

**UF0212: Determinación del potencial solar**

Elaborado por: Ángel M<sup>a</sup> García Nuñez  
M<sup>a</sup> Ángeles Gómez López

Edición: 5.0

EDITORIAL ELEARNING S.L.

ISBN: 978-84-16424-29-0 • Depósito legal: MA 538-2015

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra bajo cualquiera de sus formas gráficas o audiovisuales sin la autorización previa y por escrito de los titulares del depósito legal.

Impreso en España - Printed in Spain

# Presentación

## Identificación de la unidad formativa

Bienvenido a la Unidad Formativa UF0212: Determinación del potencial solar. Esta Unidad Formativa pertenece al Módulo Formativo MF0842\_3: Estudios de viabilidad de instalaciones solares, del certificado de profesionalidad ENAC0108: Eficiencia energética de edificios, de la familia profesional de Energía y Agua.

## Presentación de los contenidos

La finalidad de esta unidad es la de conocer todos los recursos disponibles a nuestro alcance para saber el alcance del potencial solar de una zona, desde los fundamentos de la energía solar hasta la física de los procesos relacionados con ella. Posteriormente analizaremos la cartografía y tablas disponibles para terminar aprendiendo los diferentes aparatos de medida disponibles para la medición del potencial solar.

Con estos conocimientos estaremos en disposición de establecer un criterio a la hora de la instalación de cualquier sistema de captación de energía solar, tanto térmica como fotovoltaica en una zona concreta.

## Objetivos de la Unidad Formativa

Al finalizar la unidad formativa a prenderás a:

- Definir el potencial solar en una zona determinada para la realización de instalaciones solares, utilizando los medios idóneos y cumpliendo las normas y reglamentos requeridos.
- Determinar los parámetros de radiación solar en un emplazamiento determinado para el que existen tablas elaboradas que permiten obtener directamente los valores buscados.
- Determinar los parámetros de radiación solar en un emplazamiento determinado para el que existen tablas elaboradas en las que hay que interpretar y correlacionar diferentes resultados para realizar una estimación razonable.
- Explicar globalmente los modelos más usuales en la determinación empírica de los diferentes tipos de radiación solar.
- Medir y registrar datos de radiación solar mediante el empleo del piranómetro, pirhelíometro y otros dispositivos usuales de registro.
- Determinar, para un emplazamiento y superficie dada, las posibilidades de realización de una instalación solar térmica y/o fotovoltaica, razonando el potencial y posible aprovechamiento energético.

# Índice

UD1. Fundamentos de la energía solar.....	9
1.1. El Sol como fuente de energía.....	11
1.1.1. Conceptos básicos.....	11
1.1.2. Radiación solar .....	12
1.1.3. La constante solar.....	15
1.1.4. Balance de radiación solar.....	20
1.1.5. Concepto de masa atmosférica.....	22
1.1.6. Distribución espectral de la masa atmosférica .....	27
1.1.7. Composición de los rayos solares .....	28
1.1.8. Energía sobre la superficie de la tierra .....	29
1.1.9. Composición de la radiación solar extraterrestre .....	31
1.1.10. Cálculo de valores medios de radiación solar.....	32
1.2. El Sol y la Tierra .....	33
1.2.1. Conceptos básicos.....	34
1.2.2. Interacción Sol-Tierra.....	34
1.2.3. Los movimientos de la tierra .....	38
1.2.4. Traslación, rotación, precesión, nutación.....	38
1.2.5. Posición de un observador sobre la superficie terrestre	40

