

*ENERGÍA SOLAR TÉRMICA:  
INSTALACIONES PARA AGUA CALIENTE SANITARIA.*

# **INTRODUCCIÓN**

## ÍNDICE.

<b>1.1</b>	<b>Introducción.</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Radiación solar.</b>	<b>4</b>
1.2.1	El sol como fuente de energía.	4
1.2.2	Los Movimientos Relativos entre Sol-Tierra.	5
1.2.3	Magnitudes.	7
1.2.4	Distribución y reparto de la radiación solar.	7
1.2.5	Radiación solar directa y difusa.	12
1.2.6	Astronomía de la posición solar.	18
1.2.7	Irradiancia en superficies inclinadas.	23
1.2.8	Reflexión del suelo.	23
1.2.9	Tablas de radiación y temperatura.	24
<b>1.3</b>	<b>Energía Solar y Energía Solar Térmica.</b>	<b>36</b>
1.3.1	Conversión en Energía Térmica.	37
1.3.2	Conversión en Energía Eléctrica.	41
1.3.3	Energía Solar Pasiva.	43
1.3.4	La Energía Solar Térmica para ACS.	57

## 1.1 Introducción.

La crisis del petróleo del año 1973, fue el detonante que permitió vislumbrar todos los pilares sobre los que se asentaba el sistema económico y productivo imperante: voracidad energética y contaminación ambiental; a partir de entonces, cambió el panorama energético mundial, lo que generó:

- 1º) Una Conciencia Mundial del agotamiento a corto plazo de las fuentes y/o reservas de petróleo.
- 2º) El Aumento progresivo de sus costos.
- 3º) La necesidad del empleo de nuevas fuentes energéticas alternativas renovables.
- 4º) Una mayor protección del Medio Ambiente.

Con respecto al tercer punto, podemos afirmar, que el origen de dichas fuentes, es la **Energía Solar**, que a la par de ser renovable y no contaminante, constituye, el verdadero seguro energético que podremos utilizar, sin riesgo de agotamiento ni contaminación.

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía, como veremos más adelante, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz (energía) que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

El Sol es de las fuentes de energía a la que se le prestó una primera atención, y en la que se centró gran parte de la investigación en materia de energías alternativas. No en vano, se trata de una energía totalmente limpia y 100% renovable. Más aun, salvo por su intervención en el ciclo ecológico, los humanos aprovechamos una ínfima parte. A pesar de ello, existe una gran diversidad de sistemas que permiten aprovechar esta energía.

Sirva como dato que durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra **cuatro mil veces** más energía que la que vamos a consumir.

La energía solar como fuente energética presenta como características propias una elevada calidad energética con nulo impacto ecológico e inagotable a escala humana. Como dificultades

principales asociadas al aprovechamiento de este tipo de energía cabe destacar la variabilidad con la que la energía llega a la Tierra como consecuencia de aspectos geográficos, climáticos y estacionales.

España, por su privilegiada situación y climatología, se ve particularmente favorecida respecto al resto de los países de Europa, ya que sobre cada metro cuadrado de su suelo inciden al año unos 1.500 kilovatios-hora de energía (kWh), cifra similar a la de muchas regiones de América Central y América del Sur. Esta energía puede aprovecharse directamente, o bien ser convertida en otras formas útiles como, por ejemplo, en electricidad o en calor.

La constante amenaza de la contaminación ambiental, y el lógico y progresivo encarecimiento de los productos petrolíferos, según se van agotando con el transcurso del tiempo, hacen de la energía solar una buena solución.

No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o, simplemente, agotables.

En cualquier caso, para los próximos años se prevé una gran demanda de uso de la energía solar impuesta por el contexto que tratan de desarrollar las políticas energéticas materializadas en diferentes planes de actuación a nivel europeo, nacional y regional.

Sobre todo desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación que establece en su Sección HE 4, la **CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA**. Esta Sección es aplicable a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta.

Este curso, trata de acercar a todo el mundo el aprovechamiento de la radiación solar mediante la conversión térmica y hacer llegar toda la información precisa sobre las instalaciones solares térmicas, de forma que al finalizar el mismo el alumno pueda conocer sus ventajas, sus componentes, sus características y realizar el diseño y cálculo de una instalación de este tipo para el calentamiento del agua caliente sanitarias (ACS).

## 1.2 Radiación solar.

### 1.2.1 *El sol como fuente de energía.*

La radiación solar es la principal fuente de energía de nuestro planeta. Su transformación en calor, cuando es interceptada por la superficie de la Tierra, es utilizada por el hombre como sistema de calefacción. Este proceso lo denominamos conversión térmica natural de la radiación solar, como ya hemos venido comentando anteriormente.

