

XIII Congreso Energía Solar Térmica. GENERA 2021

Tecnología solar térmica para procesos industriales

Jose Ignacio Ajona
jose.ignacio.ajona@seenso.es

17 Nov 2021

SEENSO RENOVAL

OBJETIVO:

Solarización de la industria

Preparación de “Guía de Energía Solar
Térmica para Procesos Industriales”



IDAIE



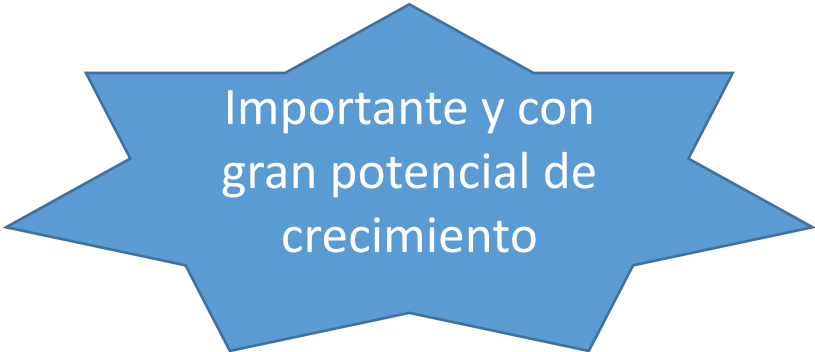
INSTITUTO DE LA
CONSTRUCCION
DE CASTILLA Y LEON



asit
solar térmica

Papel de la solar térmica en la industria

- Vía hacia la sostenibilidad: Costes/ CO2 /características Vs competencia convencional y renovable
- Virtudes solares térmicas
 - Fiabilidad/durabilidad
 - Adaptación a la demanda (almacenamiento)
 - Hibridación
 - Modular/ampliación
 - Coste del kWh, mejora con el tamaño

A blue, multi-pointed starburst shape with a white outline, containing white text. The text reads "Importante y con gran potencial de crecimiento".

Importante y con gran potencial de crecimiento

A considerar para la solarización

Tecnológicos

- Recurso solar
- Nivel térmico de la demanda de calor
- Importancia del espacio disponible y de las características de las cubiertas o terrenos adyacentes

Entorno

- Parámetros financieros a considerados en el cálculo : Objetivo del TIR solar y parámetros de entrada
- Competencia con renovables y sin renovables + Opciones de hibridación
- Otras consideraciones solares: Mejora de la calidad del aire de la ciudad (NOx), RSC, huella de carbono, marketing,..

- Lo más importante → Vencer la inercia social/reglamentaria

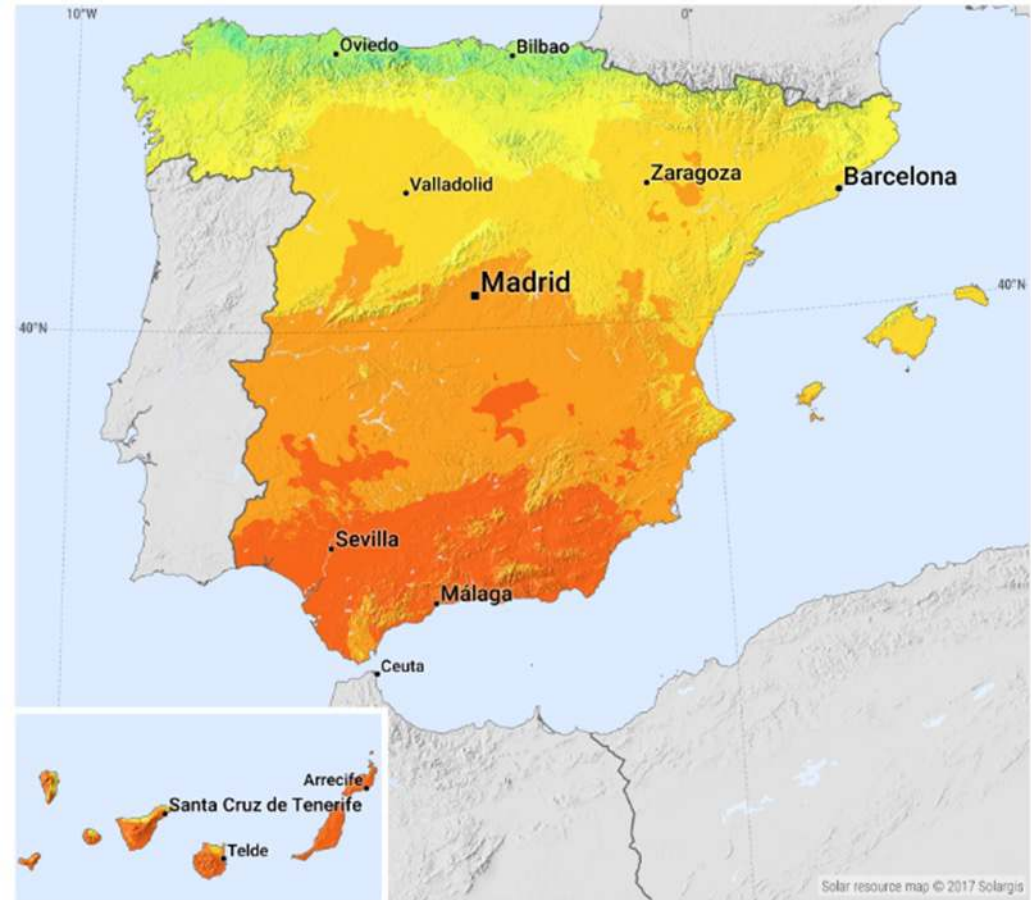
Ventajas de solar térmica

- Recurso solar abundante y distribuido
- Producción local: Mejora la balanza comercial, sustituye importaciones por empleo y reduce la huella de carbono
- Mayor rendimiento que otras renovables (FV*3, Biomasa*100)
- Gestionabilidad; Almacenamiento T
 → Sustituye combustibles fósiles + Reduce costes energéticos = Aumenta la competitividad de la industria

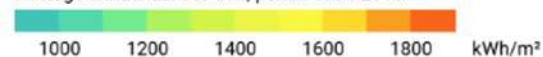
GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

