



Cálculo de la radiación solar extraterrestre en función de la latitud y la declinación solar

Apellidos, nombre	Bautista Carrascosa, Inmaculada (ibautista@qim.upv.es)
Departamento	Química
Centro	Universitat Politècnica de València



1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presentan los conceptos teóricos que explican la radiación solar extraterrestre, su variación geográfica y su ciclo anual. Se describen los procedimientos de cálculo de la radiación extraterrestre, en cualquier lugar del planeta y en cualquier fecha del año. El comportamiento de estas variables se puede analizar gráficamente mediante distintos laboratorios virtuales disponibles en Riunet.

Laboratorios virtuales disponibles
1. Altura solar
2. Radiación solar extraterrestre

Tabla 1. Laboratorios virtuales para el cálculo de la radiación solar extraterrestre y la altura solar.

2 Objetivos

Una vez leído con detenimiento este documento, el alumno será capaz de:

- Obtener e interpretar la evolución diaria de la altura solar en función de la situación geográfica y la fecha del año.
- Obtener e interpretar la evolución diaria de la radiación extraterrestre incidente sobre una superficie horizontal en función de la ubicación geográfica y el día del año.
- Calcular la radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal en función de la ubicación geográfica y el día del año.

3 Introducción

Como la energía procedente del sol es la base de la fotosíntesis, conocer e interpretar sus variaciones espaciales y temporales se considera fundamental para optimizar la producción agrícola y forestal. El análisis de estas variables también resulta interesante para otros tipos de aplicaciones como, por ejemplo, mejorar la eficiencia energética en las edificaciones.

Cuando visualizamos la posición del sol en el cielo observamos que varía tanto a lo largo del día como durante las distintas estaciones del año. Estas variaciones dependen de la geometría de la órbita anual de la Tierra alrededor del sol y de la rotación diaria de la Tierra sobre su eje.

La inclinación de los rayos solares incidentes sobre una superficie determina la intensidad de la radiación solar sobre la misma. Si los rayos inciden perpendicularmente sobre la superficie, esta recibe la máxima radiación solar.

Cuando disminuye la inclinación de los rayos, la energía se reparte sobre una mayor superficie recibándose menor radiación por unidad de superficie.

La radiación solar viene determinada fundamentalmente por el factor geográfico de la latitud y configura los macroclimas del planeta. Las zonas climáticas del planeta se distribuyen en bandas que coinciden aproximadamente con los paralelos terrestres, siguiendo un gradiente de latitud. Como ejemplo podemos visualizar el mapa proporcionado por el Instituto Nacional de Meteorología (Figura 1) donde se observa el gradiente de radiación en la dirección Norte Sur en el estado español.

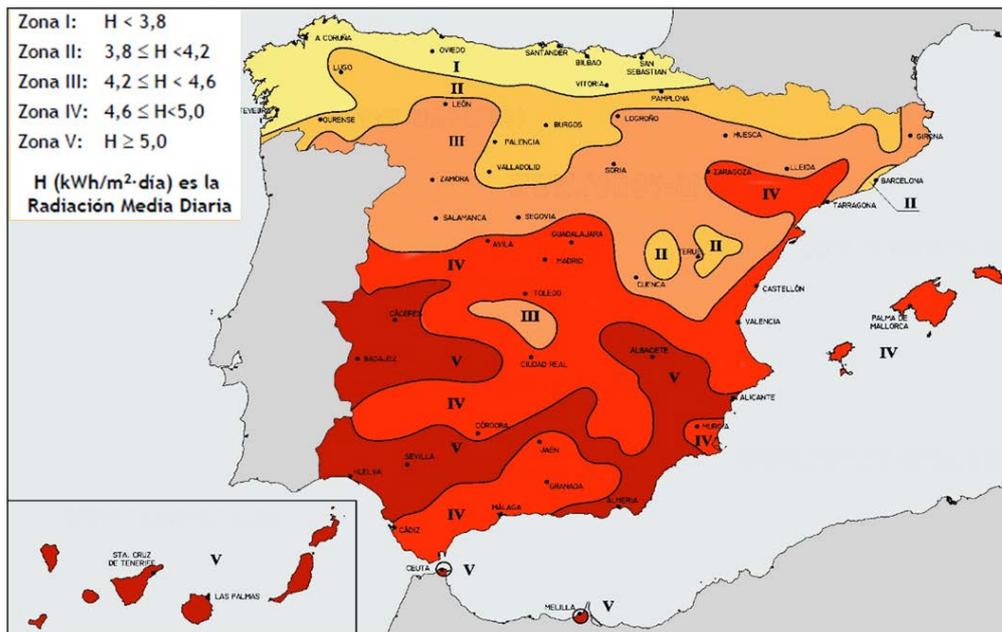


Figura 1. Distribución de zonas climáticas. Valores de Radiación media diaria en España (Fuente: Instituto Nacional de meteorología)

4 Desarrollo

4.1 Declinación solar

Las variaciones climáticas estacionales se producen porque el eje de giro del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del sol no es perpendicular al plano de giro de la eclíptica (figura 2). La variación anual en la altura solar se obtiene a partir de la variable declinación solar.