El sol produce energía en forma de radiación electromagnética (radiación solar), que es la fuente energética básica para la vida en la Tierra. El origen de esta energía está en el interior del sol, donde tienen lugar las reacciones de fusión por la que cuatro átomos de hidrógeno dan lugar a dos átomos de helio y la masa atómica sobrante se transforma en energía de acuerdo con la fórmula de Einstein  $E = mc^2$ . Es decir, el sol se comporta como un reactor de fusión pero situado a 150 millones de kilómetros.

Debido a la gran distancia entre el sol y la Tierra, la radiación solar en la superficie terrestre es sólo una pequeña parte de la emitida por el sol ( $3,86 \cdot 10^{26}$  W que, por unidad de superficie del sol es  $6,35 \cdot 10^7$  W/m<sup>2</sup>). En concreto, al planeta Tierra llegan como valor medio en torno a 1.400 W/m<sup>2</sup>, lo que se denomina constante solar.

Más exactamente podemos definir la **constante solar** como la cantidad de energía solar que por unidad de tiempo incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada fuera de la atmósfera terrestre a una distancia del Sol igual a la distancia promedio Sol-Tierra.

Una reciente investigación de esta constante solar realizada por Froehlich y Brusa ha resultado ser la referencia radiométrica mundial, siendo su valor, utilizado y aceptado en todos los libros de ingeniería solar, igual a 1.367 W/m<sup>2</sup>.

Sin embargo, no toda esta energía llega a la superficie terrestre para su aprovechamiento. La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc.,

por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por las partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación. En el siguiente gráfico viene representado todo lo que acabamos de comentar.

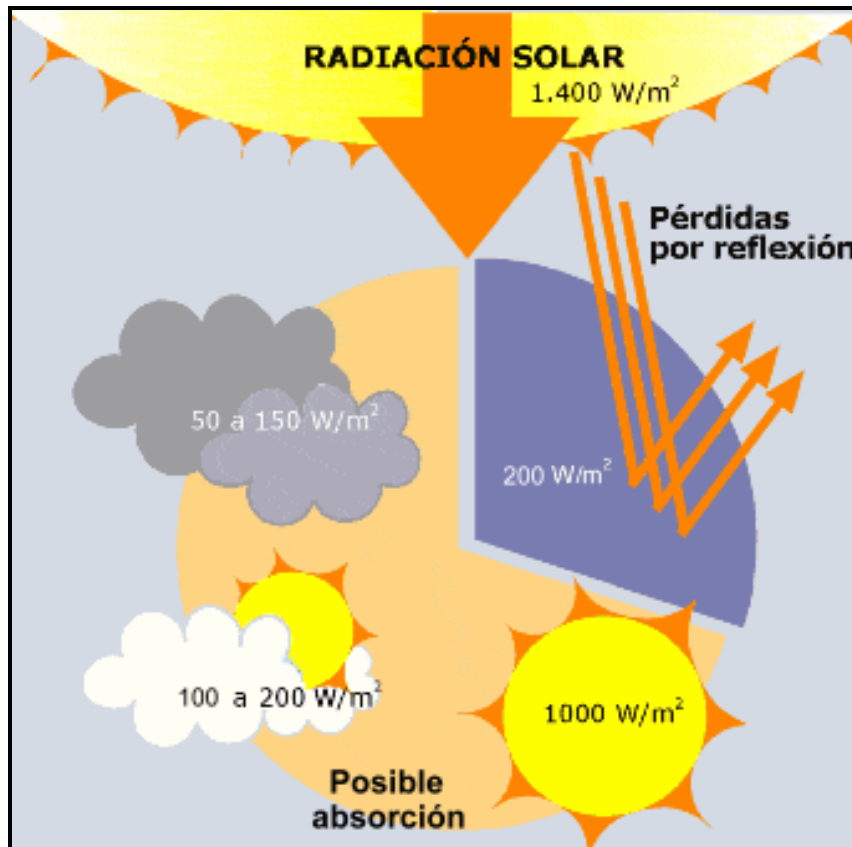


Figura 1.1. Radiación solar aprovechable.

Por tanto, de media, la energía del Sol que puede ser aprovechada está en torno a los  $1.000 \text{ W/m}^2$ , aunque veremos que difiere de unas zonas a otras dentro del planeta Tierra. Incluso dentro de España estos valores de posible absorción son distintos para unas regiones y para otras.

### 1.2.2 Los Movimientos Relativos entre Sol-Tierra.

Como los demás planetas de nuestro sistema, la Tierra gira alrededor del Sol. Este movimiento se llama de traslación y lo hace describiendo una elíptica de muy poca excentricidad (ECLÍPTICA). La duración del recorrido es de 365 días 5 horas y 48 minutos, a una velocidad de  $108.000 \text{ km/h}$  aproximadamente.

Esta órbita está inclinada con respecto al plano del ecuador en  $23^{\circ} 26'$  y ello hace que sobre un punto determinado de la Tierra los rayos del Sol caigan unas veces más perpendiculares que otras y, por lo tanto, que la Radiación Incidente sobre la misma sea diferente, lo que da lugar a las **estaciones**.

