



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

COOPERACIÓN REGIONAL
PARA LOS PAÍSES ANDINOS

SEMINARIO INTERNACIONAL

LAS ENERGÍAS RENOVABLES HOY

PERSPECTIVAS DE COLABORACIÓN ENTRE AMÉRICA LATINA Y EUROPA

*Sede de la Secretaría General de la Comunidad Andina
Av. Andrés Aramburú cdra. 4 ,San Isidro
Lima, 1 y 2 de Marzo de 2012*

**COMUNIDAD
ANDINA**



Apoyando



Institut de recherche
pour le développement



UNIVERSIDAD
PERUANA
CAYETANO
HEREDIA

Energía Solar Concentrada: Estado del Conocimiento y Perspectivas

LABORATOIRE
PROCÉDÉS, MATÉRIAUX
et ENERGIE SOLAIRE
UPR 8521 du CNRS,
conventionnée avec
l'université de Perpignan
PROCESSES, MATERIALS
and SOLAR ENERGY
LABORATORY



Gilles
Flamant
Director del
Laboratorio
PROMES-CNRS

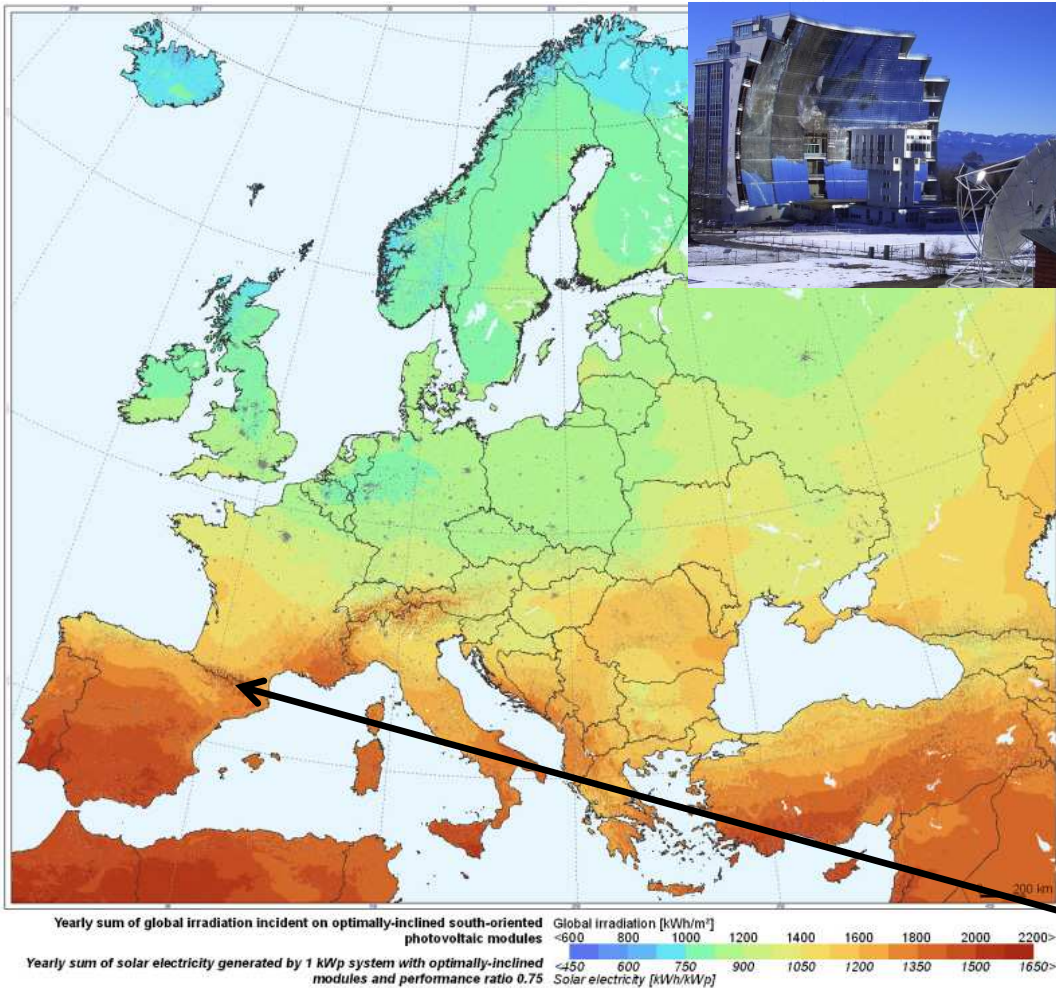
Lima-Perú 01.03.2012



Sumario

- Energía Solar concentrada, contexto
- Principios y Tecnologías
- Estado de la Cuestión
- Componentes claves y retos S&T
- Terrenos de Investigación e Innovación (RDI)
- Perspectivas

¿Dónde y Quién?



PROMES es un laboratorio del CNRS ubicado en Perpignan y Font-Romeu

150 personas, incluyendo 90 permanentes

Personal: CNRS y Universidad de Perpignan

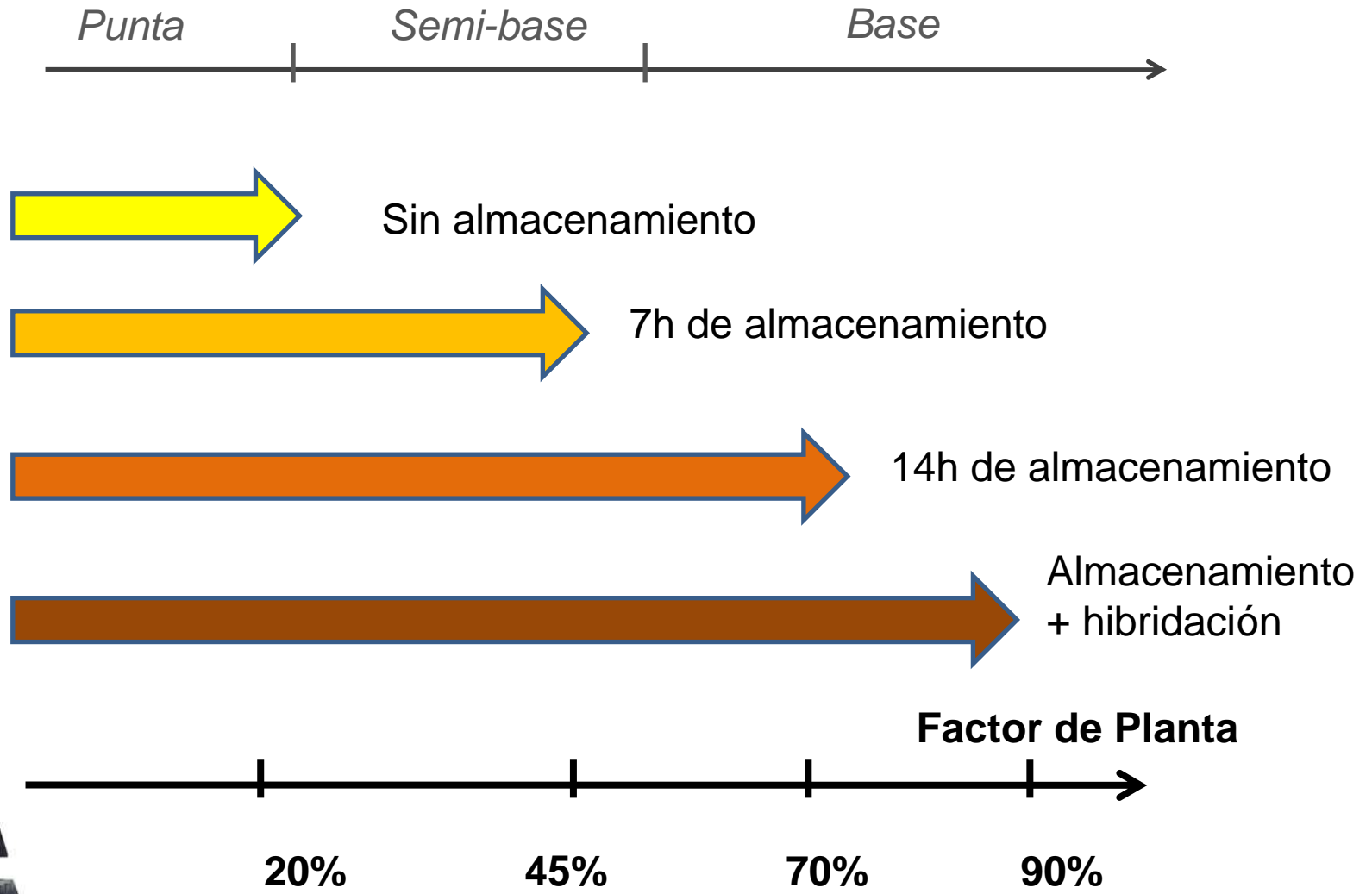
PROMES es la plataforma nacional dedicada a la energía solar concentrada (Equipex)

