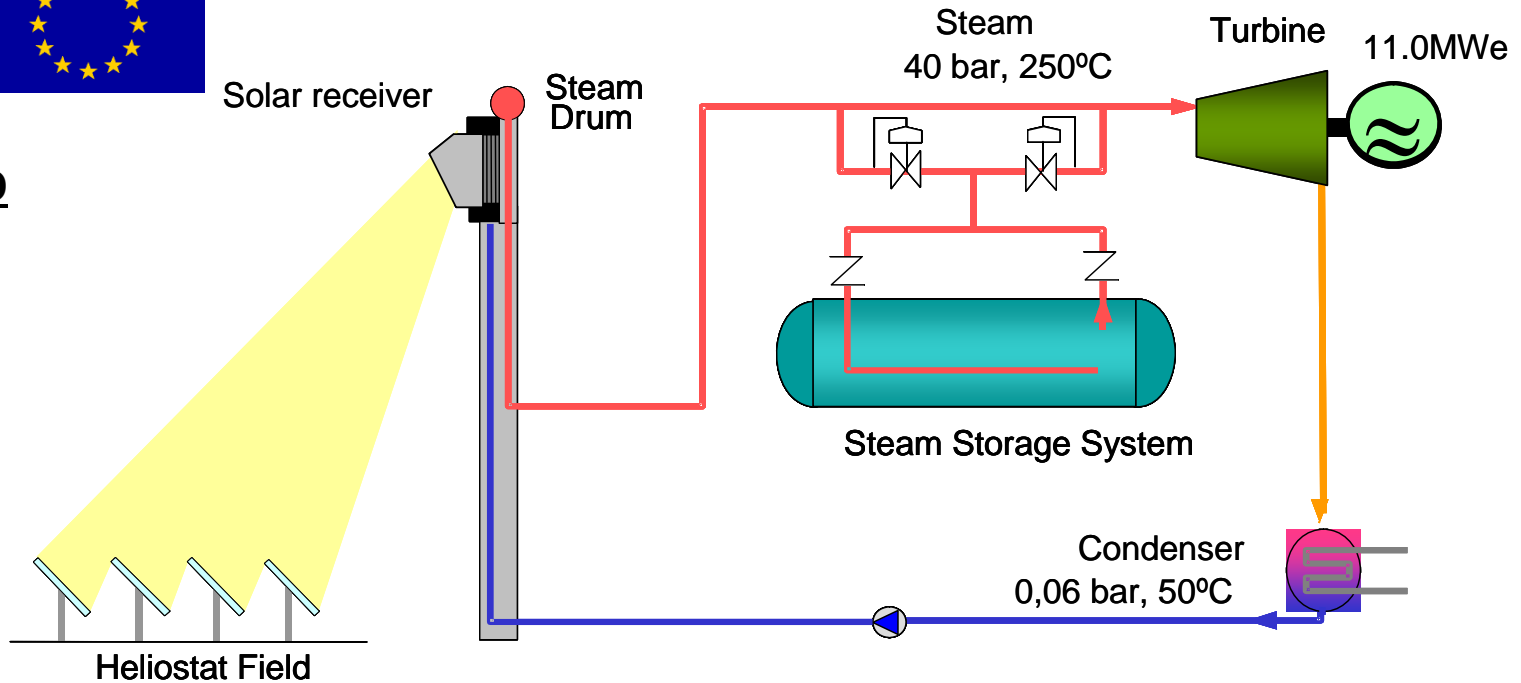
Steam Drum

Steam  
40 bar, 250°C

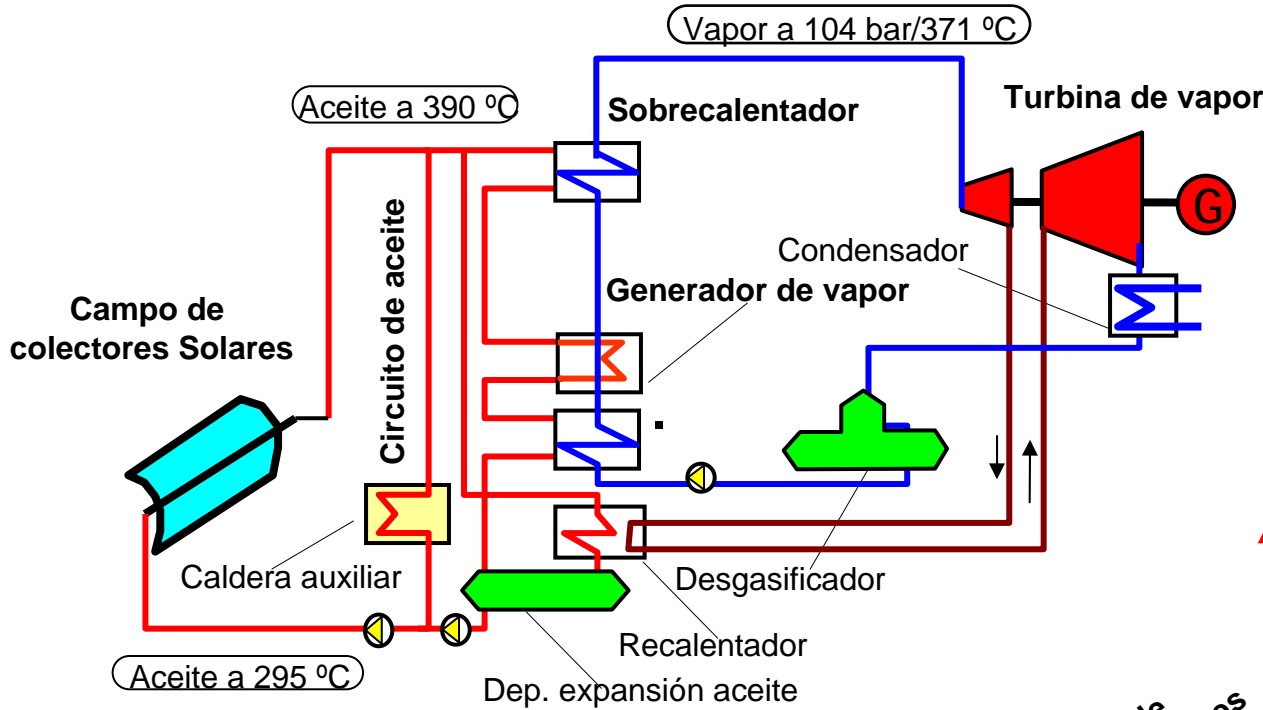
Turbine 11.0MWe

