



solarcombi+

# Descripción y Representaciones Gráficas de los Mercados Más Prometedores

Editado por

Juan Rodriguez, Roberto Fedrizzi

Versión v5.0

Traducción: Ruth Fernández

**EURAC**  
research

Bolzano, 25.01.2010



## Tabla de Contenidos

1	Introducción .....	4
2	Metodología.....	5
2.1	Índice de los Edificios y Demandas .....	5
2.1.1	HDD (Heating Degree Days, Grados Día de Calefacción) .....	7
2.1.2	CDD (Cooling Degree Days, Grados Día Refrigeración) .....	8
2.1.3	Demandas de calefacción y aire-acondicionado obtenidas de la simulación de los Edificios. ....	9
2.2	Parámetros de Radiación .....	9
2.2.1	Radiación Crítica .....	11
2.2.2	Radiación Útil.....	12
3	Resultados .....	14
3.1	Mercado de Colectores Solares Térmicos .....	14
3.2	Precios de la energía .....	16
3.3	Cargas de Calefacción y Refrigeración .....	18
3.4	Radiación Útil para Calefacción (40°C) .....	18
3.5	Radiación Útil para preparación de ACS (60°C) .....	20
3.6	Radiación Útil para funcionamiento de enfriadoras .....	23
3.6.1	Enfriadoras de Adsorción (70°C - Temporada de Verano) .....	23
3.6.2	Enfriadoras de Absorción (90°C - temporada de verano) .....	24
4	Conclusiones.....	26
5	Referencias .....	27



## Lista de Figuras

Figura 1 - Condiciones óptimas de confort sobre un diagrama psicrométrico. ....	6
Figura 2 - Condiciones de confort seleccionadas dentro del proyecto Solar Combi+. 6	
Figura 3 - Grados Día de Calefacción (HDD) en Europa .....	7
Figura 4 - Grados Día de Refrigeración (CDD) en Europa. ....	8
Figura 5 - Radiación total sobre la horizontal. ....	9
Figura 6 - Radiación Total sobre la superficie inclinada en la temporada de calefacción (8 meses).....	10
Figura 7 - Radiación total sobre la superficie inclinada en la temporada de refrigeración (4 meses).....	10
Figura 8 - Colector plano: $k_0= 0.823$ , $k_1= 3.02 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	12
Figura 9 - Colector de tubos de vacío: $k_0= 0.601$ , $k_1= 0.767 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	12
Figura 10 - Mercado Solar Térmico en Europa. Campos solares acumulativos instalados en Europa a 2008. ....	14
Figura 11 - Mercado Solar Térmico en Europa. Instalaciones en 2004 .....	15
Figura 12 - Mercado Solar Térmico en Europa. Instalaciones en 2008. ....	15
Figure 13 - Precios del gas en Europa. Fuente Eurostat.....	17
Figure 14 - Precios de la electricidad en Europa. Fuente Eurostat .....	17
Figura 157 - Radiación Útil en colectores planos a 60°C en temporada de calefacción (8 meses).....	21
Figura 168 - Radiación Útil en tubos de vacío a 60°C en temporada de calefacción (8 meses).....	22
Figura 17 - Radiación Útil en colectores planos a 90°C en temporada de refrigeración (4 meses).....	25
Figura 18 - Radiación Útil en tubos de vacío a 90°C en temporada de refrigeración (4 meses) .....	25

## Lista de Tablas

Tabla 1 - Demandas de los Edificios Simuladas [ $\text{kWh/m}^2/\text{año}$ ] .....	9
Tabla 2-Radiación sobre la Horizontal, con ángulo inclinación 40° para calefacción y refrigeración .....	10
Tabla 3 - Instalaciones con colectores solares térmicos en Europa. Fuente- Source ESTIF, AEE-Intec .....	16
Tabla 4 - Valores HDD y CDD para las ciudades en estudio en el proyecto. ....	18
Tabla 5 -Radiación útil [ $\text{kWh/m}^2/\text{año}$ ] a 40°C para calefacción (8 meses) .....	19
Tabla 6 -Radiación útil [ $\text{kWh/m}^2/\text{año}$ ] para preparación de ACS a 60°C. ....	21
Además se puede calcular la relación entre las tres ciudades para una determinada demanda de ACS Error! Not a valid bookmark self-reference.Tabla 7- Relación entre las Energías producidas por FP (Colector Plano) y ET (Tubos de Vacío) en una determinada temporada .....	21
Tabla 8 -Radiación útil [ $\text{kWh/m}^2/\text{año}$ ] para refrigeración (4 meses) .....	23
Tabla 9 -Radiación útil [ $\text{kWh/m}^2/\text{ÑO}$ ] para refrigeración (4 meses) .....	25

# 1 Introducción

El ámbito de este informe es la identificación de los mercados más prometedores en Europa para la instalación de sistemas solares combinados plus, partiendo de datos meteorológicos y del mercado de colectores solares térmicos.

La principal idea del trabajo presente es la creación de mapas que, de un modo gráfico, permitan una sencilla evaluación de las localizaciones más adecuadas para este tipo de aplicación. Como primera etapa del análisis se estudiaron los datos del Mercado europeo de colectores solares térmicos, con objeto de separar que mercados son los más sensibles para la explotación de la energía solar para aplicaciones térmicas (agua caliente sanitaria y calefacción).

Entonces, se analizaron los precios de la energía para identificar que consumidores eran más sensibles al consumo de energía.

Finalmente, se estudiaron los datos meteorológicos para evaluar la cantidad máxima de energía solar que se puede obtener de una tecnología de colector determinada a diferentes temperaturas (se consideraron colectores planos y tubos de vacío), según los diferentes sistemas de distribución instalados en los edificios. Al mismo tiempo, se evaluó la demanda de calefacción y aire-acondicionado de los edificios de Europa, a lo largo de todo el año. Comparando la demanda y disposición de energía, se definieron los mercados más prometedores.

## 2 Metodología

Los datos de los colectores solares térmicos empleados en la preparación de los mapas se obtienen del documento del ESTIF "Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2007", cuya información se elaboró por AEE-Intec, para el Mercado solar térmico para calefacción y generación de agua caliente. Los datos recogidos se usaron sin ninguna elaboración.

Para la elaboración de los datos meteorológicos fue necesaria la creación de un archivo Excel con una macro en Visual Basic. Los datos horarios empleados fueron escritos en el formato TM2 (la mayoría de ellos proceden de la base de datos Meteonorm 6), y proceden directamente de las series de datos climáticos de 608 estaciones meteorológicas. Debe remarcarse que ningún fichero de datos fue interpolado de otras estaciones meteorológicas. Los datos de las 608 localidades, partiendo del archivo obtenido en la página web del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de USA (National Renewable Energy Laboratory (USA) [<http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/tmy2>]), se cargaron sobre la hoja Excel y se procedió a su elaboración posterior. Algunos parámetros pueden ser directamente tomados desde el archivo original, por ejemplo:

- Nombre de la ciudad.
- País.
- Latitud.
- Longitud.
- Altitud sobre el nivel del mar.
- Radiación normal directa.
- Radiación horizontal difusa.
- Temperatura bulbo seco.

Y otros, tales como HDD (Heating Degree Day, o Grados día de calefacción), CDD (Cooling Degree Day o Grados día de refrigeración), Radiación crítica y Radiación útil fueron calculados. Estos parámetros, definidos en el siguiente capítulo, se calcularon a partir de los últimos datos y de las variables de entrada introducidas por el usuario (tipo y eficiencia del colector, temperaturas útiles, etc.). Toda la información fue representada sobre mapas europeos con el software gratuito GIS.

### 2.1 Índice de los Edificios y Demandas

El diagrama psicométrico de la Figura 1 delimita dentro del trapecio unas condiciones de confort aceptables tanto para invierno como para verano. Tal y como puede verse, una humedad del 50% y temperaturas de 21°C durante el invierno (trapecio azul) y de 25°C en el verano (trapecio rosa) aseguran una calidad de confort en el interior. Desplazando el punto rojo

hacia la izquierda sobre la curva del 50% de humedad relativa, la cantidad de energía que tiene el edificio como pérdidas hacia el exterior en invierno es menor. Sucede lo contrario en verano si se desplaza el punto azul. A la hora de definir parámetros proporcionales a las cargas del edificio se decidió definir 21°C en invierno y 26°C en verano como condiciones internas (véase figura 2).