A su vez, la Tierra tiene un movimiento de rotación alrededor de su eje que tarda 24 horas en describir. Este movimiento es el causante del día y de la noche. Debido a la inclinación que presenta el eje de rotación y del movimiento orbital de la Tierra, la duración del día depende de la latitud del lugar, siendo en el ecuador el día igual a la noche, rompiéndose esta igualdad según nos alejamos de él.

Los dos momentos del año en que el día es igual a la noche se denominan equinoccios; el de otoño (21 de septiembre) y el de primavera (21 de marzo), ambos establecen el comienzo de dichas estaciones.

El día más largo y más corto del año se denominan solsticios y suceden respectivamente el 21 de junio y 21 de diciembre. Igualmente establecen el comienzo de las estaciones de verano e invierno.

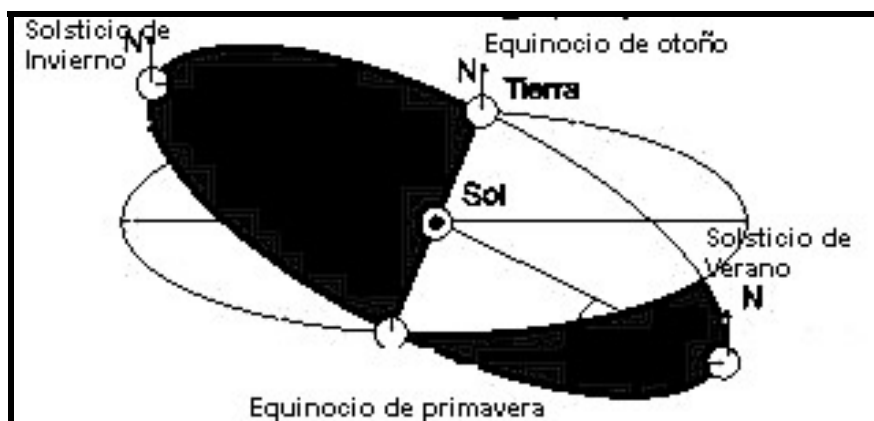


Figura 1.2: Posiciones relativas entre Sol-Tierra

Como conclusión, podemos indicar que el aprovechamiento de la Energía Solar depende de estos movimientos de la Tierra alrededor del Sol y la latitud del lugar. Es decir, la radiación dependerá de las distintas épocas y/o estaciones del año, y de la posición que ocupe el lugar de aprovechamiento en el globo terráqueo.

### **1.2.3 Magnitudes.**

La radiación solar puede medirse mediante varias unidades físicas, algunas de las cuales ya hemos venido comentando. Las más utilizadas son la **irradiancia**, que es la potencia de la radiación solar por unidad de área (S.I. [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]) y la **irradiación** que es la energía por unidad de área (S.I. [ $\text{J}/\text{m}^2$ ]).

En este último caso, y por razones prácticas, también se emplea una unidad de energía muy frecuente, sobre todo a la hora de realizar los cálculos, que es el kilovatio por hora [ $\text{kWh}$ ] en lugar del Julio [ $\text{J}$ ].

Hay otra serie de magnitudes para describir la radiación, pero éstas son los más importantes.

Como vemos, el término radiación se reserva para el concepto genérico.

### **1.2.4 Distribución y reparto de la radiación solar.**

Como hemos señalado anteriormente, no toda la irradiancia (o potencia radiante) que llega al planeta es la que finalmente alcanza la superficie, debido a fenómenos tales como la reflexión, la absorción o la difusión.

Así por ejemplo, la difusión debida al polvo y a la contaminación del aire depende bastante del lugar donde se mida, siendo mayor en los lugares industriales y en las ciudades. Los efectos meteorológicos locales como nubosidad, lluvia o nieve, también afectan a la potencia radiante que puede ser aprovechada en un lugar determinado.

En un plano horizontal, un día claro al mediodía, la irradiancia alcanza un valor máximo de unos  $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$ . Este valor depende del lugar, y sobre todo, de la nubosidad.

Si se suma toda la radiación solar que incide sobre una zona determinada en un periodo de tiempo definido (hora, día, mes...) se obtiene la energía o irradiación solar ( $\text{W} = \text{J}/\text{s}$ ) en  $\text{kWh}/\text{m}^2$  o  $\text{MJ}/\text{m}^2$ .



Hay diferentes organismos y/o empresas que se encargan de dar datos actualizados de los niveles de irradiancia en las distintas zonas del planeta. Nosotros presentamos algunas de las opciones existentes.

