



## *Tecnología de concentración solar: La segunda oportunidad*

*Félix Féllez / Eduardo Zarza / Diego Martínez*  
**Plataforma Solar de Almería-CIEMAT**



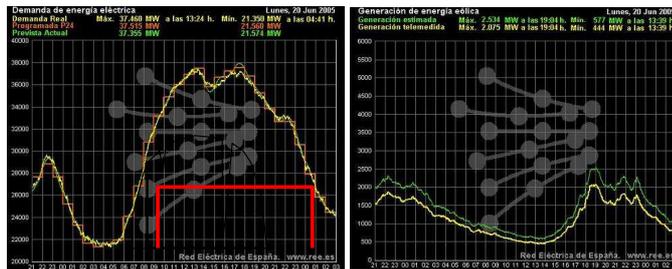
### Plantas Solares Termoeléctricas

- **¿Qué son?:** Sistemas que generan electricidad a partir de la radiación solar directa concentrada
- **¿Por qué resultan interesantes?:**
  - ✓ Permiten generación distribuida de electricidad solar en horas de máxima demanda, cuando la eólica y la hidroeléctrica son escasas
  - ✓ Constituyen la "electricidad solar" mas barata
  - ✓ Tienen un importante mercado potencial en todo el mundo
  - ✓ Ya existe el conocimiento y la experiencia necesarias
  - ✓ Generan empleo, tanto temporal como permanente
  - ✓ Son sistemas que no contaminan y que reducen de forma apreciable las emisiones de CO<sub>2</sub>
    - cada kWh de electricidad producida con energía solar evita la emisión la atmósfera de ~0.5 kg de CO<sub>2</sub>



## Plantas Solares Termoelectricas

- **¿Qué son?:** Sistemas que generan electricidad a partir de la radiación solar directa concentrada
- **¿Por qué resultan interesantes?:**
  - ✓ Permiten generación distribuida de electricidad solar en horas de máxima demanda, cuando la eólica y la hidroeléctrica son escasas



## Para Producción de Electricidad Solar la Conversión Solar Termoelectrica es una de las opciones



## Principio de Funcionamiento de la Solar Termoeléctrica

Se utiliza Energía solar concentrada para elevar la temperatura de un fluido caloportador (opcionalmente en combinación con uso de Gas Natural y/o Almacenamiento térmico) para accionar turbinas de vapor, de gas o motores de pistón y generar electricidad o una combinación de calor y electricidad.



Colectores solares de concentración



Turbina de vapor / gas & alternador

Electricidad



Red eléctrica

## 'PROS & CONS'

### Inconvenientes

- ✓ Estacionalidad.
- ✓ Transitorios debido al paso de nubes → Es necesario implantar buenas estrategias de control.

### Ventajas

- ✓ Muy buena integrabilidad en ciclos térmicos convencionales de generación: Rankine, Brayton, Stirling.
- ✓ 'Generación Distribuida'.
- ✓ Aporte máximo a la red en momento crítico: meses de verano.
- ✓ ..y por supuesto: sin emisiones, reducción de la dependencia energética, etc...

## ¿ Como funciona ?



- La radiación solar DIRECTA es una POTENCIA por unidad de SUPERFICIE ( $W/m^2$ ).
- Llega a la Tierra en gran cantidad, pero con baja densidad,  $I < 1.000 W/m^2$ .
- Es necesario 'concentrarla', recogiendo una gran cantidad (superficie grande) y reflejándola sobre un área menor, así se pueden alcanzar densidades de energía del orden de  $MW/m^2$ .
- Esto se consigue mediante espejos, parabólicos ó esféricos.

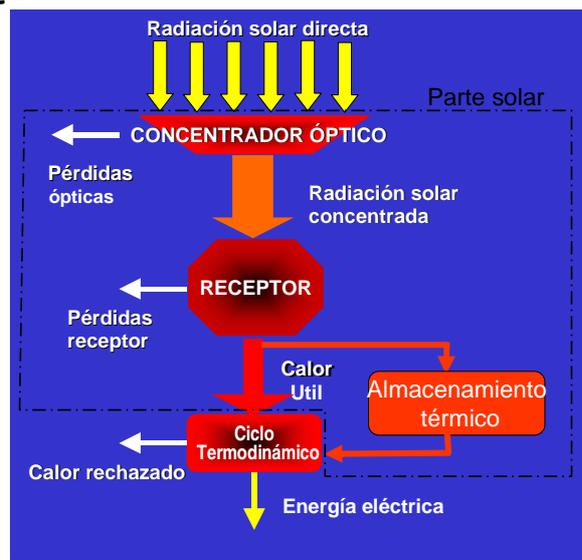


X 1000



**Ciemat** Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

## Esquema Típico de una Planta Solar Termo-eléctrica



Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009



Slide 8

## Una revisión rápida de las Tecnologías de Concentración Solar: Situación Actual y Nuevos Desarrollos

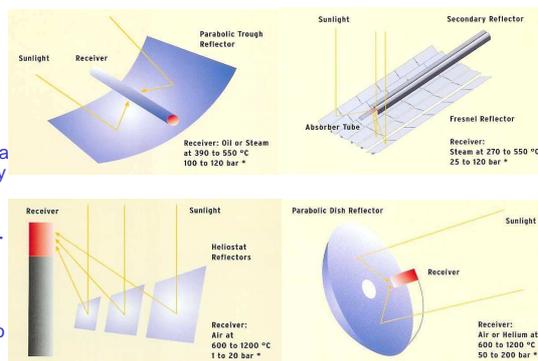


### Tipologías de SCS

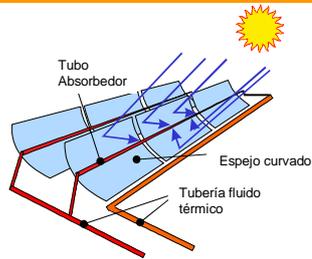
Tecnologías de Concentración solar se distinguen usualmente por la forma y relación del concentrador y del receptor.

Las mas usadas:

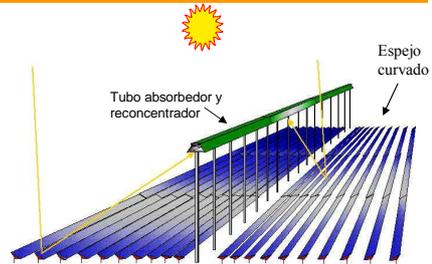
- Concentradores cilindro-parabólicos (**receptor lineal** en el foco del concentrador. Concentrador de **simetría 1D** con forma de parábola desplazada sobre el eje del receptor y superficie continua o segmentada – Fresnel-).
- Concentradores con receptor central (en Torre) (**Receptor fijo** sobre una torre, **casi-puntual** localizado en zona focal y concentrador segmentado proyectado sobre el terreno, **simetría 2D**)
- Discos parabólicos (**Receptor móvil**, **casi-puntual**, localizado en zona focal y concentrador continuo o facetado, **simetría 2D**).



## Sistemas de concentración solar por reflexión más utilizados 2D



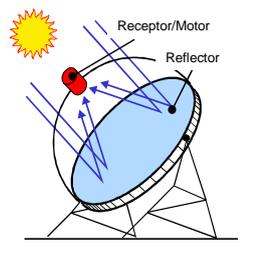
Cilindro-parabólicos



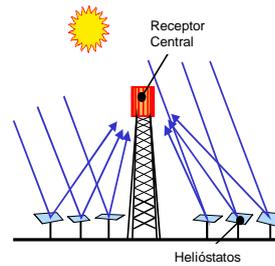
Fresnel Lineal



## Sistemas de concentración solar por reflexión más utilizados 3D



Discos parabólicos

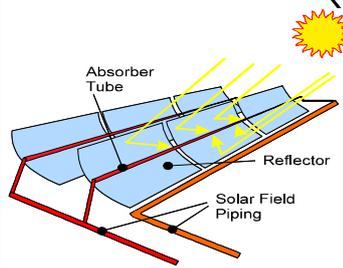


Receptor Central



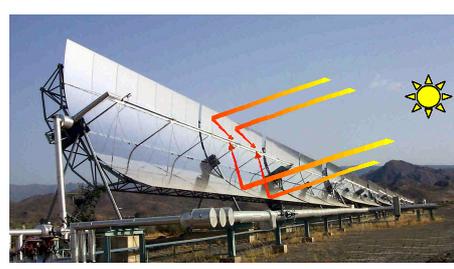
## Planta Solar Termoelectrica con Colectores Cilindro Parabolicos

### Vista de una planta típica



## Concentradores Cilindro-Parabólicos: CCP

- Receptor en **foco lineal**. Seguimiento en 1 eje; limitado a ~500°C. Flujos de 20-80 kW/m<sup>2</sup>.
- Ciclos de Vapor Rankine convencionales
- **Eficiencia** en la conversión solar-electricidad ~10-15% (media anual)
- Factor de capacidad ~ 20-50%
- **354 MWe operando** en California desde 1989 ...+ 1MWe en Arizona (2006) + **64 MWe en Nevada (2007)** + ...50 MWe Andasol 1 (2008) + (50 MWe Ibersol (2009), Andasol 2, Solnova, Extresol, ...)



