

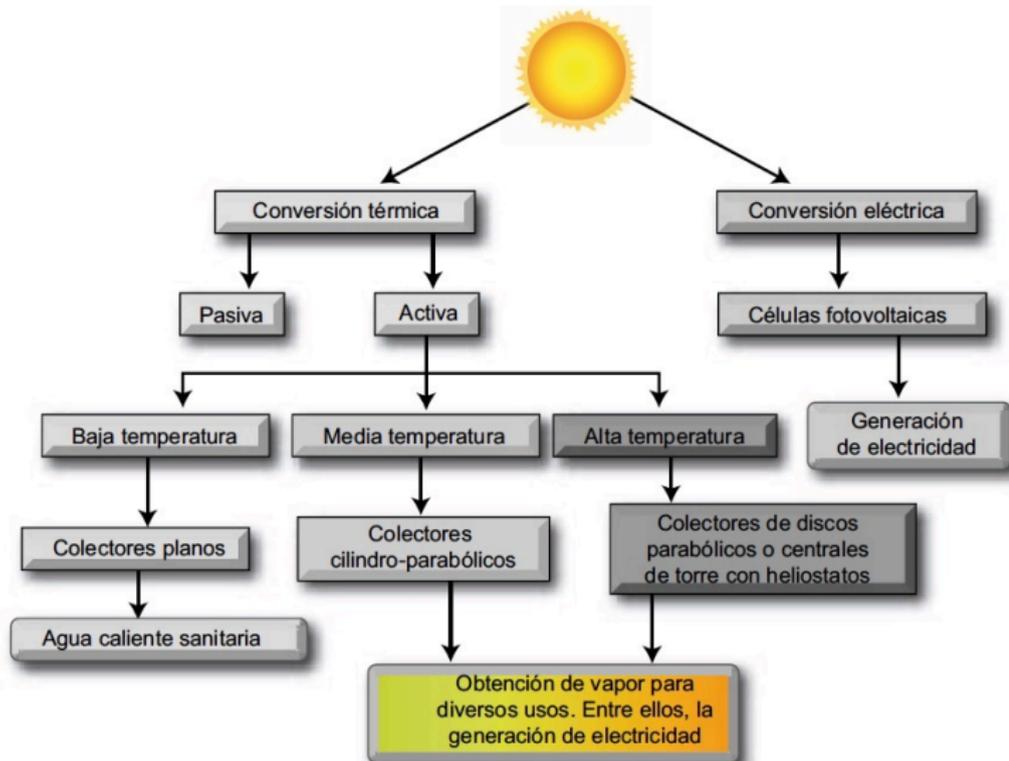
# Energía solar térmica

José Miguel Mateos Roco

# Energía solar térmica

- **Introducción**
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

# Tecnologías para aprovechar la energía solar térmica



## Energía solar térmica

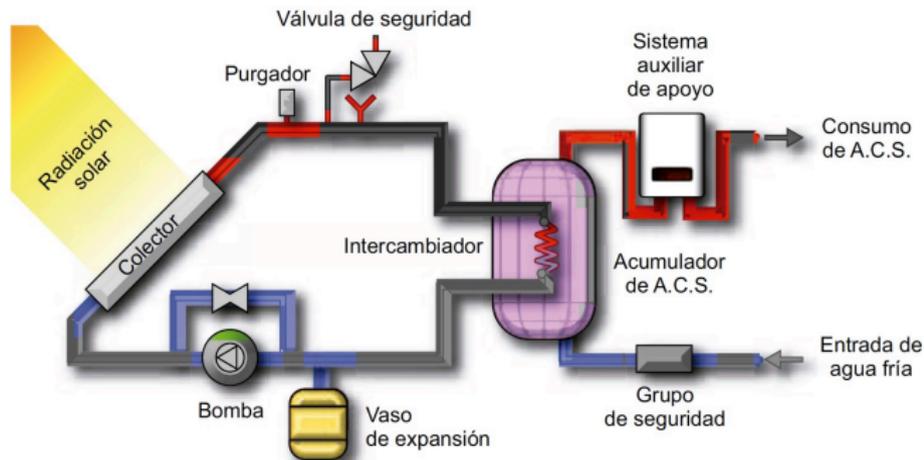
- 1 **Energía solar pasiva:** Acondicionamiento de edificios (arquitectura bioclimática)
- 2 **Energía solar activa:**
  - Tecnología solar de **baja temperatura** ( $t < 90^{\circ}\text{C}$ )
  - Tecnología solar de **media temper.** ( $90^{\circ}\text{C} < t < 400^{\circ}\text{C}$ )
  - Tecnología solar de **alta temperatura** ( $t > 400^{\circ}\text{C}$ )
  - Otras tecnologías solares: **Centrales solares de chimenea**

## Energía solar térmica

- Introducción
- **Tecnología solar de baja temperatura**
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

## Tecnología solar de baja temperatura ( $t < 90^{\circ}\text{C}$ )

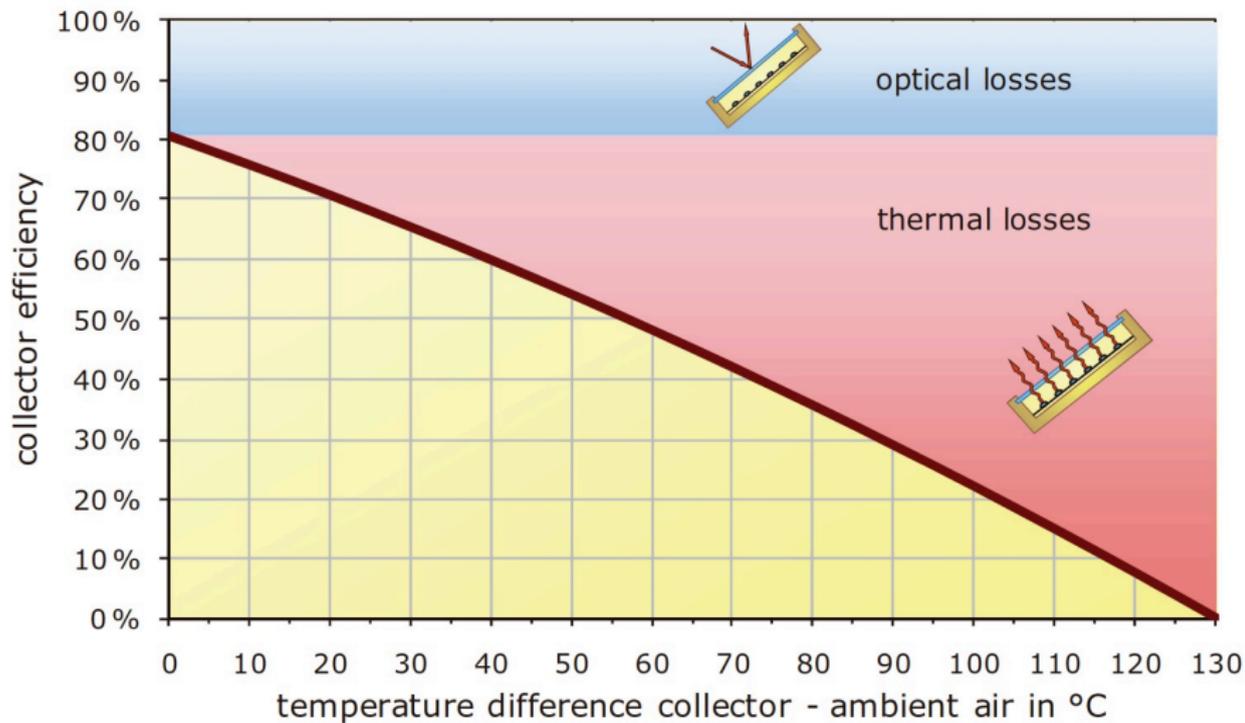
Calentamiento de agua por debajo del punto de ebullición  
(agua caliente sanitaria (A.C.S.))



- 1 Sistema de **captación**
- 2 Sistema de **acumulación**
- 3 **Intercambiador de calor**
- 4 Sistema **auxiliar de apoyo**

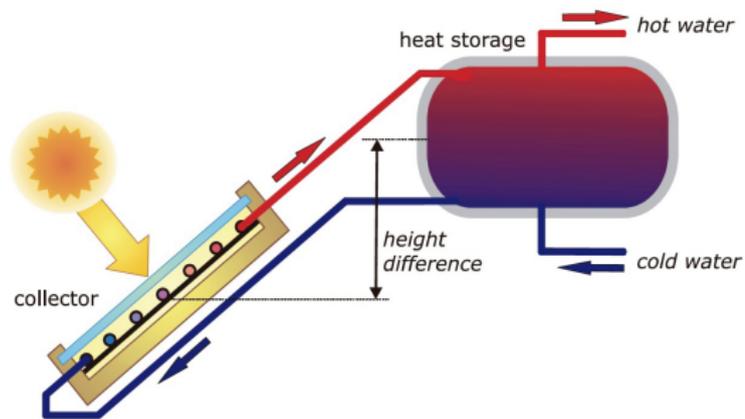
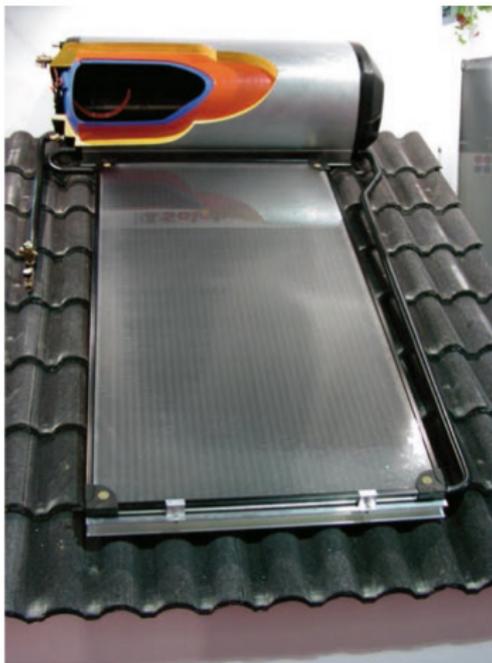