1.2.6. La esfera celeste.....	42
1.2.7. Sistemas de referencia.....	45
1.2.8. Movimiento aparente del Sol sobre el horizonte .....	51
1.2.9. Tiempo solar y tiempo oficial .....	55
1.2.10. La ecuación del tiempo .....	57
1.2.11. Cálculo de la posición solar.....	58
1.2.12. Ecuaciones aproximadas .....	59
1.2.13. Posición del sol relativa a una superficie plana.....	60
<b>UD2. Conversión de la energía solar .....</b>	<b>67</b>
2.1. Tipos de procesos.....	69
2.1.1. Conceptos básicos.....	69
2.1.2. Procesos naturales .....	70
2.1.3. Conversión directa .....	72
2.1.4. Procesos térmicos .....	73
2.1.5. Efecto concentración .....	75
2.1.6. Lentes de Fresnel .....	77
2.1.7. Procesos eléctricos.....	78
2.1.8. Efecto fotoeléctrico externo .....	82
2.1.9. Efecto fotovoltaico.....	84
2.1.10. Conversión indirecta .....	86
2.1.11. Procesos eólicos .....	87
2.1.12. Procesos fotoquímicos.....	88
2.1.13. Procesos termodinámicos .....	90
2.1.14. Conversión fotobiológica .....	92
2.2. La acumulación de la energía .....	92
2.2.1. Conceptos básicos.....	92
2.2.2. Acumulación como energía eléctrica .....	93
2.2.3. Acumulación como energía térmica .....	94
2.2.4. Problemática del almacenamiento.....	97
2.3. Sistemas energéticos integrados .....	99

UD3. Potencial solar de una zona .....	107
3.1. Potencial solar de una zona.....	109
3.1.1. Definiciones .....	109
3.1.2. Proyecciones cartográficas.....	111
3.1.3. Tipos de proyecciones cartográficas .....	111
3.1.4. Aplicaciones cartográficas de las proyecciones cartográficas y la energía solar .....	116
3.1.5. Unidades de medida.....	117
3.1.6. Medida de la radiación solar .....	119
3.1.7. Radiación solar directa .....	121
3.1.8. Radiación global y difusa .....	121
3.1.9. Medida de la radiación global .....	122
3.1.10. Medida de la radiación difusa .....	123
3.2. Tablas y sistemas de medida.....	124
3.2.1. Definiciones .....	124
3.2.2. Tablas.....	125
3.2.3. Atlas solares .....	128
3.2.4. Sensores de medida y estaciones meteorológicas ....	130
3.2.5. Sensores de velocidad y dirección del viento .....	131
3.2.6. Sensores de temperatura ambiente y de humedad relativa .....	134
3.2.7. Sensor de radiación solar .....	138
3.2.8. Sistemas de adquisición de datos .....	139
3.2.9. Módulos solares fotovoltaicos.....	141
3.2.10. Estación meteorológica .....	151
Glosario .....	171
Soluciones .....	175

Área: energía y agua

# UD1

Fundamentos de  
la energía solar

- 1.1. El Sol como fuente de energía
  - 1.1.1. Conceptos básicos
  - 1.1.2. Radiación solar
  - 1.1.3. La constante solar
  - 1.1.4. Balance de radiación solar
  - 1.1.5. Concepto de masa atmosférica
  - 1.1.6. Distribución espectral de la masa atmosférica
  - 1.1.7. Composición de los rayos solares
  - 1.1.8. Energía sobre la superficie de la tierra
  - 1.1.9. Composición de la radiación solar extraterrestre
  - 1.1.10. Cálculo de valores medios de radiación solar
- 1.2. El Sol y la Tierra
  - 1.2.1. Conceptos básicos
  - 1.2.2. Interacción Sol-Tierra
  - 1.2.3. Los movimientos de la tierra
  - 1.2.4. Traslación, rotación, precesión, nutación
  - 1.2.5. Posición de un observador sobre la superficie terrestre
  - 1.2.6. La esfera celeste
  - 1.2.7. Sistemas de referencia
  - 1.2.8. Movimiento aparente del Sol sobre el horizonte
  - 1.2.9. Tiempo solar y tiempo oficial
  - 1.2.10. La ecuación del tiempo
  - 1.2.11. Cálculo de la posición solar
  - 1.2.12. Ecuaciones aproximadas
  - 1.2.13. Posición del sol relativa a una superficie plana

## 1.1. El Sol como fuente de energía

La energía de la que disponemos en la tierra proviene del Sol.