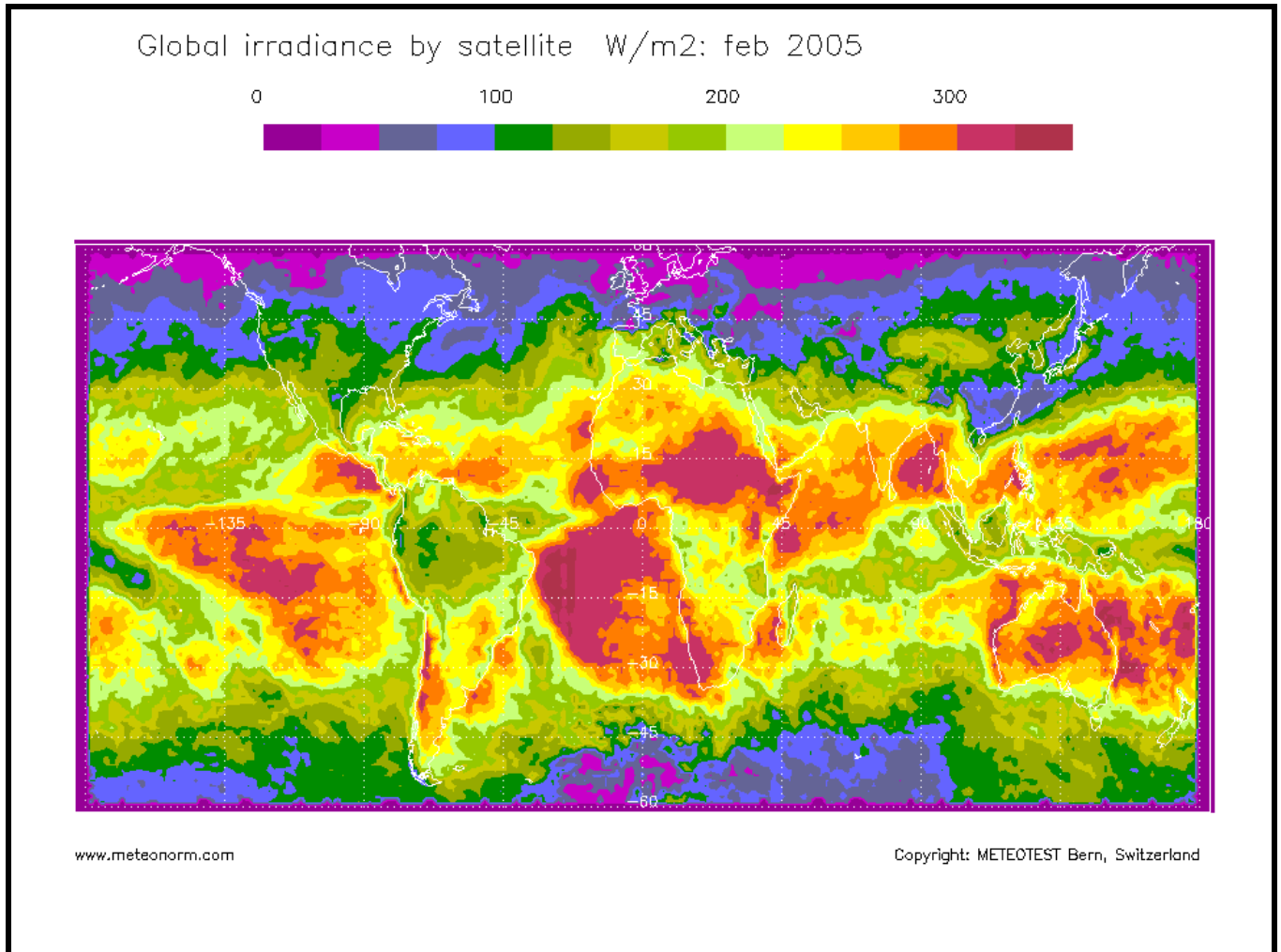


Figura 1.3. Valores de irradiancia solar en La Tierra.

En la figura se muestran los valores de irradiancia solar en superficie horizontal en las distintas zonas de la Tierra. En Europa, por ejemplo, existe mucha diferencia entre los niveles de radiación solar según la estación del año, dándose valores extremos en verano e invierno.

Por otro lado, señalar que en España también existen diferencias regionales claras de irradiación global media anual, teniendo la zona sur los mayores valores.