## Planta ANDASOL-1



**Propiedad:** 75% ACS  
25% Solar Millennium Group

**Contrato EPC:** 260 Million Euro  
UTE ACS Cobra & SENER  
Ingeniería campo solar: FLAGSOL GmbH  
Plazo de construcción: 24 meses

**Datos técnicos:** 50MW, 510.120m<sup>2</sup> campo solar, 7.5h almacenamiento  
176GWh/a Producción, 3520 horas de operación anual



## Planta ANDASOL-1



***Nota: ANDASOL-1 no es ningún fichaje del Real Madrid...***

***..aunque por el precio podría serlo....***



## Central de Puertollano

### Datos del Proyecto



**Promotor: IBERDROLA ENERGÍA SOLAR DE PUERTOLLANO**

IBERDROLA ENERGÍAS RENOVABLES DE CASTILLA-LA MANCHA 90%  
IDAE 10%

Tipo de tecnología	Colectores Cilindro Parabólicos (CCP)	
Fluido de trabajo	Aceite térmico (HTF)	
Almacenamiento térmico	NO	
Potencia instalada	50	MWe
Vida útil	25	años
Producción anual neta	114	GWh/año
Horas equivalentes	2.062	h/año
Recurso solar esperado	2.061	kWh/m <sup>2</sup> /año
Consumo de agua	570.000	m <sup>3</sup> /año
Hibridación con gas	15	%
Consumo de Gas	53	GWh/año

IBERDROLA ENERGÍAS RENOVABLES

17

## Central de Puertollano, instalación de los colectores cilindro parabólicos



*Inaugurada el pasado 8 de mayo !!*



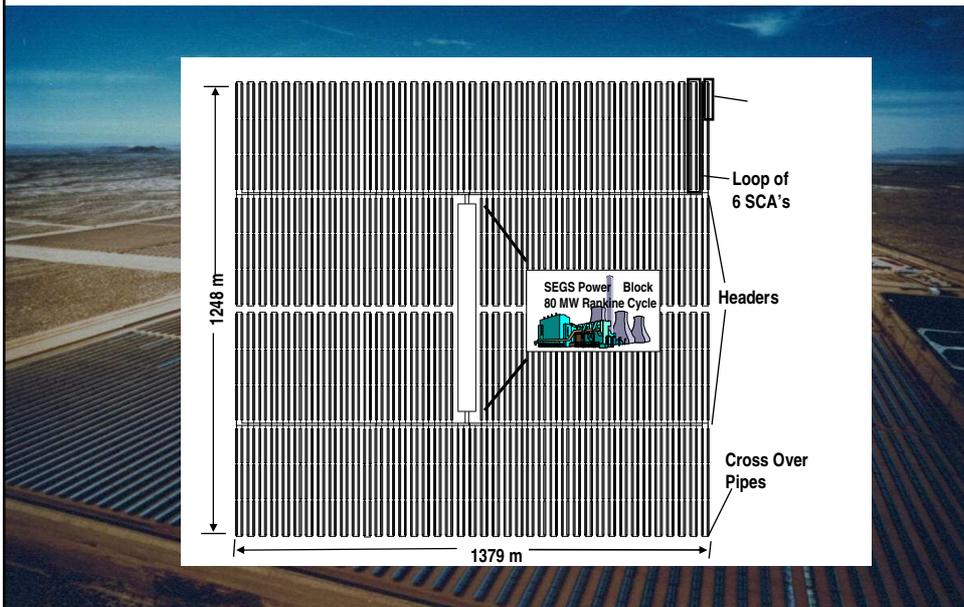
IBERDROLA ENERGÍAS RENOVABLES

18

## Plantas SEGS: el Dios de Mojave



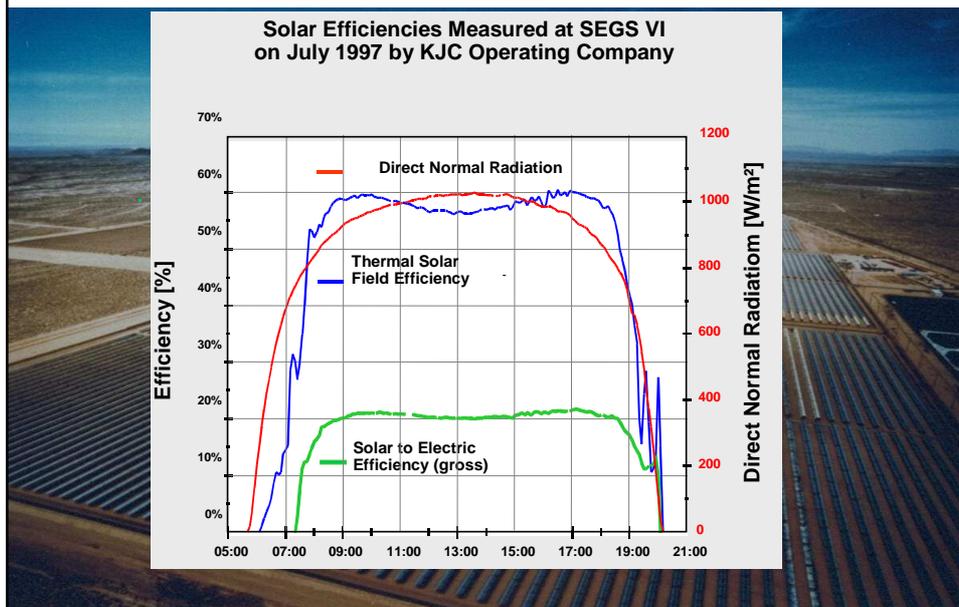
## Plantas SEGS: el Dios de Mojave



## Plantas SEGS: el Dios de Mojave

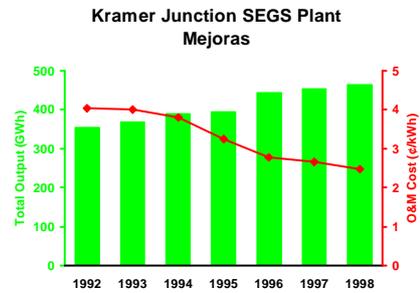


## Plantas SEGS: el Dios de Mojave



## Estado de la Tecnología CCP: Referencias

- Las plantas SEGS continúan mejorando la disponibilidad y prestaciones.
- Los costes de O&M han disminuido un 30% en los 10 años de experiencia en desarrollo.
- Estos resultados son aplicables a otras plantas solares termoelectricas.



KJC

DISS/PSA



En busca de reducción del coste final de la electricidad se desarrollan nuevos conceptos de componentes.

## Nuevos Desarrollos e Innovaciones en Tecnología CCP

### Principales Líneas de I+D actuales

- Nuevos tubos receptores
- Nuevos diseños de estructuras soporte
- Nuevos fluidos de trabajo
- Nuevos sistemas de almacenamiento térmico

## Nuevos Desarrollos e Innovaciones en Tecnología CCP

### Nuevos Tubos Absorbedores

- **Nuevos tubos con vacío y soldadura vidrio-metal**  
 Los nuevos diseños de estos tubos serán muy similares a los de Schott y SOLEL. El principal beneficio será un incremento de la oferta, lo que estabilizará los precios.
- **Tubos de bajo vacío y sin soldadura vidrio-metal**  
 La soldadura vidrio-metal será sustituida por un cierre mecánico. Estos tubos durarán más y serán más fiables. A cambio, su eficiencia y precio serán menores que las de los tubos de vacío.
- **Nuevos recubrimientos selectivos y anti-reflexivos**  
 Ya existen a nivel de laboratorio nuevos recubrimientos selectivos con  $\epsilon < 0,1$  a  $500^{\circ}\text{C}$  y alta durabilidad térmica. La industrialización de estos recubrimientos está pendiente aún



El resultado a medio plazo de las actividades de I+D actuales será la obtención de un mejor rendimiento sin aumentar el coste, y la disponibilidad de tubos económicos para  $T < 300^{\circ}\text{C}$

## Nuevos Desarrollos e Innovaciones en Tecnología CCP

### Nuevos diseños de estructuras soporte

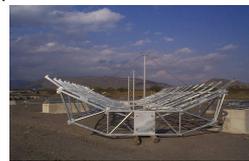
Varios diseños nuevos están actualmente en curso con el fin primordial de reducir el coste total del colector (fabricación + montaje). Algunos de los nuevos diseños usan un tubo central sobre el que se montan los brazos soportes de los espejos. La reducción del peso no es el objetivo primordial, sino alcanzar unos costes de montaje menores sin merma de la calidad y precisión final del colector.