El sol es directamente responsable del viento, de la evaporación, de la formación de nubes, de la lluvia, etc...

Esta energía es fundamental para el desarrollo de los animales y de los vegetales y como consecuencia del paso del tiempo han originado los combustibles fósiles como el carbón.

La radiación solar que absorbe la Tierra constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance.

### 1.1.1. Conceptos básicos



La cantidad de energía solar captada por la Tierra anualmente es aproximadamente de  $5,4 \times 10^{24}$  Julios ( unidad que nos sirve para medir el calor o la energía...), esta cantidad representa 4.500 veces más de la energía que se consumimos.

---

La energía solar llega a la superficie de la Tierra por dos vías diferentes:

- Por radiación directa, o lo que es lo mismo la radiación que nos llega directo desde el foco solar.

- O por radiación difusa que es la radiación que cuando llega la atmósfera se dispersa con lo que sólo nos alcanza un porcentaje de ella.

A pesar de su abundancia, el aprovechamiento de la energía solar está condicionado principalmente por tres aspectos:

- La intensidad de la radiación solar recibida por la Tierra.
- Los ciclos diarios y anuales a los que está sometida.
- Las condiciones climatológicas de cada lugar.

Por tanto la utilización de la radiación solar como fuente de energía está directamente ligada a la situación geográfica y de las variaciones del tiempo.

Para el aprovechamiento destinado a la aplicación de la energía solar es necesario realizar los siguientes procesos:

- Captación y concentración de la energía solar.
- Transformación para su posterior utilización.
- Almacenamiento para satisfacer uniformemente la demanda con un tiempo de autonomía establecido.
- Fuente energética suplementaria disponible si se supera el tiempo de autonomía.
- Transporte de la energía almacenada, para su utilización en los puntos de consumo.

El aprovechamiento de la energía solar, se hace generalmente con dos tipos de sistemas: los que convierten la radiación solar en electricidad mediante energía fotovoltaica y los que se utilizan esa radiación solar para la producción de energía térmica.

### 1.1.2. Radiación solar

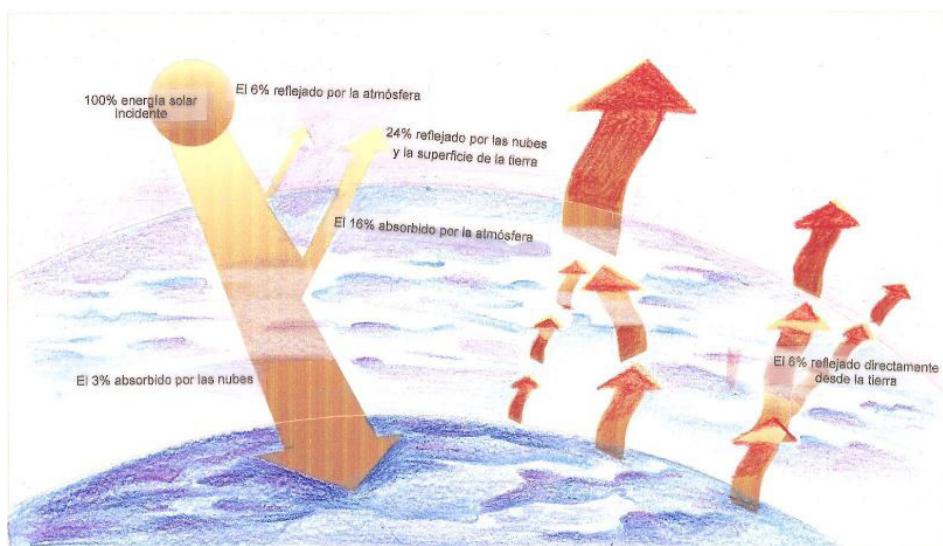
La energía que emite el sol (llamada radiación solar), recibida en la superficie terrestre, es la fuente de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso del día y del año.