## Eficiencia del colector solar





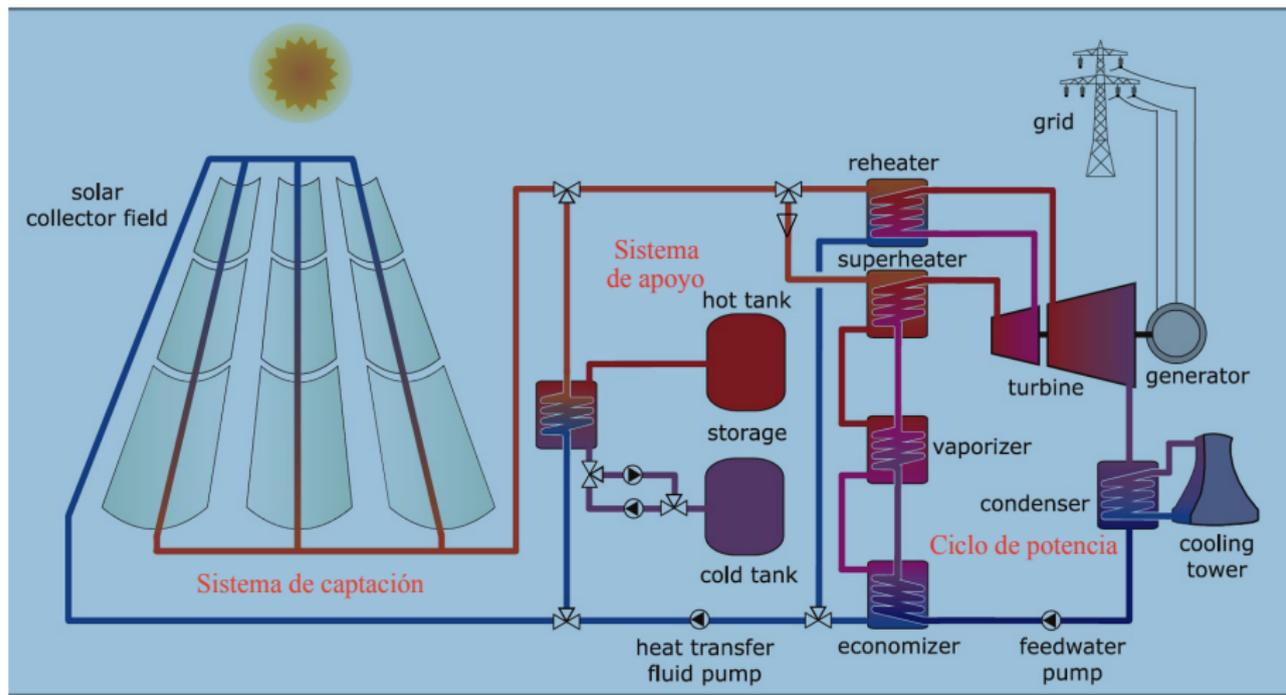
## Sistema termosolar de circulación (termosifón por gravedad)



## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- **Tecnología solar de media temperatura**
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

## Tecnología solar de media temperatura ( $90^{\circ}\text{C} < t < 400^{\circ}\text{C}$ )





## Tecnología solar de media temperatura ( $90^{\circ}\text{C} < t < 400^{\circ}\text{C}$ )

- 1 Sistema de captación de energía solar:
  - Colector cilindro-parabólico (CCP)
  - Colector de Fresnel
- 2 Fluido de transferencia de calor: aceites derivados del benceno (menores presiones que el agua, limitación a  $t_{\max} \simeq 300^{\circ}\text{C}$ )
- 3 Sistema de apoyo:
  - Caldera de apoyo (biomasa)
  - Tanques de almacenamiento de calor (sales fundidas)
- 4 Ciclo de potencia: Ciclo de vapor (Rankine de agua)  
 $T_c = 373,946^{\circ}\text{C}$ ,  $P_c = 220,640$  bar



## 1. Sistema de captación

Componentes de un CCP:

- **Reflector cilindro parabólico**: espejo curvado en forma de parábola (concentra toda la radiación sobre el punto focal de la parábola)
- **Tubo absorbente**: se sitúa a lo largo de la focal de la parábola
- **Sistema de seguimiento del sol**
- **Estructura metálica**: proporciona rigidez y estabilidad al sistema

## 1. Sistema de captación



Planta termosolar de 354 MWe (Kramer's Junction, California)

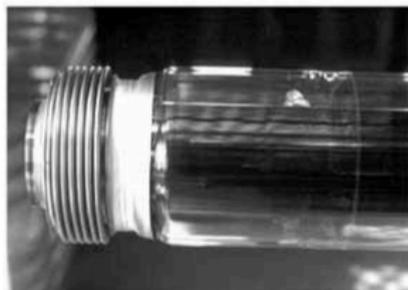
## 1. Sistema de captación

CCP: **Tubo absorbente** formado por dos cilindros concéntricos:

- Exterior: vidrio, transparente
- Interior: metálico por donde circula el fluido absorbedor (aceite sintético)
- Vacío entre tubos (elimina pérdidas por convección)

**Características:**

- Longitud  $\simeq 4$  m
- Absortividad: 95 %
- Emisividad a 350°C: 12 %





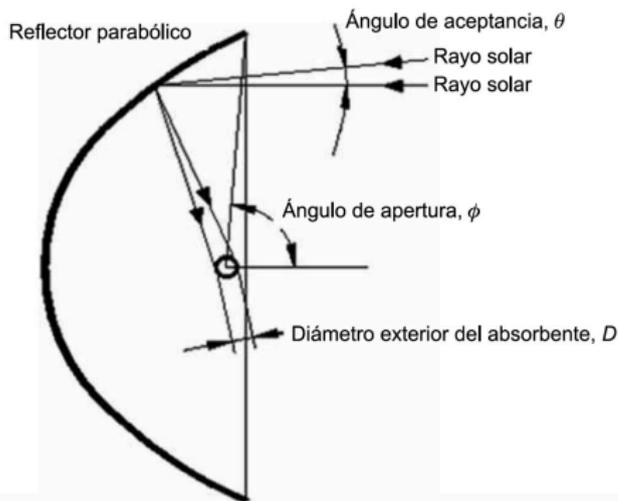
## 1. Sistema de captación

### Balance energético en el CCP

Razón de concentración geométrica  $C$ :

$$C = \frac{A}{2\pi rL}, \quad C \simeq 20 \quad (1)$$

$A$ : área de apertura del colector;  $r$ : radio del tubo;  $L$ : longitud del tubo





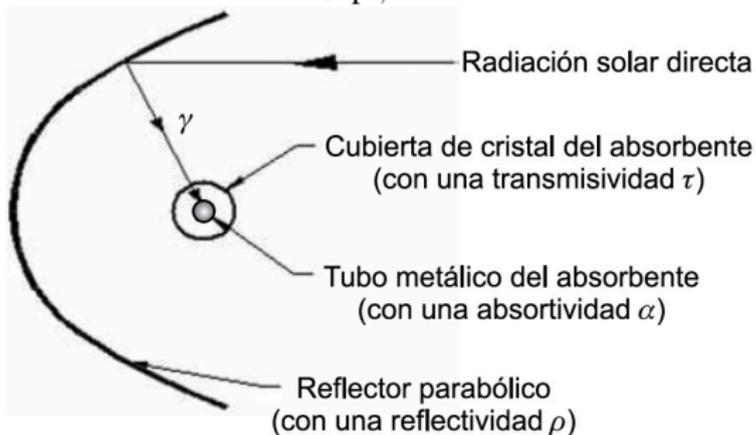
## 1. Sistema de captación

### Balance energético en el CCP

#### Pérdidas ópticas:

- Reflectividad  $\rho$
- Factor de intercepción  $\gamma$
- Transmisividad  $\tau$
- Absortividad  $\alpha$

Rendimiento óptico pico  $\eta_{\text{opt},0^\circ} = \rho \gamma \tau \alpha$



## 1. Sistema de captación

### Balance energético en el CCP

**Pérdidas térmicas:** Tienen lugar fundamentalmente a lo largo del tubo absorbente se evalúan a través del coeficiente global de pérdidas desde el tubo al ambiente  $U_L$ :

$$Q_L = U_L \pi D_o L (T_{\text{abs}} - T_{\text{amb}}) \quad (2)$$

$Q_L$ : calor cedido por el tubo absorbente

$D_o$ : diámetro del tubo absorbente

$L$ : longitud del tubo absorbente

$T_{\text{abs}}$ : temperatura del tubo absorbente

$T_{\text{amb}}$ : temperatura ambiente

$U_L(350^\circ\text{C}) \simeq 4 \text{ W/M}^2 \text{ K}$

## 1. Sistema de captación

### Balance energético en el CCP

Rendimiento global de un CCP:  $\eta_{\text{global}}$

Cociente entre la energía térmica útil,  $Q_{\text{util}}$ , suministrada al fluido de trabajo y la energía solar incidente,  $Q_{\text{sol}}$

$$\eta_{\text{global}} = \frac{Q_{\text{util}}}{Q_{\text{sol}}} \quad (3)$$

$$Q_{\text{util}} = m (\bar{h}_{\text{sal}} - \bar{h}_{\text{ent}}) \quad (4)$$

$$Q_{\text{sol}} = S_c I \cos(\varphi) \quad (5)$$

$S_c$ : área de apertura de la superficie reflexiva del colector

$I$ : Radiación solar directa ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

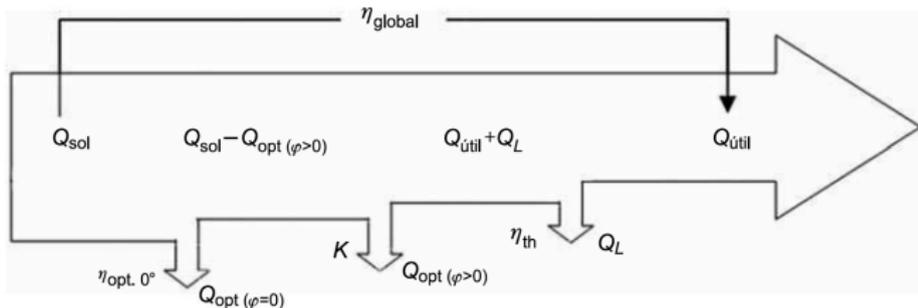
$\varphi$ : ángulo de incidencia de los rayos