Solargenix



EuroTrough



LS-3



SenerTrough

El principal resultado de las actividades de I+D actuales relacionadas con la estructura soporte será una importante reducción de costes, junto con eficaces procedimientos de control de calidad.

### Nuevos fluidos para colectores cilindro parabólicos

Los principales **inconvenientes** de la tecnología HTF actual son:

- ✓ temperatura máxima del vapor limitada (~380°C)
- ✓ contaminación en caso de fugas y riesgo de incendio

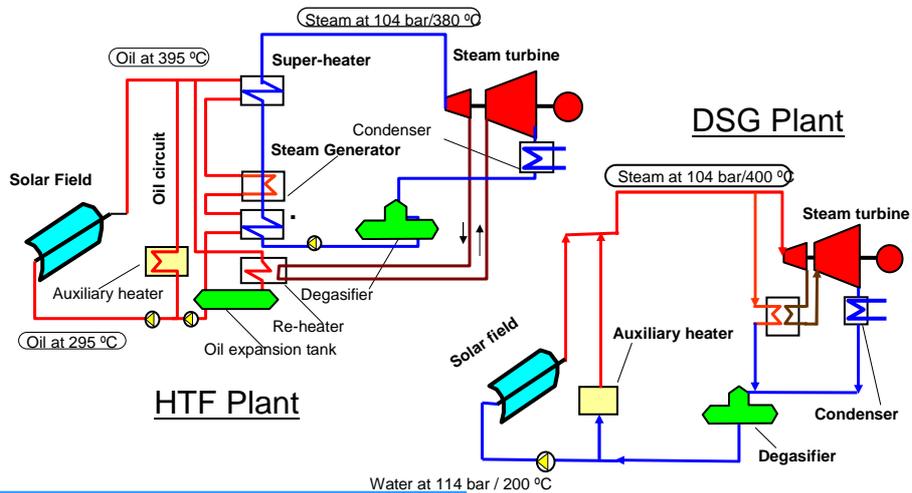
Tres nuevos fluidos están siendo investigados actualmente para sustituir al aceite térmico y eliminar sus inconvenientes:

- ✓ sales fundidas
- ✓ generación directa de vapor (el llamado proceso GDV)
- ✓ gas

### Nuevos fluidos para colectores cilindro parabólicos

Fluid0	Ventajas sobre el aceite	Desventajas sobre el aceite
Sales Fundidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- temperatura de vapor más alta</li> <li>- sin riesgo de contaminación o incendio</li> <li>- mejor almacenamiento térmico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta temperatura de cristalización (&gt;125°C)</li> <li>- diseño del campo solar más complejo</li> <li>- mayores consumos</li> </ul>
Generación Directa de Vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diseño simple de la planta</li> <li>- temperatura de vapor más alta</li> <li>- sin riesgo de contaminación o incendio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-falta de un almacenamiento térmico adecuado</li> <li>-sistema de control del campo solar más complejo</li> <li>-mayor presión en el campo solar</li> </ul>
Gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- temperatura de vapor más alta</li> <li>- se mejora el sistema de almacenamiento térmico</li> <li>- sin riesgo de contaminación o incendio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- baja refrigeración de los tubos receptores</li> <li>- sistema de control del campo solar más complejo</li> <li>- mayor presión en el campo solar</li> </ul>

- Esquemas de Generación Directa de Vapor (DSG versus HTF)



### Nuevos fluidos para colectores cilindro parabólicos (Situación actual)

#### ➤ Sales fundidas

La viabilidad técnica ha sido demostrada por ENEA (Italia) en una pequeña planta experimental (350 kWt) instalada cerca de Roma (Casaccia). Son necesarios datos reales de O&M en una planta comercial pequeña (3-5 MWe) para poder evaluar la viabilidad comercial de grandes plantas

#### ➤ Generación Directa de Vapor

La viabilidad técnica ha sido demostrada en la PSA en una pequeña planta experimental (2,45 MWt). Son necesarios datos reales de O&M en una planta comercial pequeña (3-5 MWe) para poder evaluar la viabilidad comercial de grandes plantas

#### ➤ Gas

Solo se han realizado estudios teóricos hasta la fecha. Una pequeña planta experimental (350 kWt) Está siendo puesta en funcionamiento en la PSA para evaluar la viabilidad de esta opción .

### Nuevos sistemas de almacenamiento térmico

Hay tres líneas de I+D actualmente, relacionadas con:

➤ **Calor sensible con sales fundidas (< 580°C)**

Aunque enormes sistemas de almacenamiento (1 GWh) con dos tanques de sales fundidas están siendo construidos en plantas de 50 MWe, esta tecnología aún no está validada en estos tamaños. Trabajo de I+D es necesario aún para evaluar el comportamiento a largo plazo de estos sistemas.

➤ **Calor latente con sales fundidas (cambio de fase) (< 320°C)**

Las plantas GDV necesitan sistemas de almacenamiento térmico que usen cambio de fase (PCM). Varias opciones para almacenamientos tipo PCM están siendo investigadas actualmente, y un prototipo de 200 kWh ha sido evaluado en la PSA.

➤ **Calor sensible con hormigón**

El objetivo de estas actividades de I+D es lograr un coste específico de 20 €/kWh de capacidad. Un prototipo de 2x350 kWh ha sido ensayado en la PSA con buenos resultados. Recientemente se ha ensayado un módulo de 400 kWh en Alemania con buenos resultados (Züblin AG)

Los sistemas de sales fundidas con dos tanques parecen ser la mejor opción en la actualidad para plantas HTF, si su fiabilidad es confirmada por las primeras plantas. Almacenamientos tipo PCM y con hormigón parecen buena opción para las plantas GDV a medio y largo plazo.