Se trata de un proceso físico, por medio del cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas, éstas son una combinación de campos eléctricos y magnéticos que llevan la energía desde un punto a otro, en línea recta, sin intervención de una materia intermedia, su velocidad es de 300.000 km por segundo.



La **longitud de onda** es la distancia que hay desde un pulso hasta otro pulso, por tanto, esta distancia hace que cada rayo tenga unas características diferentes.

Cuando esta radiación alcanza el límite superior de la atmósfera está formada por diferentes rayos que tienen distinta longitud de onda:



Radiación solar

- **Los rayos ultravioletas:** no son visibles y tienen muy pequeña longitud de onda.

- **Los rayos luminosos:** son los únicos visibles; su longitud de onda corresponde al violeta y al rojo, respectivamente, ya que varía entre 0,36 y 0,76 micrones.
- **Los rayos térmicos:** no son visibles y su longitud de onda es mayor de 0,76 micrones. Son los rayos infrarrojos.

El valor de la radiación solar para un cm<sup>2</sup>, expuesto perpendicularmente a los rayos solares en el límite superior de la atmósfera, es de 2 calorías por minuto, aproximadamente. Este valor se llama Constante Solar. Término que veremos más adelante.



La intensidad calorífica de la radiación solar, medida en el límite superior de la atmósfera, es por lo general constante en el tiempo.

---

No toda la radiación solar incidente llega a la superficie terrestre; esto se debe a que la capa gaseosa actúa sobre ella produciendo distintos fenómenos:

- **Absorción:** es el flujo de radiación que penetra en la atmósfera transformándola en energía térmica y aumentando su temperatura, irradiando calor hacia la tierra y el espacio. La radiación que alcanza la superficie terrestre atenúa el enfriamiento de la misma sobre todo por la noche, este fenómeno se conoce como amparo térmico.
- **Reflexión:** este fenómeno se produce cuando una parte de la radiación solar incide sobre un cuerpo y es desviada sin modificar sus caracteres. Esta radiación que llega a la superficie terrestre es en parte absorbida y en parte reflejada.
- **Dispersión:** este fenómeno es muy parecido al de reflexión con la diferencia que la radiación modifica sus caracteres al ser desviados. Los rayos de onda corta como son el violeta y el azul se dispersa más fácilmente por lo que vemos el cielo de estos colores. Los rayos como el rojo o el amarillo llegan casi hasta el suelo sin dispersarse. La reflexión y dispersión de estos rayos dan como resultado la radiación difusa.

- **Efectos:** la radiación solar suele estar muy debilitada cuando se halla cerca del horizonte porque al llegar a la superficie de la tierra deben atravesar la capa atmosférica que es mayor cuando cae perpendicularmente sobre nuestras cabezas. La intensidad de calor recibida por una superficie horizontal depende de la inclinación con la que llegan estos rayos solares. Por tanto la mayor intensidad corresponderá a una superficie que reciba los rayos solares de forma vertical y por contra la menor intensidad la recibida cuando esos mismos rayos solares se reciban de forma oblicua.

### 1.1.3. La constante solar

Es la cantidad de energía, que nuestra atmósfera recibe del Sol multiplicada por unidad de superficie.

El valor medio de esta constante solar es de  $1,37 \times 10^6 \text{ erg/s/cm}^2$ , o lo que es lo mismo unas 2 calorías (unidad que nos sirve para medir la energía) por minuto sobre una superficie de 1 centímetro cuadrado. Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que varía un 0,2% en un periodo de 30 años.

La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre, viene siendo menor que la constante solar, sobre todo debido a la absorción y a la dispersión de la radiación.