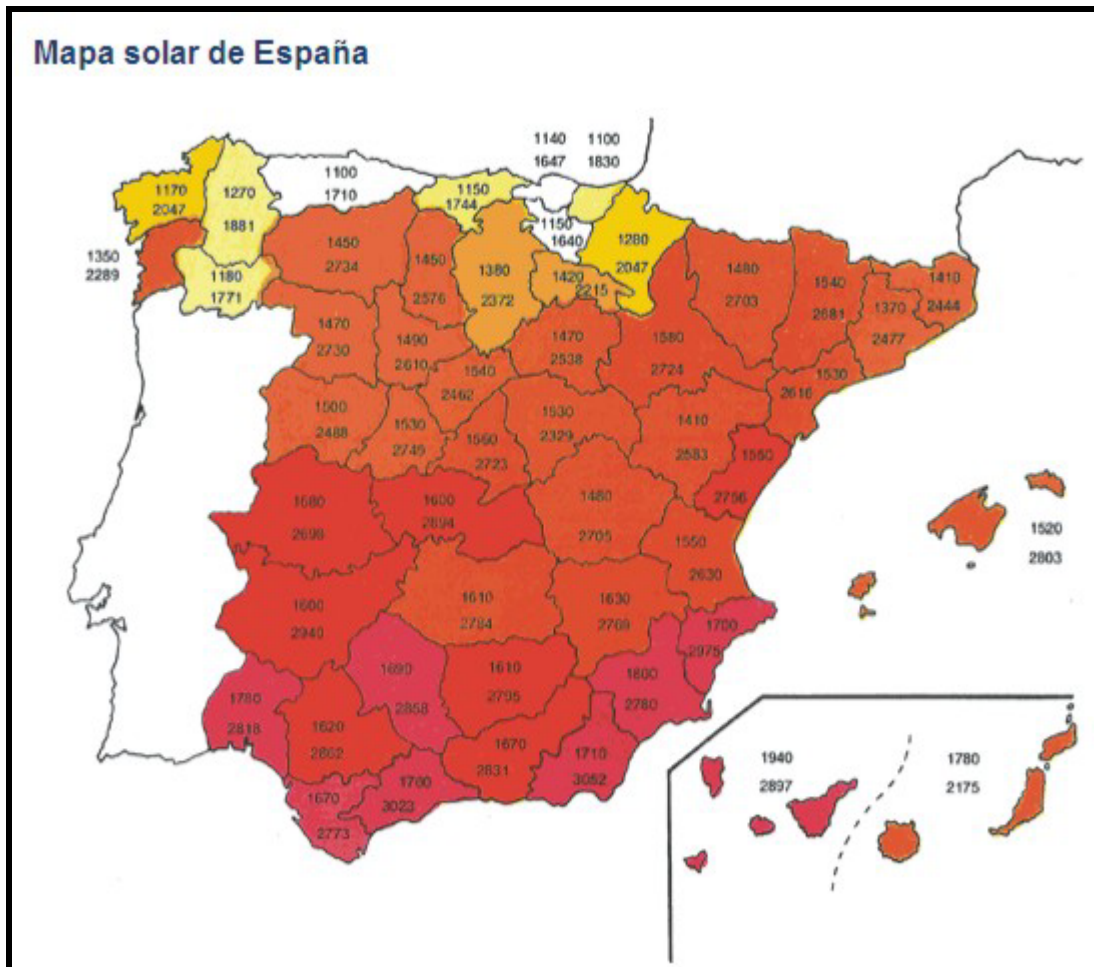


Figura 1.4. Datos de irradiancia y nº medio de horas de Sol en España. Fuente: CENSOLAR

La cifra superior en cada provincia representa la energía en kWh que incide por m<sup>2</sup> de superficie horizontal en un año, y la cifra inferior, el número de horas de sol. Generalmente las medidas suelen referirse a la capital, por lo que los valores para otros puntos de la provincia pueden ser diferentes. Como curiosidad señalar que hace poco se ha creado un mapa solar de la región de Extremadura con los datos de radiación solar de todas y cada una de las zonas dentro de la región (donde también difiere la potencia solar que puede aprovecharse).

Estos datos son muy importantes para el diseño y cálculo de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar. Se pueden conseguir en diferentes organismos o instituciones. En España por ejemplo, tenemos el Instituto Nacional de Meteorología. Para colectores térmicos, es el **número de horas de sol** (no la energía total), el parámetro más significativo a la hora de efectuar un estudio previo de viabilidad de una instalación en una zona determinada, ya que dichos colectores sólo funcionan con rendimiento aceptable en las horas en las que los rayos del sol les alcanzan de forma directa.

En Internet existen espacios aprobados por la comisión europea, en los que te dan los datos precisos de radiación existentes en las distintas zonas, regiones, localidades del mapa europeo y africano con una exactitud muy precisa. Estos valores podrían utilizarse para el cálculo de nuestras instalaciones.

Como vemos existen diferentes opciones de cálculo de la irradiación o radiación solar, en función del ángulo de la superficie sobre la que incide el Sol.