SPAIN

SOLARGIS



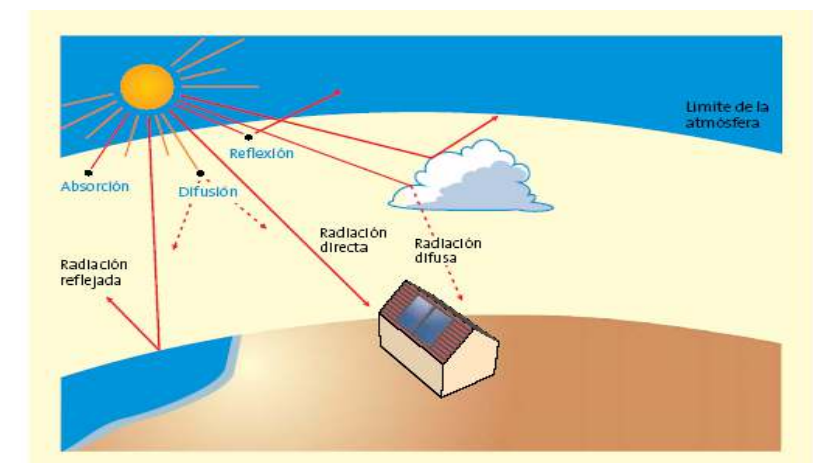
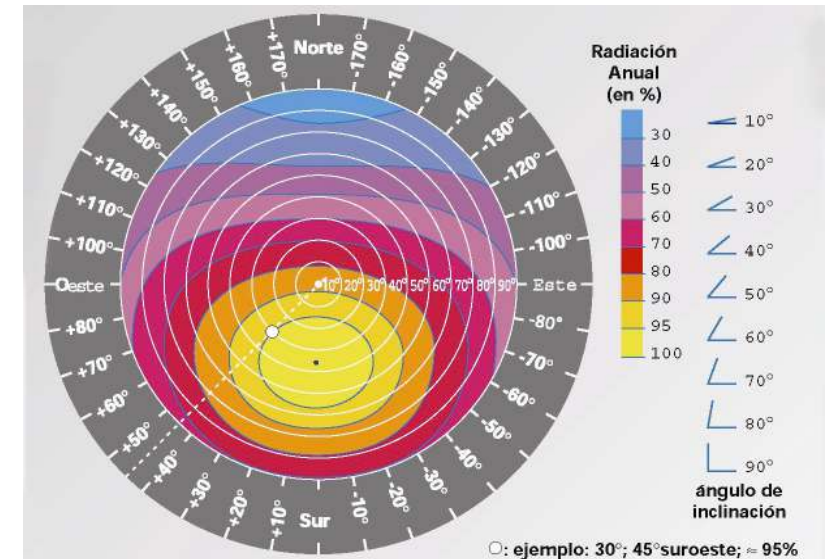
Average annual sum of GHI, period 1994-2016



Radiación solar disponible sobre la apertura

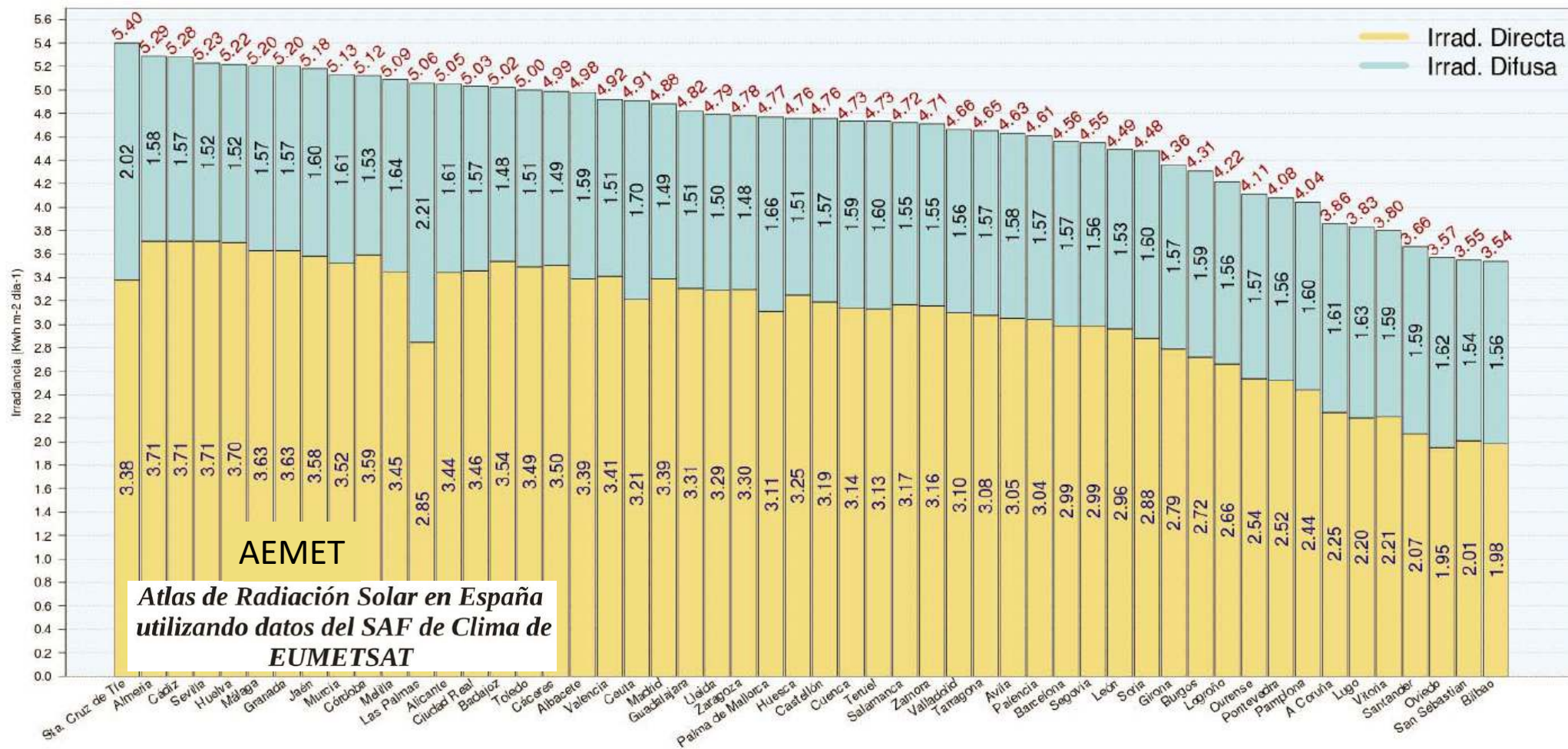
Análisis simplificado para comparar tecnologías solares