El flujo de energía solar que llega al exterior de la atmósfera es una cantidad fija, llamada constante solar. Su valor es aproximadamente  $1367 \text{ W/m}^2$ . La letra w corresponde al watio y es una unidad de potencia que equivale a 1 julio por segundo.

El cálculo de la cantidad media de energía solar que llega a nuestro planeta se realiza por metro cuadrado de superficie.

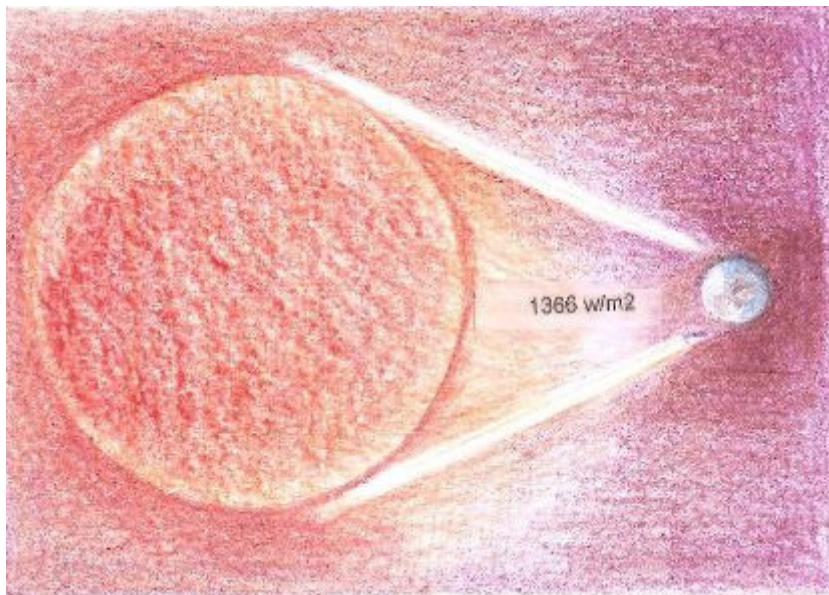
Si multiplicamos la cifra anterior por toda el área del círculo de la Tierra y lo dividimos por toda la superficie de la Tierra nos daría un valor de  $342 \text{ W/m}^2$ . Este valor se llama constante solar media .

La constante solar representa la máxima densidad de flujo energético que se podría aprovechar en la Tierra, aunque no se puede aprovechar toda.

La radiación solar que incide en un determinado punto de la superficie terrestre, depende de los siguientes factores:

- Movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje, inclinación del eje y esfericidad terrestre.

- Movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol.
- Influencia de la atmósfera terrestre.



Constante solar

El movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje y la esfericidad terrestre hacen que una mitad del globo terrestre se encuentre siempre en la oscuridad. Esto hace, que sea imposible captar energía solar durante ese periodo de tiempo.



La rotación de la Tierra alrededor del eje de los polos, se efectúa en un día de 23 horas, 56 minutos y 4,91 segundos.

La Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol describe una órbita elíptica, llamada “eclíptica”, en uno de cuyos focos se encuentra el Sol. Al plano que contiene la órbita terrestre y el Sol se le conoce como “plano de la eclíptica”.

La distancia mínima entre la Tierra y el Sol se denomina perihelio, mientras que la distancia máxima se denomina afelio.

El eje de la Tierra en los polos tiene una inclinación de 23,45° respecto a la normal a la eclíptica (órbita que describe la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol). Como consecuencia de esta inclinación sólo va a haber un punto de la tierra en que los rayos incidan perpendicularmente a la superficie terrestre, ya que en el resto incidirá de forma oblicua.

Debido a los procesos descritos, en un lugar concreto de la Tierra la cantidad de energía recibida depende de diferentes factores. Una vuelta completa tarda la Tierra en realizarla un año sideral, es decir, 365 días, 6 horas, 9 minutos y 10 segundos.

En el Hemisferio Norte, en verano, la Tierra se encuentra más lejos del Sol (afelio), mientras que en invierno se encuentra más cerca del sol, (perihelio).