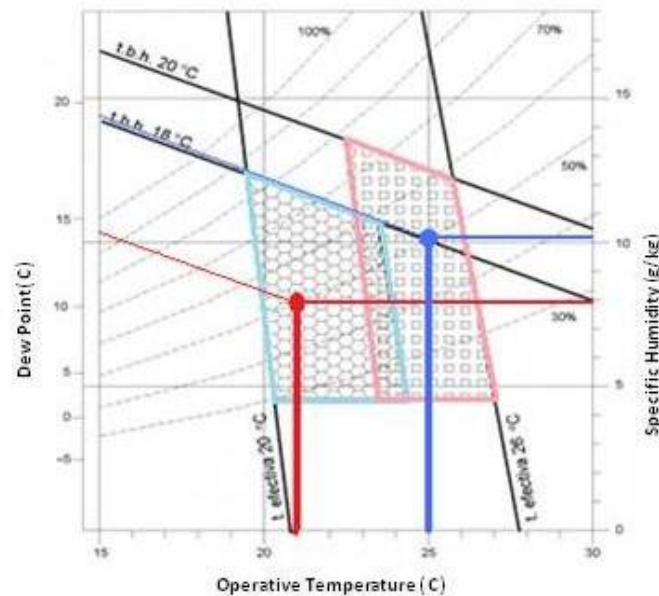


Figura 1 - Condiciones óptimas de confort sobre un diagrama psicrométrico.

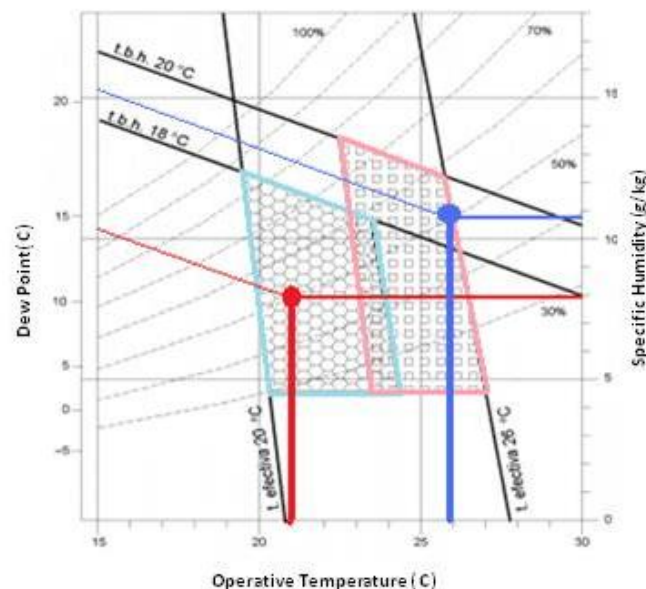


Figura 2 - Condiciones de confort seleccionadas dentro del proyecto Solar Combi+.

Los siguientes dos parámetros, HDD, CDD, sirven como primera evaluación de la demanda energética del edificio considerando únicamente las temperaturas exteriores. Ambos parámetros comparan las temperaturas exteriores con las del interior del edificio, asegurando condiciones en el interior perfectamente aceptables a lo largo de todo el año (calculado para una humedad relativa del 50%). Mientras que el parámetro de invierno HDD representa bien las necesidades de calefacción del edificio; el factor de verano CDD es más dudoso, ya que no tiene en cuenta la humedad (calor latente) y las ganancias solares, que en algunos casos son las mayores contribuciones. Sin embargo, se puede emplear como una primera aproximación de un modo sencillo.

### 2.1.1 HDD (Heating Degree Days, Grados Día de Calefacción)

Este parámetro es un índice cuantitativo diseñado para reflejar la demanda de energía que se necesita para calentar un edificio. Se deriva de la observación de las temperaturas diarias y se calcula como la suma anual de las diferencias en grados entre una temperatura base que define la temperatura ambiente interna del edificio (típicamente 21°C) y la temperatura exterior seca.

$$HDD = \sum_{d=1}^{365} \frac{(21 - T_{amb,d})}{24} \approx \sum_{d=1}^{365} (21 - T_{amb,d})$$

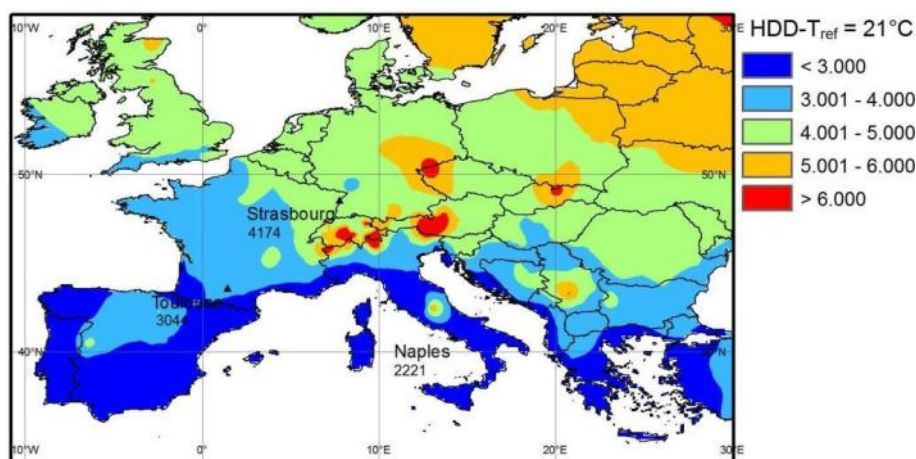


Figura 3 - Grados Día de Calefacción (HDD) en Europa

En el caso del proyecto SC+, dentro de la división europea en 5 zonas, las ciudades en estudio están dentro de las tres más cálidas (Nápoles 2221, Toulouse 3040, Estrasburgo 4174). No se estudiarán las otras dos zonas con valores por encima de los 5.000 porque, tal y como se verá en las figuras



inferiores, no hay suficiente demanda de aire acondicionado que justifique un sistema SC+.

La comparativa entre las tres ciudades muestra un incremento en el valor de HDD del 36% entre Nápoles y Toulouse y del 88% entre Nápoles y Estrasburgo.

### 2.1.2 CDD (Cooling Degree Days, Grados Día Refrigeración)

El parámetro de Grados Día de refrigeración (CDD) se define de un modo similar para evaluar las ganancias del edificio debido a las temperaturas exteriores (se toma 26°C como temperatura de referencia).

$$CDD = \sum_{h=1}^{3700} \frac{(T_{amb,h} - 26)}{24} \approx \sum_{d=1}^{90} (T_{amb,d} - 26)$$

Nuevamente, tal y como puede verse en la figura 4, los valores correspondientes de CDD son totalmente diferentes para las ciudades seleccionadas (70 para Nápoles, 26 para Toulouse y 9 para Estrasburgo). Comparando los valores de Nápoles con Toulouse y Estrasburgo respectivamente, son un 63% y 87% inferiores.

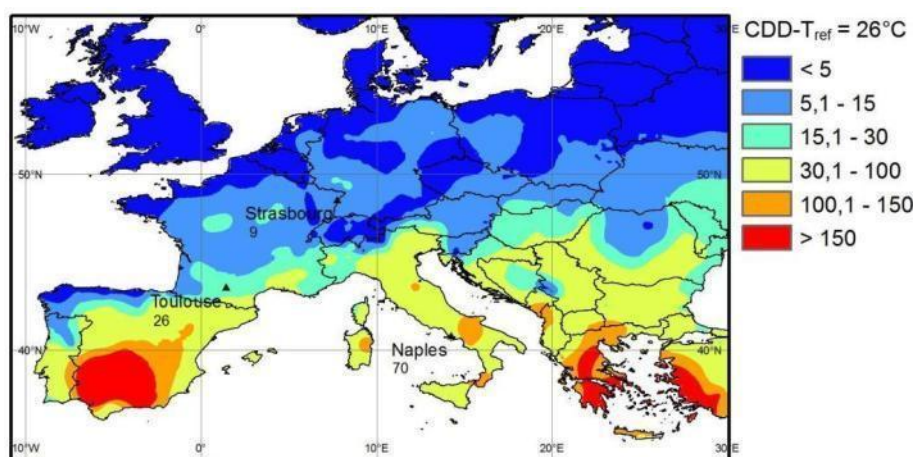


Figura 4 - Grados Día de Refrigeración (CDD) en Europa.



### 2.1.3 Demandas de calefacción y aire-acondicionado obtenidas de la simulación de los Edificios.

En la Tabla 1 se muestran el total de las demandas de calefacción y aire-acondicionado de los edificios simulados en el programa SC+.

Tabla 1 - Demandas de los Edificios Simuladas [kWh/m<sup>2</sup>/año]

kWh/m <sup>2</sup> /a	Oficina		Vivienda típica			Vivienda de bajo consumo		
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
Estrasburgo	69.74	34.19						
Toulouse	34.13	50.28	46.05	5.69	12.66	24.58	6.12	12.66
Nápoles	9.22	80.75	21.11	18.45	11.43	9.37	17.45	11.43

Comparando Toulouse con Nápoles, las cargas de calefacción van desde 9 a 46 kWh/m<sup>2</sup>/año. Las cargas de refrigeración van desde 6 a 20 kWh/m<sup>2</sup>/año considerando los edificios residenciales, ya que se obtienen valores mayores en la aplicación de oficinas (50-80 kWh/m<sup>2</sup>/año).

Si se compara Nápoles con Estrasburgo (sólo se simula la aplicación de oficinas en este caso), las cargas de calefacción son 7 veces superiores en Estrasburgo, mientras que las cargas de refrigeración son sólo tres veces mayores en Nápoles.