Font Romeu,
DNI: 1900 kWh/m².año

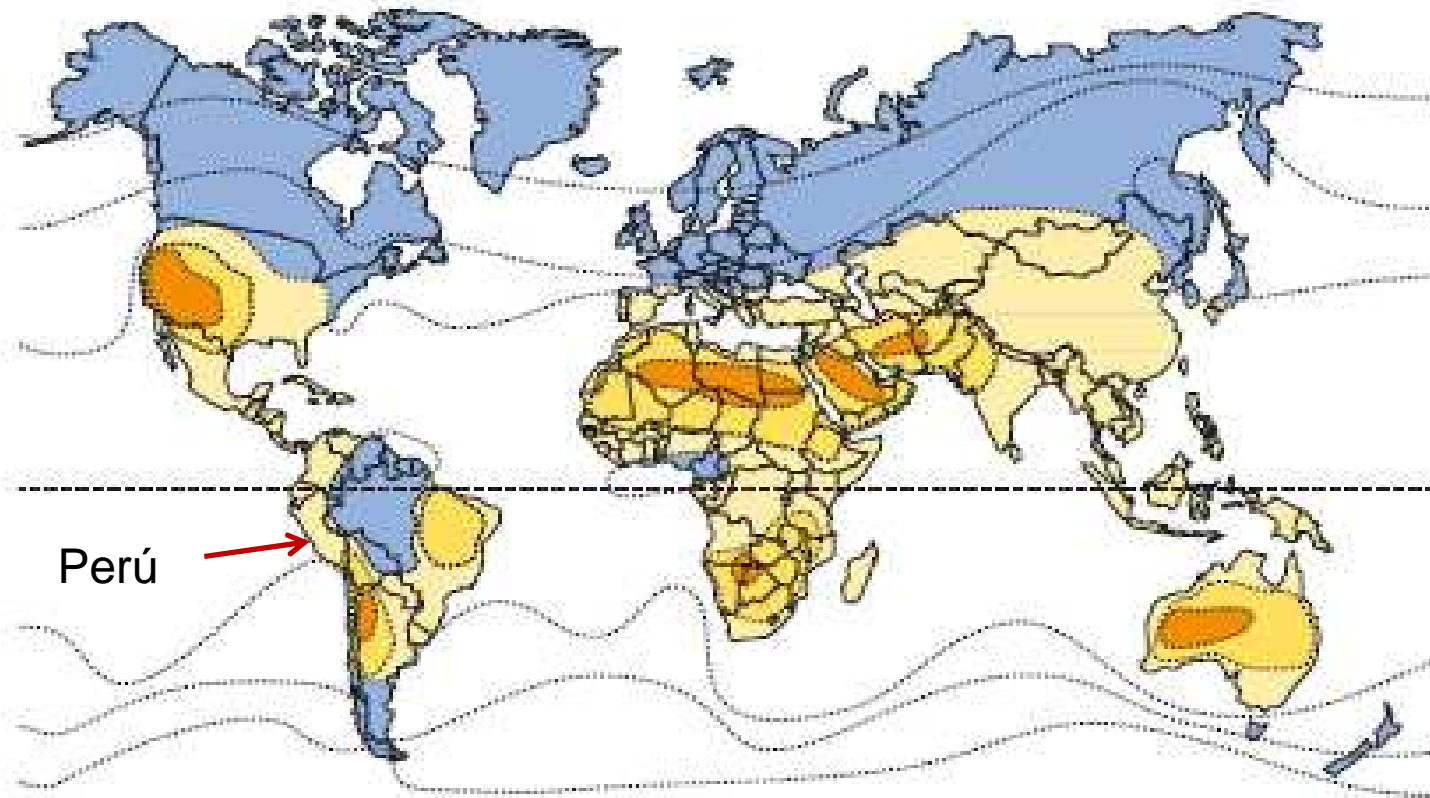
Energía Solar concentrada / Energía Solar fotovoltaica

Parámetro	E. Térmica con concentración	E. Fotovoltaica
Recurso: el Sol	Radiaciones directas	Todas las radiaciones (directas + difusas)
Modo de conversión	Termodinámica	Electrónica
Almacenamiento	Térmico	Electroquímico
Hibridación	Sí	No
Efecto de Tamaño	Sí	No
Disponibilidad	25%-70%	20%

La E. Solar concentrada y sus ventajas



La E. Solar concentrada: regiones favorables



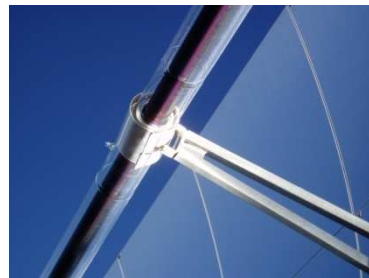
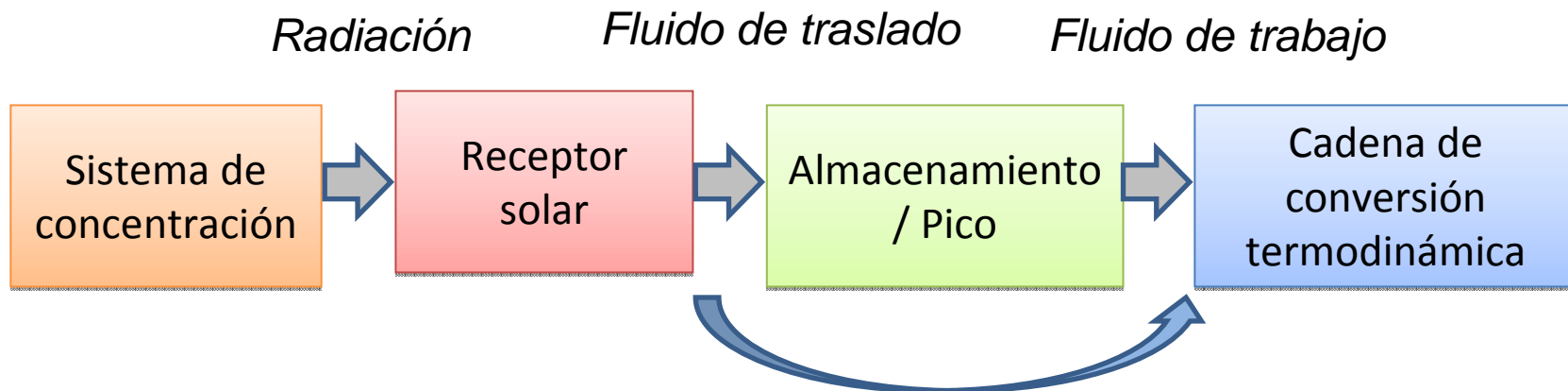
Perú

Suitability for solar thermal power plants:
■ Excellent ■ Good ■ Suitable ■ Unsuitable