## 1. Sistema de captación

### Balance energético en el CCP

Rendimiento térmico de un CCP:  $\eta_{th}$

$$\eta_{th} = \frac{Q_{util}}{Q_{util} + Q_L} \quad (6)$$

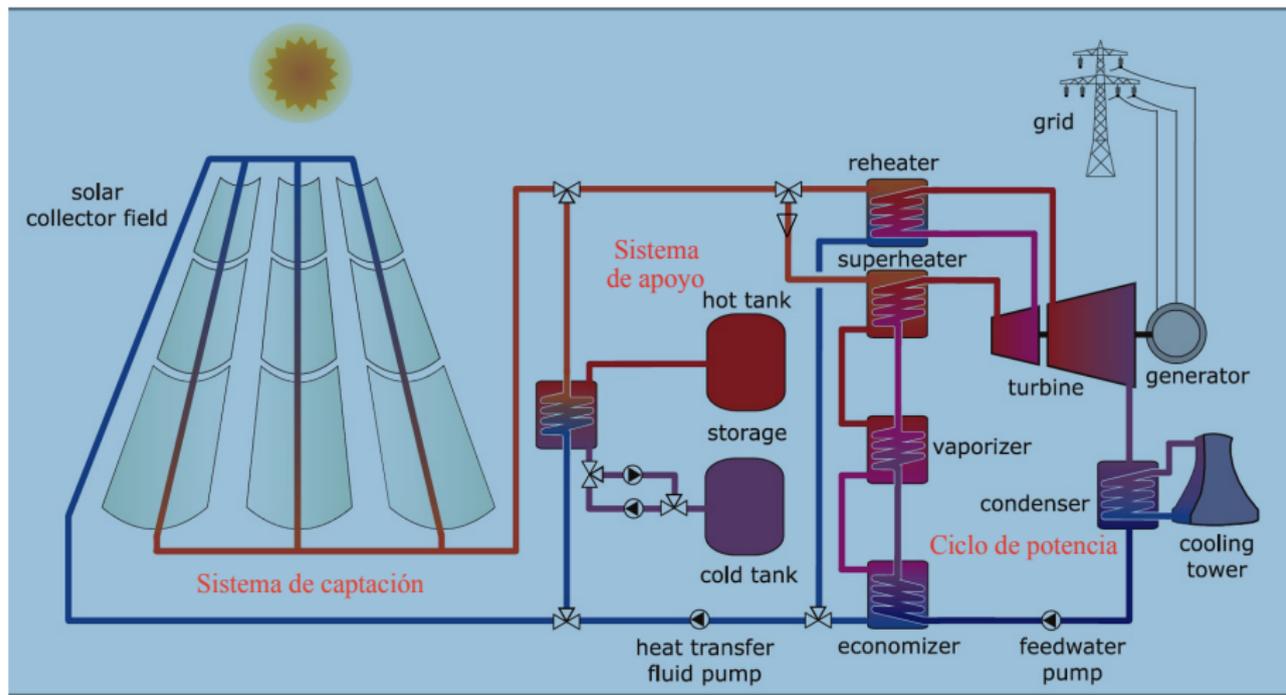


$$\eta_{opt, 0^\circ} \simeq 75\%$$

$K(\varphi)$ : modificador por el angulo de incidencia

$$(K(90^\circ) = 0 \leq K(\varphi) \leq 1 = K(0^\circ))$$

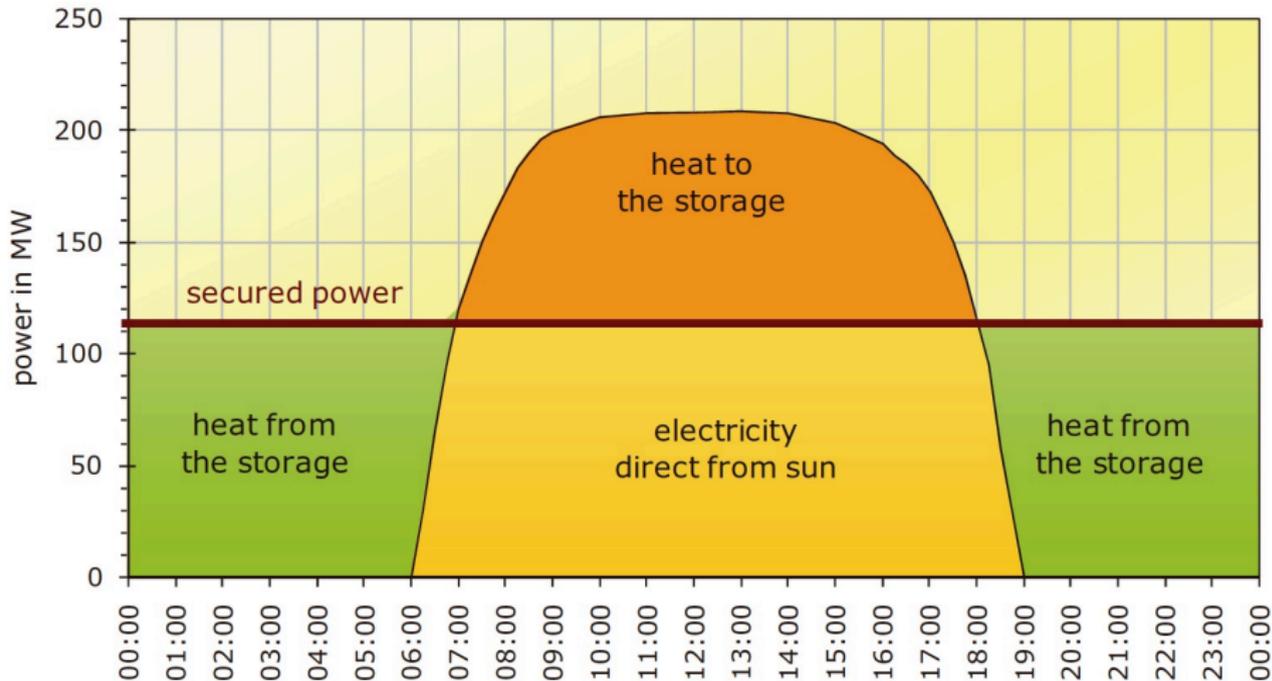
## Tecnología solar de media temperatura ( $90^{\circ}\text{C} < t < 400^{\circ}\text{C}$ )



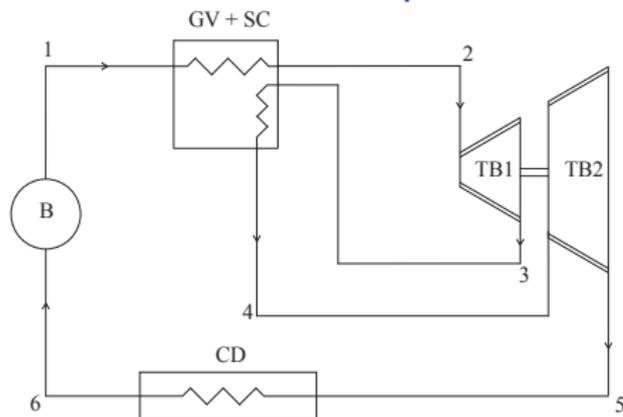
## Tecnología solar de media temperatura ( $90^{\circ}\text{C} < t < 400^{\circ}\text{C}$ )

- 1 Sistema de captación de energía solar:
  - Colector cilindro-parabólico (CCP)
  - Colector de Fresnel
- 2 Fluido de transferencia de calor: aceites derivados del benceno (menores presiones que el agua, limitación a  $t_{\max} \simeq 300^{\circ}\text{C}$ )
- 3 Sistema de apoyo:
  - Caldera de apoyo (biomasa)
  - Tanques de almacenamiento de calor (sales fundidas)
- 4 Ciclo de potencia: Ciclo de vapor (Rankine de agua)  
 $T_c = 373,946^{\circ}\text{C}$ ,  $P_c = 220,640$  bar

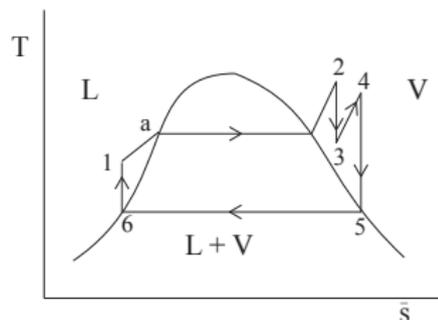
### 3. Sistema de apoyo



## 4. Ciclo de potencia



GV + SC: Generador de vapores y sobrecalentador    TB1: Turbina 1  
 TB2: Turbina 2    CD: Condensador    B: Bomba

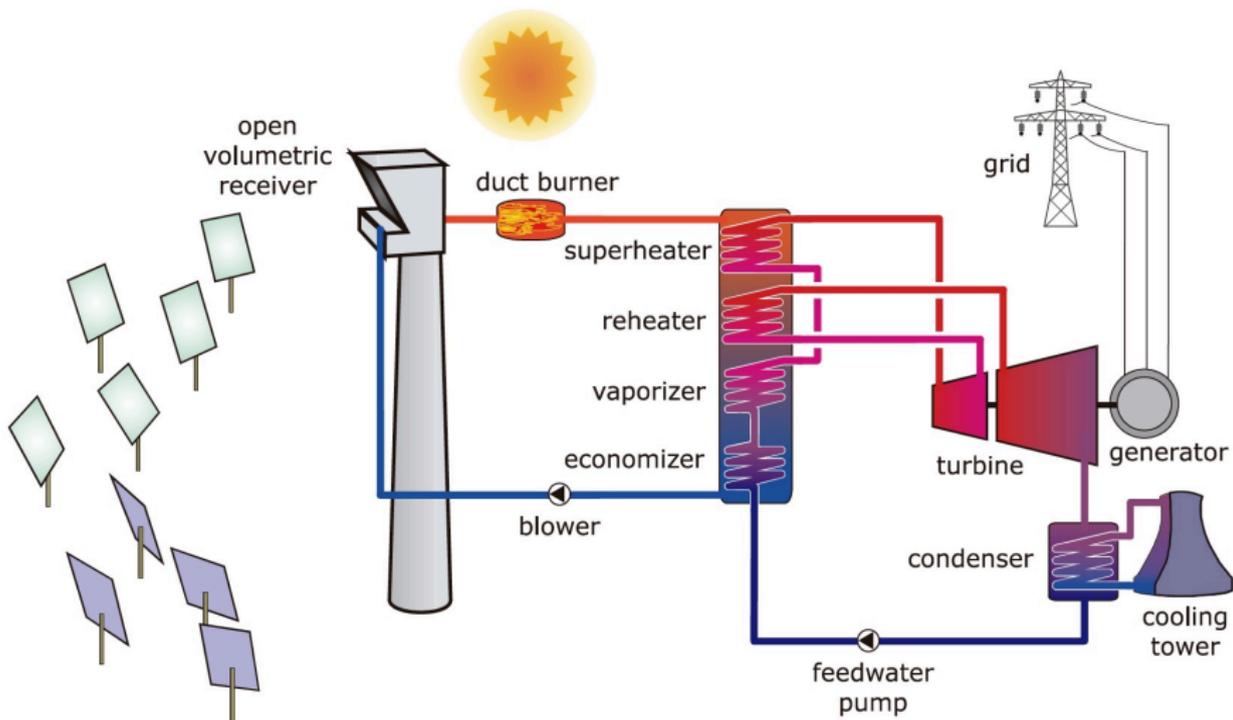


Ciclo Rankine con sobrecalentamiento y recalentamiento

## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- **Tecnología solar de alta temperatura**
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