## 2.2 Parámetros de Radiación

La radiación total sobre la superficie horizontal se calculó de la radiación directa normal y difusa de los ficheros meteorológicos.

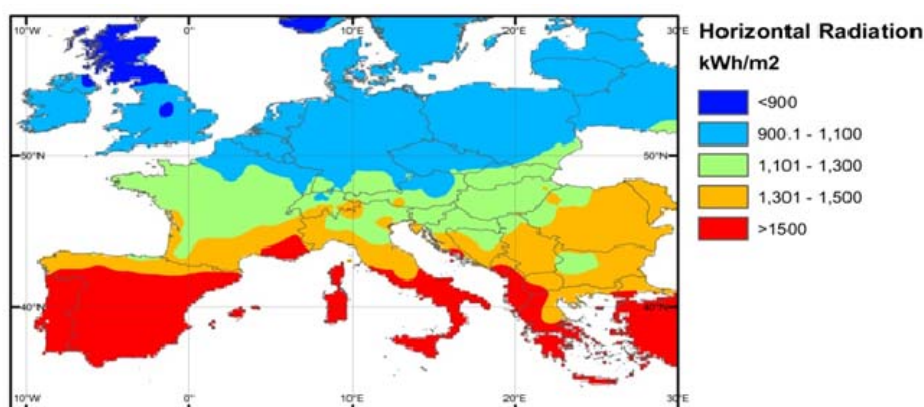


Figura 5 - Radiación total sobre la horizontal.

Se necesita una delimitación de estos datos para evaluar la energía sobre una superficie inclinada con orientación sur. Para poder compararlos, se elige un ángulo de inclinación de 40° para todos los países europeos, aunque el mayor valor debería variar con la latitud. Además, se generaron dos

mapas, uno para la temporada de calefacción y otro para la temporada de refrigeración (desde el 15 de mayo al 15 de septiembre).

Las últimas dos figuras representan la máxima cantidad de energía que puede obtenerse del sol, independientemente del tipo de colector y de la temperatura necesaria para el proceso, luego las gráficas corresponden a los niveles más altos en términos de energía recogida. Es interesante tener en cuenta que en la tabla 2 la cantidad de energía que puede ser capturada, en 8 meses para calefacción y en 4 meses para refrigeración, en las tres ciudades es prácticamente idéntica.

Para generar figuras más representativas, se introdujeron dos parámetros para tener en cuenta la temperatura ambiente y las temperaturas de salida del colector: Radiación crítica y útil.

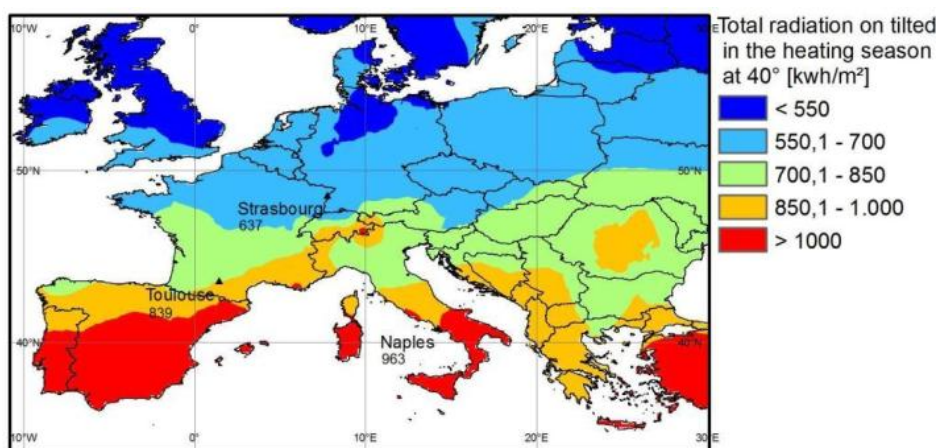


Figura 6 - Radiación Total sobre la superficie inclinada en la temporada de calefacción (8 meses).

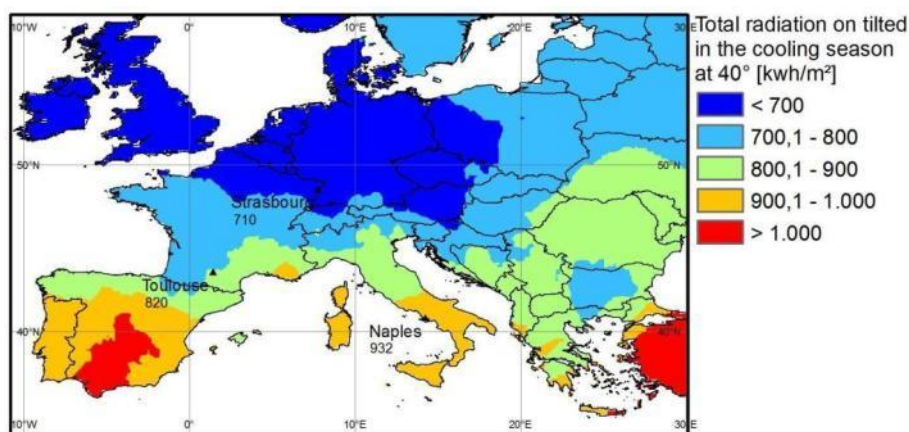


Figura 7 - Radiación total sobre la superficie inclinada en la temporada de refrigeración (4 meses).

Tabla 2-Radiación sobre la Horizontal, con ángulo inclinación 40° para calefacción y refrigeración



	Radiación Total Horizontal	Temporada de Calefacción Radiación ángulo 40°, orientación sur (8 meses)	Temporada de Refrigeración, Radiación ángulo 40°, orientación sur (4 meses)
Estrasburgo	1540	637	710
Toulouse	1897	839	820
Nápoles	2135	963	932

### 2.2.1 Radiación Crítica

Un colector térmico se define por su eficiencia, que evalúa su funcionamiento como la habilidad de recogida de radiación solar menos las pérdidas térmicas al ambiente:

$$\eta = IAM \times k_0 - k_1 \frac{(T_{avg} - T_{amb})}{G_{\perp}} - k_2 \frac{(T_{avg} - T_{amb})^2}{G_{\perp}}$$

- $k_0$  = ángulo de eficiencia óptica (0.823 - colector plano, 0.601 - tubos de vacío, respecto al área del colector)
- $k_1$  = coeficiente pérdida lineal (3.02 W/(m<sup>2</sup>\*K) - colector plano, 0.767 W/(m<sup>2</sup>\*K) - tubos de vacío, respecto al área del colector)
- $k_2$  = coeficiente de pérdidas cuadráticas (no se usa en este caso, debido a sus efectos secundarios)
- $T_{avg}$  = temperature media
- $T_{amb}$  = temperature ambiente
- IAM = Modificador Ángulo incidente, evalúan en porcentaje la cantidad de energía que llega al colector dependiendo de los dos ángulos (transversal y longitudinal) que el sol forma horariamente con el ángulo del colector.  $IAM = IAM_T \times IAM_L$

La Radiación Crítica se define como el nivel de radiación que crea un equilibrio entre las pérdidas del colector y la energía recogida a una temperatura predeterminada. Desarrollando la ecuación anterior para una eficiencia igual a cero y sin considerar el coeficiente de pérdidas cuadrático, la irradiación obtenida se representa por:

$$I_{Critical}^{temp, coll} = \frac{k_1}{IAM \times k_0} * (T_{proces} - T_{amb})$$

Como puede verse para definir la Radiación Crítica se debe definir previamente: el tipo de colector, los ángulos IAM (longitudinal y transversal)

y las temperaturas requeridas para el proceso (temperatura de salida de los colectores como primera aproximación).