- La inclinación del captador a la latitud aumenta un 10-12% la radiación solar global disponible sobre una superficie con respecto a los valores sobre la superficie horizontal
- Los valores de la radiación solar **global** disponibles sobre una superficie con seguimiento del sol en los 2 ejes es de un 20 a un 25% superior a la radiación solar global sobre una superficie fija inclinada
- Los valores de la radiación solar **directa** disponibles sobre una superficie con seguimiento del sol en los 2 ejes es semejante a la radiación solar global sobre una superficie fija inclinada hacia el ecuador un ángulo igual al de la latitud de su emplazamiento
- La radiación difusa sobre una superficie horizontal a lo largo del año, representa un 30% de la radiación global anual



Composición radiación solar global horizontal en España

Irradiancia global media diaria [1983-2005]

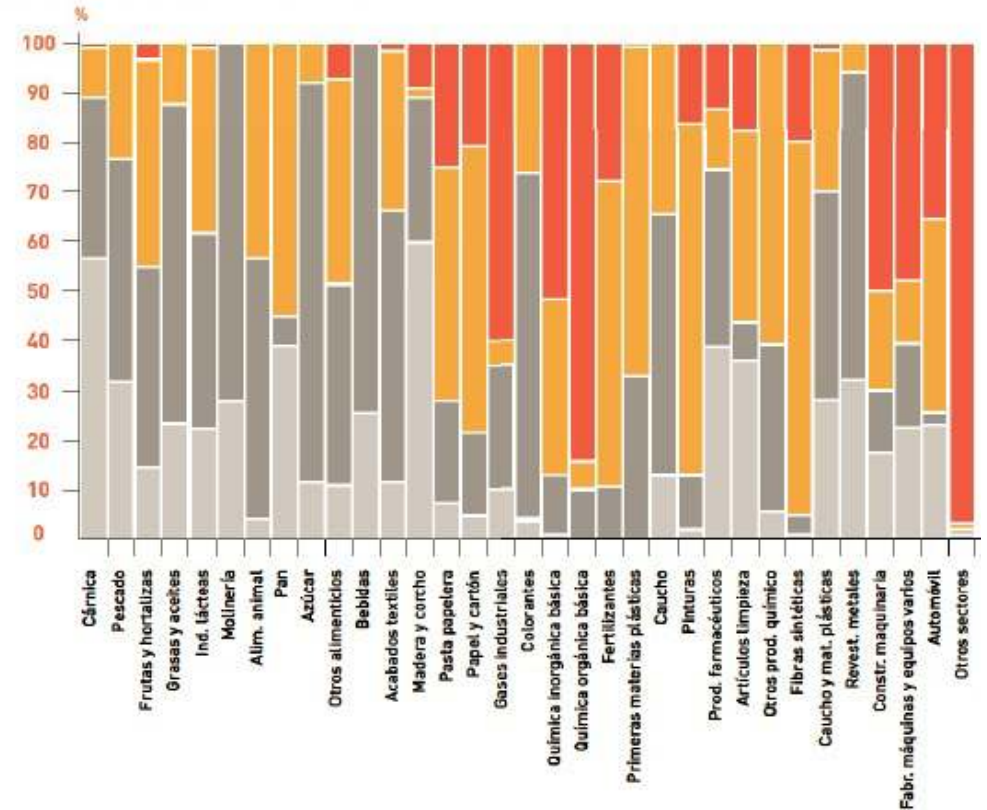


Nivel térmico requerido por las demandas

Figura 3.1.1. Distribución de la demanda de calor a baja y media temperatura entre los sectores analizados



Figura 3.1.2. Distribución de la demanda de calor por niveles de temperatura (temperatura mínima de suministro) en los sectores analizados



IDAE 2011 → Potencial Tecno-económico en España T menor de 120°C: Más de 60Mm²

Indicadores de la tecnología: Rendimiento y cobertura

- Rendimiento instantáneo del captador , η : relación entre la potencia térmica generada por unidad de área y la irradiancia solar incidente.

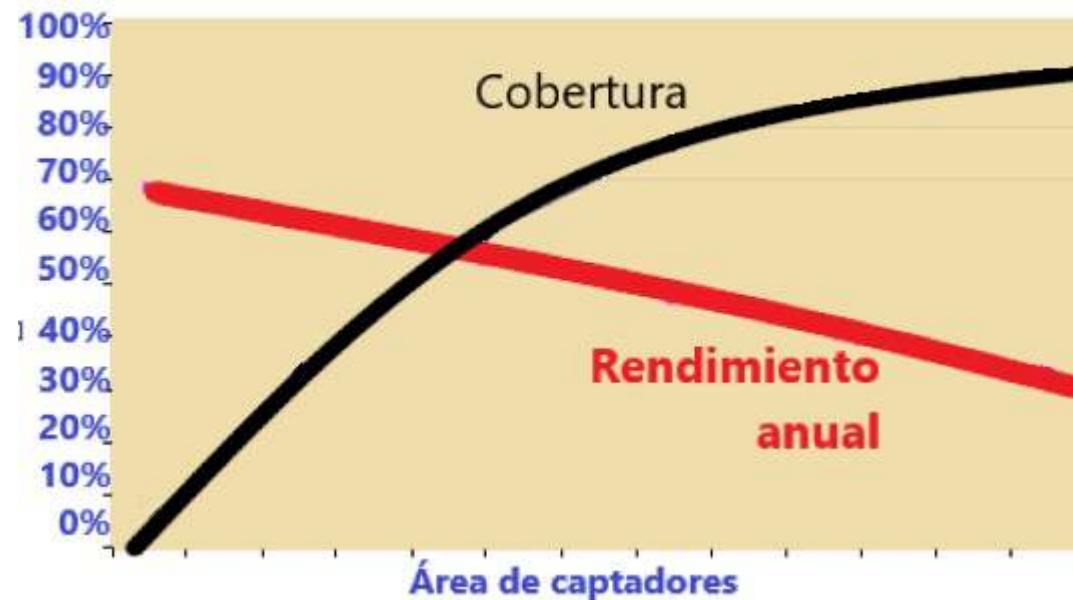
$$\eta = \eta_o(0) * k(\theta) - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{I_{ap}} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{I_{ap}}$$

- η_o : rendimiento óptico del captador = eficacia óptica
- $K(\theta)$: Modificador por ángulo de incidencia
- Coeficientes de pérdidas térmicas del captador térmicas k_1 y k_2
 - k_1 define una variación lineal
 - k_2 denota una variación cuadrática de las pérdidas térmicas
- I_{ap} = Irradiancia sobre la apertura (Global o directa) W/m^2