## VAPOR SATURADO

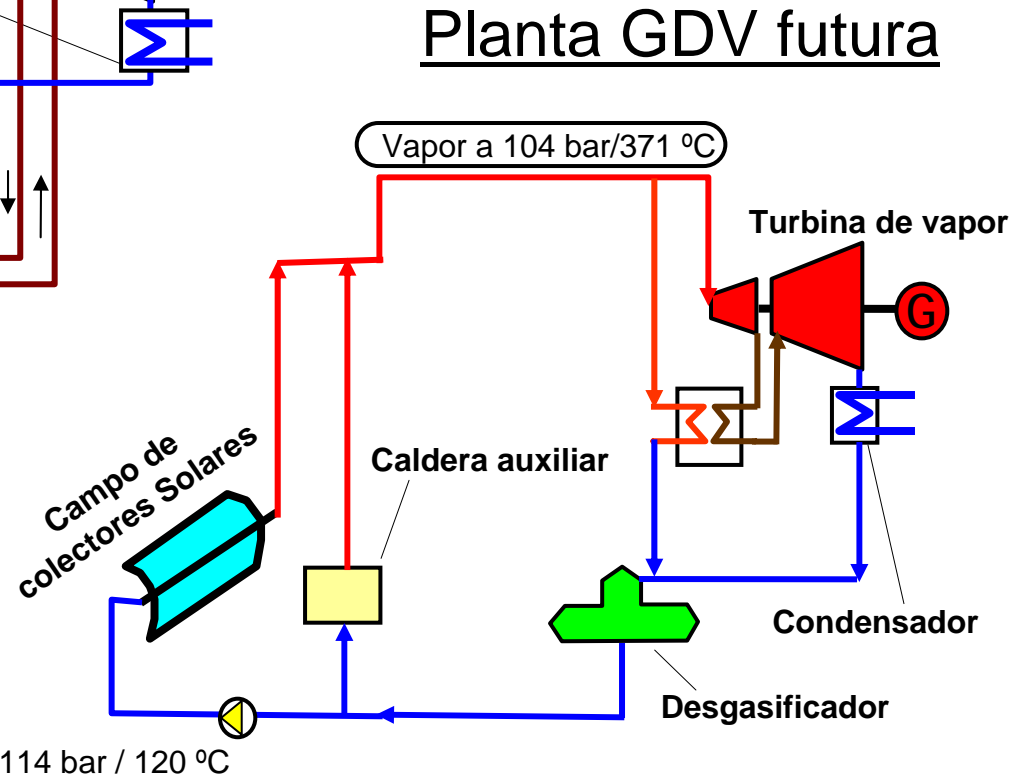
- Conservadurismo termodinámico
- Factor de capacidad limitado
- Penaliza O+M del bloque de potencia