### Nuevos sistemas de almacenamiento térmico

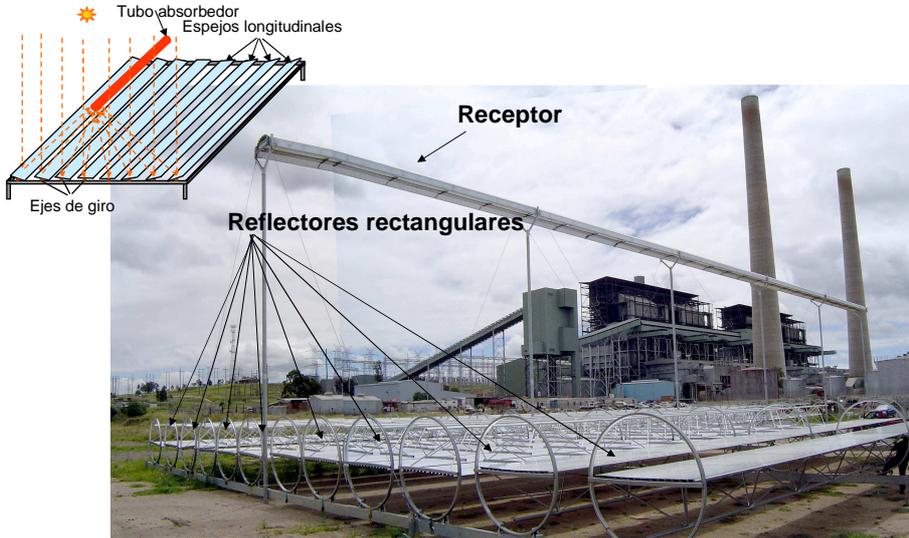


Módulo prototipo de almacenamiento térmico a base de PCM, de 200 kWh

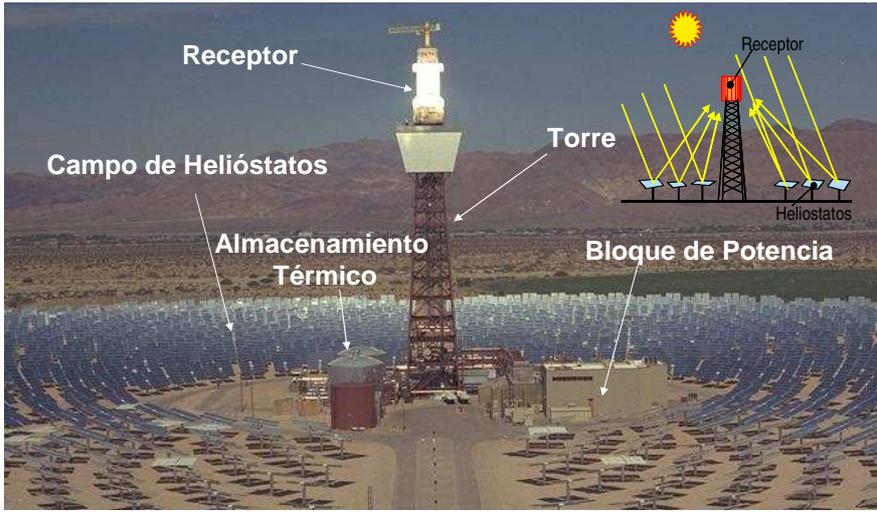


Módulo prototipo de almacenamiento térmico a base de hormigón, de 400 kWh

# Concentrador Lineal Fresnel (Variante/Innovación de CCP)

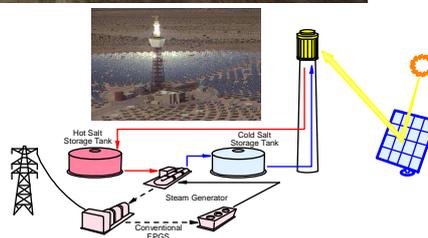
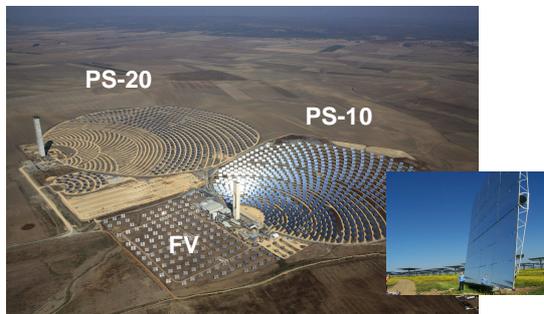


# Planta Termosolar de Receptor Central



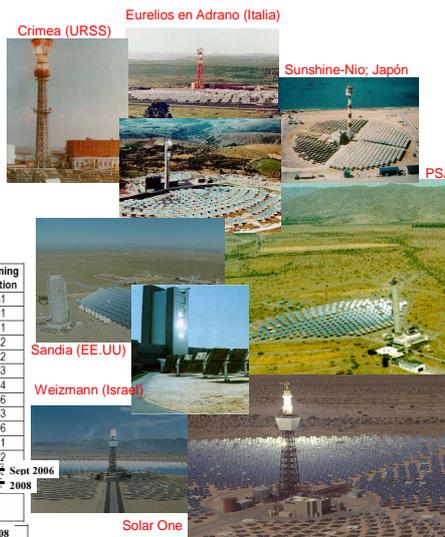
## Sistemas de Receptor Central: SRC

- Seguimiento en 2 ejes, Temperaturas 250°C- 1100 °C. Flujos de 300-1000 kW/m<sup>2</sup>
- Primera planta comercial (a nivel mundial) se inauguró en Marzo. 2007 (Solucar-PS10),
- PS20 en 2009!!**
- Ciclos Rankine, Brayton, Combinados
- Precedentes (demostración) Solar One y Solar Two de 10 MW y CESA-1 (1 MW)
- Eficiencias (anuales) conversión solar-electricidad: 12-16%
- Factores de capacidad hasta ~65%
- Proyectos en marcha:
  - 17 MW en España
  - 400 MWe en EE.UU. ¿?
  - 100 MWe en Sudáfrica ¿?



## SRC, Experiencia: Plantas de Demostración (~0.3 a 10 MWe)

- Tras las plantas de demostración, se considera probado el potencial y fiabilidad de los SRC.
- Las referencias siguen siendo Solar One-Solar Two y los dos sistemas de la PSA (CRS y CESA-1), con tres opciones tecnológicas preferentes: agua-vapor, Sales fundidas y Aire.
- Curva de aprendizaje reactivada con PS10, PS20,...



Project	Country	Power (MW <sub>e</sub> )	Heat Transfer Fluid	Storage media	Beginning operation
SSPS	Spain	0.5	Liquid Sodium	Sodium	1981
EURELIOS	Italy	1	Steam	Nitrate Salt/Water	1981
SUNSHINE	Japan	1	Steam	Nitrate Salt/Water	1981
Solar One	U.S.A.	10	Steam	Oil/Rock	1982
CESA-1	Spain	1	Steam	Nitrate Salt	1982
MSEE/Cat B	U.S.A.	1	Nitrate Salt	Nitrate Salt	1983
THEMIS	France	2.5	Hitech Salt	Hitech Salt	1984
SPP-5	Russia	5	Steam	Water/Steam	1986
TSA	Spain	1	Air	Ceramic	1993
Solar Two	U.S.A.	10	Nitrate Salt	Nitrate Salt	1996
Consolar	Israel	0.5**	Pressurized Air	Fossil Hybrid	2001
Solgate*	Spain	0.3	Pressurized air	Fossil Hybrid	2002
PS10*	Spain	10	Steam	Ceramic	2006 Sept 2006
Solar Tres*	Spain	15	Nitrate Salt	Nitrate Salt	2007 2008

\* Projects under development.  
\*\* Thermal

## SRC: Estado de la Tecnología



- **Heliostato:** Ha mostrado un comportamiento excelente, con tendencia a desarrollos de mayor tamaño y costes específicos menores.
- Referencia actual:
  - Helóstatos de 120 m<sup>2</sup>
  - Oferta comercial de ~200 €/m<sup>2</sup> (instalado)
- Aún hay potencial de reducción de costes ...



Solar Two



TSA



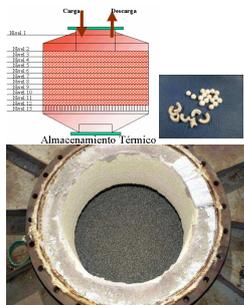
Planta Piloto y Pequeño Heliostato (7.3 m<sup>2</sup>) de Bright Source & LUZ 2

Slide 37

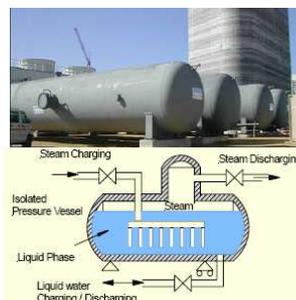
## SRC : Estado de la Tecnología



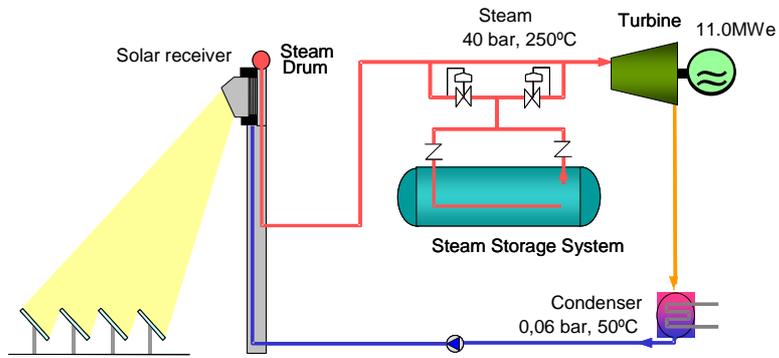
- **Almacenamiento térmico** bien **resuelto** cuando se utilizan **sales fundidas** como fluido calo portador y relativamente resuelto para **aire atmosférico**
- Para sistemas que utilizan **agua-vapor** o **aire presurizado** la solución de almacenamiento **requiere I+D+D**.
- La **reducción de costes** (< ~20 €/kWh) en los primeros desarrollos de plantas es también un reto.