## Tecnología solar de alta temperatura ( $t > 400^{\circ}\text{C}$ )

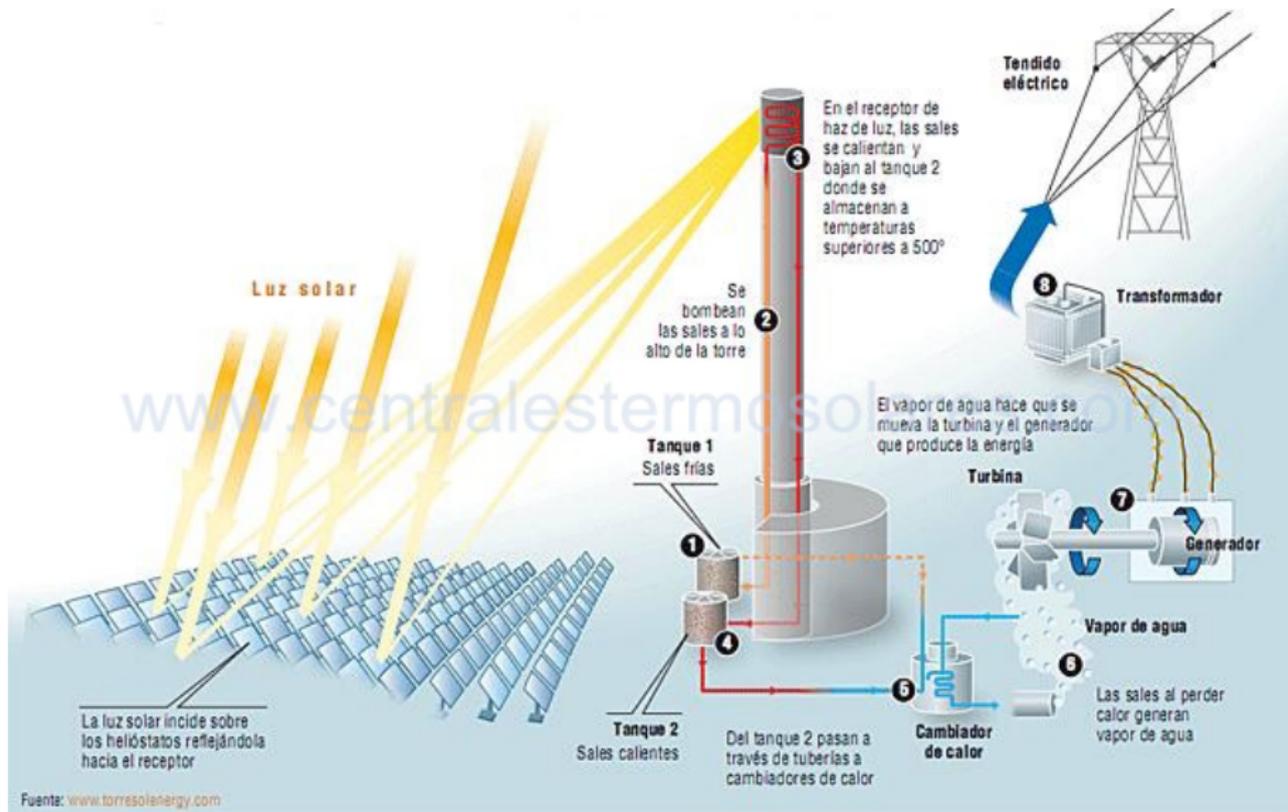


## Tecnología solar de alta temperatura ( $t > 400^{\circ}\text{C}$ )

### 1. Plantas con torre de concentración

- Sistema de captación: campo de heliostatos con torre de concentración
- Fluidos de transmisión de calor:
  - 1 Aire
  - 2 vapor de agua
  - 3 Sales fundidas
- Sistema de apoyo:
  - 1 Caldera de gas natural o biomasa
  - 2 Tanques de almacenamiento de calor sales fundidas
- Ciclo de potencia:
  - 1 Ciclo Brayton de aire
  - 2 Ciclo Rankine de vapor

## Gemasolar (Fuentes de Andalucía, Sevilla)



## Características de la Planta Termosolar Gemasolar:

- **Potencia eléctrica:** 19,9 MW
- **Producción eléctrica neta:** 110 GWh/año
- **Sistema de captación:** campo de 2650 heliostatos (185 ha)
- **Fluido de transmisión y almacenamiento de calor:** sales fundidas
- **Ciclo de potencia:** Rankine de vapor de agua

## Solúcar (Sanlúcar la Mayor, Sevilla)

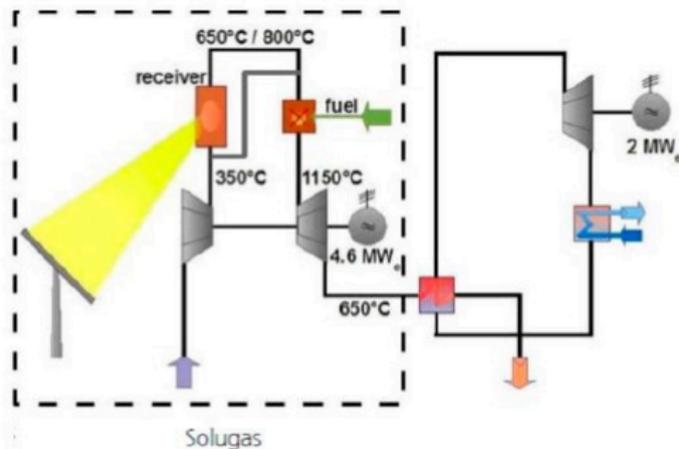
# La Plataforma Solúcar



## Características de la Planta Termosolar Solúcar:

- **Potencia eléctrica:** 10 MW
- **Producción eléctrica neta:** 24,3 GWh
- **Sistema de captación:** campo de 624 heliostatos (120 m<sup>2</sup> cada uno, 60 ha)
- **Fluido de transmisión y almacenamiento de calor:** vapor saturado
- **Ciclo de potencia:** Rankine de vapor de agua

## Planta Termosolar Híbrida Solugas (Sanlúcar la Mayor, Sevilla)

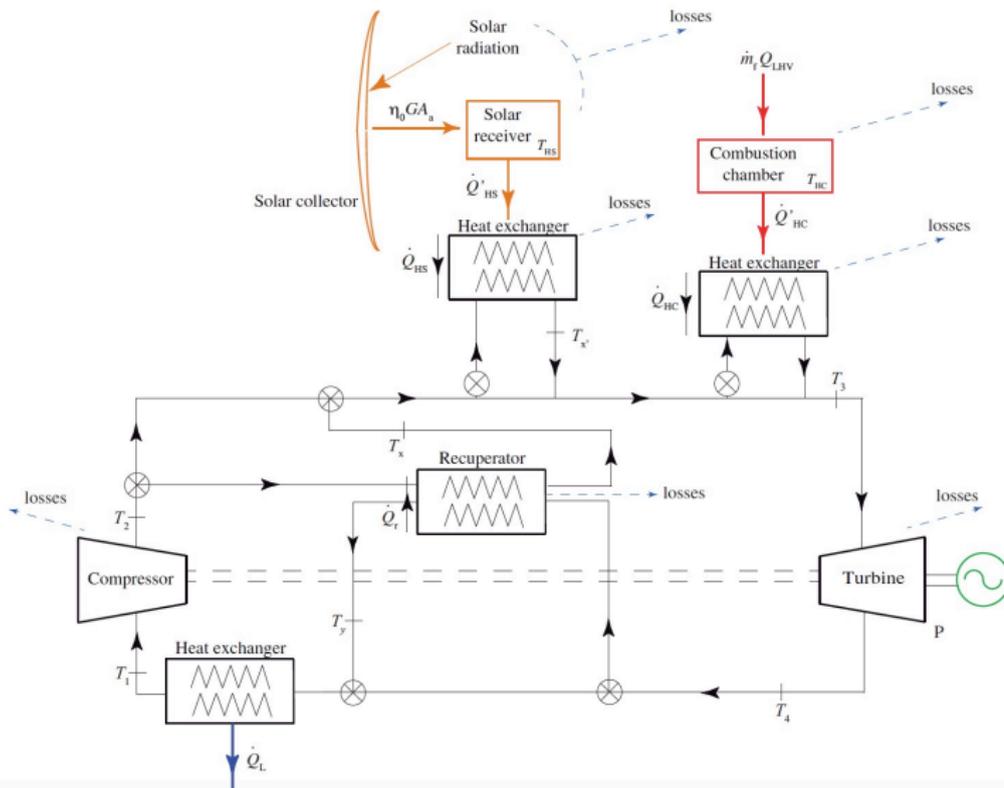


## Características de la Planta Termosolar Híbrida Solugas:

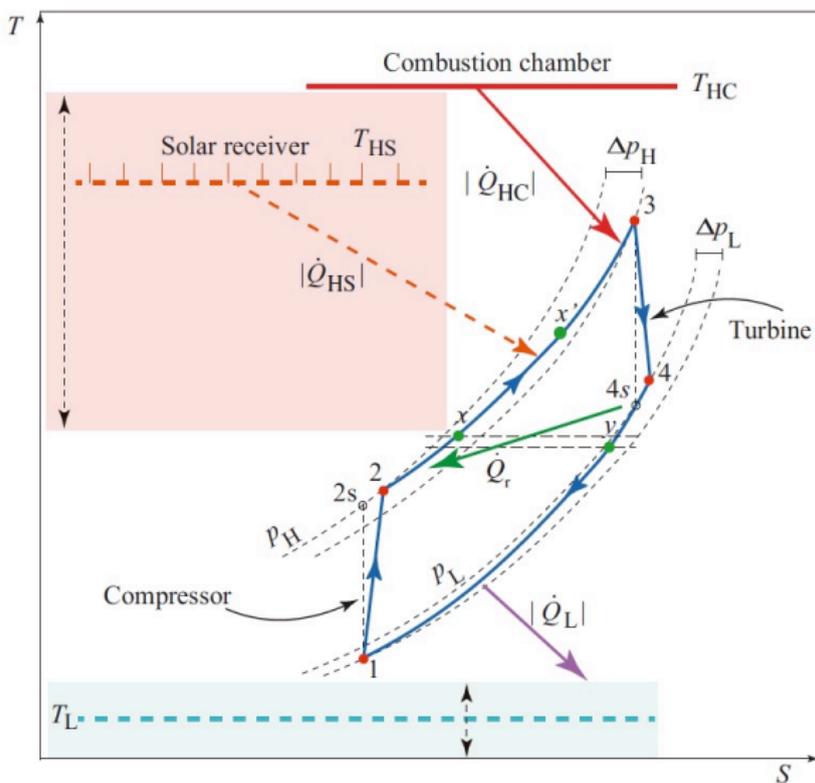
- **Potencia eléctrica:** 4,6 (+2) MW
- **Sistema de captación:** campo de 69 heliostatos (120 m<sup>2</sup> cada uno)
- **Fluido de transmisión de calor:** aire
- **Sistema de apoyo:** Caldera de fuel oil
- **Ciclo de potencia:** Ciclo combinado aire-vapor de agua Brayton (topping)-Rankine (bottoming)

# Esquema de la Planta Termosolar Híbrida Solugas

M.J. Santos et al./Energy Conversion and Management 115 (2016) 89–102



## Ciclo Brayton irreversible Planta Termosolar Híbrida Solugas



Manufacturer's specifications for the turbine *Mercury 50* (solar turbines, caterpillar) [49] and the predictions of our thermodynamic model with the irreversibility set of parameters shown.