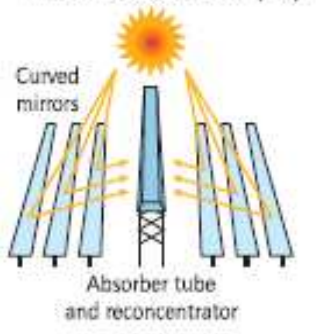

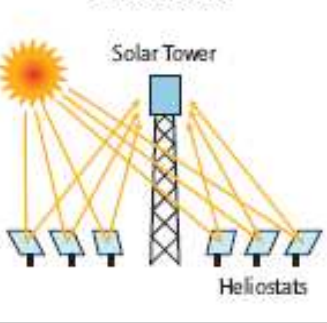
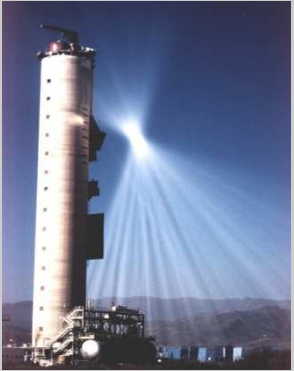
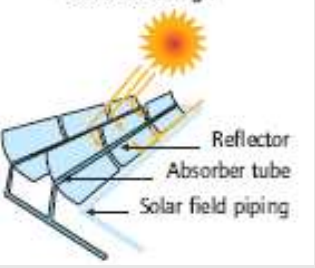



DNI: 1800 – 3000 kWh/m².a



Principios y Tecnologías



Principios y Tecnologías

Focalización Receptor	Lineal (100 veces el sol)	Puntual (1000-10 000 “soles”)
Fijo	<p data-bbox="638 619 952 646">Linear Fresnel reflector (IFR)</p>  <p data-bbox="638 710 728 742">Curved mirrors</p> <p data-bbox="705 917 929 965">Absorber tube and reconcentrator</p> 	<p data-bbox="1444 630 1601 657">Central receiver</p>  <p data-bbox="1467 694 1579 721">Solar Tower</p> <p data-bbox="1579 933 1691 960">Heliostats</p> 
Movíl	<p data-bbox="683 1133 840 1160">Parabolic trough</p>  <p data-bbox="840 1284 929 1311">Reflector</p> <p data-bbox="795 1316 929 1343">Absorber tube</p> <p data-bbox="750 1348 929 1375">Solar field piping</p> 	<p data-bbox="1400 1077 1556 1104">Parabolic dish</p>  <p data-bbox="1377 1268 1467 1295">Receiver/engine</p> <p data-bbox="1467 1380 1556 1407">Reflector</p> 

Estado de la técnica

Tecnologías	Rendimiento óptico anual	Rendimiento de conversión anual	Almacenamiento	Hibridación	Potencial de progresión y mejoración tecnológica
Cilindro-parabólico (MCP)	65%-70%	15%-16%	Sí	Sí	Debíl
Lentes Fresnel (lineal)	50%	9%-10%	No si GDV	Sí	Mediano
Torre	60%-65%	15%-18%	Sí	Sí	Importante
Parábola motor	90%	20%-25%	No	No	Debíl

Estado del Arte

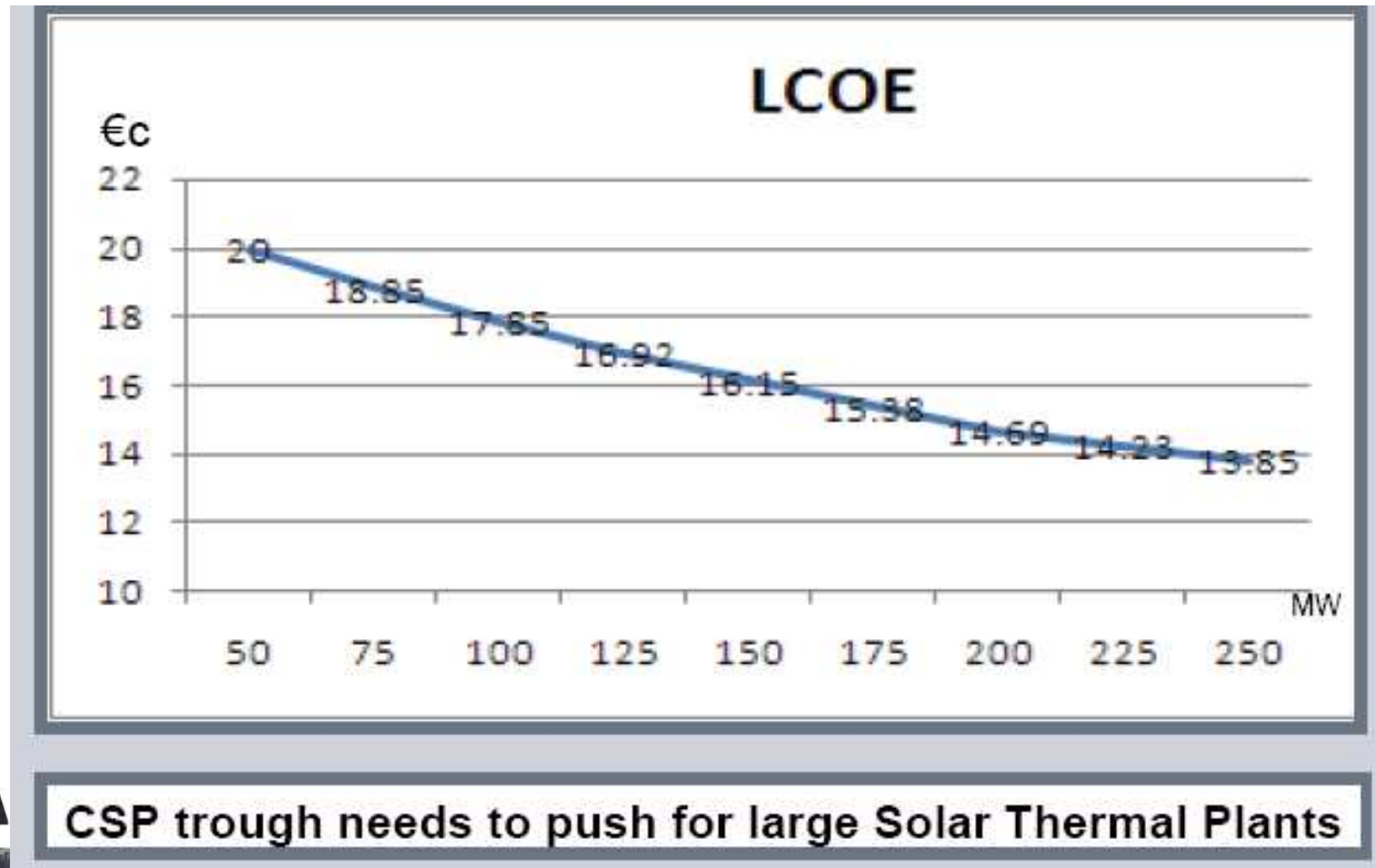


1.6 GW instalados

Estado de la técnica

Hacia mayores potencias

50 MW → 250 MW



Fuente: Lipman, Siemens CSP, SolarPACES 2010



Componentes claves

Sistemas ópticos (concentrador)

Receptores solares (fuente caliente)

Fluidos de transferencia (HTF)