Rendimiento solar y cobertura solar anual

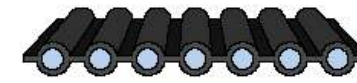


- El rendimiento solar anual ($\eta_{\text{solar anual}}$) se calcula a partir de la acumulación de los valores instantáneos del calor útil solar y de la radiación solar disponible
- La cobertura solar anual, f_{solar} , es la proporción ahorrada con energía solar de la demanda energética anual
- Ambas variables están muy relacionadas y su relación depende del nivel de acumulación térmica y de los perfiles de la demanda y de la disponibilidad solar:

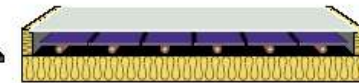


Tecnologías solares: Baja temperatura

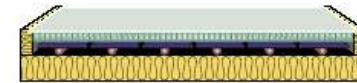
- Rango de aplicación térmico: Hasta los 100°
- Implantación: Captador fijo, estructura soporte estacionaria
- Sin concentración
- Radiación disponible sobre la apertura: Radiación global = Directa + Difusa
- Sin protección intrínseca del captador contra sobretemperaturas → requiere protección del circuito primario solar
- Uso del terreno, minimizando sombras (horizontal, inclinado a la latitud $R40^\circ$): Mirando al ecuador: 50%
- Sistemas de producción en grandes cantidades: entre 50,000m² y más de 1,000,000 m²/año por fabricante.



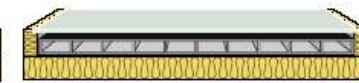
Captador sin cubierta



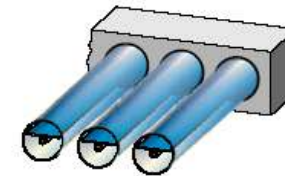
Captador solar plano



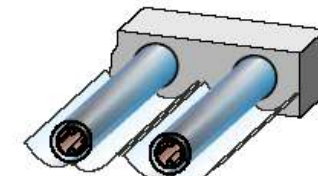
Captador TIM (con aislamiento transparente)



Captador de aire



Captador de vacío sin reflectores



Captador de vacío con reflectores

Tecnologías solares: Media temperatura

- Rango de aplicación térmico: Hasta los 300º
- Implantación: Absorbente fijo o móvil, espejos con seguimiento continuo del sol en 2 ejes ó en 1 eje
- Concentración solar ($C = A_{\text{apertura}}/A_{\text{absorbente}}$): entre 15 y 25
- Radiación disponible sobre la apertura: Sólo radiación directa (R70% de la global)
- Protección intrínseca contra sobretemperaturas: Desenfoque
- Uso del terreno, minimizando sombras (horizontal, zonas de latitud R40º):
 - Un eje de seguimiento horizontal E/O: CP 50%; FR=60% (*)
 - Un eje de seguimiento horizontal N/S: CP35%; FR=60% (*)
 - Dos ejes de seguimiento: 25%
 - (*)(el seguimiento N/S favorece la producción anual, pero provoca grandes diferencias entre los diversos meses)
- Sistemas de producción por proyecto: entre 10,000m² y 100,000 m²/año por fabricante.



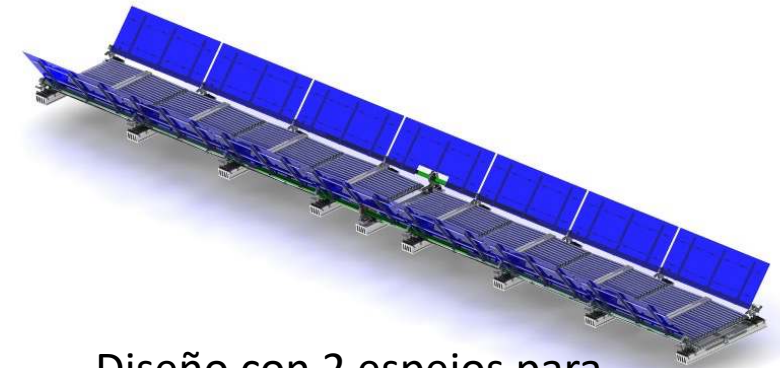
Cilindro parabólicos



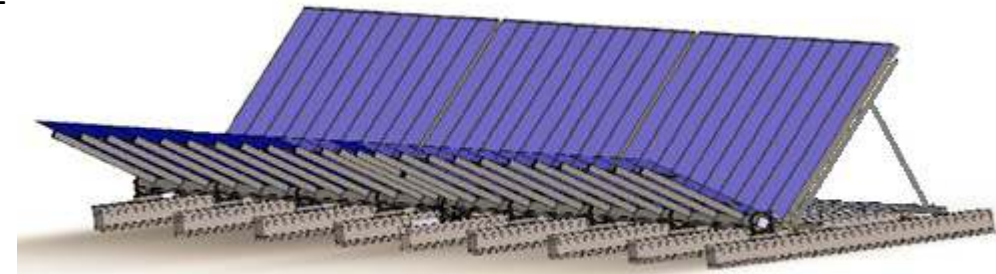
Fresnel

Tecnologías solares: WeSSun

- Rango de aplicación térmico: Hasta los 150º
- Implantación: Captador fijo, espejos con seguimiento continuo del sol
- Concentración solar ($C = A_{\text{apertura}}/A_{\text{absorbente}}$): entre 1,4 y 2
- Radiación disponible sobre la apertura: Radiación directa + el 70-80% de la difusa
- Protección intrínseca contra sobretemperaturas: Sombreado con los espejos
- Uso del terreno, minimizando sombras (zonas de latitud R40º):
 - Captador inclinado a la latitud, un eje de seguimiento E/O: 50% (con 1 ó 2 espejos)
 - Captador horizontal, un eje de seguimiento N/S: 60% (con 2 espejos, $C=1,7$)
- Sistemas de producción
 - Captador: En masa
 - Concentrador: Por establecer.
- Desarrollado y ensayado dentro del proyecto WeDistrict (H2020)