# La Generación Directa de Vapor (GDV)



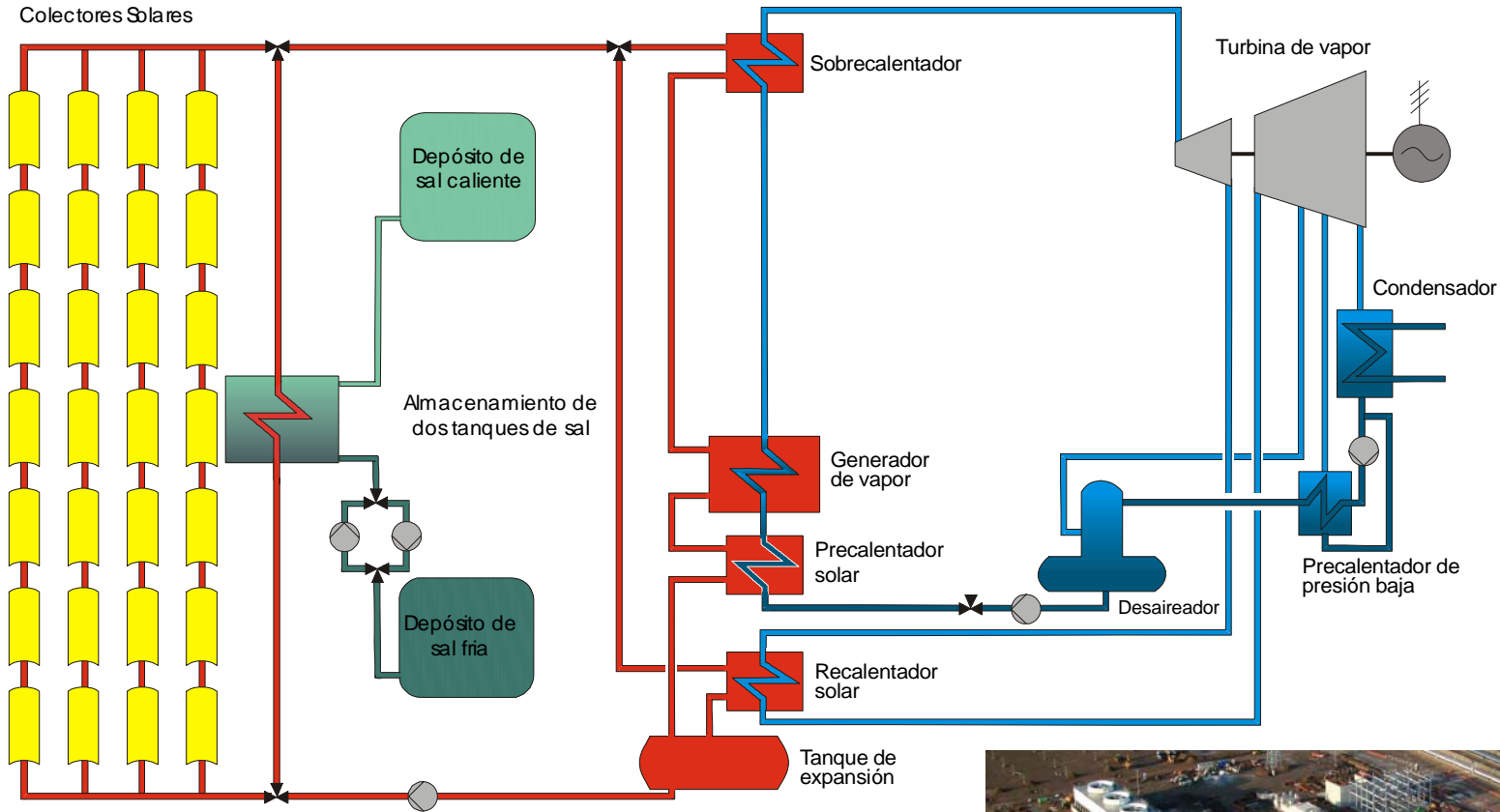
Planta tradicional con aceite



Planta GDV futura



# AndaSol: El reto de introducir almacenamiento