Almacenamiento

Ciclos termodinámicos

Fuente fría



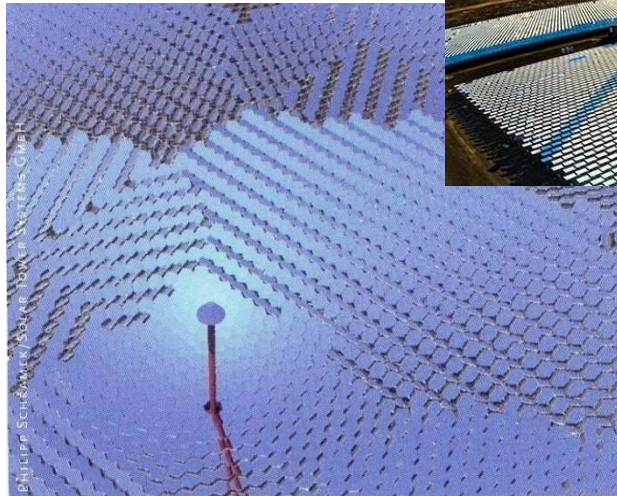
Retos S&T

Componentes	Retos a corto plazo	Retos a largo plazo
Sistema óptico de concentración	<ul style="list-style-type: none"> -Optimización y control de las grandes plantas de reflectores -Mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> -Reflectores sin cristal (vidrio) -Optica para alta concentración
Receptor solar	<ul style="list-style-type: none"> -Superficies selectivas 400°C-500°C -Intensificación de las transferencias -Esperanza de vida 	<ul style="list-style-type: none"> -Superficies selectivas 500°C-700°C -Receptores cerámicos -Receptores multifunciones
Fluido de transferencia	<ul style="list-style-type: none"> -Vapor sobrecalentada -Aire presurizado 	<ul style="list-style-type: none"> -Nuevas sales disueltas -Fluidos supercrítico (FSC) -Suspensiones sólidos-líquidos
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> -Calor específico para vapor -Calor latente temperatura mediana 	<ul style="list-style-type: none"> -Calor específico alta temperatura (1000°C) -Termoquímica
Ciclos termodinámicos	<ul style="list-style-type: none"> -Brayton con aire $P \geq 1\text{MW}$ -Ciclos combinados 	<ul style="list-style-type: none"> -Brayton cerrado -Ciclos supercríticos
Fuente fría	<ul style="list-style-type: none"> -enfriamiento seco optimizado 	<ul style="list-style-type: none"> -Nuevos conceptos

Investigación, Desarrollo,
Innovación (IDI)

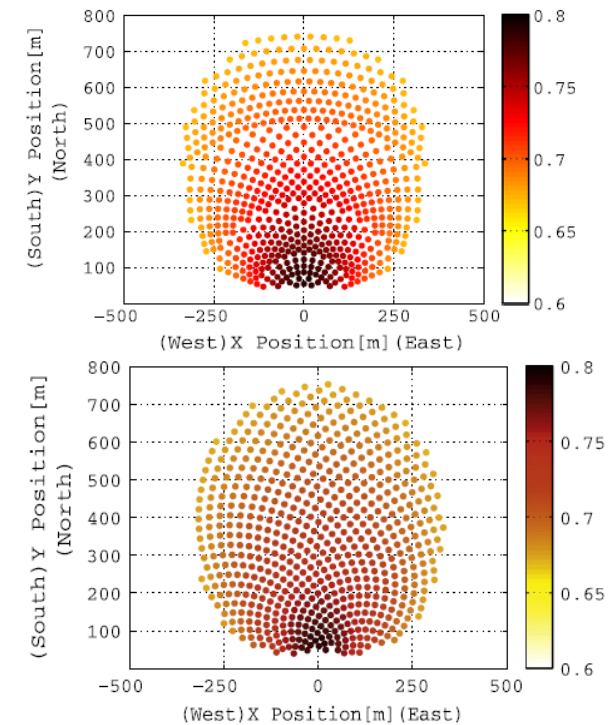
Sistema óptico de concentración

- Reflexibilidad direccional (93%), materias innovadoras
- Defectos
- Optimización de la implantación en el suelo (densidad, rendimiento)



e-solar

Del concepto a la puesta en práctica



Optimización de los campos heliostáticos
CJ Noone et al., Solar Energy 2012



Investigación, Desarrollo,
Innovación (IDI)

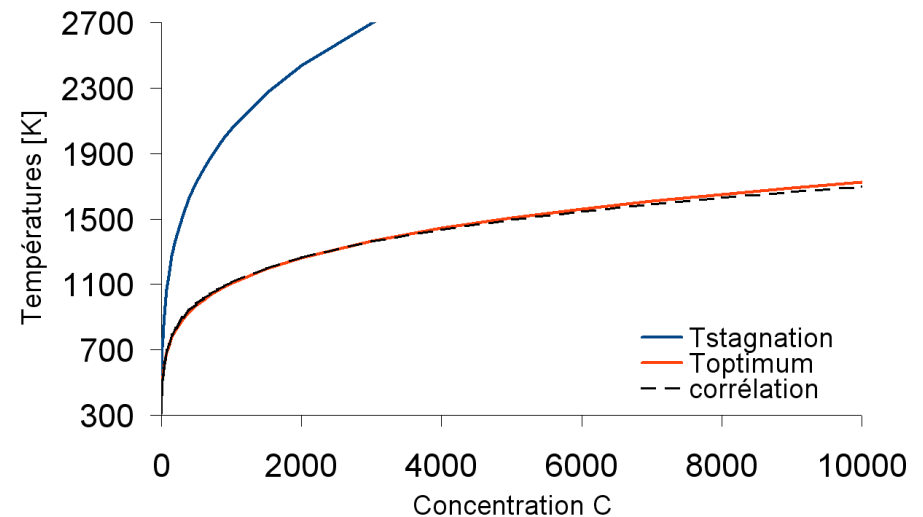
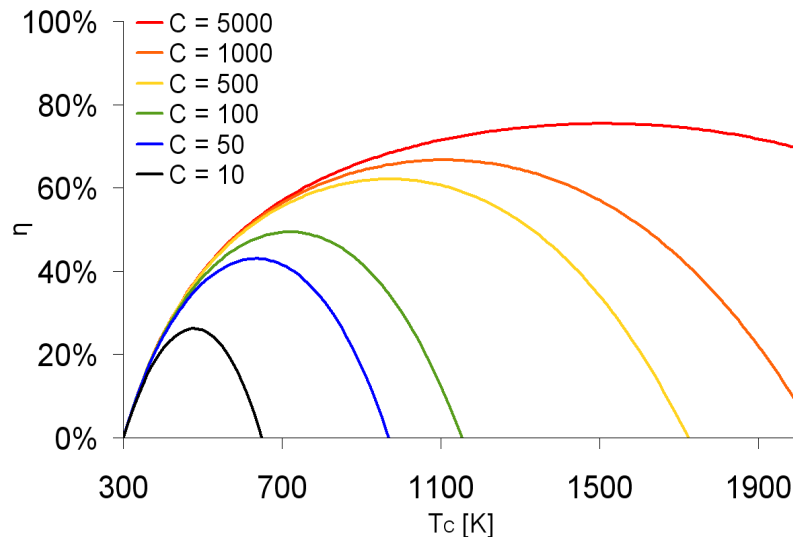
Superficies selectivas para receptores solares