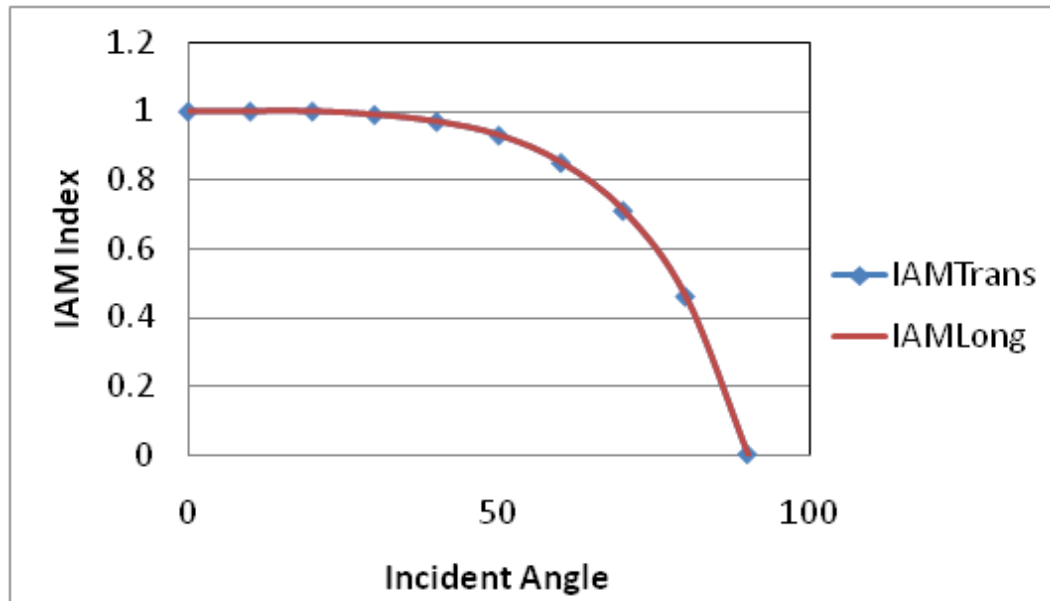


Figura 8 - Colector plano:  $k_0 = 0.823$ ,  $k_1 = 3.02 \text{ W/m}^2\text{K}$

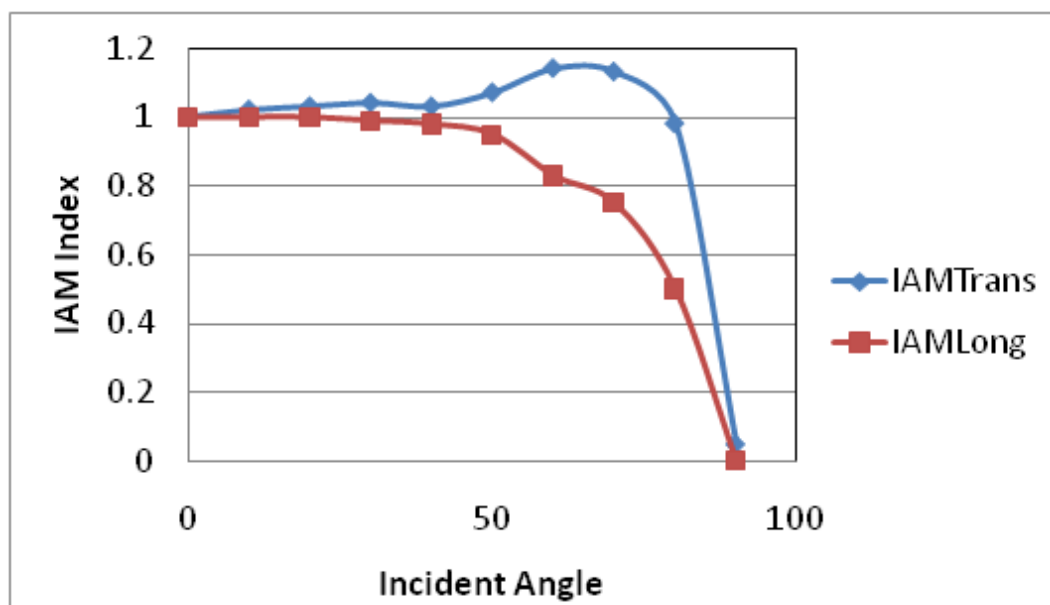


Figura 9 - Colector de tubos de vacío:  $k_0 = 0.601$ ,  $k_1 = 0.767 \text{ W/m}^2\text{K}$

## 2.2.2 Radiación Útil

Se define como la diferencia entre la Radiación Total recibida por el colector y su Radiación Crítica. Ello representa una cantidad de energía para un colector y unas condiciones climáticas (radiación y temperatura ambiente) dadas, que se puede emplear para calentar un fluido térmico hasta una temperatura dada:



$$I_{Useful}^{temp, coll} = I_{total} - I_{Critical}^{temp, coll}$$

Dentro de este proyecto, las temperaturas de proceso consideradas fueron dependientes de las tecnologías de absorción/adsorción de las enfriadoras empleadas para la producción de agua fría, sobre la base de generar asimismo agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción. Las temperaturas consideradas para el cómputo de la Radiación Crítica fueron:

- 40°C para calefacción a través de alimentación directa por suelo radiante y fan-coils.
- 60°C para ACS a lo largo de todo el año.
- 70°C para enfriadoras de adsorción (temporada de verano).
- 90°C para enfriadoras de absorción (temporada de verano).

Debe tenerse en cuenta que los resultados están relacionados con la máxima cantidad de energía recogida, para ciertos procesos y temperaturas ambientes; por lo tanto, en el caso de las enfriadoras, la temperatura evaluada es la mínima que necesita el sistema para su funcionamiento. Además, los parámetros característicos de los colectores ( $k_0$  y  $k_1$ ) se consideran como constantes para los cálculos, que solo se conseguirían si su temperatura de entrada se mantuviera también constante. Esto solo es posible si la demanda y la radiación útil siempre coincidieran, que no es el caso. Como resultado el modelo que se emplea incluye ciertas simplificaciones que resultan de algún modo en figuras sobre-estimadas, cuando se comparan con valores actuales de energía disponibles para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria. Sin embargo, el modelo está bien adecuado para el propósito de valorar los mercados más prometedores, ya que permite una sencilla comparativa de las regiones europeas en términos de energía solar disponible en diferentes periodos del año.

### 3 Resultados

### 3.1 Mercado de Colectores Solares Térmicos

La Figura 10 muestra el Mercado de colectores solares térmicos en Europa, considerando el área de colectores vendidos durante el año 2008. Como puede apreciarse, el mayor mercado es Alemania con 11 Mm<sup>2</sup> instalados; Grecia, Austria, Italia, Francia y España le siguen con 3.9, 3.2, 1.6, 1.6 y 1.4 Mm<sup>2</sup> vendidos. Si se considerase el área de colectores per cápita, Austria, Grecia y Alemania tendrían los valores más altos (388, 344 and 135 m<sup>2</sup>/1000 habitantes, respectivamente).

Por lo tanto, si se considerase el estado actual, los tres países parecen ofrecer las mejores posibilidades de entrada en el mercado de las tecnologías de calefacción y refrigeración solar. Otros países como Malta y Chipre tienen asimismo valores altos de área de colector per cápita (873 and 75 m<sup>2</sup>/1000 habitantes respectivamente); sin embargo, no se pueden considerar mercados prometedores debido a su limitado tamaño absoluto. Otros países mencionados, Italia, España y Francia, les siguen de lejos.

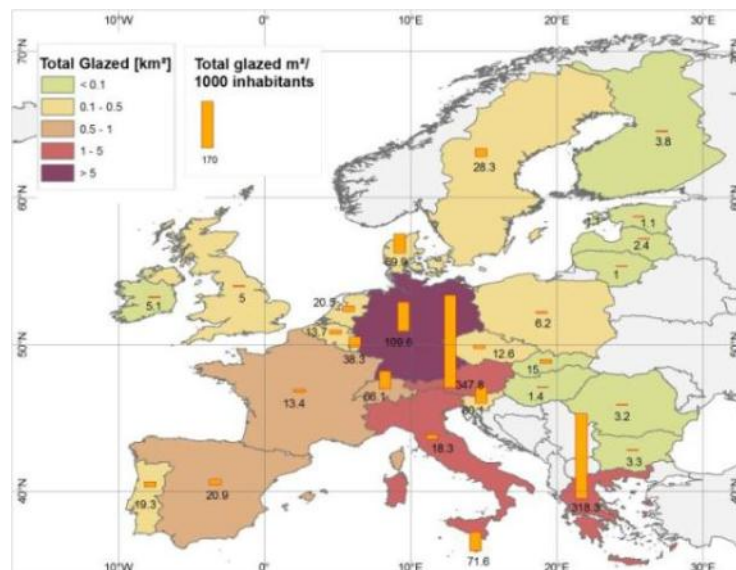


Figura 10 - Mercado Solar Térmico en Europa. Campos solares acumulativos instalados en Europa a 2008.

Si se emplease el potencial crecimiento como factor para identificar los mercados más prometedores, se deberían considerar la instalación de colectores en los últimos cuatro años. El crecimiento de mercado muestra claramente que se deberían tener en cuenta otros países; entre los países del Sur, Eslovenia y Portugal tienen un gran potencial de explotación de energía solar, y, de nuevo, Francia, España e Italia muestran incrementos



sorprendentes de sus mercados solares térmicos: +789%, +760%, +646%, +382% and +260% respectivamente (véase Figura 11 y Figura 12). Los tres mayores mercados (Alemania, Austria y Grecia) crecen a ratios más bajos, aunque aún se observan crecimientos del +34% en Grecia, +90% en Austria y +180% en Alemania. Por ello, todos los países mencionados pueden ser considerados de algún modo adecuados para aplicaciones solares térmicas y son prometedores para instalaciones Solar Combi plus.