TSA



## SRC: Primeras plantas comerciales.



General Description	
Emplacement	Sanlúcar M. (Sevilla), Lat 37.4°, Lon 6.23°
Nominal Power	11.02M We
Tower Height	100m
Receiver technology	Saturated Steam
Receiver Geometry	Cavity180°, 4 Pannels 5m x 12m
Heliostats	624 @ 121m <sup>2</sup>
Thermal Storage Technology	Water/Steam
Thermal Storage Capacity	15MWh, 50min @ 50% Rate
Steam Cycle	40bar 250°C, 2 Pressures
Electric Generation	6.3kV, 50Hz -> 66kV, 50Hz
Land	60Has
Annual Electricity Production	23.0GWh

## SRC: Primeras plantas comerciales.

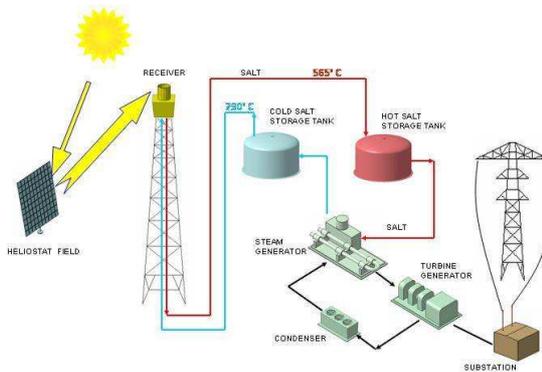
### PS 10 y PS 20



Torre de la planta PS-10

Vista aérea de las Plantas PS-10 y PS-20 de Abengoa (Sevilla)

## SRC: Primeras plantas comerciales, SOLAR TRES / GEMASOLAR



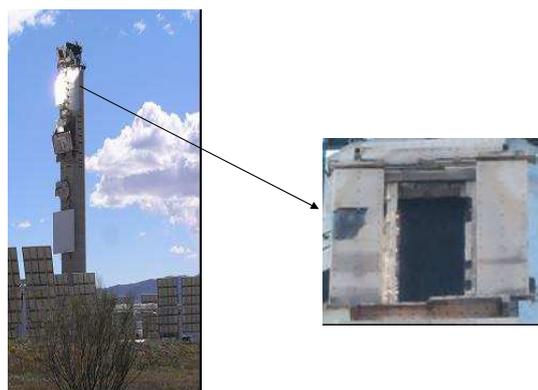
Datos Técnicos	
Superficie Reflectante del Campo de Heliostatos	264825 m <sup>2</sup>
Número de heliostatos	2750
Superficie Total del Campo de Heliostatos	142.31 Ha
Potencia Térmica del Receptor	120 MWt
Altura de la Torre	120 m
Capacidad de Almacenamiento Térmico	15 horas
Potencia de la Turbina	17 MWe
Potencia de la Caldera de GN	16 MWt

Operación	
Radiación solar normal directa anual sobre Heliostatos	2062 kWh/m <sup>2</sup>
Energía anual vendida	105566 MWh
Producción a partir de GN	15%
Factor de Capacidad	71%

Proyecto parcialmente subvencionado por la CE (Contrato No. NNE5/2001/369), a través de un consorcio formado por SENER, CIEMAT, ALSTOM-SIEMENS, SAINT GOBAIN y GHERSA.



## SRC: Primeras plantas comerciales, SOLAR TRES / GEMASOLAR



Proyecto parcialmente subvencionado por la CE (Contrato No. NNE5/2001/369), a través de un consorcio formado por SENER, CIEMAT, ALSTOM-SIEMENS, SAINT GOBAIN y GHERSA.



## SRC, Futuro próximo

- La tecnología de vapor saturado, con bajo riesgo tecnológico se inaugura con PS-10, PS20,... Probablemente evolucionará a vapor sobrecalentado (Almaden 20?, BrightSource, ...)



Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009

Slide 43

## SRC, Futuro próximo



- La Tecnología de sales fundidas (tipo Solar Two) está implementándose en Solar TRES/GEMASOLAR, con mayor tamaño (17MWe y ~14 horas de almacenamiento térmico)
- El riesgo de la tecnología aún constituye una barrera. El éxito de las primeras plantas comerciales será determinante para mitigar este impedimento.

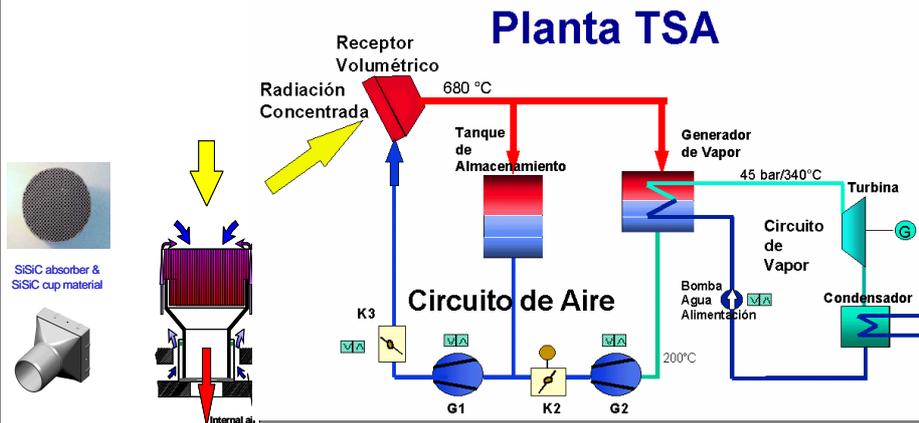
Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009

Slide 44

## SRC: Nuevos Desarrollos e Innovaciones (Tecnología de Aire atmosférico y Presurizado)

### Tecnología de Aire Atmosférico

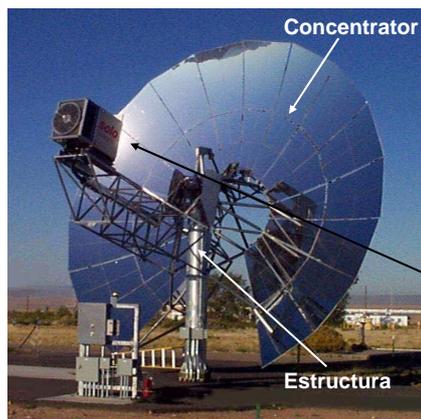
- ✓ Ciclos tipo Rankine
- ✓ Funcionalidad probada pero altos costes de receptor



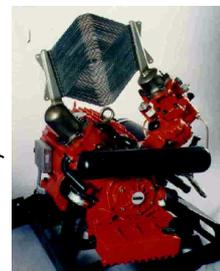
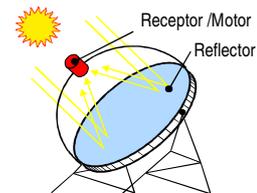
Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009

Slide 45

## Discos Parabólicos Stirling



Disco Stirling Típico (WG Associates, 10-kWe)



Motor Stirling solarizado

Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009

Slide 46

## Discos Parabólicos, DP

- Seguimiento en **2 ejes**. Disco Parabólico. Temps. De 700-800 °C. Flujos de 500-3000 kW/m<sup>2</sup>.
- Ciclos Stirling y Brayton
- Amplia **variedad de diseños** han demostrado los **altos rendimientos** requeridos a nivel comercial
- Efic. Conversión solar-electricidad anual 20-22 %
- Ninguna planta comercial conectada a red. **Algunas unidades conectadas.**
- Permite **Generación en zonas aisladas** o en plantas centralizadas. Módulos de 10-25 kWe (Stirling)
- **Proyectos de plantas:**
  - España: **~0.1 MWe**
  - EEUU: **500 MW** (SCE - 20,000 discos) + **300 MW** con SDG&E - 12,000 discos)



## DP, Estado de la tecnología



- La variedad de diseños de **disco** concentrador (paraboloide continuo/facetado + estructura,...) y de **receptores-motores** han demostrado altas eficiencias (record de 29.5% solar-electricidad)
- **La Durabilidad del motor-receptor requiere mejoras**

- **Los costes de inversión son, actualmente, la mayor barrera**



## DP, Futuro

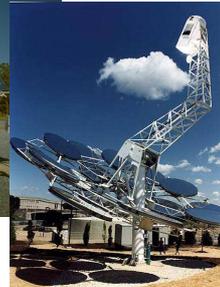
- Empresas Europeas y de EE.UU. Están desarrollando las primeras unidades comerciales (SBP, SES,...)
- Lo previsible es que los costes disminuyan enormemente (desde los actuales 8000-10000 €/kWe pico) cuando se comience la producción en masa.