Rendimiento del receptor ↓ Rendimiento de Carnot ↑

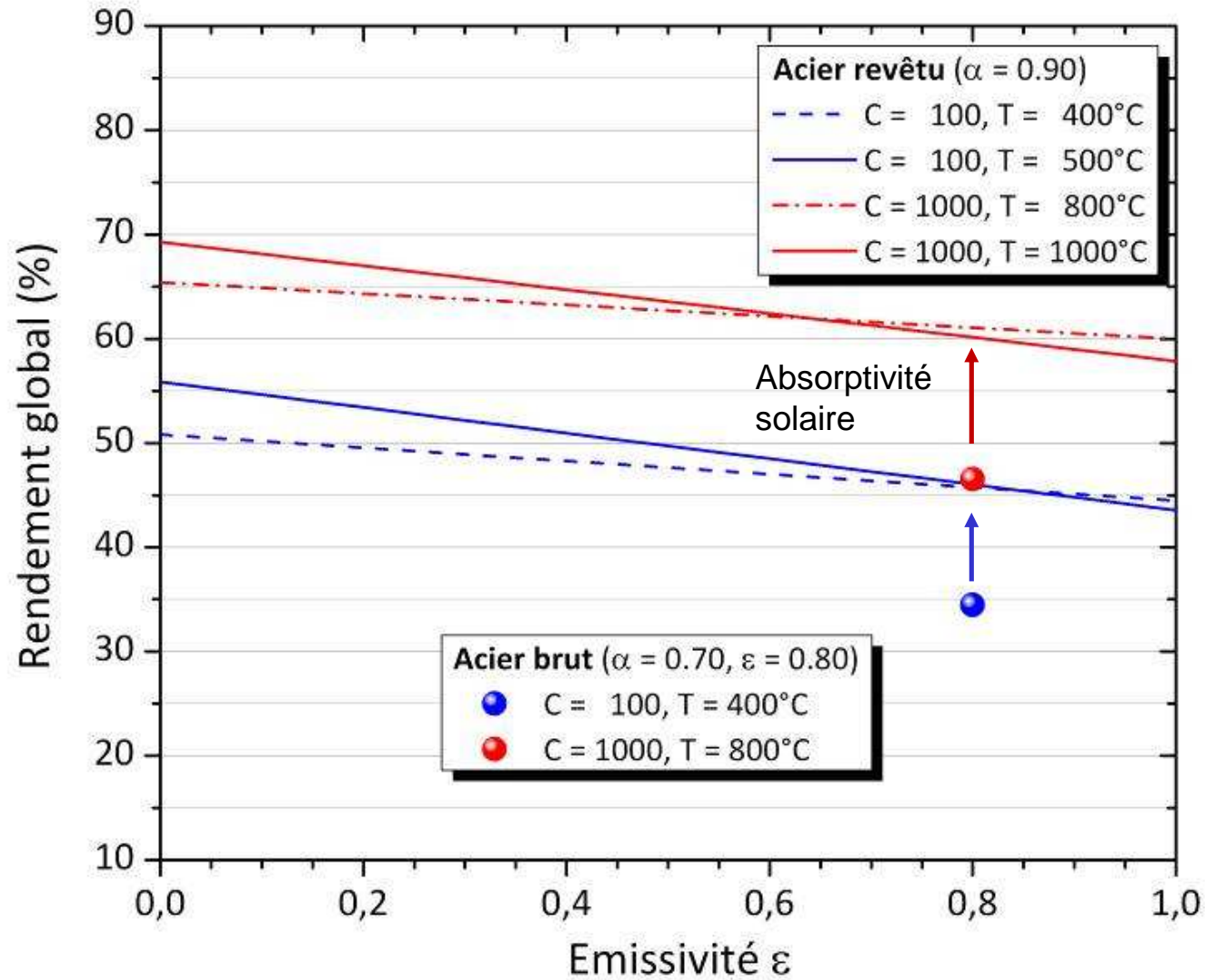
$$\eta = \left(1 - \frac{\sigma T_C^4}{IC}\right) \left(1 - \frac{T^0}{T_C}\right)$$

η : rendimiento exergético
 T_C : temperatura de la fuente caliente
 T^0 : temperatura del entorno
 σ : constante de Stefan-Boltzmann
 C : concentración solar
 I : flujo solar incidente (1 kW/m²)

→ Para un cuerpo negro (hipotesis), existe un óptimo para T_C y C determinados



Superficies selectivas para el receptor solar



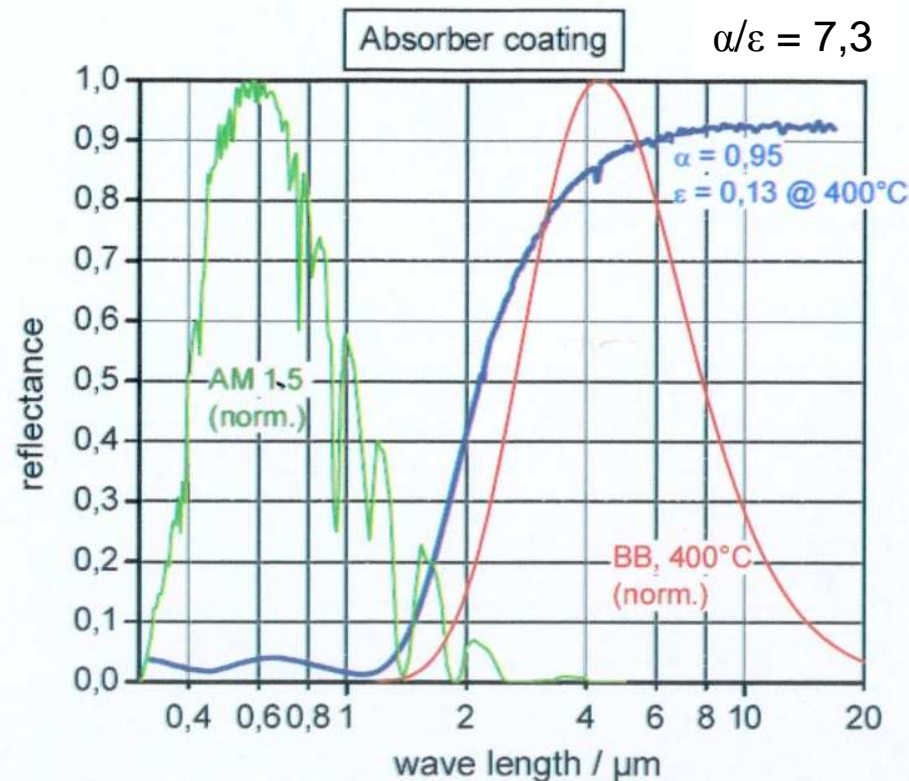


Investigación, Desarrollo,
Innovación (IDI)

Superficies selectivas para los receptores solares

Cuerpo Negro: $\alpha_s = \epsilon_{ir} = 1$

Cuerpo Perfecto selectivo: $\alpha_s = 1, \epsilon_{ir} = 0$



AR	Al_2O_3
Cermet	Mo / Al_2O_3
IR-mirror	Mo
Barrier	Oxide
Metal Tube	

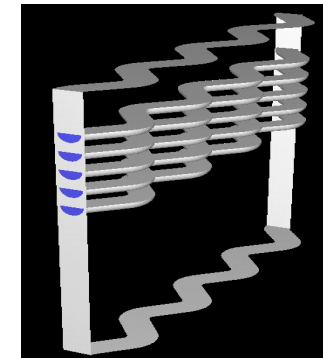
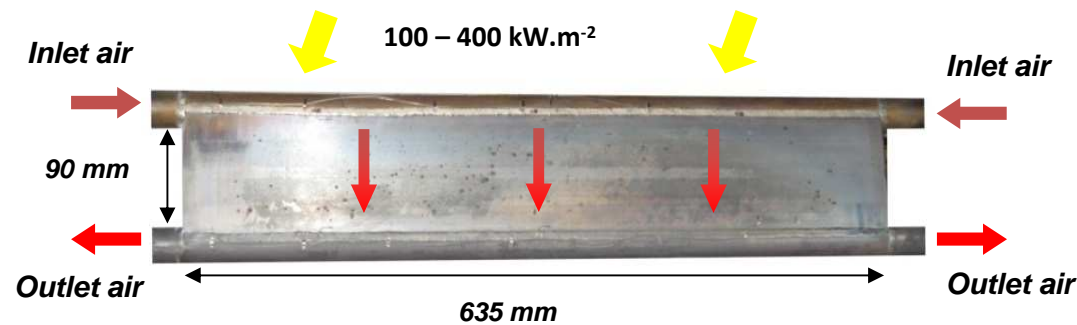
IDI: Nanoestructuras
estables más allá de 450°C



Investigación, Desarrollo,
Innovación (IDI)