en plantas de aceite



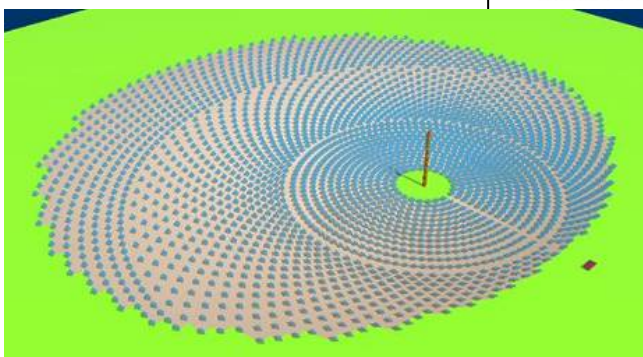
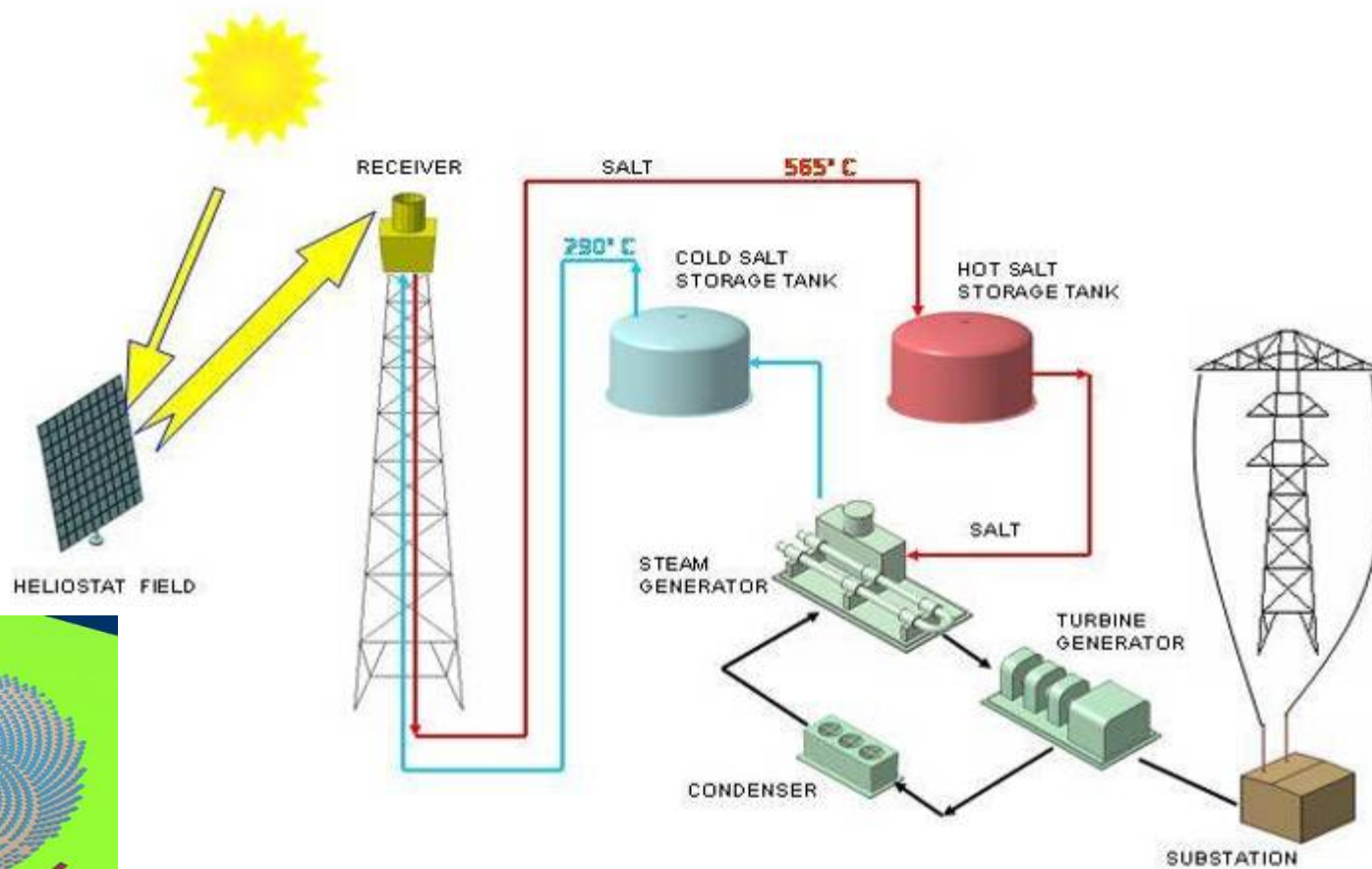
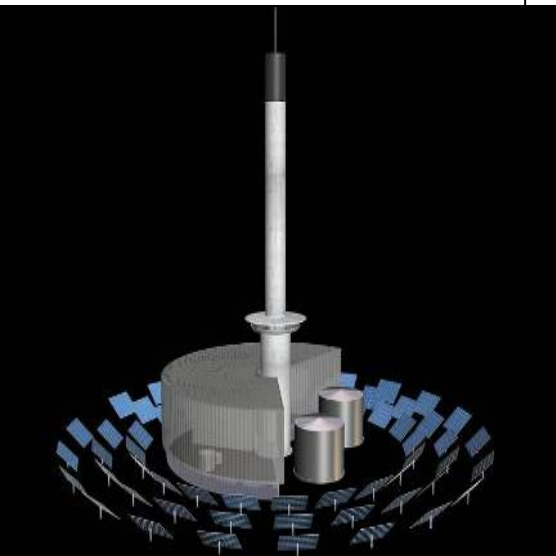
6-7 horas de  
almacenamiento  
térmico