En el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol se cumplen condiciones que, finalmente, influirán en la cantidad de radiación recibida en un punto determinado del globo. En primer lugar, el eje terrestre forma un ángulo de 66,5° con el plano de la eclíptica, es decir, 23,5° con la normal a dicho plano.

En segundo lugar, la posición del eje terrestre en cualquier momento de la traslación es paralela a la posición del mismo en cualquier otro momento. Estas dos condiciones, junto con la esfericidad de la Tierra y el movimiento de traslación de ésta alrededor del Sol, determinan una distribución variable de la radiación solar en función de la posición de la Tierra en un determinado momento de su órbita, condicionando los cambios de estación.



Denominamos **declinación solar ( $\delta$ )** al ángulo que forma la línea que une los centros de la Tierra y el Sol con el plano ecuatorial. La declinación varía continuamente en el recorrido de la Tierra en su órbita alrededor del Sol.

---

En el recorrido aparente del Sol visto desde la Tierra, se deben considerar las coordenadas celestes, suponiendo que el Sol realiza su recorrido por una bóveda celeste de la cual nosotros somos el centro. Cualquier punto del hemisferio se define por su latitud ( $\phi$ ), la altura solar ( $A$ ), que es el ángulo formado por la posición aparente del Sol en el cielo con la horizontal del lugar en el que nos encontramos, y su acimut ( $Z$ ), que es el ángulo medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal norte y la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador.

En el recorrido de la Tierra a lo largo de la eclíptica se definen cuatro posiciones claves: solsticio de verano, solsticio de invierno, equinoccio de primavera y equinoccio de otoño. Hay que recordar que los solsticios son los momentos del año en los cuales el sol alcanza su mayor o su menor altitud, será mayor en verano y menor en invierno. Y los equinoccios son los momentos del año en que el sol se encuentra en el plano del Ecuador terrestre.

### Influencia de la atmósfera terrestre

El paso de la radiación a través de la atmósfera terrestre influye en la intensidad de la radiación ya que cuando los rayos solares atraviesan la atmósfera, una parte de ellos no sufre modificación alguna y llegan a la superficie terrestre, otra parte es dispersada por la atmósfera, algunas longitudes de onda son absorbidas y, por último, parte es reflejada.

La parte de radiación que atraviesa la atmósfera sin sufrir modificación alguna es de onda corta (normalmente luminosa) y llega a la superficie terrestre como tal, constituyendo la llamada radiación directa.

Hay otra parte de la radiación solar que es dispersada.

*En la atmósfera existen gases y otras partículas en suspensión como polvo, humo, etc. Los rayos solares al chocar contra estas moléculas se desvían en todas las direcciones, recibiendo este fenómeno el nombre de dispersión. Los rayos luminosos de poca longitud de onda son los más dispersados y los rayos de mayor longitud de onda apenas se dispersan.*

De los colores visibles en que se descompone la luz solar el azul es el que se dispersa con mayor intensidad y a esta dispersión se debe, precisamente, el color azul del cielo. De la parte de radiación dispersada, la mitad aproximadamente se pierde en el espacio y la otra mitad se dirige a la Tierra donde son absorbidos constituyendo parte de la radiación difusa. Este tipo de radiación participa del calentamiento de la superficie terrestre junto con la radiación directa y constituyen la llamada radiación global.

La superficie de la Tierra absorbe parte de esta radiación luminosa global, y se calienta, emitiendo a su vez una radiación dependiente de su temperatura en forma de rayos infrarrojos (de onda larga), llamada irradiación.

La radiación solar absorbida por la atmósfera está representada por los rayos ultravioleta (de onda corta), que son absorbidos por el ozono en la llamada absorción regular, y por los rayos infrarrojos (de onda larga), que son absorbidos por el vapor de agua y, en menor medida por el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) existentes en la atmósfera, en la conocida como absorción selectiva.