---

*Mercury 50 manufacturer's specifications and output records*

$\dot{m} = 17.9 \text{ kg/s}$	$r_p = 9.9$	$T_L = 288 \text{ K}$	
$T_3 = 1423 \text{ K}$	$T_y = 647 \text{ K}$	$\eta_{He} = 0.385$	$P_e = 4.6 \text{ MW}_e$

*Model: assumed losses parameters*

$\varepsilon_{HC} = 0.980$	$\rho_H = \rho_L = 0.975$	$\varepsilon_t = 0.885$	$\varepsilon_r = 0.775$
$\varepsilon_L = 0.985$		$\varepsilon_c = 0.815$	

*Model: estimated output records*

$T_3 = 1418 \text{ K}$	$T_y = 657 \text{ K}$	$\eta_{He} = 0.384$	$P_e = 4.6 \text{ MW}_e$
------------------------	-----------------------	---------------------	--------------------------

*Relative deviations*

$T_3$	$T_y$	$\eta_{He}$	$P_e$
0.4%	1.5%	0.2%	0.6%

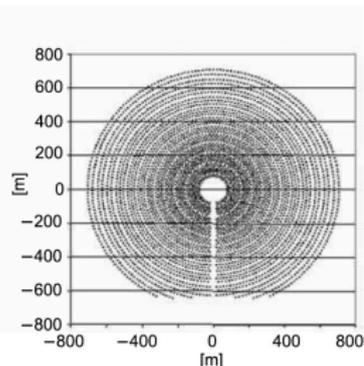
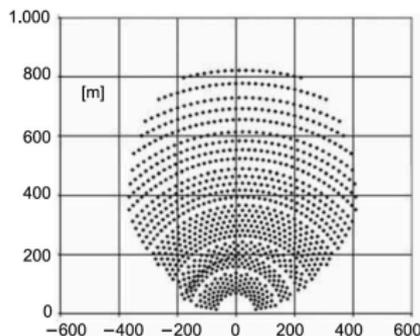
---

## Tecnología solar de alta temperatura ( $t > 400^{\circ}\text{C}$ )

### 1. Plantas con torre de concentración

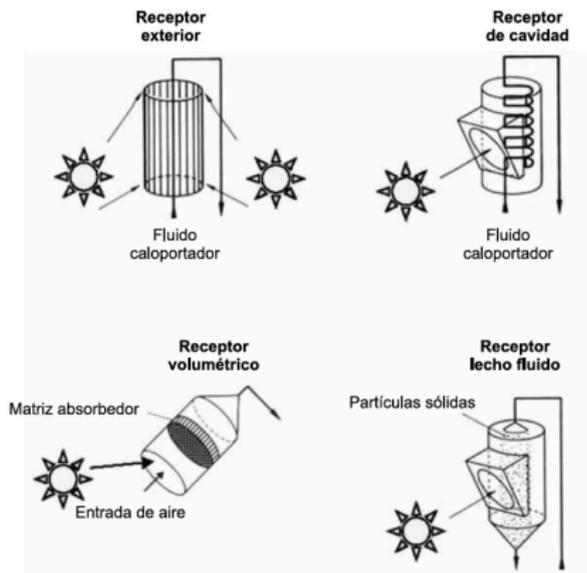
Componentes principales de un sistema de receptor central (SRC):

- Campo de heliostatos: Espejos de vidrio
- Torre: soporte del receptor a cierta altura del suelo
- Receptor
- Sistema de control



Configuraciones para el campo de heliostatos

# 1. Plantas con torre de concentración: Tipos de receptores



Tipo absorbente	Tubos		Absorción directa	Volumétrico	
	Agua/vapor	Sodio líquido		Metálico	Cerámico
Tipo de fluido →			Sales fundidas	Aire	
Flujo (MW/m <sup>2</sup> ):					
Promedio:	0,1-0,3	0,4-0,5	0,4-0,5	0,5-0,6	0,5-0,8
Pico:	0,4-0,6	1,4-2,5	0,7-0,8	0,8-1,0	0,9-1,6
Temperatura salida fluido (°C)	490-525	540	540-565	700-800	800-1.200

## 1. Plantas con torre de concentración: Balance energético

Principales procesos en un SRC:

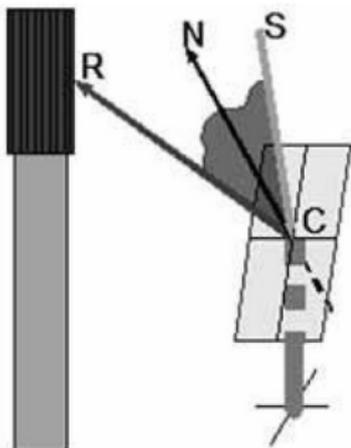
- (i) Captación de radiación por el campo de heliostatos
- (ii) Transmisión de la radiación hasta el receptor
- (iii) Captación de la energía solar concentrada en el receptor
- (iv) Conversión fototérmica: conducción, convección y radiación
- (v) Conversión de calor en potencia
- (vi) Generación de electricidad

Cada uno de estos procesos llevan sus pérdidas asociadas.

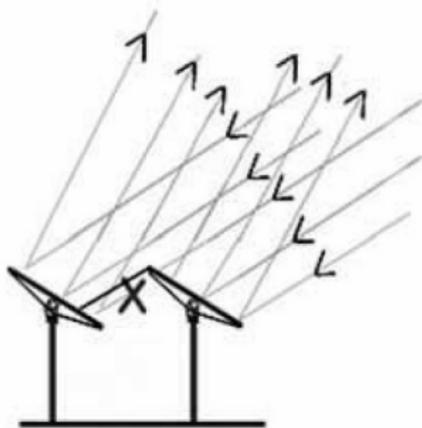
## 1. Plantas con torre de concentración: Balance energético

### (i) Pérdidas en la captación:

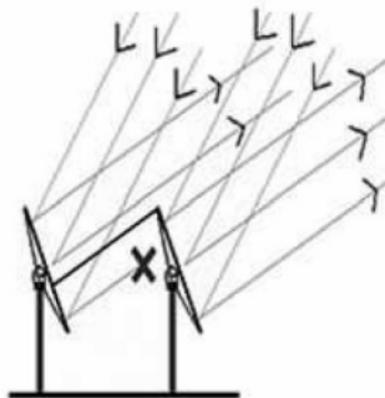
- Pérdidas por reflectividad: los heliostatos no reflejan toda la radiación que les llega (depende de  $\lambda$ )
- Pérdidas geométricas



(a) Factor coseno



(b) Sombras



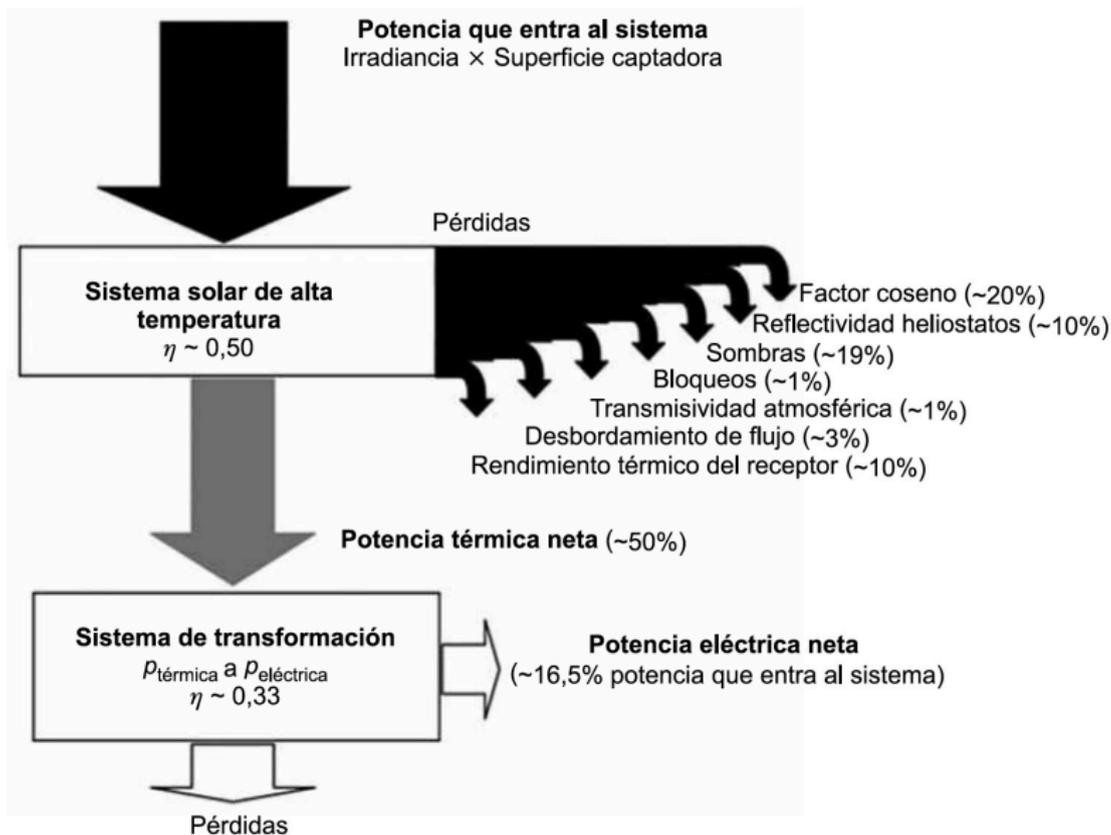
(c) Bloqueo

## 1. Plantas con torre de concentración: Balance energético

- (ii) Pérdidas por transmisión a través de la atmósfera:  
Procesos de absorción y dispersión en el camino entre los heliostatos y el receptor
- (iii) Pérdidas por desbordamiento (*spillage*)