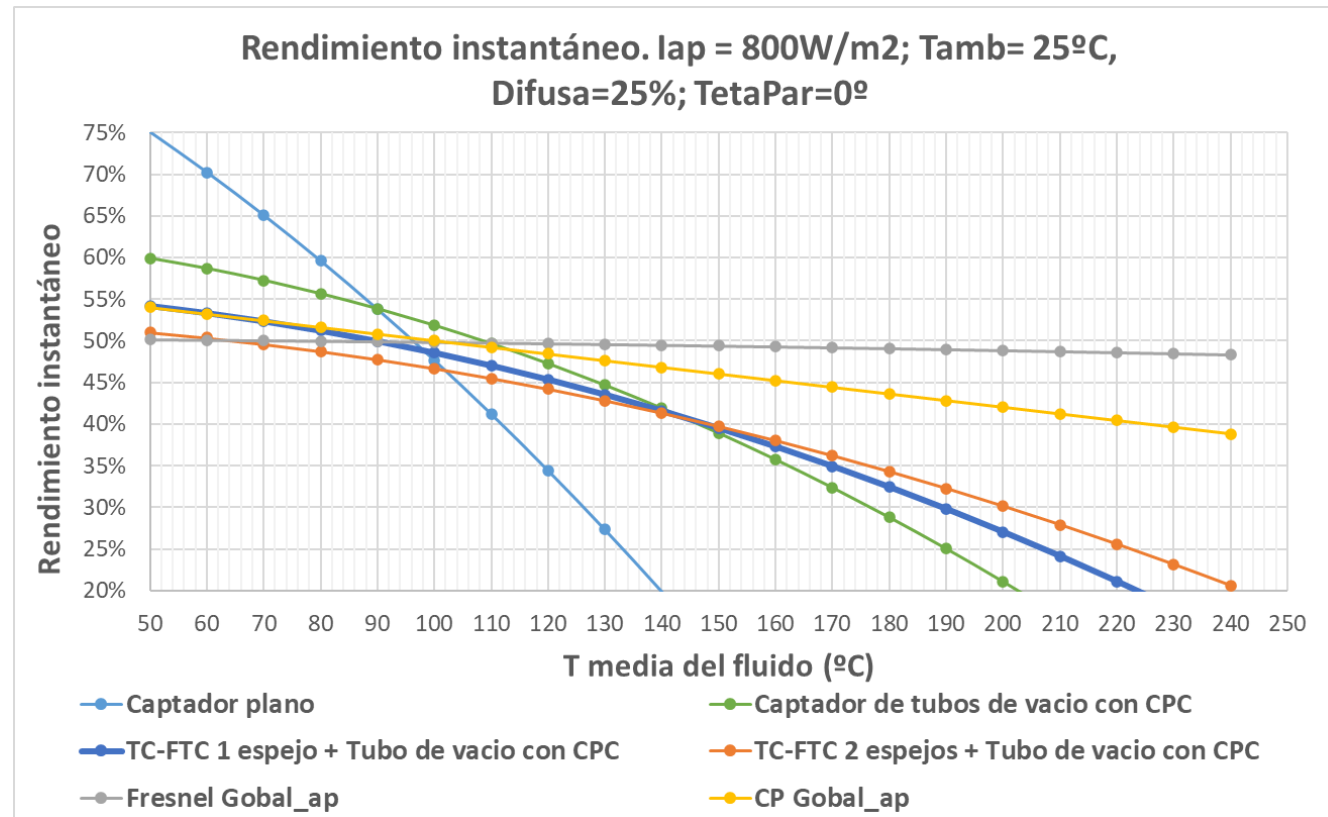


Diseño con 2 espejos para tubo de vacío con CPC

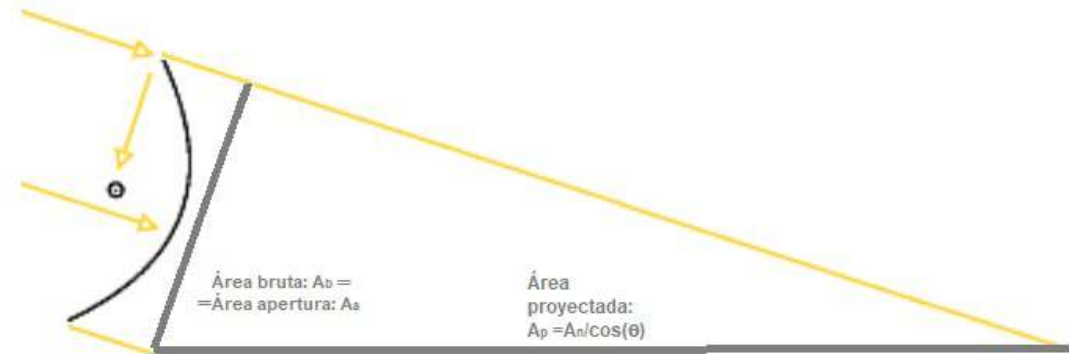
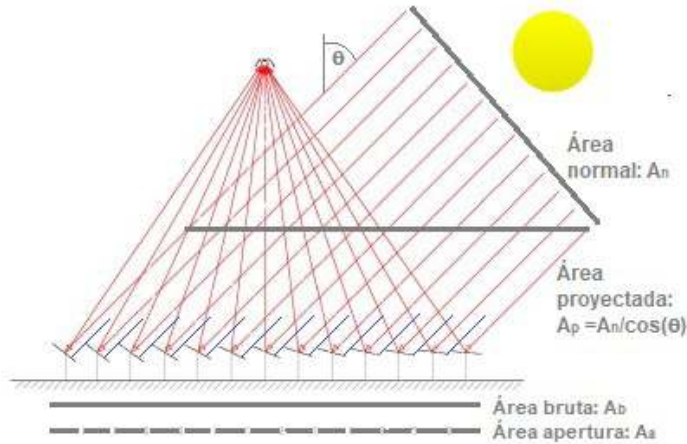
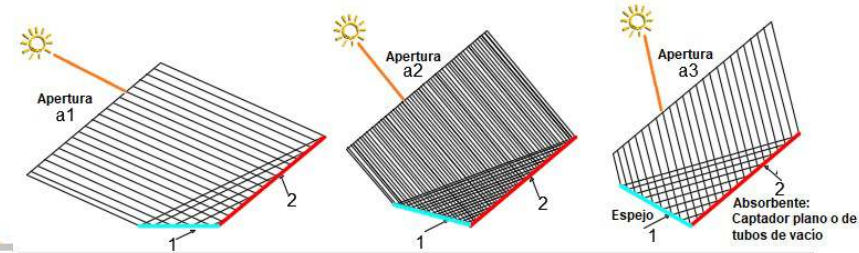
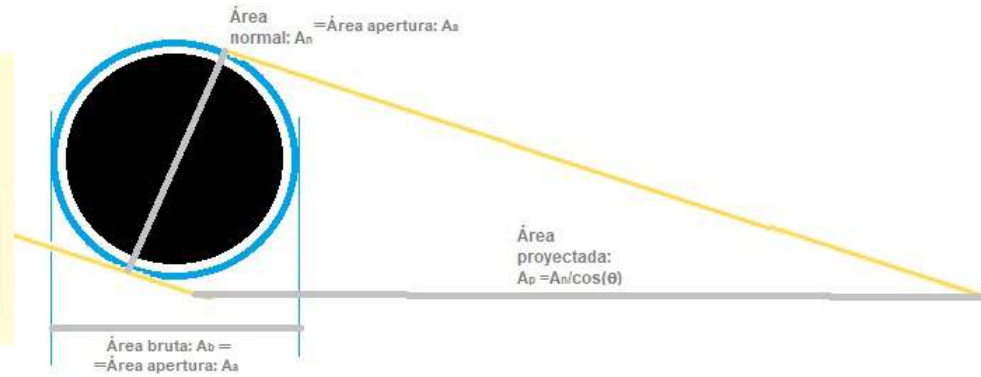
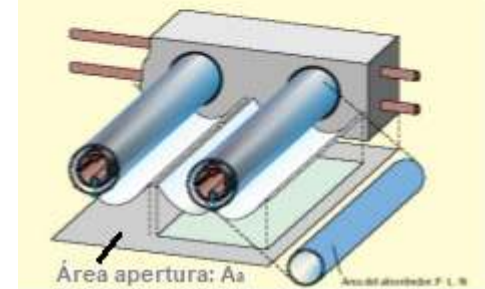
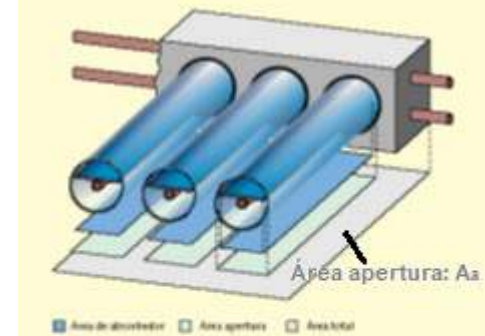