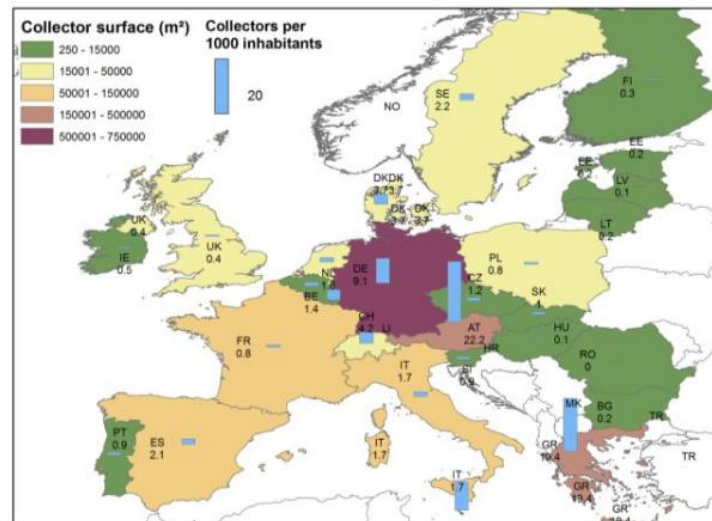


Figura 11 - Mercado Solar Térmico en Europa. Instalaciones en 2004

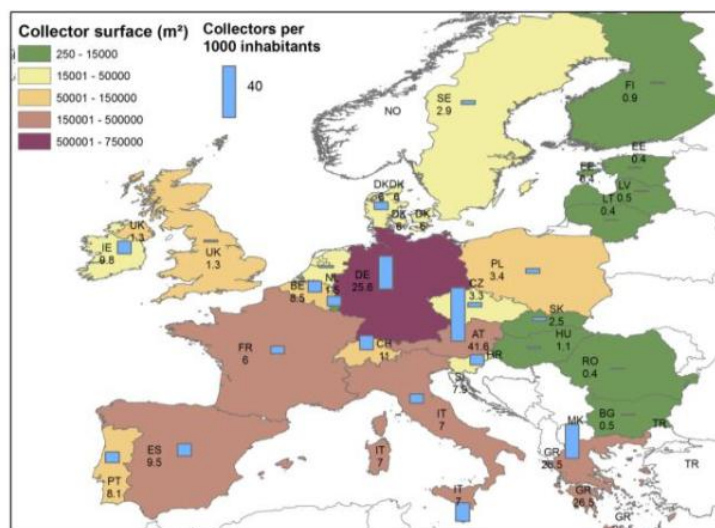


Figura 12 - Mercado Solar Térmico en Europa. Instalaciones en 2008.



Tabla 3 - Instalaciones con colectores solares térmicos en Europa. Fuente- Source  
ESTIF, AEE-Intec

	m <sup>2</sup>				m <sup>2</sup> /1000 habitantes				
	2004	2006	2008	Acumulad en 2008	2004	2006	2008	Acumula en 2008	Increment. 04-08
AT	182594	292669	347703	3240330	22.2	35.3	41.6	387.8	187%
BE	14700	35636	91000	268947	1.4	3.4	8.5	25.0	607%
BG	1800	2200	4000	31600	0.2	0.3	0.5	4.2	250%
CH	31160	51863	85000	593980	4.2	6.9	11.0	77.1	261%
CY	30000	60000	68000	693200	40.0	77.1	85.6	873.1	214%
CZ	12250	22030	35000	165100	1.2	2.1	3.3	15.8	275%
DE	750000	1500000	2100000	11094000	9.1	18.2	25.6	135.3	281%
DK	20000	25300	33000	418280	3.7	4.6	6.0	75.9	162%
EE	250	300	500	1970	0.2	0.2	0.4	1.5	200%
ES	90000	175000	434000	1411166	2.1	3.9	9.5	30.8	452%
FI	1630	3200	4800	25293	0.3	0.6	0.9	4.7	300%
FR	52000	220000	388000	1624100	0.8	3.5	6.0	25.2	750%
GR	215000	240000	298000	3868200	19.4	21.5	26.5	343.6	136%
HU	1500	1000	11000	25250	0.1	0.1	1.1	2.5	1100%
IE	2000	5000	43610	74400	0.5	1.2	9.8	16.7	1960%
IT	97738	186000	421000	1606230	1.7	3.1	7.0	26.7	411%
LT	500	600	840	4290	0.2	0.3	0.4	1.9	200%
LU	1700	2500	3600	22500	3.7	5.3	7.3	45.6	197%
LV	500	1200	1800	7150	0.1	0.4	0.5	2.1	500%
MT	4215	4500	6000	35360	10.5	11.0	14.5	85.5	138%
NL	26300	14685	25000	363341	1.6	0.9	1.5	22.0	93%
PL	28900	41400	129632	365676	0.8	1.1	3.4	9.6	425%
PT	10000	20000	86000	318950	0.9	1.9	8.1	30.0	900%
RO	400	400	8000	94300	0.0	0.0	0.4	4.4	n.a.
SE	20058	28539	26813	289207	2.2	3.1	2.9	31.2	131%
SI	1800	6900	16000	137300	0.9	3.4	7.9	67.6	877%
SK	5500	8500	13500	95250	1.0	1.6	2.5	17.6	250%
UK	25000	54000	81000	385920	0.4	0.9	1.3	6.3	325%

## 3.2 Precios de la energía

Las figuras 13 y 14 indican los precios del gas y electricidad en Europa. Los consumidores son más sensibles a su consumo de energía, y asimismo deben ser aún más sensibles a la eficiencia energética, sobre todo en los países en los que ambos precios tienen elevados costes. De los mapas se consideran básicamente Alemania, Austria, Portugal, República Checa, Eslovaquia, España, Italia y Francia.