- 3600 horas
- Integración circuito y almacén de sales





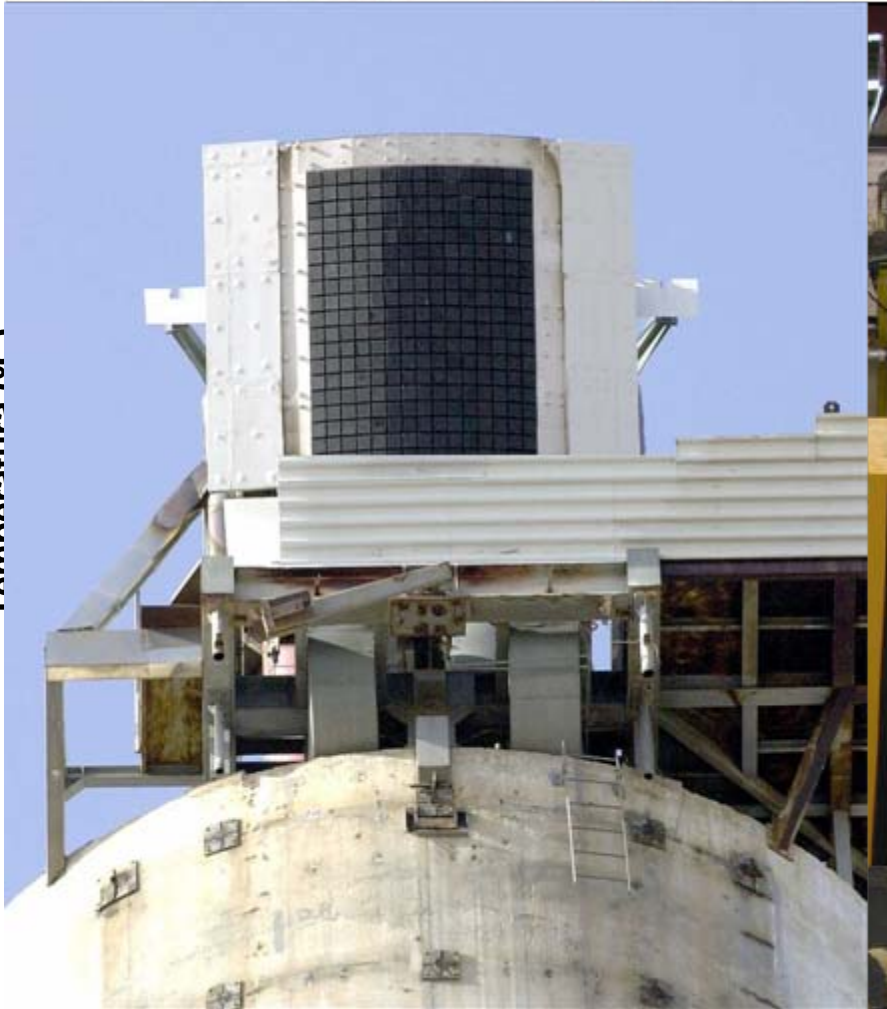
# PLANTA SOLAR TRES



- Altísimo factor de capacidad
- Gran potencial de producir la electricidad solar más barata
- Receptor y circuito de sales como tecnología clave



# Receptor/Absorbedor Solar



- Nuevos tubos absorbedores sin soldadura vidrio-metal
- Nuevo recubrimientos selectivos con menor emisividad ( $\epsilon < 0,1$  a  $400^\circ\text{C}$ ) y mayor durabilidad.
- Receptores solares en torre para vapor sobrecalentado.
- Nuevas generaciones de receptores volumétricos con eficiencias superiores al 85%.
- Sales fundidas todavía por demostrar operación rutinaria y altos flujos.

Temperatura (°C)

Re  
re

# Fresnel: LIDDEL en Australia y STEP en Portugal

6.5 MW en promoción en Tavira (Portugal) por SHP y Enerpura

2.8 €/Wp

1.2 Ha/MWp

Vapor saturado a 250°C

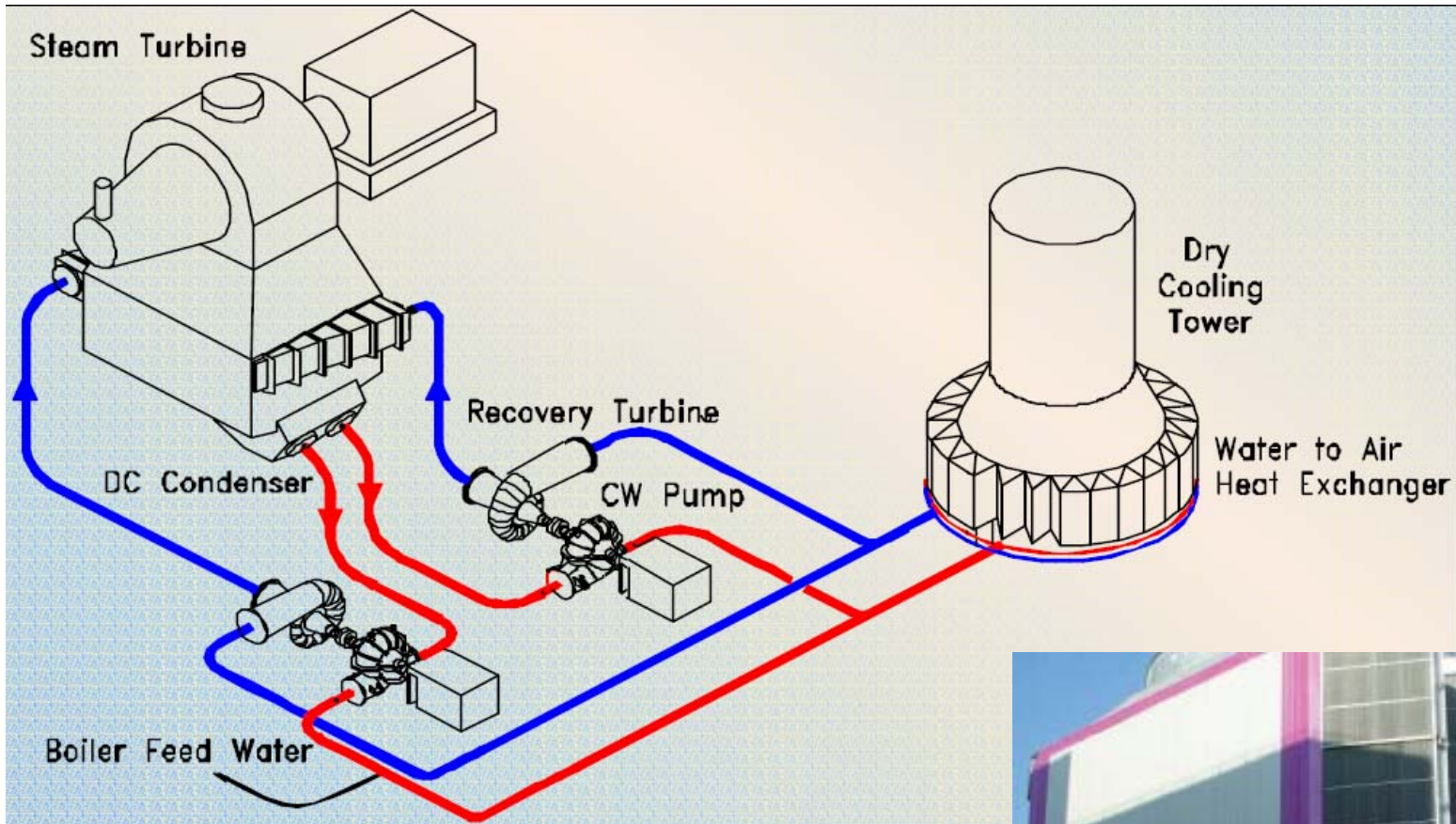
- Mas de un 70% de ocupación del suelo.
- >180 MWe por km<sup>2</sup>,
- Reflectores por debajo de €80 por m<sup>2</sup>.
- Futuro ligado a la generación directa de vapor.
- Menores eficiencias
- Tubo absorbedor en desarrollo