Superficies selectivas para receptores solares

- Intensificación de las transferencias fluido/paredes,
receptor de aire



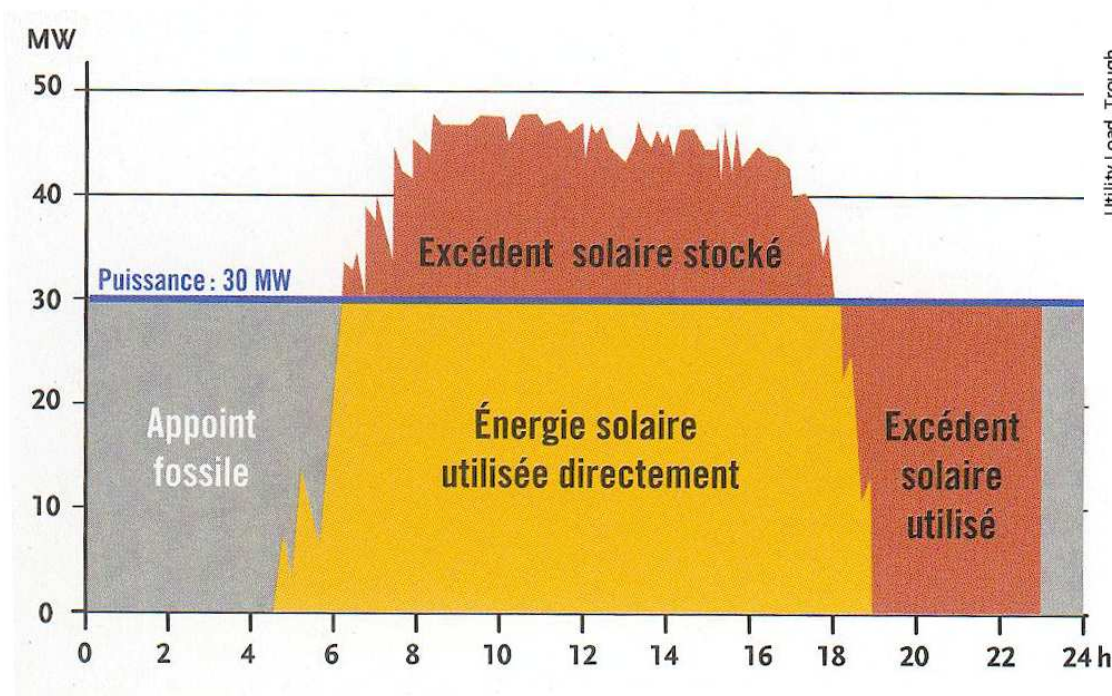
Microcanales

$T_{\text{air ingreso}} [^{\circ}\text{C}]$	20 - 335
$T_{\text{air salida}} [^{\circ}\text{C}]$	142 - 780
$\Delta T_{\text{air}} [^{\circ}\text{C}]$	110 - 460
$T_{\text{paroi max}} [^{\circ}\text{C}]$	884

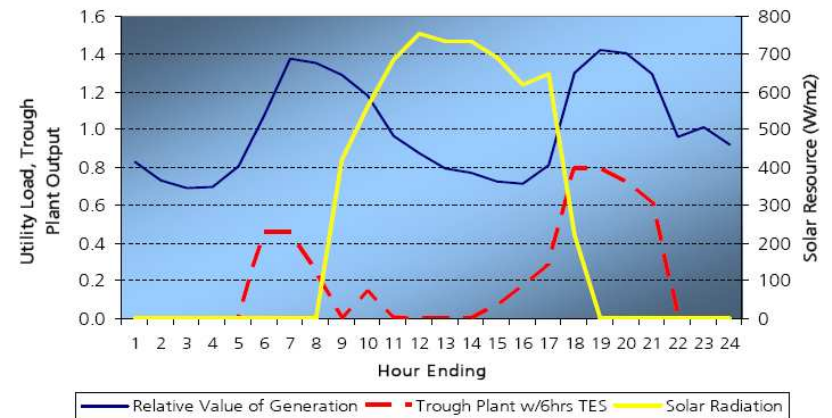
Potencia transferida [kW_{th}]	5,3 - 21,5
Densidad del flujo [$\text{kW}_{\text{th}} \cdot \text{m}^{-2}$]	101 à 408
$H_{\text{global}} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	1600 - 2500



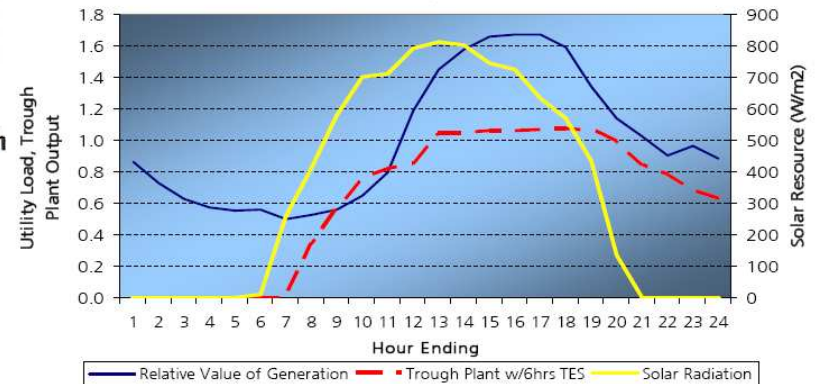
Apuestas del almacenamiento: acoplar la oferta a la demanda