Diseño con 1 espejo para captador plano

Comparativa rendimiento: referido al área de apertura y a la radiación global

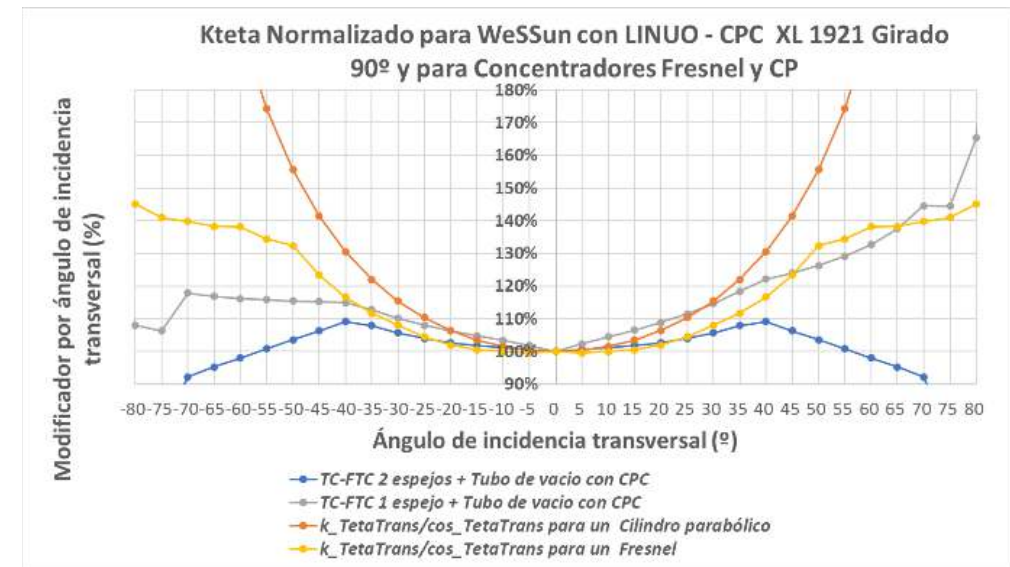
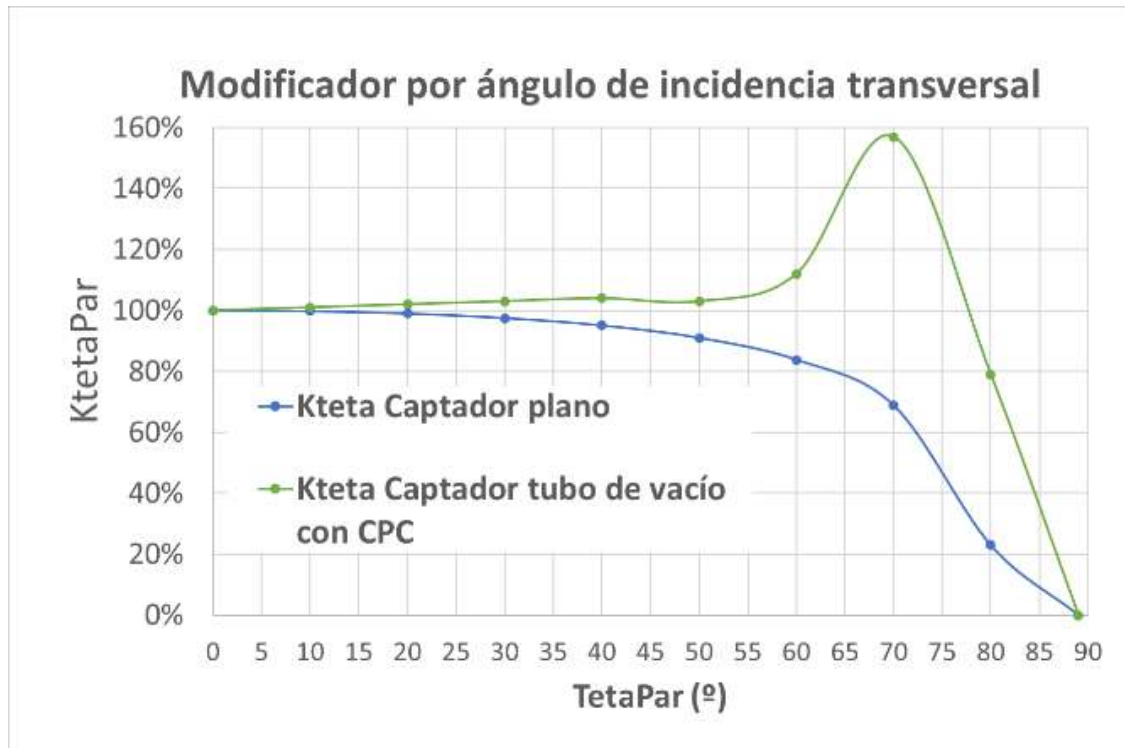