Prototipo MAN  
en la PSA







**SISTEMAS EFICIENTES DE ENFRIAMIENTO SIN  
CONSUMO DE AGUA**

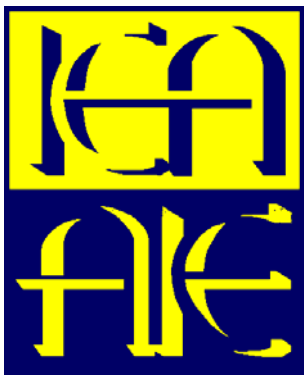
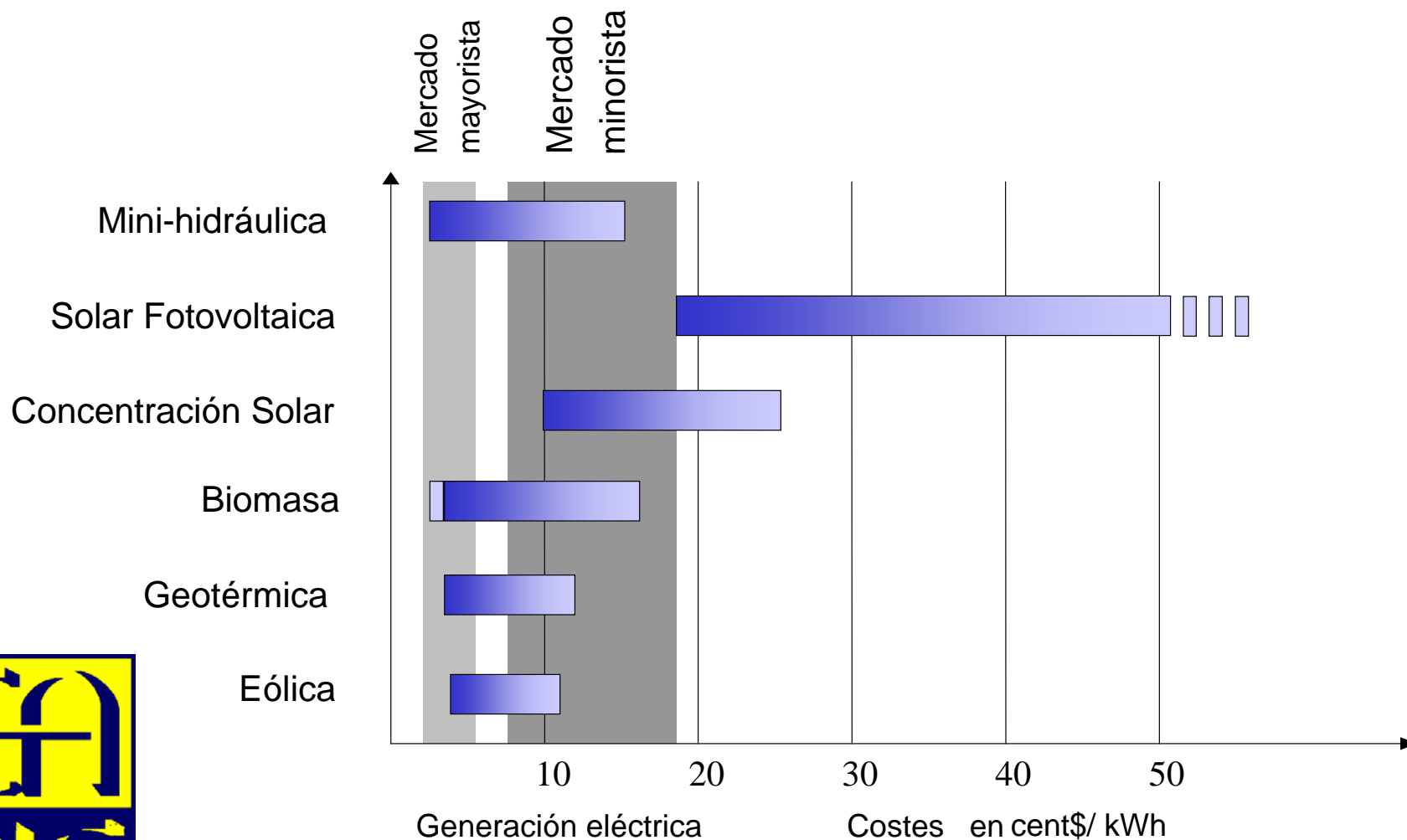
**REFRIGERACIÓN POR AIRE**