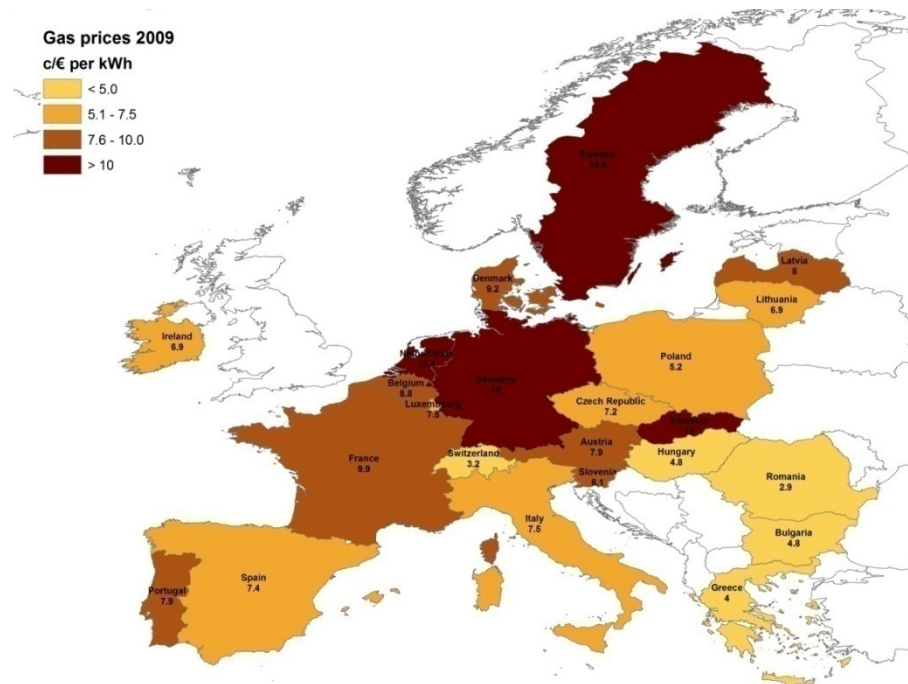


Figure 13 - Precios del gas en Europa. Fuente Eurostat

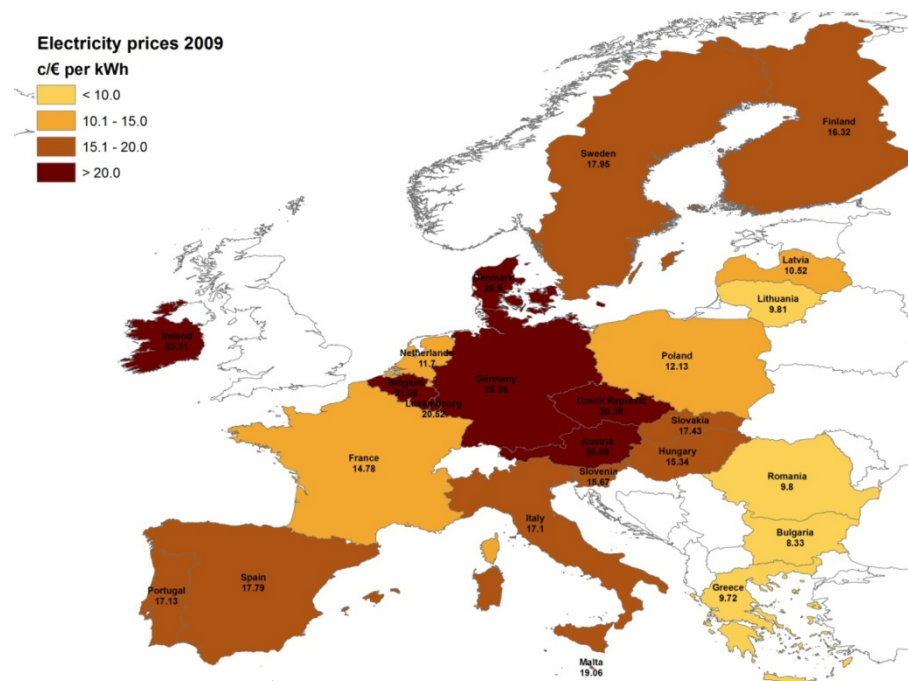


Figure 14 - Precios de la electricidad en Europa. Fuente Eurostat

### 3.3 Cargas de Calefacción y Refrigeración

En el mapa HDD anterior (Figura 3), se puede ver cuánto se modifica el valor HDD dentro de Europa: la figura crece (la demanda de energía para calefacción crece proporcionalmente) desde 2000°HDD en el sur de Europa a más de 5000°HDD en los países del norte (comparar los datos relativos a las tres ciudades en estudio en el proyecto, Tabla 4). Comparando los últimos mapas con la Figura 4 (CDD), puede verse que el rango de valores es mucho más estrecho; esto es debido al hecho de que solo se consideran 4 meses en lugar de 8 y que la media de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior durante el verano es menor. Además, las cargas latentes y de radiación no se consideran en la definición de CDD. En todo caso, las cargas de refrigeración son aproximadamente un orden de magnitud menor que las cargas de calefacción en el peor de los casos (Nápoles). Sin embargo, los valores pueden variar en un factor de 8 moviéndose del sur al norte de Europa (Tabla 4).

Tabla 4 - Valores HDD y CDD para las ciudades en estudio en el proyecto.

	HDD (21°C)	CDD (26°C)
Estrasburgo	4174	9
Toulouse	3044	26
Nápoles	2221	70

En base a estos resultados, Nápoles y Toulouse se adecuarían mejor a los sistemas combinados solares debido a sus altas demandas tanto de calefacción como de refrigeración, mientras que las cargas de Estrasburgo se ajustarían tan sólo a los requerimientos de calefacción.

### 3.4 Radiación Útil para Calefacción (40°C)

Considerando la energía útil a la salida del colector, se analizó primero el proceso con más bajas temperaturas, útil para calefacción a través de suelo radiante. Se ve que, cuando se consideran temperaturas de fluido de 40°C durante los periodos de calefacción, se puede disponer de gran cantidad de energía tanto en las regiones del norte como del sur (véase Tabla 5, Figura 15 y Figura 16). Cuando se consideran las Figura 15 y Figura 16, relativas a los colectores planos y tubos de vacío respectivamente, se obtienen valores entre 300 kWh/m<sup>2</sup>/año y 900 kWh/m<sup>2</sup>/año. Si se consideran las tres ciudades en estudio, los valores de radiación útil cambian entre 400 y 700 kWh/m<sup>2</sup>/año en el caso de los colectores planos y, 540 y 860 kWh/m<sup>2</sup>/año en el caso de tubos de vacío.

Tabla 5 -Radiación útil [kWh/m<sup>2</sup>/año] a 40°C para calefacción (8 meses)

	FP-Temporada de Calefacción	ET-Temporada de Calefacción	Relación FP/ET
Estrasburgo	397	537	73.92%
Toulouse	568	735	77.28%
Nápoles	690	861	80.13%

La radiación útil para los tubos de vacío en Estrasburgo se aproxima a la de los colectores planos en Toulouse y la radiación útil en Toulouse supera la de Nápoles. Como cabía esperar la eficiencia de los colectores de vacío es más significativa en los países del norte: la relación entre la energía obtenida por colectores planos y tubos de vacío se muestra en la última columna de la Tabla 5 que muestra unos valores entre el 74 y el 80%.

Por ello, para cubrir una parte importante de la demanda en los países del norte, es necesaria la mayor tecnología disponible. Sin embargo, la elección depende de la disponibilidad de espacio y de aspectos económicos, más que en aspectos técnicos.

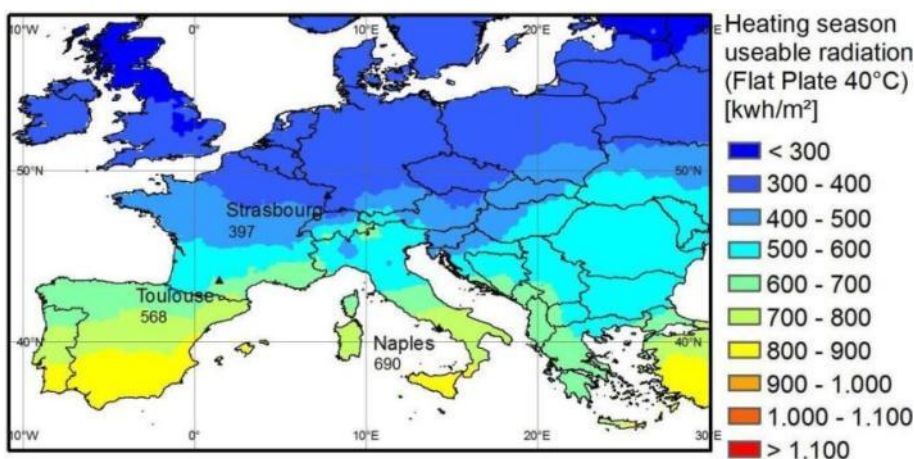


Figura 15 - Radiación útil para colectores planos a 40°C en temporada de calefacción (8 meses).



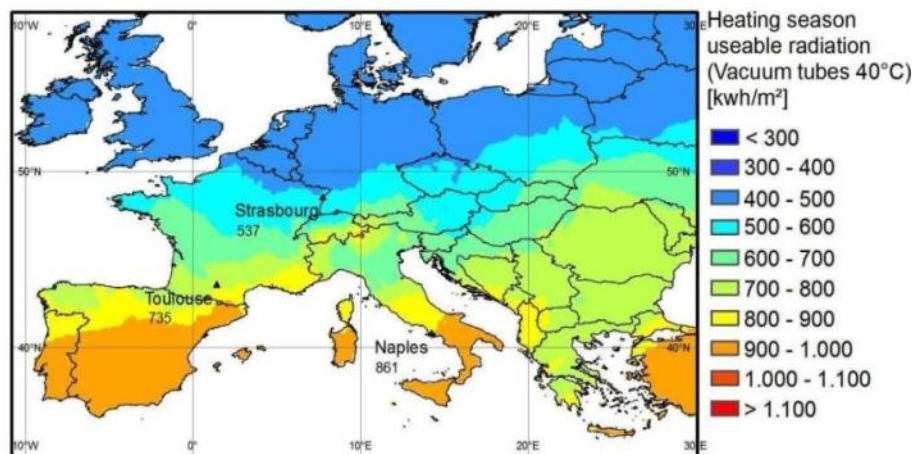


Figura 16 - Radiación útil para tubos de vacío a 40°C en temporada de calefacción (8 meses).

### 3.5 Radiación Útil para preparación de ACS (60°C)

Se pueden obtener cantidades de energía comparable durante la temporada de verano y el resto del año (de nuevo debe tenerse en cuenta que la temporada de verano dura la mitad del tiempo que la de invierno), si se necesita agua caliente a unos 60°C.

En las Figura 17 y Figura 18 (temporada de calefacción), el rango de valores está entre 300 kWh/m²/año y 900 kWh/m²/año. Si se consideran las tres ciudades, los valores de la radiación útil cambian entre 300 y 550 kWh/m²/año en el caso de colectores planos y, 500 y 800 kWh/m²/año en el caso de tubos de vacío. Durante la temporada de refrigeración (Figura 9 y Figura 20), la radiación útil alcanzada para las tres ciudades está entre 450 y 650 kWh/m²/año en el caso de colectores planos y, 600 y 850 kWh/m²/año en el caso de tubos de vacío.

Debido a las altas temperaturas necesarias cuando se considera la preparación de ACS, el uso de tubos de vacío incrementa las ventajas consideradas en el capítulo anterior hasta un 28% en la temporada de refrigeración y un 36% en temporada de invierno (véase

Tabla 6 y Tabla 7). Estas diferencias se pueden explicar por las relaciones entre la radiación y la temperatura exterior, responsable de las pérdidas térmicas. En invierno hay diferencias más severas de temperatura entre el colector solar y el ambiente.



Tabla 6 -Radiación útil [kWh/m<sup>2</sup>/año] para preparación de ACS a 60°C.