La **declinación solar** es el ángulo formado por los rayos procedentes del sol y el plano ecuatorial de la tierra. Su valor oscila entre $+23,45^\circ$ en el solsticio de verano (21-22 de junio) y $-23,45^\circ$ en el solsticio de invierno (21-22 de diciembre). Toma el valor 0 en los equinoccios de primavera (21-21 de marzo) y otoño (22-23 de septiembre).

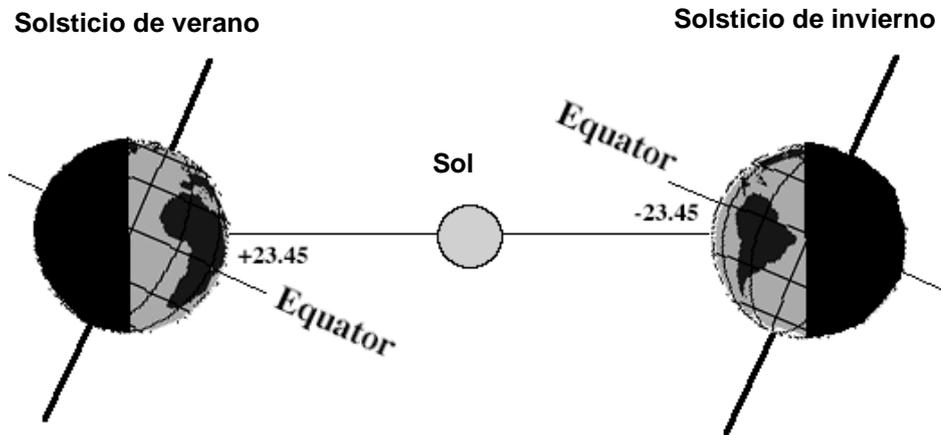


Figura 3. Valor de la declinación solar en los solsticios de verano e invierno.

El valor de la declinación solar depende del día del año y se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\delta = 23,5 \cos [360 (J-172)/365] \text{ grados}$$

Donde J es el día juliano, valor numérico calculado a partir del número de días transcurridos desde el día 1 de enero.

4.2 Altura solar

Conforme la tierra gira sobre su eje de oeste a este, vemos que el sol realiza una trayectoria aparente sobre el horizonte en el intervalo de tiempo que transcurre entre la salida y la puesta del sol. La trayectoria solar queda definida por dos ángulos variables a lo largo del día: la altura solar, o proyección de la trayectoria sobre el plano vertical, y el acimut o proyección sobre el plano horizontal.

La **altura del sol** (α) es el ángulo, menor o igual a 90° , que forma la radiación solar con el plano horizontal (figura 3). El **ángulo cenital** toma el valor complementario a la altura solar.

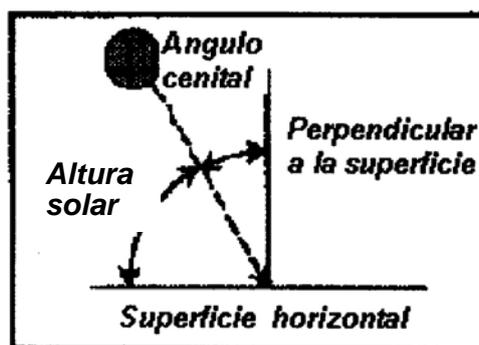


Figura 3. Representación de la altura solar

Si observamos la trayectoria solar en un punto situado en latitudes medias del hemisferio Norte, Valencia, p.e., veremos que la altura solar varía a lo largo del día desde un valor igual a 0 a la salida del sol aproximadamente en la dirección este, pasando por un valor máximo al mediodía solar en la posición sur y declinando hasta un valor 0 a la hora de la puesta de sol en dirección aproximadamente oeste. La salida y puesta de sol sólo coinciden con las direcciones este y oeste en dos fechas del año: los equinoccios de primavera y de otoño.