Área de apertura y área normal



Modificador por ángulo de incidencia transversal homogeneizado

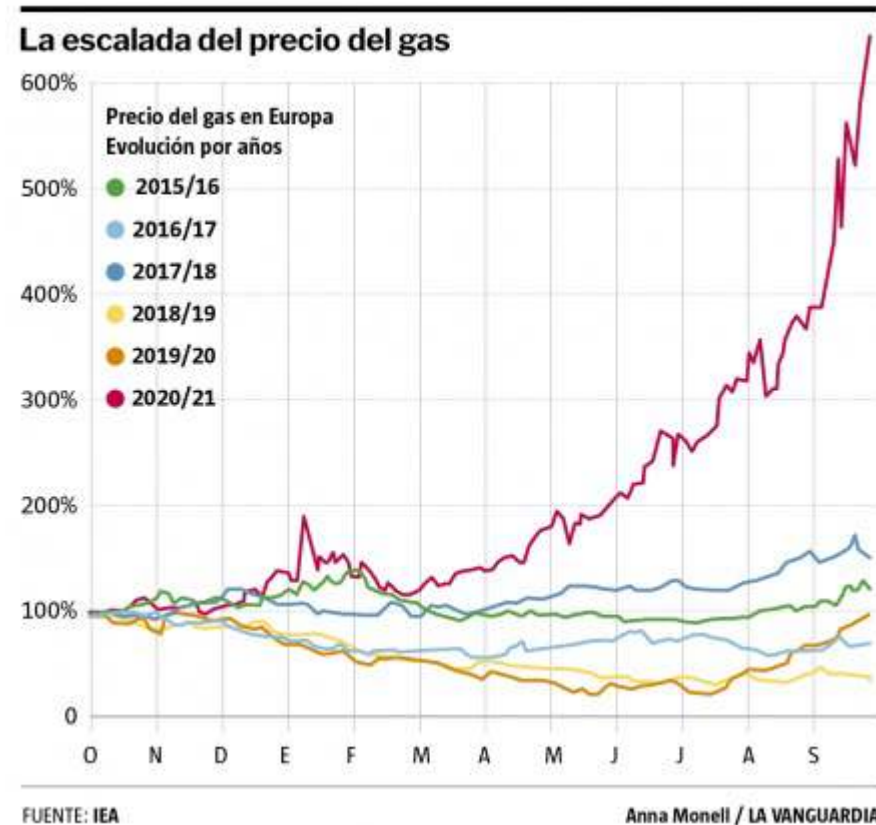
- Para colectores plano y de vacío con CPC , solo el (K_TetaPar)
- Para WeSSun el aumento del área de apertura con TetaPar
- Para CP y Fresnel: $K_TetaPar / \cos(TetaPar)$



Rentabilidad con Solar Térmica

Rentabilidad solar: aspectos determinantes

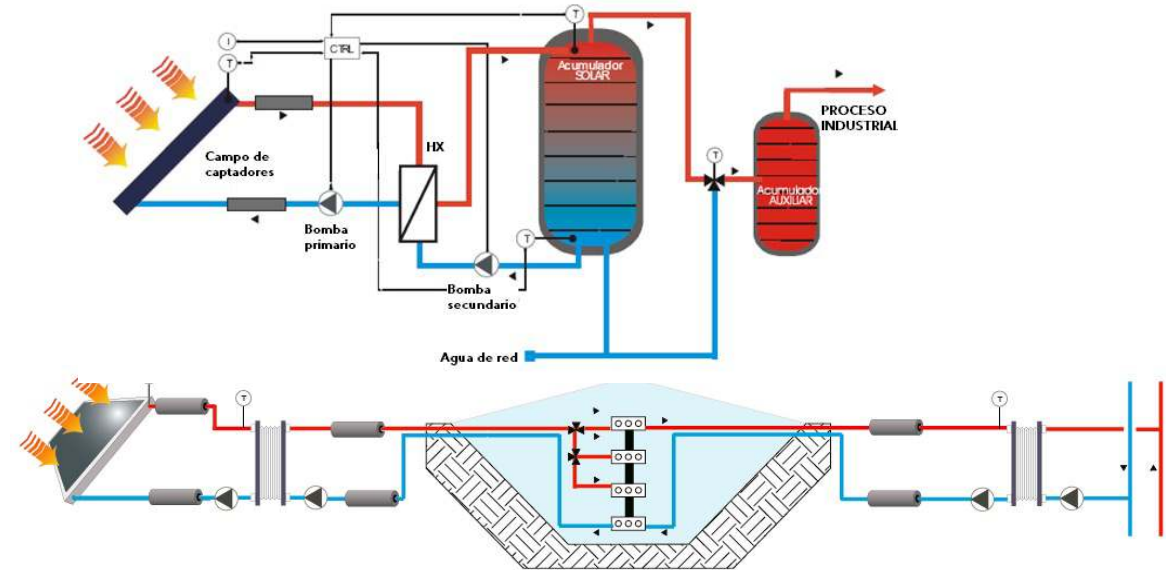
- Servicio
 - Ahorro energético
 - Reducción de CO2
 - Imagen verde
- Precio de la energía convencional
- Coste de la instalación solar
- Productividad de la instalación
- Durabilidad de las instalaciones
- Subvenciones y/o primas
- Rentabilidad requerida
- Financiación: Apalancamiento,..
- Fiscalidad



Desglose costes instalación solar térmica

Estructura de costes de la instalación solar

- Colectores y estructura
- Tuberías, Bombas, acumuladores, regulación, accesorios
- Mano de obra
- Gastos generales



Fijación de precio=
F(MM= producto +canal +
difusión+política de precios)

Precio de venta del calor solar: Ejemplo

Sin impuesto al CO2 y para una rentabilidad a 20 años del 7%
(inversión neta después de subvenciones y costes de O&M de 3€/m²_año)