	FP- Temporada de verano	ET- Temporada de verano	FP- Temporada de invierno	ET- Temporada de invierno
Estrasburgo	438	624	302	490
Toulouse	530	734	445	678
Nápoles	632	855	552	802

Además se puede calcular la relación entre las tres ciudades para una determinada demanda de ACS **Error! Not a valid bookmark self-reference.** Tabla 7- Relación entre las Energías producidas por FP (Colector Plano) y ET (Tubos de Vacío) en una determinada temporada

	Relación FP/ET Temporada de Refrigeración	Relación FP/ET Temporada de Calefacción
Estrasburgo	70.20%	61.63%
Toulouse	72.21%	65.63%
Nápoles	73.91%	68.82%

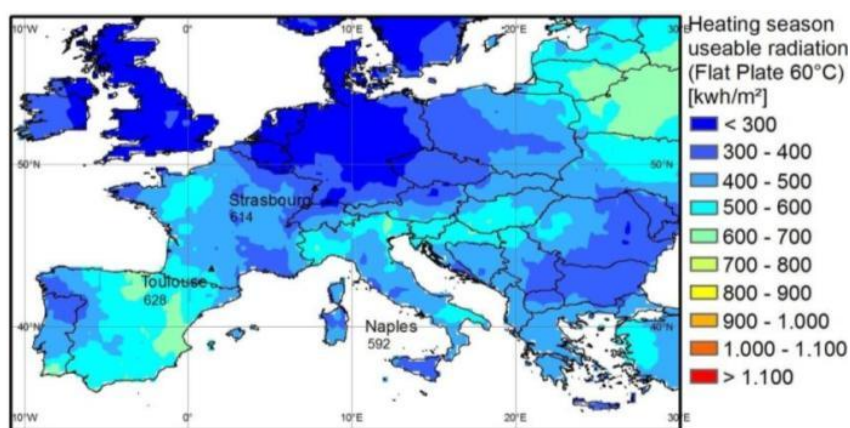


Figura 157 - Radiación Útil en colectores planos a 60°C en temporada de calefacción (8 meses)

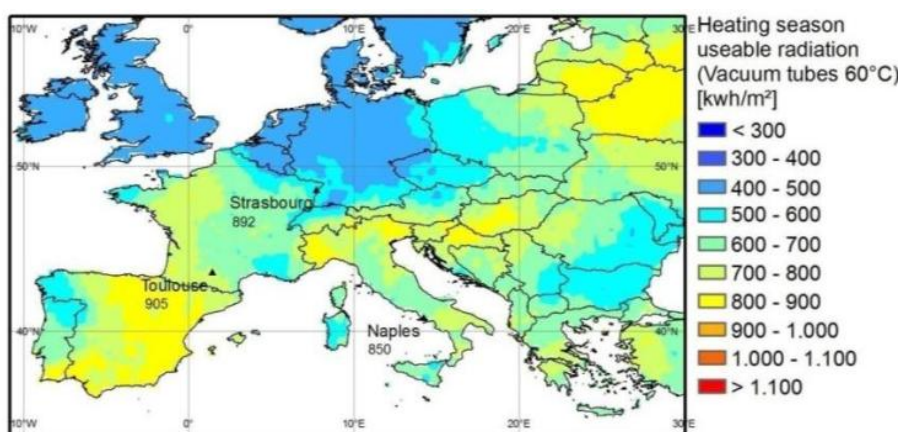


Figura 168 - Radiación Útil en tubos de vacío a 60°C en temporada de calefacción (8 meses)

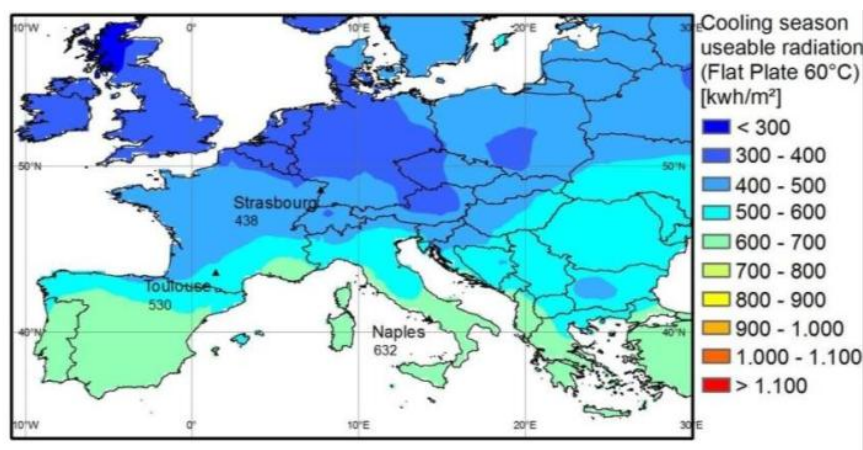


Figura 19 - Radiación Útil en colectores planos a 60°C en temporada de refrigeración (4 meses)

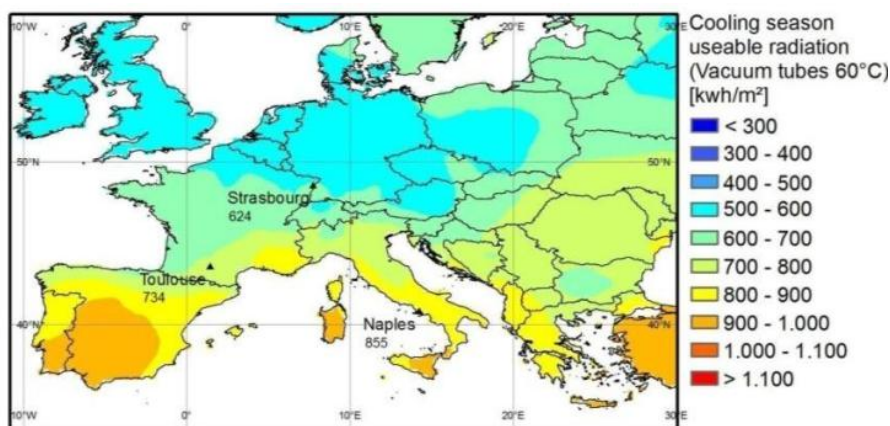


Figura 20 - Radiación Útil en tubos de vacío a 60°C en temporada de refrigeración (4 meses)

## 3.6 Radiación Útil para funcionamiento de enfriadoras

Para poder definir los mercados más prometedores, es necesario definir la demanda del edificio: el descenso de la radiación disponible en los países del norte se puede contrastar por una equivalente o incluso mayor caída de la demanda de aire-acondicionado. Como puede verse en la Tabla 1, la demanda de refrigeración para Estrasburgo y Toulouse son un 60% y 40% inferiores a las de Nápoles (caso de edificio de oficinas). Para los casos de aplicaciones domésticas, se demanda un 70% y un 65% menos de energía en Toulouse comparado con Nápoles.

### 3.6.1 Enfriadoras de Adsorción (70°C – Temporada de Verano)

Si se considera la energía disponible para la temperatura adecuada a las enfriadoras de adsorción (70°C), en las Figura y Figura 222, el rango de valores esta nuevamente entre 300 kWh/m<sup>2</sup>/año y 850 kWh/m<sup>2</sup>/año. Si se consideran las tres ciudades, la radiación útil está entre 400 y 600 kWh/m<sup>2</sup>/año en el caso de colectores planos y 600 y 850 kWh/m<sup>2</sup>/año en el caso de tubos de vacío.

Considerando Nápoles de nuevo como localidad de referencia, la reducción de la radiación útil es del orden de un 18% y un 33% comparado con Toulouse y Estrasburgo, respectivamente cuando se emplean colectores planos, y del orden de un 15% y un 28% cuando se consideraron tubos de vacío.

De este análisis se desprende que se puede cubrir la demanda de refrigeración de los países del norte fácilmente (para un edificio y área de colector dados). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en cuanto cae la demanda de refrigeración la amortización económica de la inversión realizada para refrigeración llega a valores inaceptables. Se debería contemplar la refrigeración pasiva cuando haya cargas de refrigeración muy bajas en los edificios.

Comparando la Tabla 7(temporada de refrigeración) con la Tabla 8, es cada vez más clara que la eficiencia de energía de los tubos de vacío es cada más significativa tanto en cuanto se incremente el nivel de temperatura requerido.