La proyección de la trayectoria solar sobre el plano horizontal viene definida por el **ángulo horario h**, que es el arco de paralelo comprendido entre el meridiano del observador y el meridiano de la posición del sol. Como la Tierra rota sobre su eje 360° en 24 horas, una hora es equivalente a 15° de longitud. El ángulo horario se obtiene a partir de la hora solar local (t_s). Al mediodía solar el ángulo horario toma el valor 0:

$$h = 15 \cdot (t_s - 12)$$

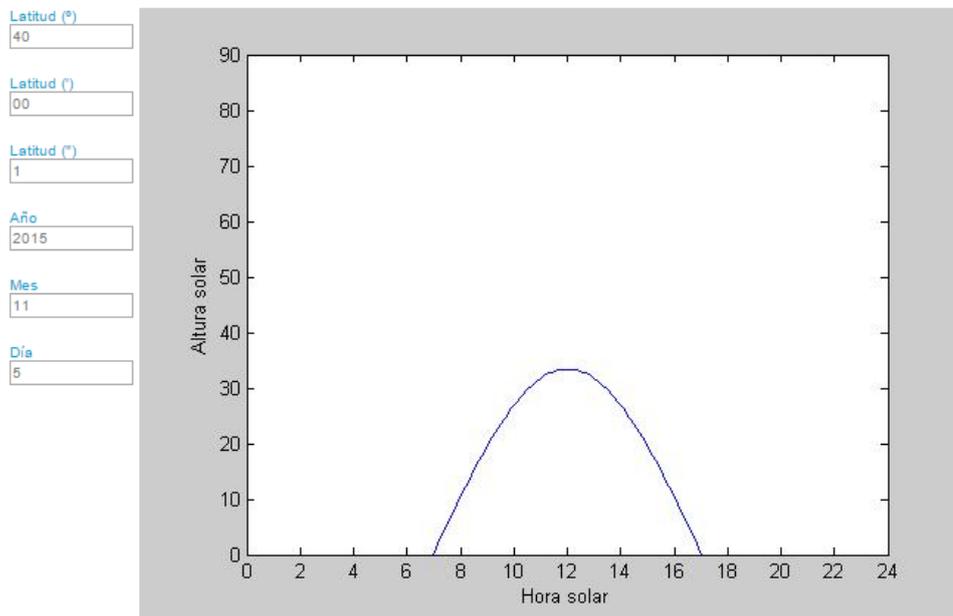
Una vez definidas todas las variables que influyen en la altura solar, podemos obtener su variación a lo largo del día en función del ángulo horario (h):

$$\text{sen } \alpha = \text{sen } \varphi \text{ sen } \delta + \text{cos } \varphi \text{ cos } \delta \text{ cos } h$$

donde α es la altura solar, φ es la **latitud**, δ es la **declinación solar** y h es el **ángulo horario**.

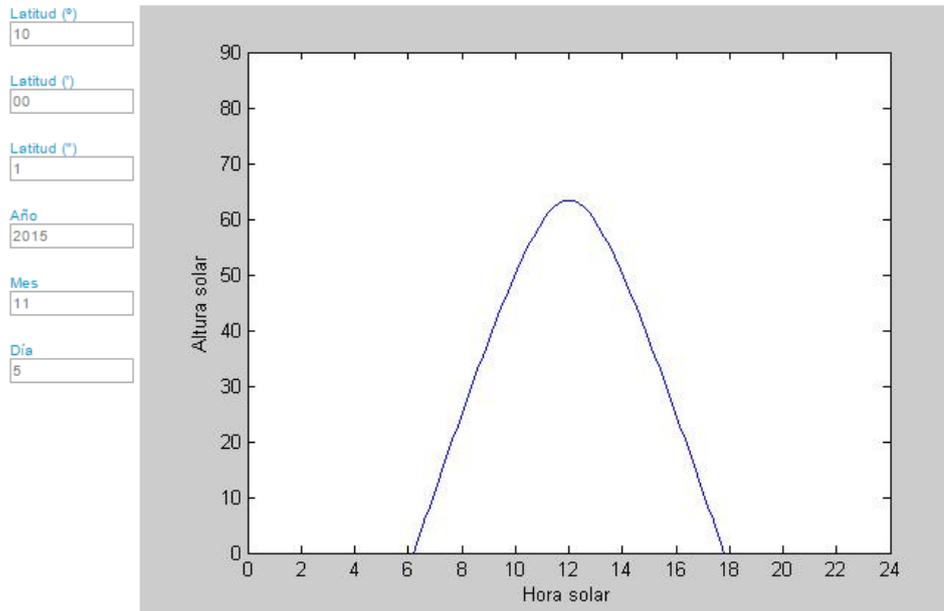
¿Cómo varía la altura solar en distintas zonas del planeta ¿.