		Productividad solar anual (kWh/m ² _año)									
		600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
		Coste de generación solar (c€/kWh). Años=20, Cm=3€/m ² _año, TIR=7%									
Inversión neta (€/m ²)	200 €	3,69 c€	3,16 c€	2,77 c€	2,46 c€	2,21 c€	2,01 c€	1,84 c€	1,70 c€	1,58 c€	1,48 c€
	250 €	4,47 c€	3,84 c€	3,36 c€	2,98 c€	2,68 c€	2,44 c€	2,24 c€	2,07 c€	1,92 c€	1,79 c€
	300 €	5,26 c€	4,51 c€	3,95 c€	3,51 c€	3,16 c€	2,87 c€	2,63 c€	2,43 c€	2,26 c€	2,10 c€
	350 €	6,05 c€	5,19 c€	4,54 c€	4,03 c€	3,63 c€	3,30 c€	3,02 c€	2,79 c€	2,59 c€	2,42 c€
	400 €	6,84 c€	5,86 c€	5,13 c€	4,56 c€	4,10 c€	3,73 c€	3,42 c€	3,16 c€	2,93 c€	2,73 c€
	450 €	7,62 c€	6,53 c€	5,72 c€	5,08 c€	4,57 c€	4,16 c€	3,81 c€	3,52 c€	3,27 c€	3,05 c€
	500 €	8,41 c€	7,21 c€	6,31 c€	5,61 c€	5,05 c€	4,59 c€	4,21 c€	3,88 c€	3,60 c€	3,36 c€
	550 €	9,20 c€	7,88 c€	6,90 c€	6,13 c€	5,52 c€	5,02 c€	4,60 c€	4,25 c€	3,94 c€	3,68 c€
	600 €	9,98 c€	8,56 c€	7,49 c€	6,66 c€	5,99 c€	5,45 c€	4,99 c€	4,61 c€	4,28 c€	3,99 c€

○ Zona alcanzable en España: Hoy con ayudas, en 3-5 años sin ayudas

Precio de venta del calor solar: Ejemplo

Con **impuesto al CO2 de 25€/Ton (Gas natural)** y una rentabilidad a 20 años del 7% (inversión neta después de subvenciones y costes de O&M de 3€/m2_año)

		Productividad solar anual (kWh/m2_año)									
		600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
		Coste de generación solar (c€/kWh). Años=20, Cm=3€/m2_año), I_CO2=25€/Ton; Gas Natural), TIR=7%									
Inversión neta (€/m2)	200 €	3.13 c€	2.60 c€	2.21 c€	1.90 c€	1.65 c€	1.45 c€	1.28 c€	1.14 c€	1.02 c€	0.92 c€
	250 €	3.92 c€	3.28 c€	2.80 c€	2.42 c€	2.13 c€	1.88 c€	1.68 c€	1.51 c€	1.36 c€	1.23 c€
	300 €	4.70 c€	3.95 c€	3.39 c€	2.95 c€	2.60 c€	2.31 c€	2.07 c€	1.87 c€	1.70 c€	1.55 c€
	350 €	5.49 c€	4.63 c€	3.98 c€	3.47 c€	3.07 c€	2.74 c€	2.46 c€	2.23 c€	2.03 c€	1.86 c€
	400 €	6.28 c€	5.30 c€	4.57 c€	4.00 c€	3.54 c€	3.17 c€	2.86 c€	2.60 c€	2.37 c€	2.17 c€
	450 €	7.06 c€	5.97 c€	5.16 c€	4.52 c€	4.01 c€	3.60 c€	3.25 c€	2.96 c€	2.71 c€	2.49 c€
	500 €	7.85 c€	6.65 c€	5.75 c€	5.05 c€	4.49 c€	4.03 c€	3.65 c€	3.32 c€	3.04 c€	2.80 c€
	550 €	8.64 c€	7.32 c€	6.34 c€	5.57 c€	4.96 c€	4.46 c€	4.04 c€	3.69 c€	3.38 c€	3.12 c€
	600 €	9.43 c€	8.00 c€	6.93 c€	6.10 c€	5.43 c€	4.89 c€	4.43 c€	4.05 c€	3.72 c€	3.43 c€

○ Zona alcanzable en España: Hoy con ayudas, en 3-5 años sin ayudas

Precio de venta del calor solar: Ejemplo

Con **impuesto al CO2 de 50€/Ton (Gasóleo)** y una rentabilidad a 20 años del 7% (inversión neta después de subvenciones y costes de O&M de 3€/m2_año)

		Productividad solar anual (kWh/m2_año)									
		600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
		Coste de generación solar (c€/kWh). Años=20, Cm=3€/m2_año), I_CO2=50€/Ton Gasóleo), TIR=7%									
Inversión neta (€/m2)	200 €	2.21 c€	1.68 c€	1.28 c€	0.98 c€	0.73 c€	0.53 c€	0.36 c€	0.22 c€	0.10 c€	- 0.01 €
	250 €	2.99 c€	2.35 c€	1.87 c€	1.50 c€	1.20 c€	0.96 c€	0.76 c€	0.58 c€	0.44 c€	0.31 c€
	300 €	3.78 c€	3.03 c€	2.46 c€	2.03 c€	1.68 c€	1.39 c€	1.15 c€	0.95 c€	0.77 c€	0.62 c€
	350 €	4.57 c€	3.70 c€	3.05 c€	2.55 c€	2.15 c€	1.82 c€	1.54 c€	1.31 c€	1.11 c€	0.94 c€
	400 €	5.35 c€	4.38 c€	3.65 c€	3.08 c€	2.62 c€	2.25 c€	1.94 c€	1.67 c€	1.45 c€	1.25 c€
	450 €	6.14 c€	5.05 c€	4.24 c€	3.60 c€	3.09 c€	2.68 c€	2.33 c€	2.04 c€	1.79 c€	1.57 c€
	500 €	6.93 c€	5.73 c€	4.83 c€	4.13 c€	3.56 c€	3.11 c€	2.72 c€	2.40 c€	2.12 c€	1.88 c€
	550 €	7.72 c€	6.40 c€	5.42 c€	4.65 c€	4.04 c€	3.54 c€	3.12 c€	2.76 c€	2.46 c€	2.20 c€
	600 €	8.50 c€	7.08 c€	6.01 c€	5.17 c€	4.51 c€	3.96 c€	3.51 c€	3.13 c€	2.80 c€	2.51 c€

○ Zona alcanzable en España: Hoy con ayudas, en 3-5 años sin ayudas

¿Preguntas?



Jose.ignacio.ajona@seenso.es