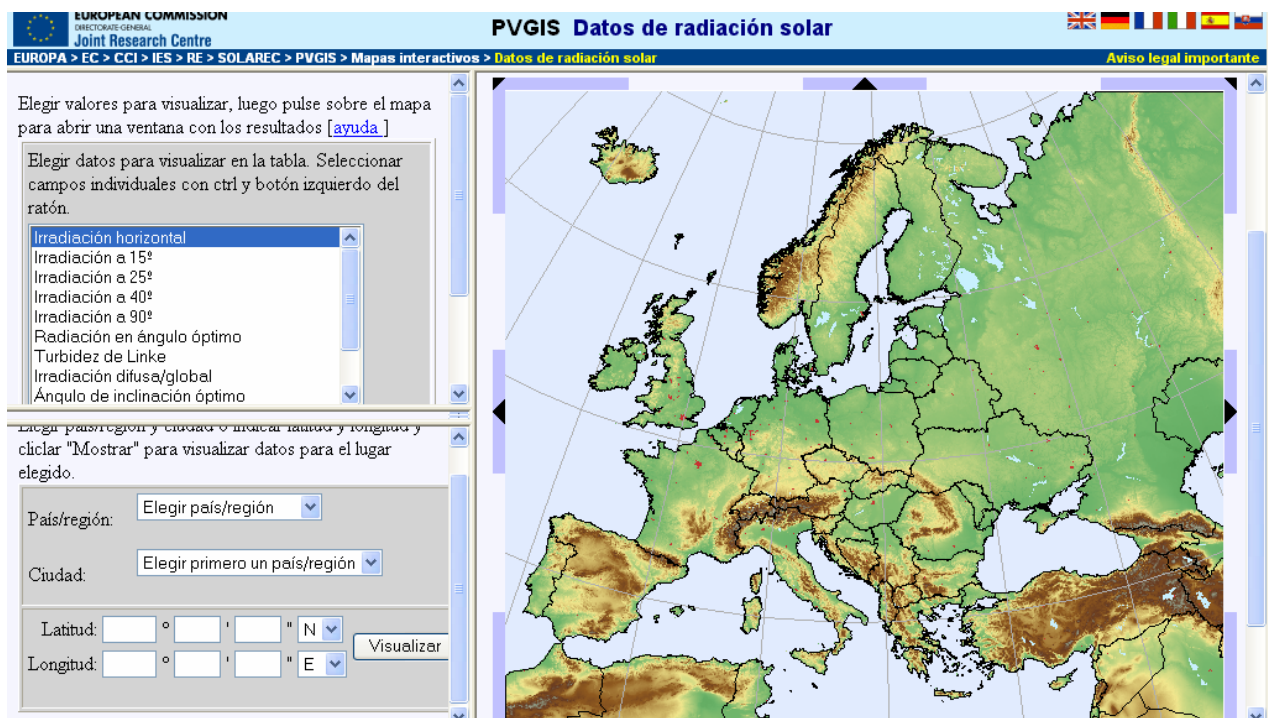


Figura 1.5. Datos radiación. Fuente: PVGIS © European Communities, 2001-2007

En el Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia, las denominadas zonas climáticas. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas, como se indica a continuación:

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Estas zonas se encuentran distribuidas en el siguiente mapa:

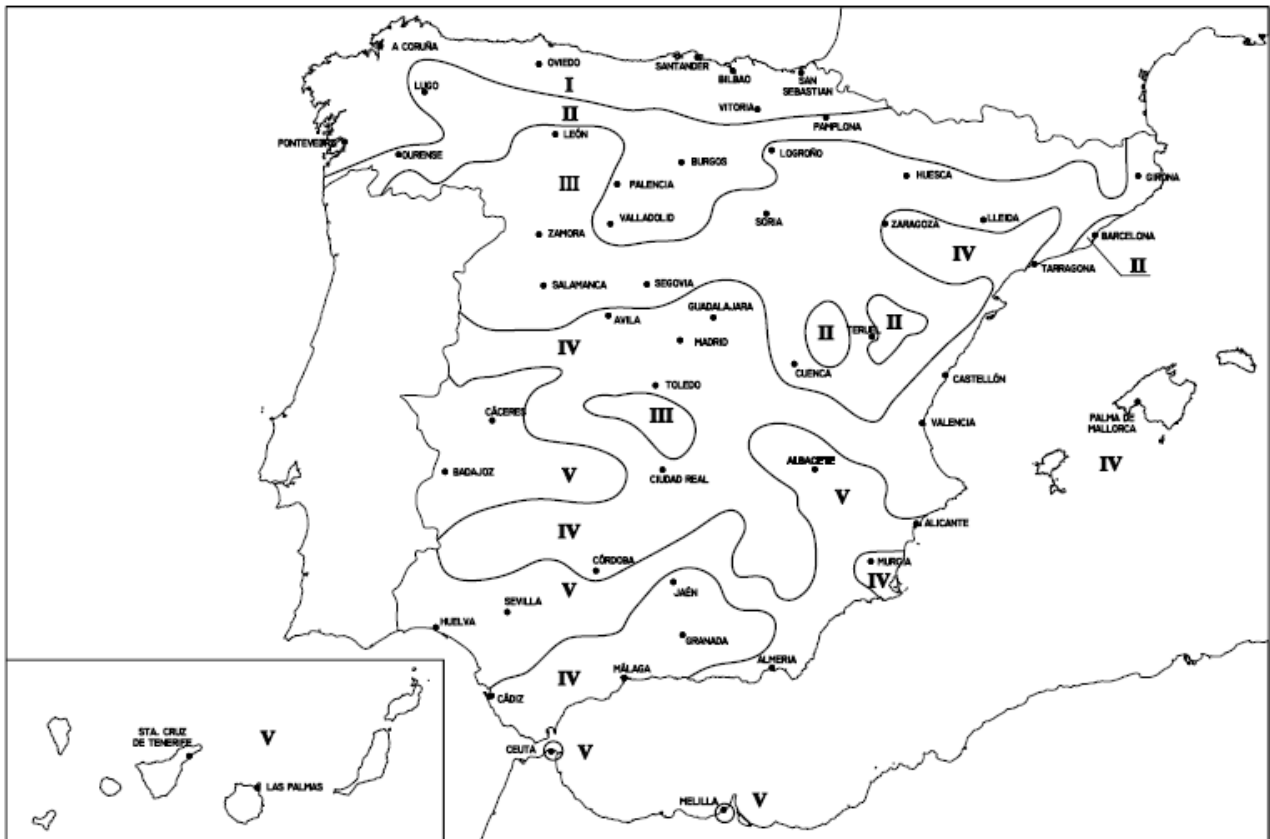


Figura 1.6. Zonas climáticas en España. Fuente: CTE

### 1.2.5 Radiación solar directa y difusa.

La radiación global directa, procedente directamente del sol, es reflejada por la presencia de las nubes, el vapor de agua..., y dispersada por las moléculas de agua, el polvo en suspensión, etc. Por tanto, la radiación solar que llega a una superficie podemos dividirla en tres partes:

- RADIACIÓN DIRECTA (B): Formada por los rayos procedentes del sol directamente.
- RADIACIÓN DIFUSA (D): Aquella procedente de toda la bóveda celeste excepto la que llega del sol. Originada por los efectos de dispersión mencionados anteriormente.
- RADIACIÓN DEL ALBEDO (R): Procedente del suelo, debida a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre él. Depende muy directamente de la naturaleza del suelo. Al cociente entre la radiación reflejada y la incidente en la superficie de la tierra se le llama albedo.

La suma de estas componentes da lugar a la **RADIACIÓN GLOBAL**:

$$G = B + D + R$$



Figura 1.7. Componentes de la radiación solar global.

Sin embargo, normalmente las dos cantidades que son las utilizadas para el balance de energía son: la energía directa (I) y la energía difusa (D). La **energía directa** es la energía que llega de manera directa desde el Sol hasta un área normal a los rayos incidentes, y la **energía difusa** por su parte, proviene de la bóveda celeste y se debe a que una parte de la radiación directa al atravesar la atmósfera, incide sobre diversas partículas que flotan en el aire, lo que origina su dispersión y reflexión. La magnitud de la irradiación solar que recibe un cuerpo depende de la ubicación geográfica, del tiempo (hora del día, época del año y condiciones climáticas) y de la orientación del cuerpo.

Hay veces que la componente directa de la radiación solar se calcula a partir de las medidas de la radiación global horizontal y de la difusa horizontal, obteniéndose como diferencia entre ambas la radiación directa horizontal.

En la siguiente figura, se tiene la distribución de la irradiancia solar incidente en sus dos componentes (directa y difusa) así como la radiación global en una superficie horizontal.

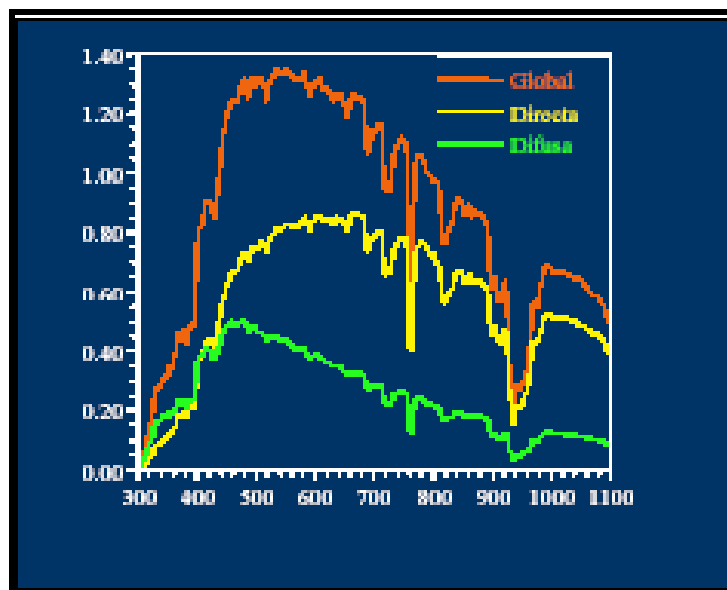


Figura 1.8. Composición de la radiación solar.

En días claros sin nubes, la componente directa de la radiación es mucho mayor que la difusa, e incluso puede superar a la radiación global horizontal. En los días nublados, por el contrario, es la radiación difusa la componente predominante frente a la directa. En cifras, podríamos decir que la componente difusa, en un día muy claro puede representar un 10% a

un 20% de la intensidad global, mientras que en un día nublado puede llegar a ser hasta el 100% de la irradiación global.