Solar Plant With Storage vs. Utility System Load
January

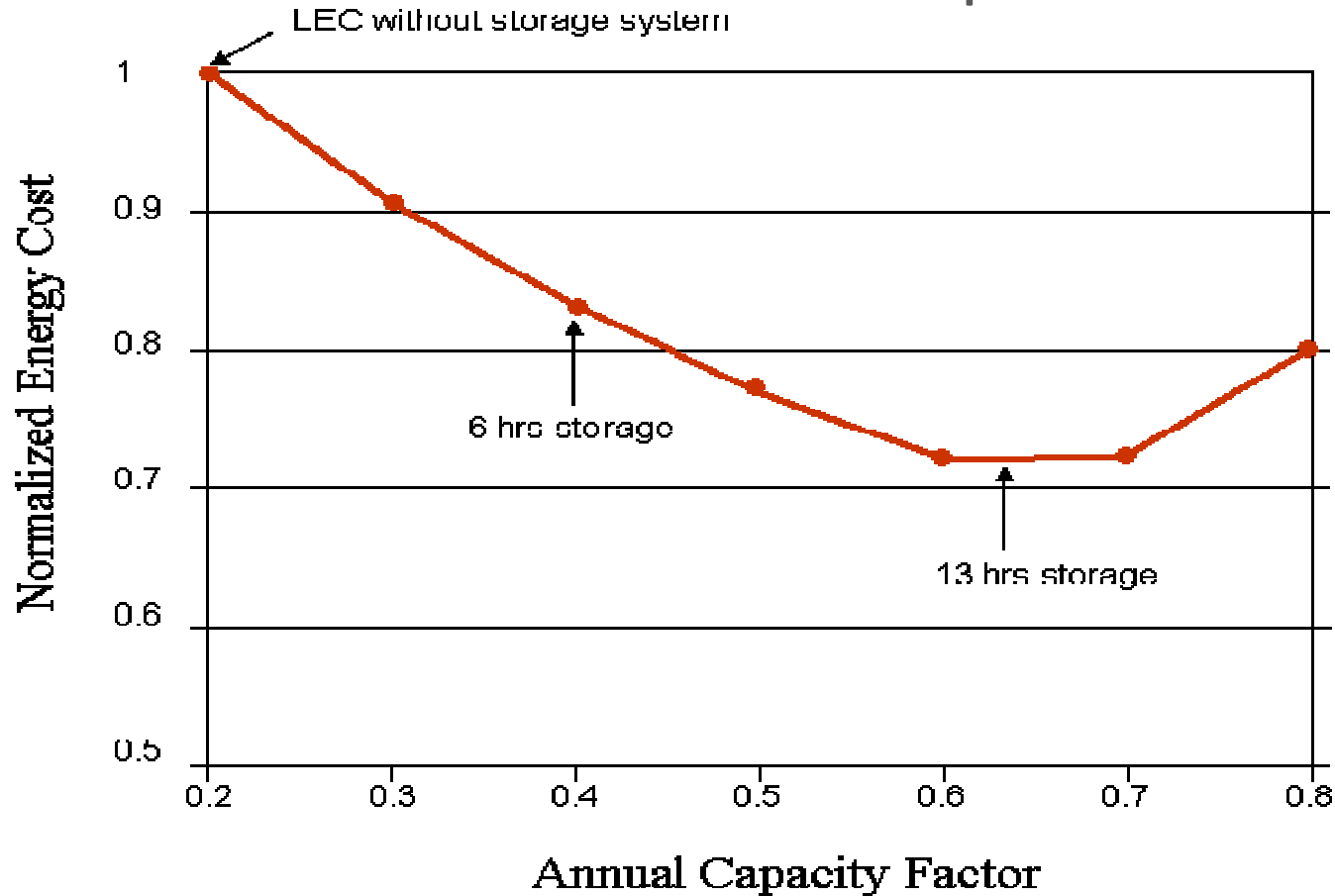


Solar Plant With Storage vs. Utility System Load
July





Apuestas del almacenamiento: reducir el costo de producción de la electricidad

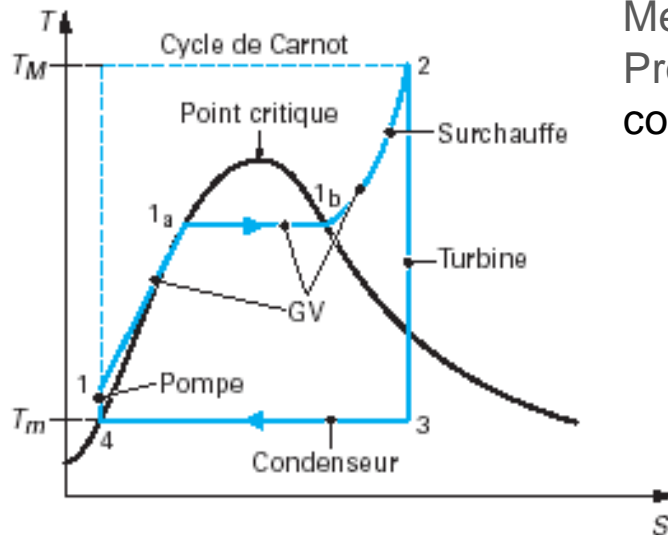


Fuente: Libby, C., Key, T., Batel, P., Moore, S., Lu, H., 2009. *Program on Technology Innovation: Evaluation of Concentrating Solar Thermal Energy Storage Systems*. EPRI, Palo Alto, CA: 2009. 1018464.

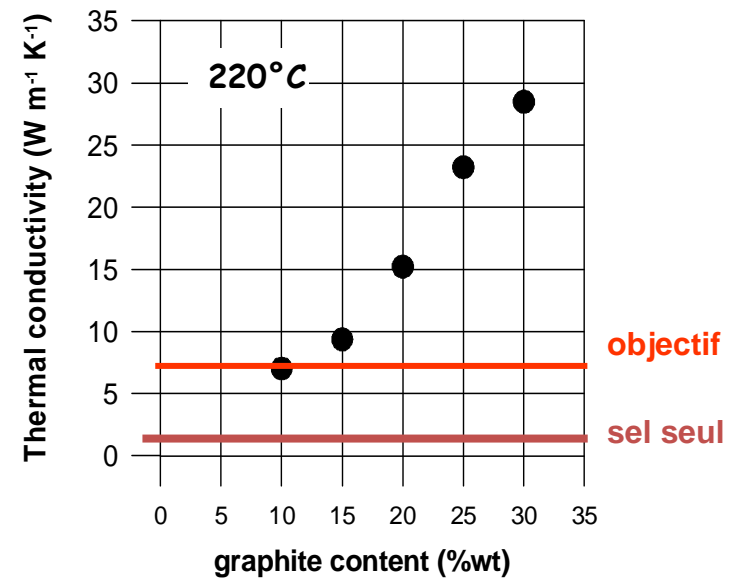
Almacenamiento

- En desarrollo: hormigón, residuos vitrificados, cambio de estado, reacción química

Cambio de estado



Mezclas sal-grafito
Problemas:
conductividad, estabilidad



Ciclos Termodinámicos

Ciclo Termodinámico	Rendimiento del ciclo	Rendimiento de la planta solar	Ganancia
Ciclos Vapor (Rankine) 390°C-565°C	37% - 42%	20% - 23%	0
Vapor supercrítica ≥ 650°C	48%	27%	17% - 35%
CO2 supercrítico Brayton 600°C – 800°C	50% - 55%	28% - 31%	22% - 55%
Ciclo combinado (Brayton/Rankine) 1300°C	60%	33.5%	45% - 67%

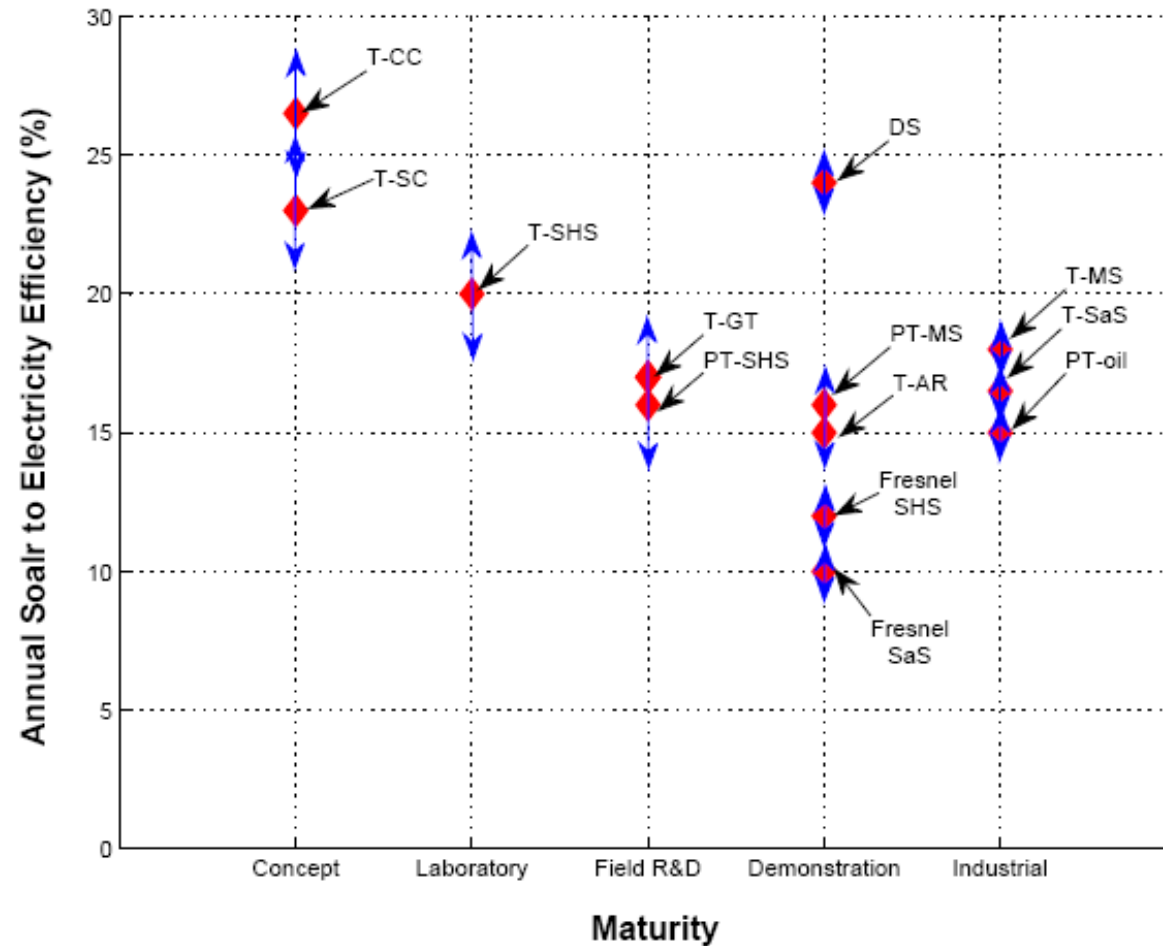
Rendimiento de la planta: $\eta_{opt} \cdot \eta_{rec} \cdot \eta_{cyc} = 0.7 \times 0.8 \times \eta_{cyc}$



Perspectivas

Avances tecnológicos

Rendimiento nominal
> 30%



Abreviatura	Significado
PT	Cilindro-parabólico
T	Torre
DS	Parábola Stirling
SaS	Vapor saturada
MS	Sal fundida
DSG	Generación directa de vapor
GT	Turbina de gas
SC	Supercrítico
CC	Ciclo combinado