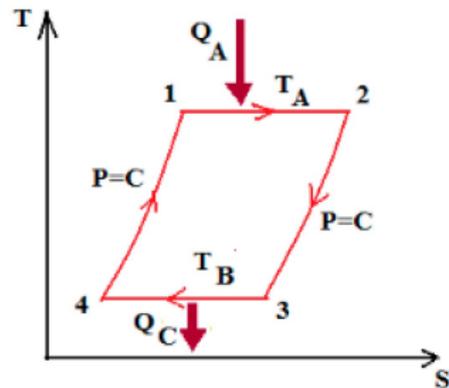
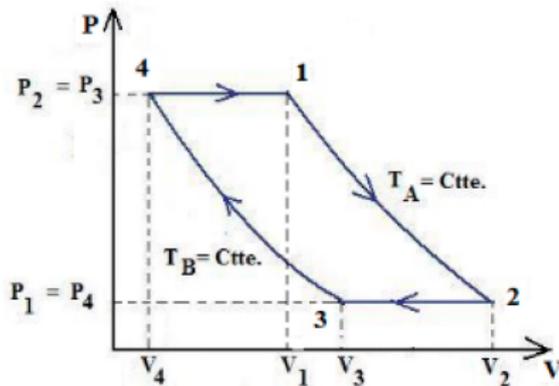
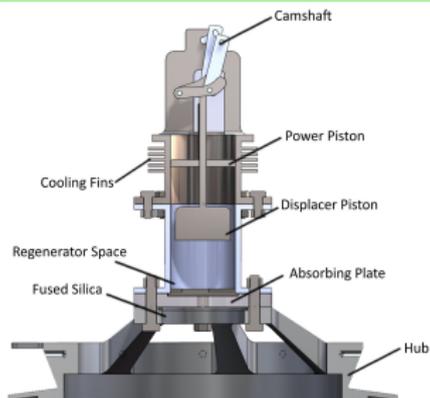
# 1. Plantas con torre de concentración: Balance energético



## 2. Centrales de discos parabólicos

Están constituidas por un espejo de disco parabólico conectadas a un **motor de Stirling** en el foco  $\dot{W}_e \in [7, 25]$  kW





Motor y ciclo termodinámico de Stirling

## 2. Centrales de discos parabólicos

### Componentes:

- **Concentrador:** Superficie reflexiva paraboloide de revolución (de 7 a 17 m de apertura)
- **Receptor:** tiene dos funciones:
  - 1 Absorber la radiación solar reflejada por el concentrador
  - 2 Transferir la energía al fluido de trabajo de la máquina térmica asociada
- **Sistema de generación:** Motor de **Stirling** ( $\eta \simeq 30 - 40\%$ )
- **Estructura y sistema de seguimiento del sol**

## 2. Centrales de discos parabólicos

### Tipos de receptores:

- Receptores de tubos directamente iluminados
- Receptores de reflujo: utilizan un fluido intermedio para la transmisión de calor (metal fundido)

Los hay de dos tipos:

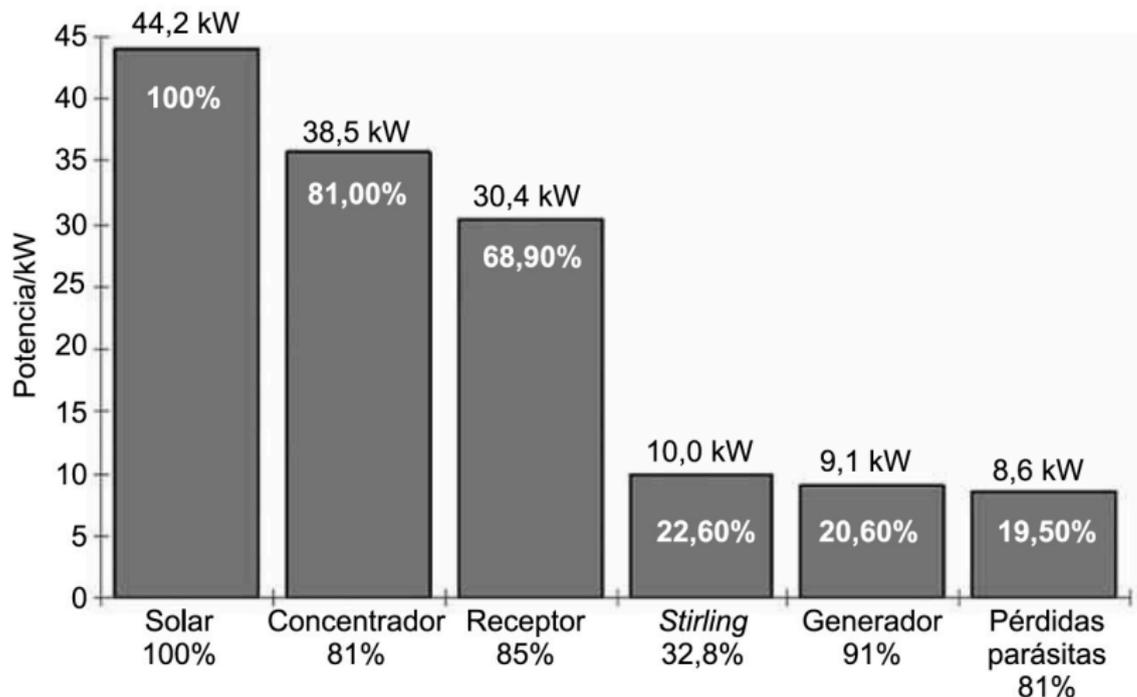
- 1 *Pool boiler*
- 2 *Heat pipe*

Presentan las siguientes ventajas:

- Gran capacidad de transmisión de calor de los metales líquidos ( $\simeq 800 \text{ W/cm}^2$ )
- Calentamiento uniforme (a  $T$  cte.) por la condensación del metal
- Permiten el diseño independiente del receptor y del motor
- Facilitan la hibridación del sistema

## 2. Centrales de discos parabólicos

### Balance energético

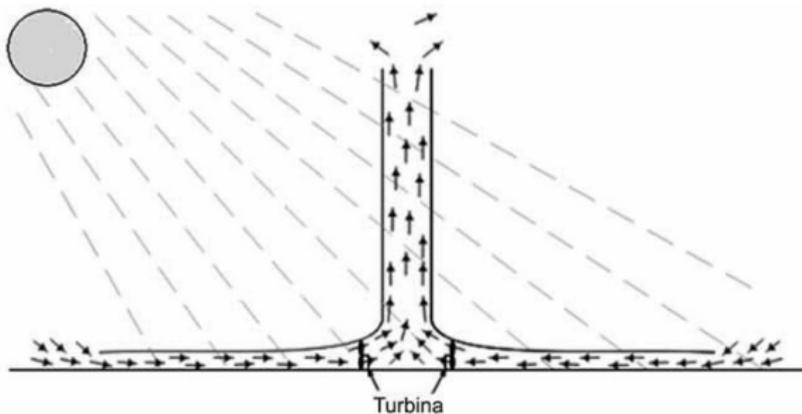
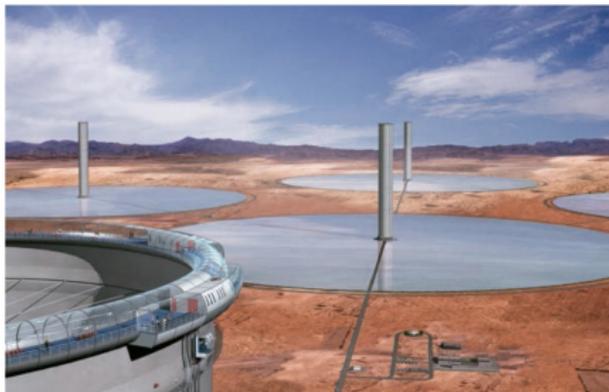




## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- **Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea**
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

## Centrales solares de chimenea





## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- **Otras aplicaciones de la energía solar**
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

## Otras aplicaciones de la energía solar

Síntesis de combustibles no fósiles ([hidrógeno](#), [bioetanol](#), [biodiesel](#)...) → reacciones endotérmicas con aporte de calor

- Producción de [hidrógeno](#) estado del arte:
  - [Electrolisis](#): muy alta temperatura (2500 K), dificultades técnicas → no hay plantas piloto en funcionamiento
  - [Métodos termoquímicos](#): Descarbonización de combustibles fósiles (viable a medio plazo)
- Reducción del ZnO a Zn con utilización de energía solar para fabricar células combustibles

La energía solar sustituye a los combustibles fósiles para aportar calor en los procesos de síntesis de combustibles reduciendo emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes

## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- **Costes del uso de la energía solar**
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

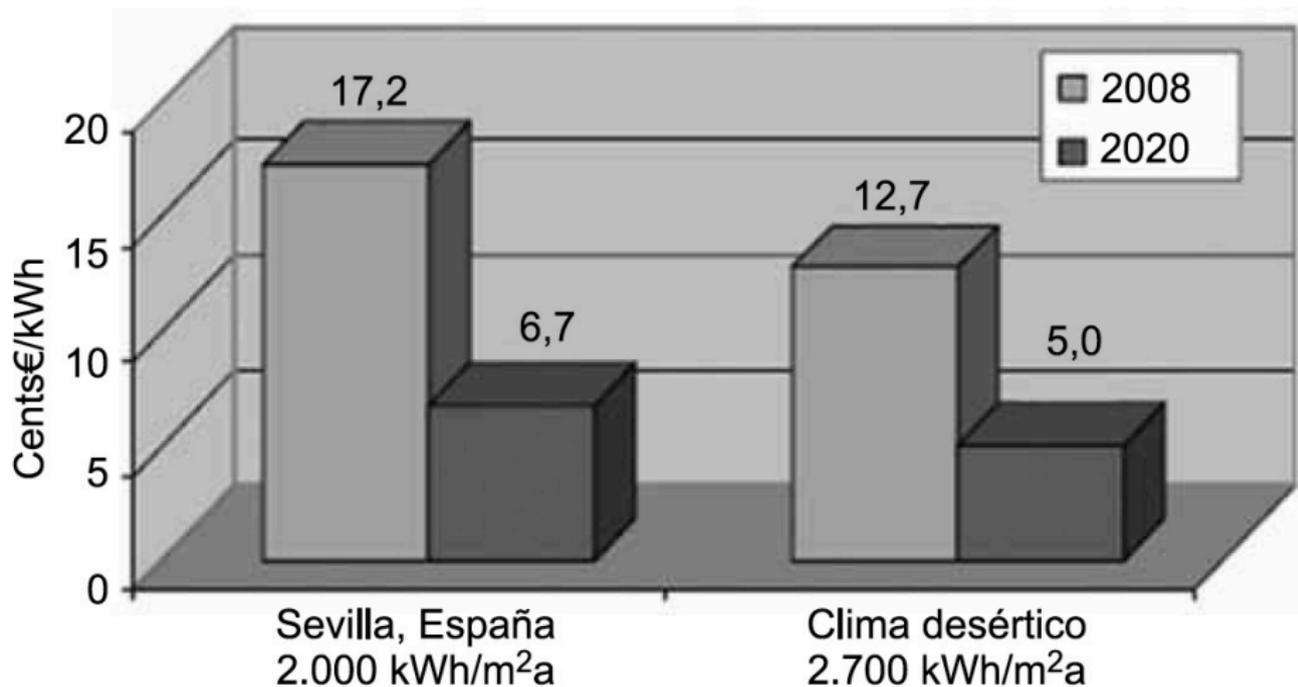
## Costes del uso de la energía solar

	Colectores cilindro-parabólicos	Receptores centrales	Discos parabólicos
Tamaño	30-320 MW*	10-200 MW*	5-25 MW*
Temperatura de trabajo (°C)	390	565	750
Eficiencia neta anual	11(d)-16%*	7(d)-20%*	12-25%*(e)
Grado de desarrollo	Comercial	Demostración a gran escala	Demostración de prototipos
Costes €/m <sup>2</sup>	480-210*	265-150*	2.385-245*
€/W	3-2*	3,4-1,9*	9,7-1*

Fuente: Departamento de Energía americano, DoE ([www.eere.energy.gov/troughnet/pdfs/solar\\_overview.pdf](http://www.eere.energy.gov/troughnet/pdfs/solar_overview.pdf)).