Para responder a esta pregunta podemos utilizar el laboratorio virtual 'Altura solar', que representa la evolución de la altura solar a lo largo del día. Este programa está disponible en Riunet (<https://riunet.upv.es/handle/10251/30864>). Al introducir los datos de la latitud (expresada como grados, minutos y segundos, con valores positivos en el hemisferio norte y valores negativos en el hemisferio sur) y la fecha (expresada como día, mes y año) se obtiene la curva de evolución de la altura solar en función de la hora solar.



Dibujar

Figura 4. Evolución de la altura solar en función de la hora obtenida para el día 5 de noviembre en una latitud de 40° 00' 01"



Dibujar

Figura 5. Evolución de la altura solar en función de la hora obtenida para el día 5 de noviembre en una latitud de 10° 00' 01"

Al comparar las curvas de la figuras 4 y 5, podemos identificar el efecto que tiene la latitud sobre la altura solar. El día 5 de noviembre el intervalo de tiempo transcurrido entre la salida y la puesta del sol es próximo a 12 horas para un punto geográfico situado a 10° de latitud y más corto para una latitud de 40°. En esa misma fecha la altura solar

máxima es 30° superior en el punto situado a 10° de latitud respecto a punto situado a 40° de latitud.

¿Podremos identificar las localidades y fechas en los que se produce el sol de medianoche?

Habrà sol de medianoche siempre que el sol esté sobre el horizonte entre las 0 y las 24 horas solares.

4.3 Radiación solar extraterrestre

La **radiación solar extraterrestre** es la energía que recibe, durante un periodo de tiempo, una superficie del plano tangencial al planeta Tierra en un punto situado al exterior de la atmósfera; plano que será también el plano horizontal de ese punto. Se trata por lo tanto de una densidad de flujo de radiación solar, con unidades, en el Sistema Internacional, de $\text{Js}^{-1}\text{m}^{-2}$ ó Wm^{-2} .

La radiación solar extraterrestre (S) está relacionada con el **parámetro solar** S_0 , o densidad de flujo de radiación que se recibe sobre una superficie perpendicular a los rayos solares (figura 6) en función de la inclinación de los rayos solares, o altura solar.

$$S = S_0 \text{ sen } \alpha, \quad \text{donde } \alpha, \text{ es la } \textit{altura del sol},$$

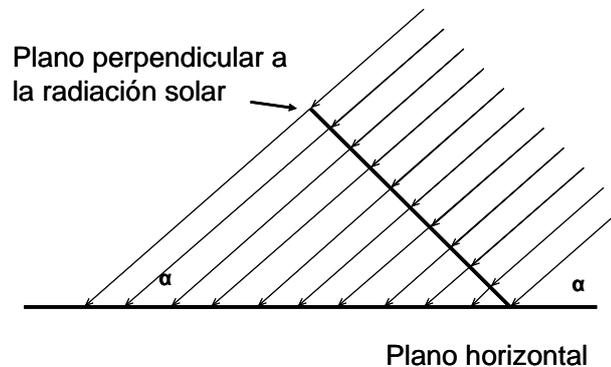


Figura 6. Efecto de la altura solar (α) sobre la radiación extraterrestre y el parámetro solar

El parámetro solar varía con la distancia de la tierra al sol según la expresión

$$S_0 = 1367 \left(\bar{d} / d \right)^2 \text{ Wm}^{-2}$$

donde: \bar{d} = distancia media de la Tierra al Sol, y d = distancia de la Tierra al Sol para una fecha concreta.

La distancia de la tierra al sol (d) varía a lo largo del año ya que la Tierra describe una órbita elíptica alrededor del sol. La variación se describe con la ecuación:

$$d = 1,496 * 10^{13} * [1 - 0,017 * \text{sen} (0,9856 D)] \text{ cm}$$

Donde D es el valor numérico calculado a partir del número de días transcurridos desde el día 22 de marzo.

La radiación extraterrestre diaria ($S_{a \text{ día}}$) dependerá de la declinación solar (δ) y del número de horas teóricas de sol ($N_{\text{día}}$) del día del año, del valor del parámetro solar para ese día y de la latitud del lugar, φ . Se demuestra que la expresión de la radiación extraterrestre diaria es:

$$S_{\text{día}} = S_0 \cdot 3600 \cdot (\text{sen}(90 - \varphi + \delta)) \cdot (2N_{\text{día}}/\pi) \text{ J m}^{-2} \text{ día}^{-1}$$

¿ Cómo podemos visualizar el valor de la radiación extraterrestre?

Para responder a esta pregunta está disponible en Riunet el laboratorio virtual 'Radiación solar extraterrestre', que representa la evolución de la radiación solar a lo largo del día y calcula la radiación extraterrestre diaria.