**SISTEMA HELLER**

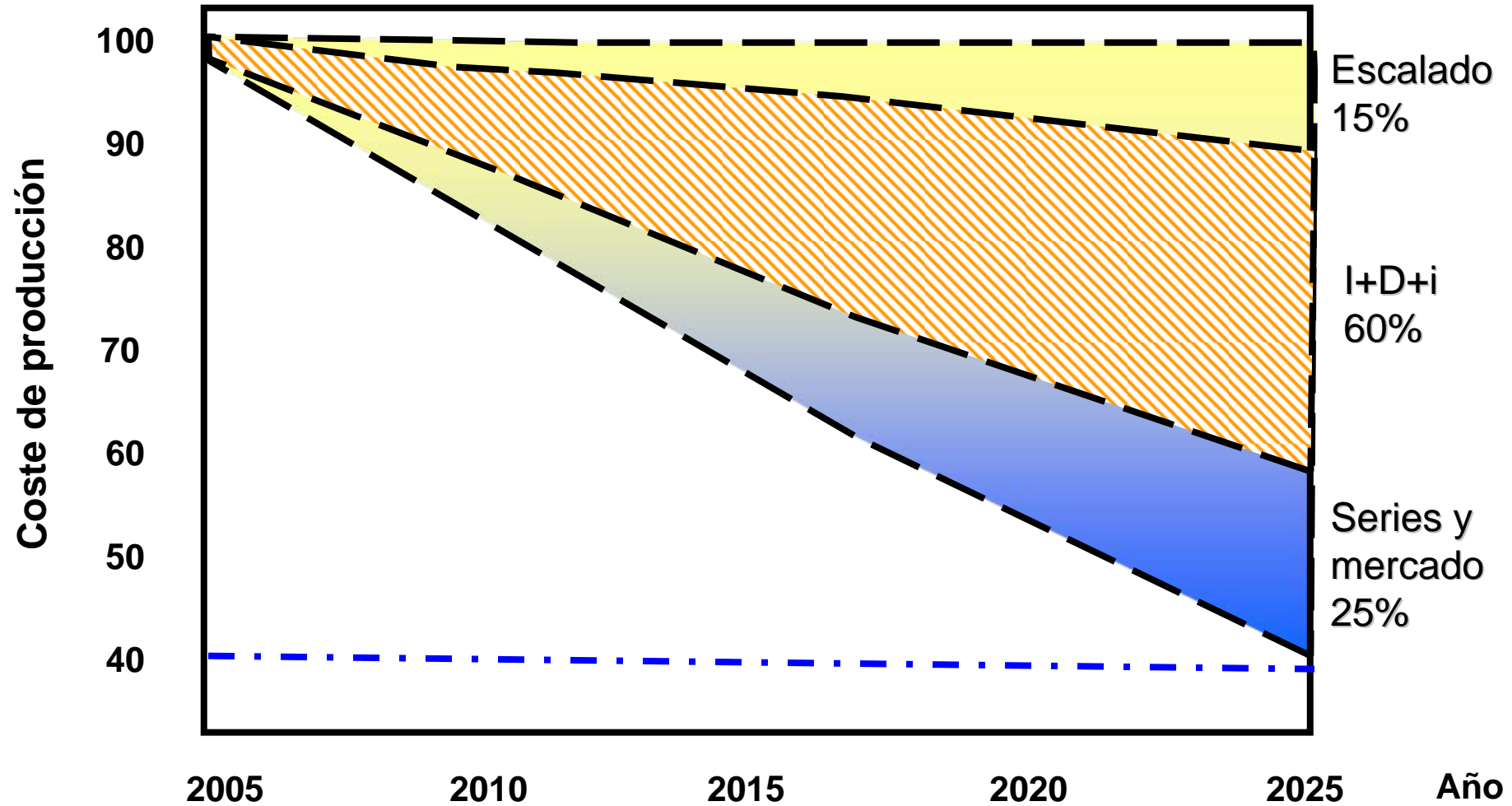
**Extra-coste 0,01 €/kWh**



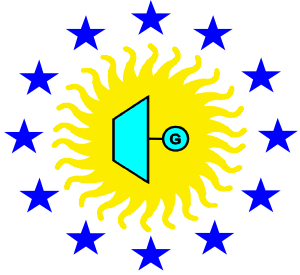
# ¿Son competitivas las CET?