Para no tener que recurrir a fórmulas y complejos cálculos para la obtención de estos valores, existe hoy en día, una gran variedad de instrumentos para medir la radiación solar, en todas sus componentes, que recibe la superficie desde la atmósfera, o que emite la superficie hacia la atmósfera. La unidad de medición es el  $W/m^2$ .

La radiación solar se mide en forma directa utilizando instrumentos que reciben el nombre de radiómetros y en forma indirecta mediante modelos matemáticos de estimación que correlacionan la radiación con el brillo solar. Los radiómetros solares como los piranómetros o solarímetros y los pirheliómetros, según sus características, pueden servir para medir la radiación solar incidente global (directa más difusa), la directa (procedente del rayo solar), la difusa, la neta y el brillo solar.

Los radiómetros se pueden clasificar según diversos criterios: el tipo de variable que se pretende medir, el campo de visión, la respuesta espectral, el empleo principal a que se destina, etc.

Tabla 1.1. Instrumentos de medida de la radiación solar.

<i>Tipo de Instrumento</i>	<i>Parámetro de Medida</i>
Piranómetro	i) Radiación Global, ii) Radiación directa, iii) Radiación difusa iv) Radiación solar reflejada. (usado como patrón nacional)
Piranómetro Espectral	Radiación Global en intervalos espectrales de banda ancha
Pirheliómetro Absoluto	Radiación Directa (usado como patrón nacional)
Pirheliómetro de incidencia normal	Radiación Directa (usado como patrón secundario)
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación Directa en bandas espectrales anchas
Actinógrafo	Radiación Global
Pirgeómetro	Radiación Difusa
Radiómetro neto ó piranómetro diferencial	Radiación Neta
Heliógrafo	Brillo Solar

Como vemos, para la radiación solar directa, el instrumento de medición se llama **pirheliómetro**. Éste mide la energía que proviene directamente del sol, evitando la radiación difusa desde otras direcciones. El instrumento debe ser orientado continuamente hacia el sol. Como sensor se utiliza una placa negra, cuya temperatura, que se mide con un sistema de termocuplas, varía con la radiación solar directa que llega a la placa.



Figura 1.9. Pirheliómetro de cavidad Absoluta, serie PMO-6, y Pirheliómetro Eppley de incidencia normal (montado sobre un seguidor de sol). (Fuente: IDEAM).

Para la radiación Solar Global (directa + difusa), el instrumento de medición se llama **piranómetro**, y permite evaluar toda la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo la radiación directa y la difusa. Unas placas pintadas de blanco y de negro actúan como sensores (ver fotografía). Las placas negras se calientan más que las blancas, debido a que absorben más radiación. Mediante termocuplas se mide la diferencia de temperatura entre las placas blancas y negras, la cual es función de la radiación solar global. Para evitar el enfriamiento producido por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores, éstos se aíslan mediante una cúpula de vidrio. Para medir la radiación difusa, se instala un sistema que evita la radiación solar directa sobre el sensor (ver fotografía).

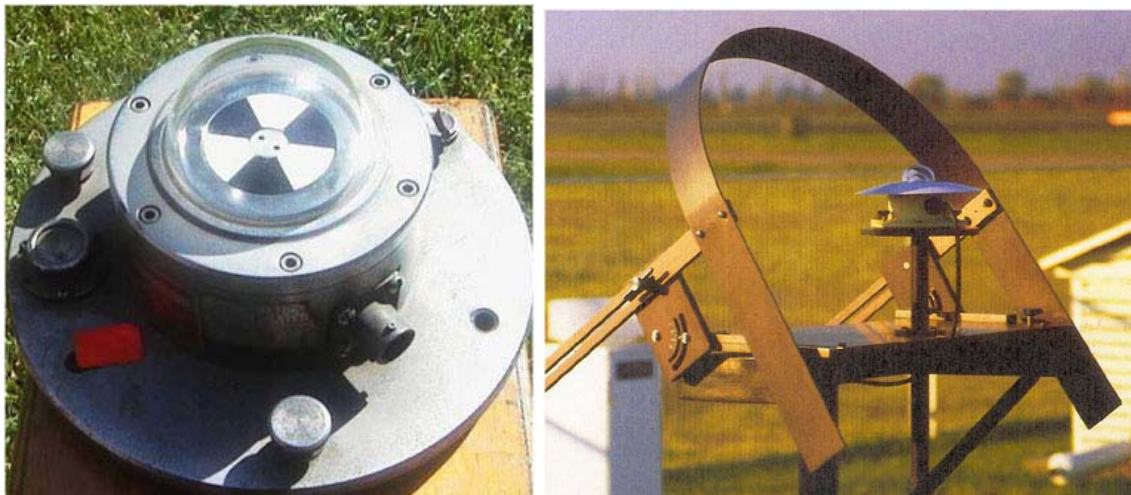


Figura 1.10. Piranómetros con un sistema para registrar la radiación difusa (Dirección Meteorológica de Chile)