El vapor de agua actúa por tanto como el cristal de un invernadero: deja pasar los rayos luminosos, de onda corta, pero no deja salir los rayos caloríficos, de onda larga, que emite el suelo, es decir, la radiación. A este fenómeno se le conoce con el nombre de "efecto invernadero". Gracias al efecto invernadero la atmósfera terrestre mantiene temperaturas ambientales compatibles con el desarrollo de la vida, aunque el exceso de absorción de radiación de onda larga debida al aumento de concentración de compuestos conocidos como **gases de invernadero** que puede producir un calentamiento global de la atmósfera.

Las radiaciones se reflejan en dicha atmósfera debido a la presencia de las nubes. La reflexión por nubes es un proceso no selectivo y afecta a todas las longitudes de onda. Como consecuencia de estos procesos, a la superficie terrestre llega mucha menos cantidad de energía de la que hay en el límite atmosférico.

*En un día despejado se pueden estimar las pérdidas (dispersión de rayos luminosos y absorción regular) en un 20%, llegando a la superficie terrestre un total del 80% de la intensidad de la radiación solar.*

*En un día nublado, las pérdidas (por reflexión de todas las longitudes de onda, absorción selectiva y regular y dispersión de radiaciones luminosas) pueden aumentar hasta valores comprendidos entre el 55% y el 100%, con lo que la energía que llega a la superficie terrestre es menor del 45% de la total.*

No toda la energía que llega a la superficie terrestre es aprovechable, ya que de la radiación global incidente, una parte se pierde por reflexión. Al porcentaje de energía reflejada respecto al total incidente para una superficie determinada, se le conoce con el nombre de albedo.

Asimismo tenemos dos factores que también influyen, y que son:

- **Factores astronómicos.** Dependen de la geometría Tierra-Sol. Son responsables de la posición relativa entre el Sol y la Tierra y de las coordenadas geográficas del lugar considerado, es decir, su latitud y longitud. Este hecho condiciona el recorrido de la radiación a través de la atmósfera y el ángulo de incidencia de los rayos solares.
- **Factores climáticos.** Atenuan la radiación máxima atendiendo a los condicionantes astronómicos.

### 1.1.4. Balance de radiación solar

El balance de radiación solar es la relación entre la radiación solar que llega la tierra y la radiación que sale de ella. Esta relación tiene en cuenta la radiación reflejada por las nubes, el albedo, etc. por lo que las cantidades de energía que se reciben son equivalentes a las que se emiten.

Debemos de saber que si este balance no fuese tal, la tierra se enfriaría o calentaría hasta volverse inhabitable.



La constante solar viene a ser de  $1367 \text{ W/m}^2$ . Este dato para que sea realmente efectivo debemos de dividirlo entre 4, obteniendo de esta manera una radiación incidente de  $342 \text{ W/m}^2$  ya que la constante solar está tomada en la parte superior de la atmósfera.

---

Esta energía se distribuye de la siguiente manera aproximadamente:

- $77 \text{ W/m}^2$  es reflejada de nuevo al espacio por la atmósfera.
- $67 \text{ W/m}^2$  es absorbida por la atmósfera.
- $198 \text{ W/m}^2$  atraviesa la atmósfera y llega a la superficie terrestre, la mitad como radiación difusa y la otra mitad como radiación directa.

Tenemos que tener en cuenta que estos valores presentan variaciones importantes. Ya que hay partes de la tierra en las cuales el cielo aparece cubierto de nubes, y partes en las que no. También la radiación que refleja la tierra no es la misma en una gran masa de bosque que en un desierto.

Existe un equilibrio entre la radiación solar que entra y la radiación terrestre que sale. Si la radiación solar entrante fuera mayor que la radiación terrestre saliente la tierra se estaría calentando. Al contrario si la radiación terrestre saliente fuese mayor que la radiación solar entrante la tierra se estaría enfriando.