\* Variación entre los años 1997-2030.

## Reducción de costes



## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- **Impacto medioambiental por el uso de energía solar**
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

## Impacto medioambiental por el uso de energía solar

**Efectos positivos:** reducción de emisiones de gases contaminantes:

- Reducción del uso de **combustibles fósiles** para la generación de energía
- Reducción del uso de **combustibles fósiles** en procesos industriales

**Efectos negativos:** Impacto visual de las instalaciones → integración de paneles solares en la edificación

**Energía termosolar** importante en el **Plan 20-20-20 de la UE:**

- 1 20 % de energía primaria procedente de renovables
- 2 20 % de aumento de rendimiento energético
- 3 20 % de bajada de emisiones para 2020

## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- **Situación actual y perspectivas futuras**
- Conclusiones

# Plantas solares operativas y en construcción (2015)

## Appendix

Apex.1: List of current solar thermal power plants in operation and under construction in 2015

### Operating

Country	Power Plant Name	Installed Capacity (MW)	Elect. Generation (GWh/a)	Type	Company/ Developer	Install Date	Remarks
Algeria	Hassi R'assi	25	n/a	PT	Abengoa Solar	2011	Hybrid & FCC
Armenia	Noravit Solar Latchi Solar Expansion	9	15.1	LTR	Noravit Solar	2012	
Australia	Lake Carnegie Solar Thermal Power Station	5	n/a	CR	Lloyd Energy Systems/ Graphite Energy	2011	Demo plant
Canada	Redbank Solar Thermal Plant	1.1	1.5	PT	Solynt	2014	
China	Beifang Solar Thermal Plant	1.5	1.95	CR	BE CAS	2012	R&D
China	Shajin Turpan 180 MW CSP pilot plant	0.18	n/a	PT	Canadian Qinghai Turpan New Energy	2012	R&D
China	Delingha Solar Thermal Plant (10/50)	10	120	CR	Zhongyuan SUPCON Solar Energy Technology	2013	
Egypt	EGPC Al Kharga	20	34	PT	NEA New Renewable Energy Authority & Solar Millennium	2011	Hybrid & FCC
France	Thémis - Project Pigeon	1.2	n/a	FCC	PRIMECS-CNRS	2006	Testing Facility
France	Aiguillon-Frossard 1	0.25	n/a	Solar Tower	Solar Funnel	2011	Testing Facility
Germany	Jülich	1.5	n/a	CR	KSPW & DLR & Others	2009	Testing Facility
India	Indian Institute of Technology CSP Project	3	n/a	PT	Abengoa	2011	
India	National Solar Thermal Power Plant	1	n/a	PT	BT Baramba	2013	
India	Bikaner	2.5	n/a	CR	ADFE	2011	
India	Gadwani	50	116	PT	Gadwani Green Energy Limited	2015	
India	Reliance Arava CSP 1 (Bharuch)	125	290	LTR	Reliance Power ARVik	2014	
India	ADFE Rajasthan Solar Power 1	2.5	n/a	CR	ADFE	2011	
India	Megha Solar Plant	50	110	PT	Major Engineering & Infrastructure	2014	
India	Ramanathapuram Desalination plant	1.06	n/a	LTR	RD Design Services & Engineering Inc.	2012	Desalination plant
Iran	Yazd Integrated Solar Plant (ISPP)	17	n/a	FCC & FTR	Parhooon Tath	2008/2010	
Iran	Solar Power Plant	0.5	n/a	PT		2008	
Israel	Solar Energy Development Center (SEDC)	6	n/a	CR	Bright Source	2008	
Italy	Archimede	5	9.2	PT	ENEL	2010	
Italy	Archimede Molise Salt Loop	0.35	0.28	PT	Archimede Solar Energy & Olympos Corporation	2015	Demo plant
Italy	Zanoli	0.2	n/a	LTR		2015	
Italy	Ponder	1	3	PT		2014	
Morocco	Ain Beni Mathar Plant FCC	20	55	PT	L'Office National de l'Électricté (ONE)	2011	Hybrid & FCC
Morocco	NOOR 1	160	175	PT	ACWA/Arco/TSK	2015	2010
Morocco	Alright Energy Air Batha	3	2.4	PT	Alright	2014	
South Africa	Kalka Solar One	100	350	PT	Abengoa Solar	2015	
Spain	Plataforma Solar Almería	50	n/a	CR&M		1980	R&D Testing Facility

Country	Power Plant Name	Installed Capacity (MW)	Elect. Generation (GWh/a)	Type	Company/ Developer	Install Date	Remarks
Spain	Andasol 1	20	158	PT	Cobas & REEF & ANTON	2008	
Spain	Andasol 2	50	158	PT	Cobas & REEF & ANTON	2009	
Spain	La Rica - Almaraz 1	50	105.2	PT	Acciona / Mitsubishi Corp.	2009	
Spain	Puerto Enmedio 1	1.4	2	LTR	Noravit	2009	
Spain	Bermejo (Borobinda Solar de Puertollano)	50	103	PT	REEF&M (Borobinda Solar de Puertollano)	2009	
Spain	Central La Florida	50	175	PT	Renovables Samca	2010	
Spain	Estreel 2	50	158	PT	Cobas	2010	
Spain	Palma del Río II	50	114.5	PT	Acciona	2010	
Spain	Nájales	50	104.5	PT	Acciona	2010	
Spain	Arenasol 20 / Valle 1	50	175	PT	Tenaris	2011	
Spain	Central La Delsena	50	175	PT	Renovables Samca	2011	
Spain	Estreel 3	50	158	PT	Cobas	2011	
Spain	Ormaiztegui	20	110	CR	Tenaris	2011	
Spain	Hidroenergía 2 (Ejiva Solar Complex)	50	95	PT	Abengoa Solar & EON	2011	
Spain	Laraja 1	50	120	PT	Sinerra/Valencia	2011	
Spain	Manchael 1	50	158	PT	Cobas	2011	
Spain	Terresol 20 / Valle 2	50	175	PT	Tenaris	2011	
Spain	Aste 1A	50	170	PT	Aste - Tenaris & Fluor & Fluor - Dinepar Solar	2012	
Spain	Aste 1B	50	170	PT	Aste - Tenaris & Fluor & Fluor - Dinepar Solar	2012	
Spain	Cosol Ondara	50	118	PT	Acciona	2012	
Spain	Hidroenergía 2 (Ejiva Solar Complex)	50	95	PT	Abengoa Solar & EON	2012	
Spain	Hélio 1 (Castilla La Mancha)	50	97	PT	Abengoa Solar	2012	
Spain	Hélio 2 (Castilla La Mancha)	50	97	PT	Abengoa Solar	2012	
Spain	La Alfranca	50	170	PT	Nagel, TSK, Otey	2012	
Spain	Guzmán	50	104	PT	FCC & Mitsui	2012	
Spain	Naxos	50	100	PT	Benetech Solar	2012	
Spain	Olivera 1	50	100	PT	Benetech Solar	2012	
Spain	Puerto Enmedio 2	30	49	LTR	Noravit & EN & IBER & ENZ & ENZ & ENZ	2012	
Spain	Solbena 2 (Extremadura Solar complex)	50	100	PT	Abengoa Solar & ITOCHU	2012	
Spain	Solbena 3 (Extremadura Solar complex)	50	100	PT	Abengoa Solar & ITOCHU	2012	
Spain	Terresol Solar Borges	22.5	98	PT	Abantia / Cosma EMT	2012	
Spain	Arenasol PS	50	166	PT	CRB / STAG / REEF	2013	
Spain	Casablanca	50	160	PT	Cobas	2013	
Spain	Ernest Vilma	50	100	PT	FCC & Otey	2013	
Spain	Solbena 1 (Extremadura Solar complex)	50	100	PT	Abengoa Solar	2013	
Spain	Solbena 6 (Extremadura Solar complex)	50	100	PT	Abengoa Solar	2013	
Spain	Terresol 1	50	180	PT	Noravit & IFL	2013	
Spain	Terresol 2	50	180	PT	Noravit & IFL	2013	
Spain	PS20 (Solúcar complex)	20	48	CR	Abengoa Solar	2008	Plataforma Solúcar
Spain	Manchael 1	50	158	PT	Cobas	2011	
Spain	Solbena 4 (Solúcar complex)	50	113.5	PT	Abengoa Solar - Plataforma Solúcar	2010	
Spain	Estreel 1	50	158	PT	Cobas	2010	

Country	Power Plant Name	Installed Capacity (MW)	Elect. Generation (GWh/a)	Type	Company/ Developer	Install Date	Remarks
Spain	Solarcor 1 (El Carpio Solar complex)	50	100	PT	Abengoa Solar & JGC Corp	2012	
Spain	Palma del Río I	50	114.5	PT	Acciona	2011	
Spain	PS10 (Solucar complex)	11	23.4	CR	Abengoa Solar - Plataforma Solúcar	2007	
Spain	Carboneras	50	170	PT	Endesa & DLR	2011	Testing facility
Spain	Astraxol II	50	170	PT	Aries Termosolar & Elecnor & Eber - Dinispe Solar	2012	
Spain	Solarcor 2 (El Carpio Solar complex)	50	100	PT	Abengoa Solar & JGC Corp	2012	
Spain	Solnova 1 (Solucar complex)	50	113.5	PT	Abengoa Solar - Plataforma Solúcar	2010	
Spain	Solnova 3 (Solucar complex)	50	113.5	PT	Abengoa Solar - Plataforma Solúcar	2010	
Spain	Andasol 3	50	175	PT	Ferrostaal & Solar Millennium & RWE & Rhein Energy & SWM	2011	
Thailand	Kanchanaburi TSE 1	5	8	PT (DSG)	Thai Solar Energy Company Ltd.	2011	
Turkey	Greenway CSP Mersin Solar Plant	5	n/a	CR	Greenway	2013	
United Arab Emirates	Shams 1	100	210	PT	Masdar & Abengoa&Total	2013	
USA	Saguaro Solar Power Station	1.16	2	PT	Arizona Public Service	2006	
USA	Nevada Solar One	64	134	PT	Acciona	2007	
USA	Kimberlina Solar Thermal Energy Plant	44	44	LFM	Arma (Austra)	2008	
USA	Holaniuku at Keyhole Point	2	4	PT	Keahole Solar Power, LLC	2009	
USA	Cameo hybrid	2	n/a	PT	Xcel Energy	2010	Hybrid & coal plant
USA	Martin Next Generation Solar Energy Center (MNGSEC)	75	155	PT	Florida Power & Light Company (FPL)	2010	Hybrid & coal plant
USA	BrightSource Coalings	13	n/a	CR	BrightSource	2011	
USA	Ivanpah Solar Power Facility (3 plants - ISEGS)	392	1079.2	CR	BrightSource Energy	2013	
USA	Solana Generating Station	280	944	PT	Abengoa Solar	2013	
USA	Abernegua Mojave Solar Park	280	600	PT	Abernegua Solar	2014	
USA	Genesis Solar Energy Project	250	300	PT	NextEra Energy	2014	
USA	Tooele Army Depot	1.5	n/a	PD	Inhila	2014	
USA	Solar Energy Generating Systems (SEGS - 9 plants)	354	662	PT	Florida Power & Light Company (FPL)	1984-1990	
USA	Sierra Sun Tower	5	n/a	CR	eSolar	2009	
USA	Crescent Dunes Solar Energy Project	110	485	CR	SolarReserve	2015	
<b>Total</b>		<b>4,979.5</b>					