SBP/Solo



SES/Boeing



SAIC/STM

### I+D:

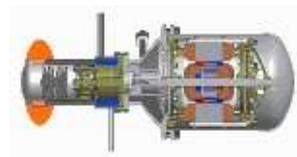
- Desarrollos de motores híbridos (solar-fuel), ciclos brayton, cogeneración, ...
- Concentradores de menor coste específico...



## Nuevos desarrollos

### Infinia Corp., EEUU

- 3 kWe
- Pistón libre
- Varios prototipos en operación
- Comienzo de fabricación



## 2007-2009: Primeros pasos del despliegue comercial en Solar Termoelectrica: en España

➤ En España se dan condiciones especialmente favorables por varias razones:

- El actual marco de **apoyo institucional** (RD 436/ 2004 -> ~0.23 €/kWh,.. RD 661/2007 ~0.27 €/kWh,.. + incentivos europeos, nacionales, regionales, etc.)
- **Importante experiencia** en proyectos de I+D y demostración (Plataforma Solar de Almería)
- Quizá el mayor **recurso solar** a nivel Europeo
- La existencia de un **sector industrial interesado** en estos desarrollos (ABENGOA, ACS, SENER, IBERDROLA, ...ACCIONA,...)
- **2007: Inauguración de PS10 (11 MWe); 2008: ANDASOL 1 (+50 MWe), 2009: PS20 (+20 MWe); ...800 MWe e construcción > 5.7 GWe en trámite (fianza depositada, ...)/esperando...**
- **... Factible construcción de los 500 MWe que recoge el Plan de Energías Renovables (2005-2010) y +**



Fronteras de la Energía Benasque; 9 de julio, 2009

## 2007-2009: Primeros pasos del despliegue comercial en Solar Termoelectrica: en España

### Localización de Centrales Termosolares en España

Id	Central	Emplazamiento	Tec.	Potencia	Estado
1	PS10	Sanlúcar la Mayor (Sevilla)	1	11 MW	En operación
2	Aznacollar TH	Sanlúcar la Mayor (Sevilla)	2	0,08 MW	En operación
3	ESI	(Sevilla)	3	0,01 MW	En operación
4	Andasol 1	Aldéate-LaCalahorra (Granada)	4	50 MW	En operación
5	PS20	Sanlúcar la Mayor (Sevilla)	5	20 MW	En operación
6	Solnova 1, 3 y 4	Sanlúcar la Mayor (Sevilla)	6	3 x 50 MW	En construcción
7	Labriga	Labriga (Sevilla)	7	50 MW	En construcción
8	Andasol 2	Aldéate-LaCalahorra (Granada)	8	50 MW	En construcción
9	Palma del Río I y II	Palma del Río (Córdoba)	9	2 x 50 MW	En construcción
10	Pueblolano	Pueblolano (Ciudad Real)	10	50 MW	En construcción
11	Miraflores 1	Alcazar de San Juan (Ciudad Real)	11	50 MW	En construcción
12	Alvarado	Alvarado (Badajoz)	12	50 MW	En construcción
13	Extrecoal 1, 2 y 3	Torre de Miguel Sesmero (Badajoz)	13	3 x 50 MW	En construcción
14	Gemasolar	Fuente de Andalucía (Sevilla)	14	17 MW	En construcción
15	La Florida	Alvarado (Badajoz)	15	50 MW	En construcción
16	La Dehesa	La Garrovilla (Badajoz)	16	50 MW	En construcción
17	PEI	TM de Calatayud (Murcia)	17	1,4 MW	En operación
18	Majadas	Majadas de Tiétar (Cáceres)	18	50 MW	En construcción
19	Andasol 3	Aldéate-LaCalahorra (Granada)	19	50 MW	En construcción
20	Vallesol	San José del Valle (Cádiz)	20	50 MW	En construcción
21	Arcovaliso	San José del Valle (Cádiz)	21	50 MW	En construcción
22	Helienergy 1 y 2	Ecija (Sevilla)	22	2 x 50 MW	En construcción
23	ASTE 1a	Alcazar de San Juan (Ciudad Real)	23	50 MW	En construcción
24	ASTE 1b	Alcazar de San Juan (Ciudad Real)	24	50 MW	En construcción
25	ASTEXOL 2	Badajoz	25	50 MW	En construcción
26	Solaben 2 y 3	Logroñán (Cáceres)	26	2 x 50 MW	En construcción
27	Arnedilla PS	Misión de la Frontera (Sevilla)	27	50 MW	En construcción
28	Semevalta Solar II	Torturillas (Badajoz)	28	50 MW	En construcción
29	El Rebozo II	La Puebla del Río (Sevilla)	29	50 MW	En construcción

Leyenda

Tecnologías:	Estado:
1 Receptor Central (Torre)	En operación
2 Canales Parabólicos	En construcción
3 Disco Parab. con motor Stirling	
4 Fresnel	



www.protermosolar.com

Fronteras de la Energía Benasque; 9 de julio, 2009

## En el Resurgir del desarrollo comercial: Nivel Internacional

Por diversas motivaciones:

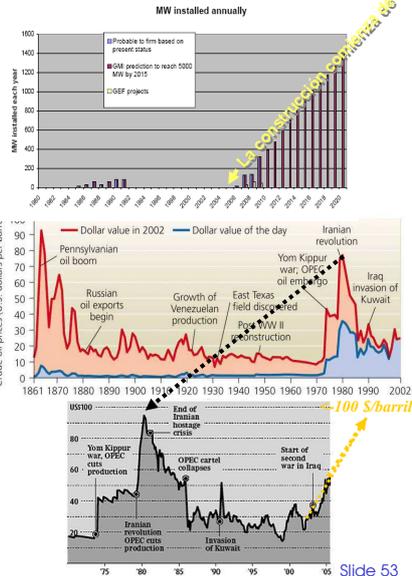
### Lecciones aprendidas:

- **A finales de los 80:** la crisis del petróleo, el apoyo institucional en California y un sector industrial interesado condujo a la construcción (en solo 7 años) de 9 plantas ESTE, con una potencia total de **364 MWe**.
- **Ahora:** el Precio del petróleo se aproxima a niveles de los 80; La Concienciación por la sostenibilidad está mas arraigada en la sociedad, los Gobiernos y la Industria (acuerdo de Kioto + Nuevo Mercado de emisiones –por CO2 evitado-, etc.).

### Concreción de iniciativas:

- **Globales:** como la GMI (Iniciativa de Mercado Global) con objetivos de alcanzar **5000 MWe (de STPP) para 2014** o la de Greenpeace-Solarpaces: **5% de la electricidad mundial con ESTE, para 2040**, con estas tecnologías, etc.
- **Nacionales, regionales y Privadas:** como EE.UU (CA, TX, NV), Área Mediterránea, Oriente Medio, y **NUEVOS MERCADOS:** China, India, Argelia, Libia, Sudáfrica, etc.

Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009



Slide 53

## En el Resurgir de desarrollo comercial: Nivel Internacional

Por diversas motivaciones:

### Lecciones aprendidas:

- **A finales de los 80:** la crisis del petróleo, el apoyo institucional en California y un sector industrial interesado condujo a la construcción (en solo 7 años) de 9 plantas ESTE, con una potencia total de **364 MWe**.
- **Ahora:** el Precio del petróleo se aproxima a niveles de los 80; La Concienciación por la sostenibilidad está mas arraigada en la sociedad, los Gobiernos y la Industria (acuerdo de Kioto + Nuevo Mercado de emisiones –por CO2 evitado-, etc.).

### Concreción de iniciativas:

- **Globales:** como la GMI (Iniciativa de Mercado Global) con objetivos de alcanzar **5000 MWe (de STPP) para 2014** o la de Greenpeace-Solarpaces: **5% de la electricidad mundial con ESTE, para 2040**, con estas tecnologías, etc.
- **Nacionales, regionales y Privadas:** como EE.UU (CA, TX, NV), Área Mediterránea, Oriente Medio, Sudáfrica, Australia, China, Etc.

Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009

### Programa Federal (EE.UU.) de incentivos (ITC):

Incentive Pricing	Program Length	Eligible Technologies	Program Restrictions
30% tax credit on expenditures for solar energy properties installed by 1 January 2008	1 January 2006 through the end of 2008	Solar CSP, Solar PV	For equipment installed on or after 1 January 2009, the tax credit for solar energy property is scheduled to revert back to 10%. The original use of the equipment must begin with the taxpayer or it must be constructed by the taxpayer

Note: \*Reflects most current legislation  
Source: Emerging Energy Research

#### Next Stage of CSP Build-out

- Portugal**
  - €0.27/kWh for CSP plants smaller than 10 MW and €0.16/kWh to €0.20/kWh for plants >10 MW
- Italy**
  - The national agency for New Technologies, Energy and the Environment (ENEA) has developed a plan to develop solar and solar thermal energy
  - Capital investment incentives can be applied for at a local level
- Greece**
  - A €0.25/kWh feed-in tariff on the main land. On the islands, a €0.27/kWh tariff is available
- North Africa**
  - Algeria, the only non-OECD country with a renewable goal, has called for 10% renewable generation by 2010, which will include CSP as an option
- Israel**
  - A 20-year \$16.3/kWh feed-in tariff for solar CSP projects larger than 20 MW. For plants smaller than 20 MW, the tariff is \$20/kWh. Fossil fuel backup is limited to 30% of total generation

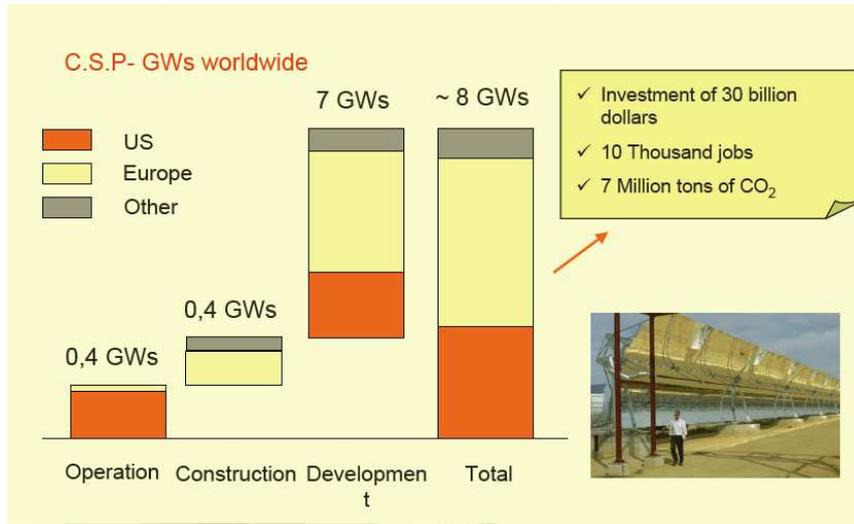
Source: Emerging Energy Research

#### Next Stage of CSP Build-out

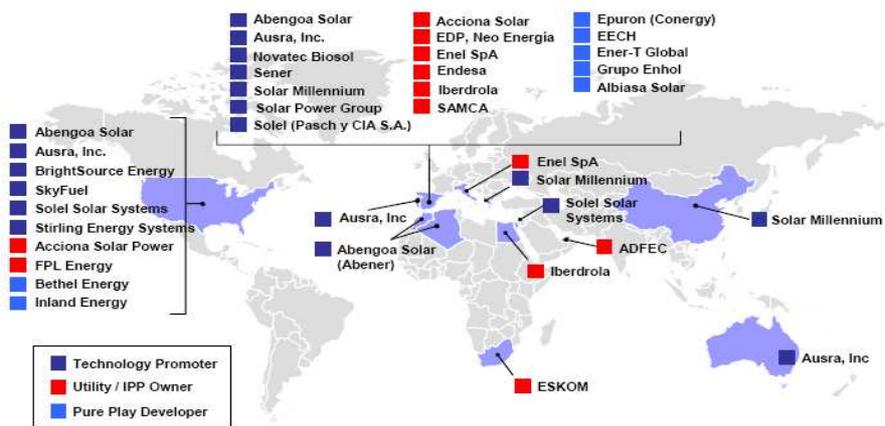


Slide 54

**A nivel Mundial: hasta 8GWe en diferentes fases de promoción con España y Estados Unidos en vanguardia de la tecnología**

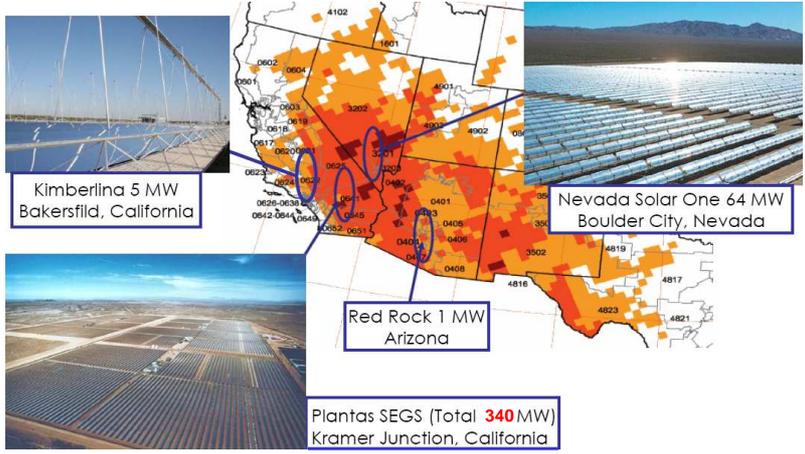


**PRINCIPALES ACTORES**



Note: ADFEFC = Abu Dhabi Future Energy Company  
Source: Emerging Energy Research

## Plantas Solares Termoeléctricas en EEUU



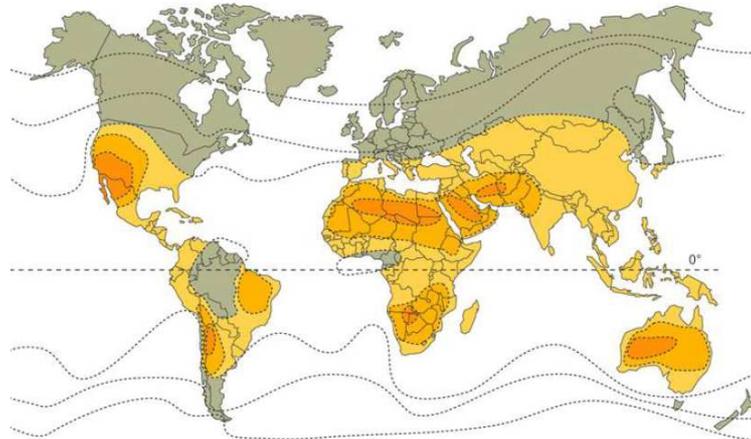
## Proyectos actuales en la región MENA (Oriente Medio y Norte de África) y EAU (Emiratos Árabes)



**470 (30) MW** ISCC en Ain Beni Mathar (Marruecos)    
 **146 (30) MW** ISCC en Kuraymat (Egipto)  
**150 (30) MW** ISCC en Hassi R'Mel (Argelia)    
**100 MW** en Shams (EAU)

## Potencial de las Plantas Solares Termo-eléctricas

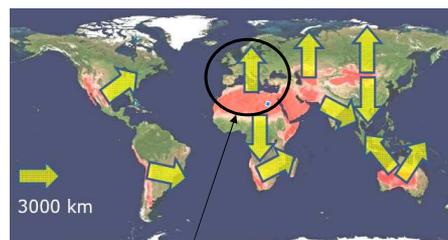
### Clasificación de Zonas por su Radiación Solar Directa Normal



## Potencial de las Plantas Solares Termo-eléctricas.

### Algunas cifras importantes

- ✓ El **90% del consumo eléctrico mundial** podría abastecerse con plantas solares termo-eléctricas que ocupasen un cuadrado de **300x300 km** en zonas desérticas.
- ✓ Transportar la electricidad a una distancia de **3000 km** mediante líneas de alto voltaje en corriente continua supondría unas **pérdidas de solo el 10%**.



- ✓ Toda Europa podría abastecerse mediante plantas solares termo-eléctricas instaladas en el Sahara, y transportando la electricidad mediante líneas marinas de 800 kV en corriente continua (= propuesta del Club de Roma, TRMED y CSPMED).