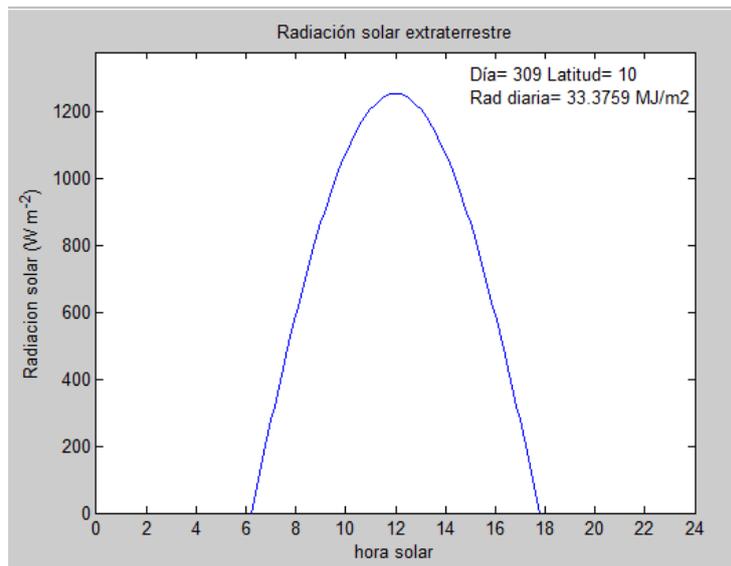


Figura 7. Evolución diaria de la radiación solar extraterrestre el día 5 de noviembre en un punto situado a 10° de latitud.

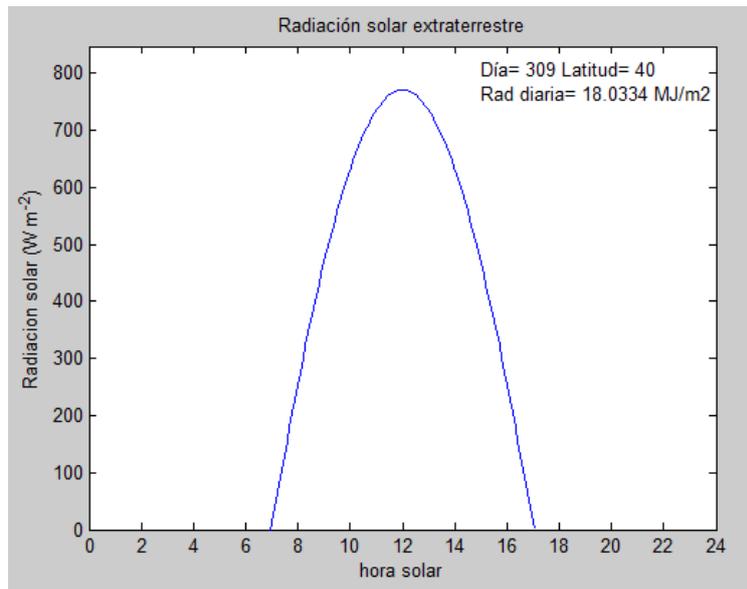


Figura 8. Evolución diaria de la radiación solar extraterrestre el día 5 de noviembre en un punto situado a 40° de latitud.

La comparación entre las figuras 7 y 8 nos permite constatar la importancia de la latitud sobre la recepción de radiación extraterrestre. El día 5 de noviembre se recibe en la parte exterior de la atmósfera prácticamente doble nivel de radiación solar a 10° de latitud Norte comparada con la que se recibe a 40°.

5 Cierre

Con este objeto de aprendizaje se han descrito las variables que influyen en la radiación solar extraterrestre. Hemos analizado las diferencias geográficas mediante simulaciones de la variación diaria de altura solar y la radiación solar extraterrestre.

6 Bibliografía

Bautista Carrascosa, I.; "Altura solar" (2013). Uso de licencias abiertas CC en Riunet. Disponible en: <http://labmatlab.upv.es/eslabon/as2013ibc/>

Bautista Carrascosa, I.; Damián Ginestar Peiró. "Radiación solar extraterrestre", 2016. Aceptado.

Bonan, G; "Ecological climatology. Second edition", Ed. Cambridge University Press, 2008, pág. 71-80.



ICE: "Guía docente de la UPV: criterios para su elaboración", Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2006, pág. 32-35. Disponible en: http://www.upv.es/entidades/VECE/menu_592108c.html

Llorca Llorca, R ; Bautista Carrascosa, I.: "Prácticas de atmósfera, suelo y agua", Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2006, pág. 15-21.