Tabla 8 -Radiación útil [kWh/m<sup>2</sup>/año] para refrigeración (4 meses)

	FP-70°C	ET-70°C	Relación FP/ET 70°C
Estrasburgo	390	604	64.57%
Toulouse	478	714	66.95%
Nápoles	577	834	69.18%

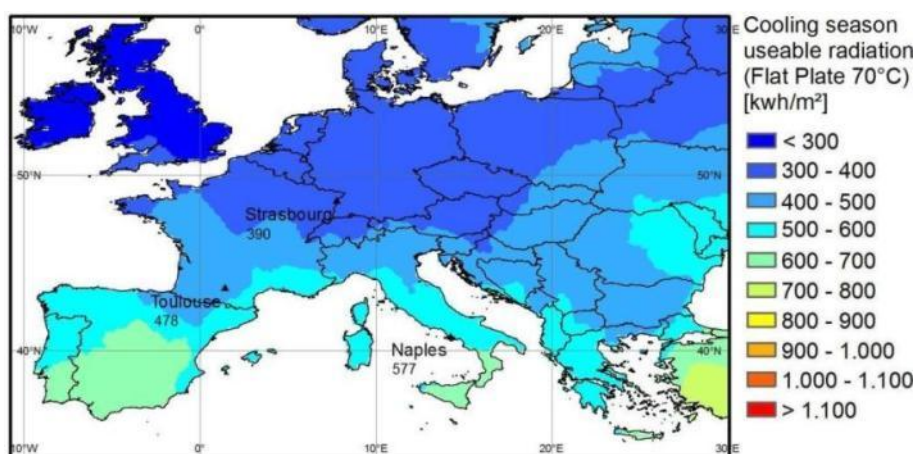


Figura 21 - Radiación Útil en colectores planos a 70°C en temporada de refrigeración (4 meses)

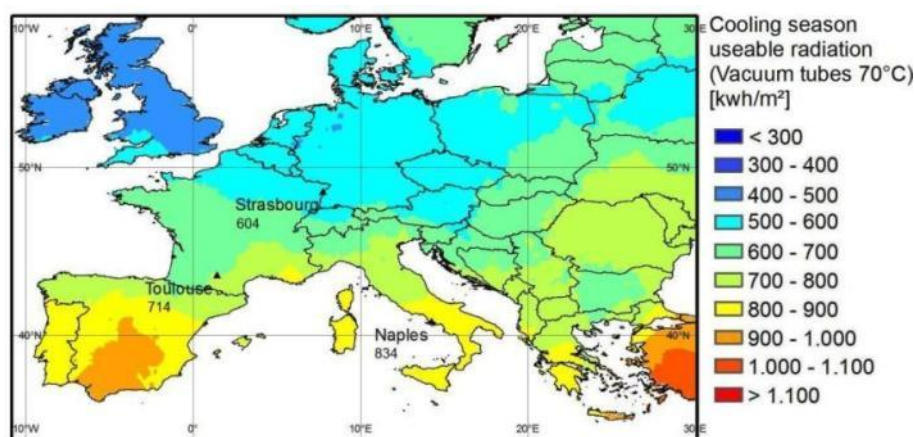


Figura 22 - Radiación Útil en tubos de vacío a 70°C en temporada de refrigeración (4 meses)

### 3.6.2 Enfriadoras de Absorción (90°C – temporada de verano)

Los comentarios realizados en el párrafo anterior se pueden tener en cuenta para la disponibilidad de energía útil a 90°C de temperatura. En la Figura 17 y Figura 184, los valores están entre 300 kWh/m²/año y 800 kWh/m²/year. Los valores de la radiación útil de las tres ciudades cambian entre 300 y 500 kWh/m²/año en el caso de colectores planos y 550 and 800 kWh/m²/año en el caso de tubos de vacío.

Comparando la tabla 7 con las Tablas 8 y 9, se hace nuevamente evidente que la eficiencia de los tubos de vacío es mucho más relevante tanto en cuanto se incrementa la necesidad de temperaturas más altas y la localización del sistema está más al norte. Se obtiene tanto como el doble de eficiencia con los tubos de vacío cuando se requieren altas temperaturas.



La reducción de la radiación útil de Nápoles a Toulouse y Estrasburgo es comparable con la mostrada en el párrafo anterior: 20% y 36% en Toulouse y Estrasburgo respectivamente al emplear colectores planos, y un 16% y 26% al emplear tubos de vacío.

Tabla 9 -Radiación útil [kWh/m<sup>2</sup>/ÑO] para refrigeración (4 meses)

	FP-90°C	ET-90°C	Relación FP/ET 90°C
Estrasburgo	306	565	54.16%
Toulouse	383	674	56.82%
Nápoles	474	793	59.77%

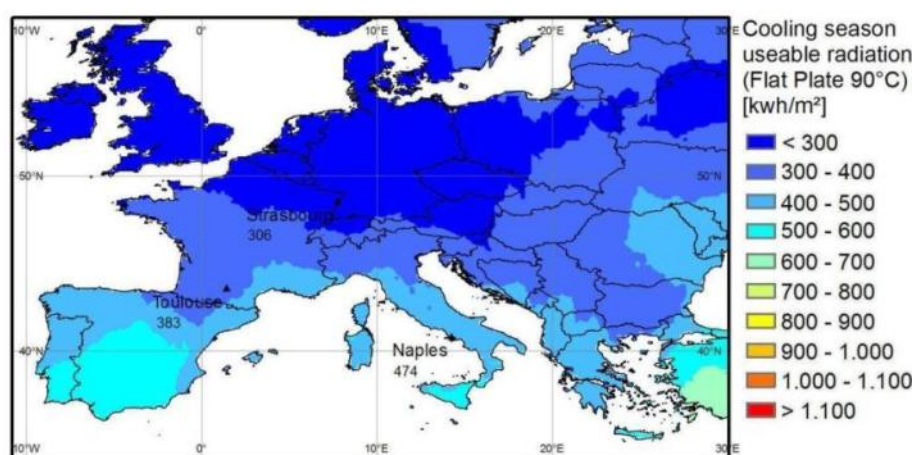


Figura 17 - Radiación Útil en colectores planos a 90°C en temporada de refrigeración (4 meses)

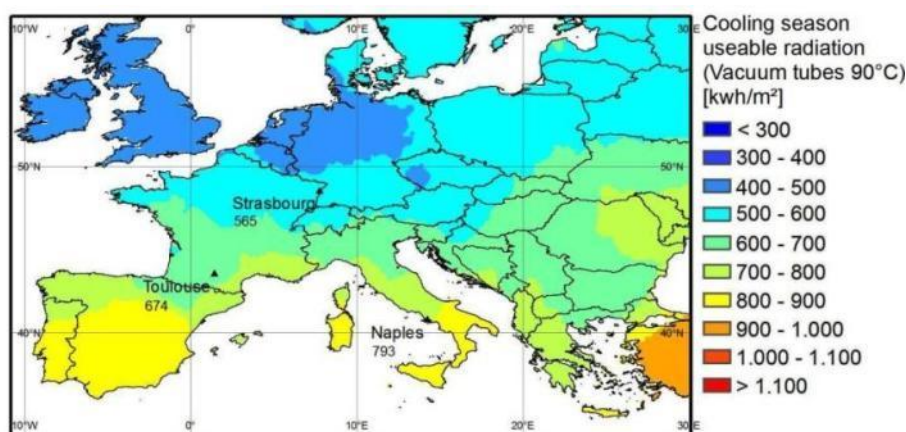


Figura 18 - Radiación Útil en tubos de vacío a 90°C en temporada de refrigeración (4 meses)



## 4 Conclusiones

La localización física de los sistemas instalados fija la cantidad de energía solar que se puede obtener, y extrapolando las necesidades de ACS, calefacción y aire-acondicionado. La combinación de la posible energía útil que se produce y las cargas determinan los climas más prometedores para la instalación de un sistema solar Combi plus.

Todas las localidades consideradas parecen apropiadas desde el punto de vista de necesidades de calefacción y potencial cobertura de las cargas, debido a una alta fracción de energía solar a esas bajas temperaturas (se considera 40°C como nivel de temperatura de calefacción). Los países del sur son más adecuados para aplicaciones de aire-acondicionado ya que disponen de una mayor radiación, que está disponible, mientras que la refrigeración pasiva puede ser una solución más adecuada para cubrir las necesidades de los países del norte. Sin embargo, las necesidades de refrigeración resultan también mayores en las regiones del sur, tanto durante el día como durante la noche.

Las tecnologías empleadas para refrigeración (absorción /adsorción) y para captación de energía deben ser consideradas: en cuanto mayor es el nivel de temperatura demandado y más al norte están las localidades, los colectores solares adoptados deben ser lo más eficientes posibles. El ahorro extra que se obtiene con los tubos de vacío debe compararse con el inicial extra coste. La demandas de las temporadas también deben considerarse, por ejemplo las demandas de refrigeración pueden ser menores que las de calefacción y el incremento de energía empleando colectores más caros puede no ser significativo.

De todos modos, aunque el retorno de la inversión es corto cuando se consideran alta calefacción, refrigeración y ACS, el Mercado más prometedor no se puede definir dentro de los analizados, ya que la elección de una localización es muy dependiente de las tecnologías empleadas (tanto para calefacción y refrigeración, como para la construcción del edificio). Se debe evaluar la economía y tecnología de cada aplicación específica.

Desde un punto de vista social, tan solo algunos países son más prometedores que otros, ya que la penetración de las tecnologías solares para preparación de ACS y calefacción es mayor, así como la preocupación de la población sobre estas tecnologías y el precio de la energía.



## 5 Referencias

- ESTIF, "Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2007", Bruxelles, June 2007.
- ESTIF, "Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2008", Bruxelles, May 2009.
- Henning, H.M., "Solar Assisted Air Conditioning in Buildings - A Handbook for Planners", 2003.
- Duffie, J., "Solar Engineering of Thermal Process", 2006.