## Energía solar térmica

## Situación actual y perspectivas futuras

## Under Construction

Country	Power Plant Name	Installed Capacity (MW)	Elect. Generation (GWh/a)	Type	Company/ Developer	Install Date	Remarks
Australia	Kogan Creek Solar Beest	44	44	LFR	AREVA	2013	Hybrid + CSP
Australia	Jemalong Solar Thermal Station	1.1	2.2	CR	Vast Solar	2014	
Brazil	Heliconium	1		PT	Comiso de Pesquisas de Energia Eletrica/Companhia Hidro Eletrica do Sao Francisco-Universidade Federal de Pernambuco	2014	
Chile	Planta Solar Cerro Dominador (Atacama 1)	110		CR	Abergenia	2018	
China	F Cube Energy Dish pilot plant	1		PD		2013	Demo plant
China	Taohu	92.5		PT & ISCC	Hansen New Energy Group	2014	
China	CP Gelmsud Solar Thermal Power Plant	100		PT	China Power Investments Corporation		
China	Heliofocus China Orion Project I	1		PD	China Guodian Corporation+Heliofocus	2013	
China	Heliofocus China Orion Project II	10		PT	China Guodian Corporation+Heliofocus	2014	
China	Heliofocus China Orion Project III	60		PT	China Guodian Corporation+Heliofocus	2015	
China	Helen Solar Fresnet Demo Plant	2.5	5.25	LFR	Helen Solar	2014	Demo plant
China	Huaneng Nanyang	1.5		LFR	China Huaneng Group		Demo plant
China	Tianwan 1.5 MW CSP pilot plant	1.5		PT	China Datang Group/Tianwan New Energy Holding		Demo plant
China	Yunnan Ganuo Solar Thermal Pilot Plant	10		PT	Tianwan New Energy Holding+China Datang Group	2014	Demo plant
China	Jinhawen	27.5		CR			
China	Endos Solar Thermal Power Plant	50		PT	China Datang Corporation	2014	
China	Deqingtao Solar Thermal Plant 1&2/3/4	40		CR	Zhejiang SUPCON Solar Energy Technology		
France	Centrale Solaire Thermodynamique Lis	8		CR	CNM	2015	
France	Alba Nova 1	12	25	LFR	Solar Euredem	2014	
India	Diwakar Solar Projects	100		PT	Lanco Solar Energy	2014	
India	NRK Energy Solar Project	100		PT	NRK Energy Ventures Private Limited	2014	
India	Gujarat Solar One	28	130	PT	Cargo Solar Power	2014	
India	Aarun Renewable Energy	20		LFR	Aarun Renewable Energy Private Limited		Solar Mission
India	Ahijest Solar Project	50		PT	Corporate Inpat Always Limited		Solar Mission
India	Rajasthan Solar One	10		PT		2014	
Israel	Ashalim	110		PT	Abergenia	2014	
Italy	Archimede	1	2.3	PT	ARCI/IMEDE SRL	2015	
Jordan	Juan 1	100		LFR	MEVA Cleantech AG (Austria)	2013	
Mexico	Agua Prieta II Project	14	34	PT	Abergenia	2013	Hybrid + ISCC
Morocco	NOOR 2	170		PT	ACWA		
Morocco	NOOR 5	200		CR	ACWA		
South Africa	Bokpoort	50	224	CCP	ACWA/Solfrica	2016	
South Africa	Xina Solar One	100		PT	Abergenia (AFPA), Industrial Development Corporation (IDC), Public Investment Corporation (PIC)	2014	

Country	Power Plant Name	Installed Capacity (MW)	Elect. Generation (GWh/a)	Type	Company/ Developer	Install Date	Remarks
South Africa	Xina Solar One	50	180	CR	Abergenia Solar	2016	
South Africa	Redstone CSP	100		CR	Solar Reserve / ACWA		
South Africa	Bango CSP1	100		PT	Karnhook Consortium	2016	
Spain	Planta Cáceres	50		PT	Colbita	2013	
USA	Mojave Solar Park	250	600	PT	Abergenia		
USA	Siltwater CSP Geothermal	17	3	PT		2014	
<b>Total</b>		<b>2,194.6</b>					

Apex.3: Summary of Key Parameters in Scenarios

Year	Cumulative (GW)	Global Annual Growth Rate (%)	Annual MW Inst. Re-powering	Capacity Factor (%)	Production (TWh)	SE penetration of world electricity in % (per demand)	SE penetration of world electricity in % (per demand)	CO <sub>2</sub> reduction (MtH <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> -MtH <sub>2</sub> O/annual Mt CO <sub>2</sub> )	Additional CO <sub>2</sub> saved (MtH <sub>2</sub> O/annual Mt CO <sub>2</sub> )	Capital Costs (€/MW)	Investment (€1,000)	Jobs total
2015	6	24%	1,205	29%	15	0.1%	0.1%	9	25	4,287	1,572,737	18,904
2020	11	10%	1,017	28%	28	0.1%	0.1%	17	95	3,485	1,344,916	16,981
2025	19	9%	1,567	29%	47			28	211	3,037	2,046,142	27,061
2030	27	7%	1,680	30%	72	0.2%	0.2%	43	390	2,814	2,146,766	29,180
2035	38	7%	3,726	30%	100			60	653	2,611	3,106,441	42,700
2040	54	7%	4,738	30%	143	0.4%	0.4%	86	1,025	2,688	4,903,987	62,545
2045	73	5%	5,228	30%	191			114	1,539	2,681	4,405,325	63,878
2050	91	4%	5,339	30%	238	0.6%	0.7%	143	2,197	2,674	4,529,034	70,197
2015	6	23%	1,075	28%	14	0.1%	0.1%	9	1,390	4,287	4,607,025	16,964
2020	22	28%	4,834	28%	54	0.2%	0.2%	32	1,499	3,485	16,848,911	70,051
2025	57	19%	9,248	28%	141			85	1,825	3,037	28,089,508	139,197
2030	131	17%	18,876	30%	344	1.1%	1.3%	207	2,595	2,814	53,126,873	269,733
2035	254	13%	29,763	30%	668			401	4,215	2,677	79,682,744	440,977
2040	407	8%	36,652	30%	1,069	3.0%	3.4%	641	6,983	2,666	97,708,169	574,049
2045	580	7%	45,931	30%	1,524			915	11,064	2,654	121,880,107	696,642
2050	781	6%	61,654	30%	2,053	5.0%	5.9%	1,232	16,607	2,637	162,611,073	935,985
2015	6	17%	797	28%	14	0.1%	0.1%	8	1,390	4,287	3,416,739	12,985
2020	42	40%	11,950	28%	102	0.4%	0.5%	62	1,566	3,485	41,652,081	169,237
2025	145	24%	28,519	28%	356			214	2,339	3,037	86,618,782	418,964
2030	350	17%	49,758	30%	920	3.0%	3.4%	552	4,431	2,814	140,041,928	712,674
2035	628	11%	61,156	30%	1,651			991	8,680	2,877	161,595,632	931,983
2040	940	7%	75,455	30%	2,471	6.9%	7.9%	1,483	15,445	2,663	169,737,844	1,072,328
2045	1,276	6%	89,155	30%	3,354			2,012	24,930	2,640	188,006,650	1,198,116
2050	1,661	5%	131,143	30%	4,364	10.6%	12.6%	2,619	37,465	2,577	213,678,138	1,443,265

La incursión en el mercado de las **plantas termosolares** está requiriendo **innovaciones**:

- 1 Generación directa de vapor
- 2 Mejora en el almacenamiento térmico
- 3 Uso de fluidos de trabajo alternativos
- 4 Menor impacto ambiental y consumo de agua
- 5 Mejoras en materiales para el captador de energía
- 6 Menor emisividad en los recubrimientos de los tubos absorbedores
- 7 Receptores en torre para vapor sobrecalentado
- 8 Nuevos receptores volumétricos
- 9 Hibridación

## Hibridación con combustibles fósiles:

- Permite mantener la producción de energía sin necesidad de recurrir al almacenamiento térmico
- Reduce la percepción de riesgo en la inversión y financiación
- Camino para la sustitución progresiva de los combustibles fósiles
- Apta tanto para centrales con colectores cilindro-parabólicos y de receptor central

## Energía solar térmica

- Introducción
- Tecnología solar de baja temperatura
- Tecnología solar de media temperatura
- Tecnología solar de alta temperatura
- Otras tecnologías: Centrales solares de chimenea
- Otras aplicaciones de la energía solar
- Costes del uso de la energía solar
- Impacto medioambiental por el uso de energía solar
- Situación actual y perspectivas futuras
- Conclusiones

## Factores a tener en cuenta para el establecimiento de la tecnología termosolar como fuente de energía:

- Factores físicos:
  - 1 Nivel de radiación solar directa
  - 2 Disponibilidad del suelo
- Factores técnicos:
  - 1 Acceso a red eléctrica
  - 2 Disponibilidad de servicios (agua, gas, biomasa, etc)
  - 3 Legislación
  - 4 Costes
- Factores económicos:
  - 1 Empresas implicadas
  - 2 Generalización en la utilización de sistemas de almacenamiento
  - 3 Posibilidades de mejora tecnológica a corto plazo → mejoras en la eficiencia → reducción de costes

- 1 *Centrales de Energías Renovables*. José Antonio Carta González. Pearson Education. ISBN 9788483229972
- 2 *Renewable Energy and Climate Change*. Volker Quaschnig. John Wiley Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74707-0