- ✓ El consumo de electricidad de la UE en 2005 fue de 3300 TWh, y el **Potencial Técnico** (DNI>1800kWh/m<sup>2</sup>-año) de Argelia para plantas solares termoeeléctricas es de 169.440 TWh/año (~50 veces la demanda europea de electricidad)

## Cantidad y Tipo de EMPLEOS

### Instalando 500 MWe:

- 250-500 empleos permanentes para OyM
- 2500-5000 empleos en obra civil durante la construcción (~2 años)
- 1000-2000 empleos en fabricación durante la construcción (~2 años)
- 200.000 Ton. Acero
- 250.000 Ton. Hormigón
- 55.000 Ton. Vidrio



## Cantidad y Tipo de EMPLEOS

### Instalando 500 MWe:

- 250-500 empleos permanentes para OyM
- 2500-5000 empleos en obra civil durante la construcción (~2 años)
- 1000-2000 empleos en fabricación durante la construcción (~2 años)
- 200.000 Ton. Acero
- 250.000 Ton. Hormigón
- 55.000 Ton. Vidrio



### Instalando 500 MWe:

- 250-500 empleos permanentes para OyM

- 2500-5000 empleos en obra civil durante la construcción (~2 años)

- 1000-2000 empleos en fabricación durante la construcción (~2 años)

- 200.000 Ton. Acero

- 250.000 Ton. Hormigón

- 55.000 Ton. Vidrio



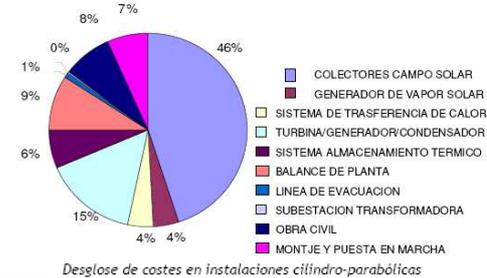
¿pero.....cuánto cuesta la  
Energía Solar Termo-Eléctrica?



## Coste de la Tecnología. CCP

- La experiencia, diferente en cada tecnología, solo permite hacer estimaciones sobre el coste, con razonable credibilidad, (cifras aceptadas por bancos): coste final de la electricidad entre 0.14-0.20 €/kWh

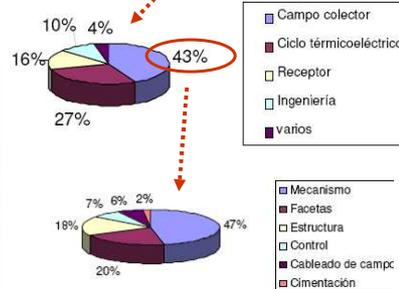
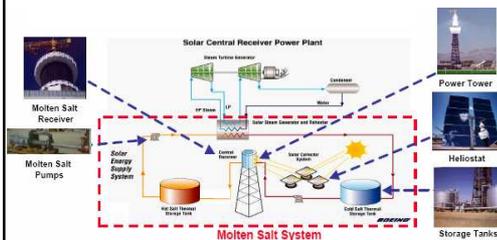
Resultados (CCP-Aceite y 3h almacenamiento)		
Costes Inversión específicos	3530	€/kW <sub>el</sub>
Factor de Capacidad	28.5	%
Fracción de la Demanda (referencia) satisfecha por aporte solar	50.0	%
Coste global de la electricidad (solo solar)	0.172	€/kWh <sub>el</sub>
Coste O&M incluido en coste global	0.032	€/kWh <sub>el</sub>



## Coste de la Tecnología. SRC

- Costes específicos de inversión elevados (~2-3 veces las tecnologías convencionales)
- Alto potencial reducción de costes en campo solar (helióstatos)

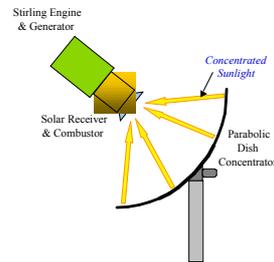
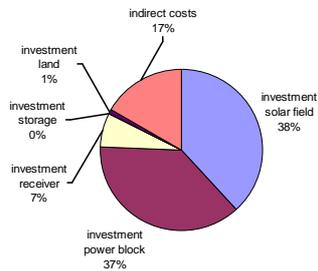
Resultados (SRC-Sales + 3h almacenamiento)		
Costes Inversión específicos	3 473	€/kW <sub>el</sub>
Factor de Capacidad	33.3	%
Fracción de la Demanda (referencia) satisfecha por aporte solar	29.2	%
Coste global de la electricidad (solo solar)	0.154	€/kWh <sub>el</sub>
Coste O&M incluido en coste global	0.036	€/kWh <sub>el</sub>



## Coste de la Tecnología. Discos Parabólicos

- Costes específicos de inversión doble que las otras ESTE. También doble coste de la electricidad producida.
- Alto potencial reducción de costes en concentrador y bloque receptor - motor Stirling

Resultados (SRC-Sales + 3h almacenamiento)		
Costes Inversión específicos	8035	€/kW <sub>el</sub>
Factor de Capacidad	49.6	%
Fracción de la Demanda (referencia) satisfecha por aporte solar	45	%
Coste global de la electricidad (solo solar)	0.281	€/kWh <sub>el</sub>
Coste O&M incluido en coste global	0.046	€/kWh <sub>el</sub>



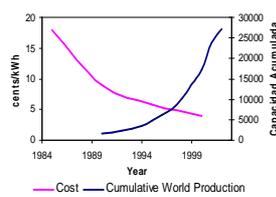
Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009

Slide 67

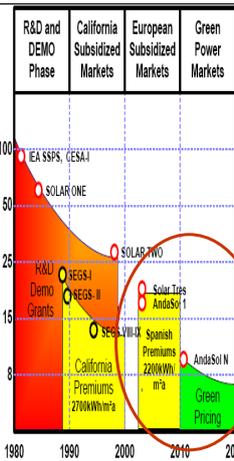
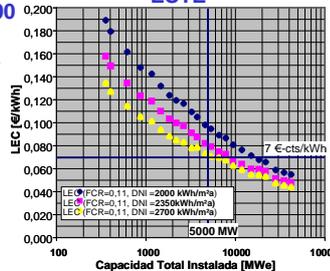
## Potencial reducción de costes de la ESTE

- La reducción de costes de la **Eólica es un ejemplo** para la ESTE. Los costes iniciales eran elevados y se redujeron al aumentar la capacidad instalada (razón de aprendizaje ~20%)
- La **ESTE** podría seguir una reducción semejante (con razón de aprendizaje estimada de la experiencia Californiana de ~8%).
- Conseguir la **instalación de 5000 MWe conduciría a reducir el coste a la mitad (7-9 c€/kWh)**. [= Propuesta GMI]
- **Estrategia combinada:**
  - 1) Mayores tamaños de planta;
  - 2) Producción en serie de componentes;
  - 3) Mejora tecnológica (I+D)

Capacidad y Coste de la Eólica



ESTE



Fronteras de la Energía  
Benasque; 9 de julio, 2009

Slide 68

## En resumen:

- **Enorme potencial** para la Solar Termoeléctrica a medio Plazo ¿5% de la electricidad mundial para 2040?, ¿18-66 GWe en España?, de *Electricidad "gestionable"*.

### RETOS (para un éxito semejante al de la eólica):

- Las primeras plantas han de ser "un éxito"
- Reducir los costes de generación:
  - Despliegue continuado de plantas, con tiempo de incorporar innovaciones
  - Mayor competencia entre suministradores de componentes
  - Nuevas tecnologías / Innovaciones
  - Plantas de mayor tamaño
- Reducir el consumo de agua (de los ciclos de vapor) que las haga compatibles con zonas desérticas
- Promover la cooperación e interconexión eléctrica con el Norte de África (y el Oriente Medio), auténticas "minas solares".



...Desde la Plataforma Solar de Almería (PSA), seguiremos "acompañando" (con I+D+...) el despliegue comercial de la Solar Termoeléctrica



## SRC: Nuevos Desarrollos e Innovaciones (Tecnología de Aire atmosférico y Presurizado)

### Tecnología de Aire a Presión

- ✓ Ciclos tipo Brayton o Combinados
- ✓ Limitaciones en diseño de receptor y campo de heliostatos

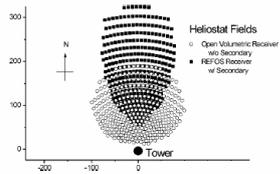


Fig. 13 Effect of Secor

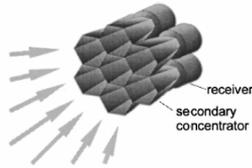


Fig. 2 Modular receiver arrangement