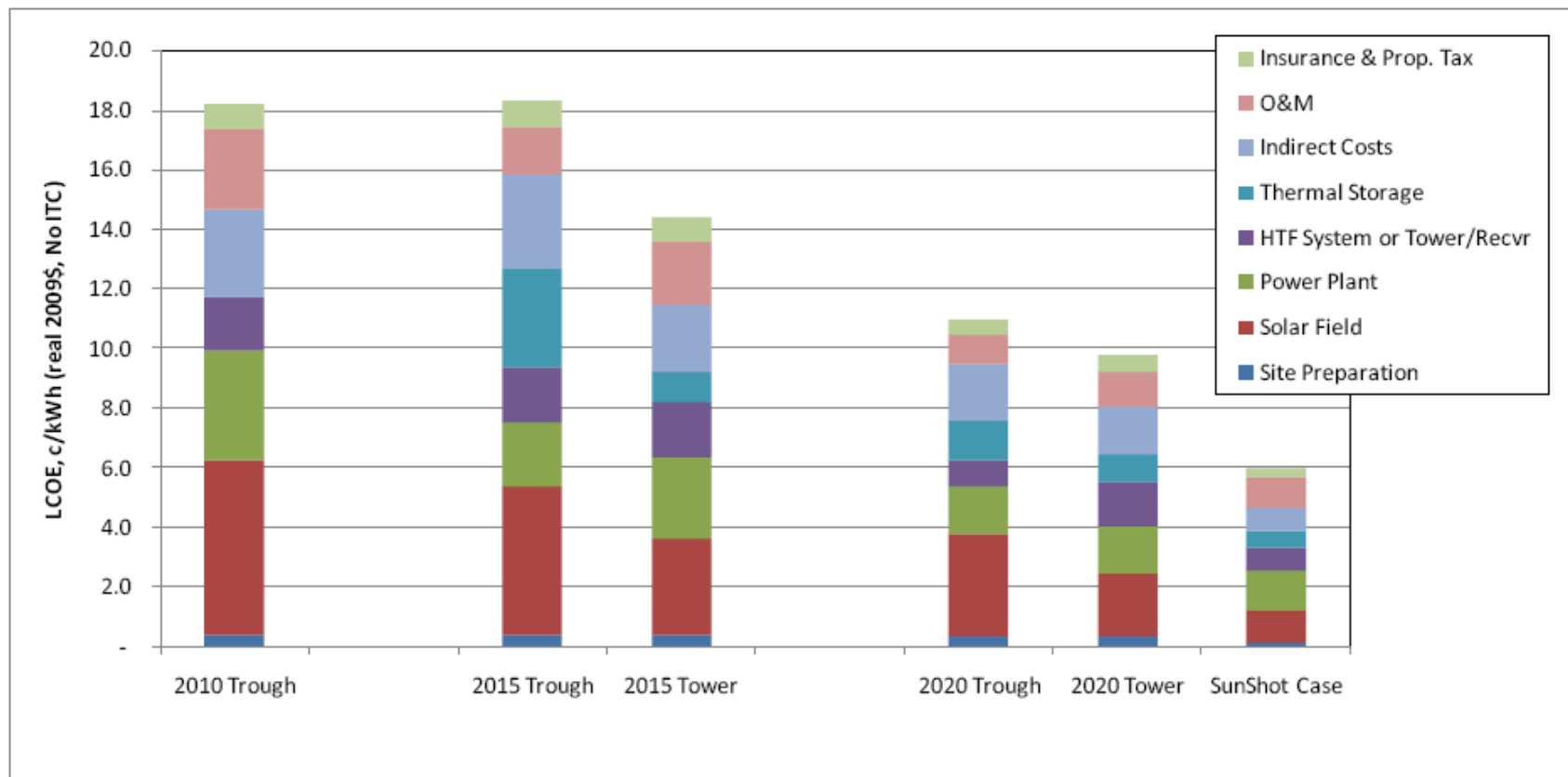
Fuente: EASAC 2011



Perspectivas

Avances tecnológicos y Desarrollo Industrial

Disminución del costo de la electricidad



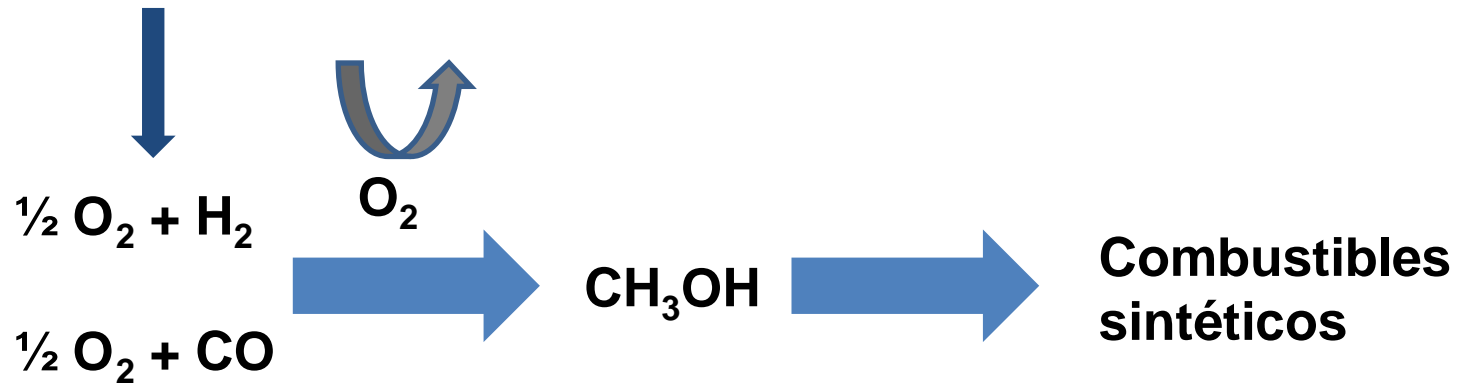
Fuente: DOE/USA 2011



Perspectivas a largo plazo

Combustibles sintéticos

H₂O + Energía Solar



CO₂ + Energía Solar

Gracias por su atención



gilles.flamant@promes.cnrs.fr

Gilles FLAMANT

- *El señor Gilles Flamant es graduado de la Escuela Nacional Superior de Química de Paris (ENSCP), Francia, doctor en ingeniería de la Universidad Paul Sabatier de Toulouse, Francia y DSc. del Instituto Politécnico de Toulouse. Empezó investigando en el Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS) desde 1975 hasta hacerse director de Investigación en 1989. Ahora se desempeña como director del PROMES, unidad de investigación del CNRS enfocada en la energía solar, perito miembro de la Alianza para la Coordinación de las Investigaciones en el terreno de las Energías (ANCRE) y presidente de sección en el CNRS. Cabe señalar, además, su importante producción científica (publicaciones, patentes) lindante con las energías solares y los procedimientos térmicos en alta temperatura.*
- El laboratorio PROMES (Procedimientos, Materiales y Energía Solar) del CNRS es activo desde más de 40 años ; y lidera desde entonces la investigación francesa y europea en el campo de la energía solar concentrada (prueba de instalaciones y plantas de gran tamaño, nuevas técnicas de almacenamiento, conversión, transferencia de la energía, nuevos materiales, etc.). Resulta de la colaboración entre el Centro Nacional de Investigación Científica francés (CNRS), el Instituto para la Ciencias de Ingeniería y de Sistemas (INSIS) y la Universidad de Perpignan (UPVD).
- Se ubica en Font-Romeu (Pirineos) y Perpignan, en Francia
- Mayor Información en <http://www.promes.cnrs.fr/>
- Contacto : gilles.flamant@promes.cnrs.fr



La Corporación Andina de Fomento y la Cooperación Regional para los Países Andinos dan las gracias a los expositores por haber compartido su peritaje, al público por su presencia y a todas las personas que trabajaron para que este acontecimiento tuviera el éxito que conoció.

Coporación Andina de
Fomento (CAF)

IGARCIA@caf.com

www.caf.com/

Cooperación Regional para los
Países Andinos

clement.larrauri@diplomatie.gouv.fr

<http://www.franceamsud.org/site/>