# Impacto de la innovación en la reducción de costes



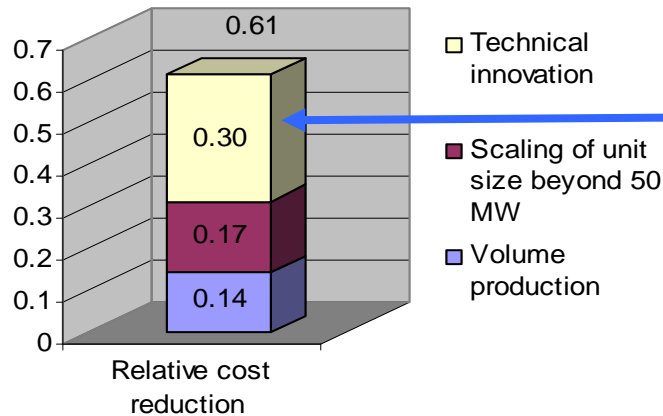
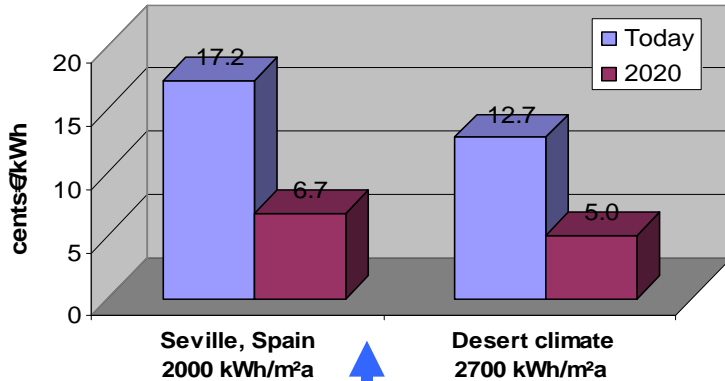




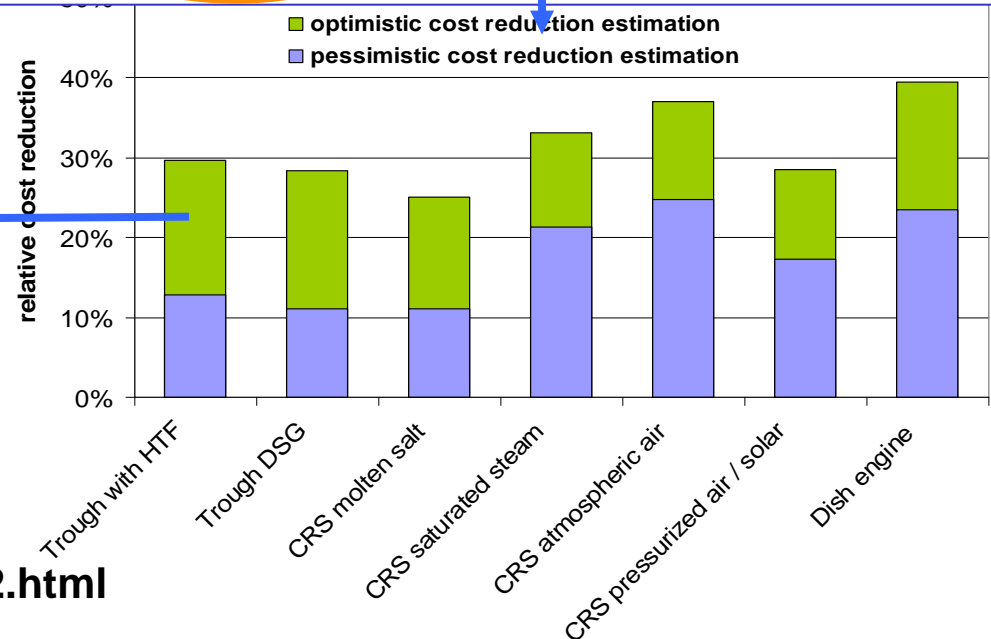
ECOSTAR

# Beneficios con I+D adicional

## CSP cost reduction



| Technology       | Priority A                           | $\Delta$ LEC | Priority B                       | $\Delta$ LEC | Priority C        | $\Delta$ LEC |
|------------------|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Trough using oil | concentrator structure and assembly  | 7-11%        | Low cost storage system          | 5-6%         | increase HTF Temp | -3%          |
|                  |                                      |              | advanced reflectors and absorber | 2-6%         | reduce parasitics | 2-3%         |
| Trough DSG       | scale increased to 50 MW system      | 14%          | Advanced Storage                 | 3-6%         | Increase HTF Temp | -3%          |
|                  | Concentrator structure, and assembly | 7-11%        | advanced reflectors and absorber | 2-6%         | reduce parasitics | 2-3%         |
| SCR Salt         | scale increased to 50 MW             | 3-11%        | Advanced mirrors                 | 3-6%         | advanced storage  | -1%          |
|                  | heliostat size, structure,           | 7-11%        |                                  |              |                   |              |



# PSA: 25 años de innovación sostenida

● **EUROTROUGH, DISS, DISTOR, INDITEP, EURODISH, SOLAIR, SOLGATE, SOLHYCO**



# CONCLUSIONES

- El paso a la madurez de la electricidad a partir de fuentes renovables requiere aumentar capacidad y adaptación a la demanda.
- Las CET ofrecen un portafolio de opciones de integración con almacenamiento térmico o con hibridación.
- Las opciones libres de CO<sub>2</sub> requieren sistemas baratos de almacenamiento térmico.
- Las plantas híbridas permiten una penetración más rápida y una conexión con el norte de Africa.
- Las CET contribuirían a integrar las redes eléctricas del Norte y el Sur del Mediterráneo.
- Gran potencial de reducción de costes, con importante contribución del I+D