

SOBRE EL CÁLCULO DE LA INSOLACIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO

Rodolfo G. Cionco^{a,b}, Marta G. Caligaris^a y Nancy E. Quaranta^{a,c}

^a Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, San Nicolás.

^b Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.

^c Investigador CIC.

(gcionco@frsn.utn.edu.ar)

Categoría: Trabajo Científico **Área:** Contaminación urbana y vehicular – Modelos de dispersión.

Palabras claves: Radiación solar, insolación, movimiento solar aparente.

Introducción

El Sol es la principal fuente de energía natural a la cual se halla expuesta la atmósfera y también la corteza terrestre. El balance térmico general atmosférico del que dependen los procesos meteorológicos, queda fundamentalmente manejado por la *insolación* (Humphreys, 1964; Seinfeld, 1985), i.e., la componente vertical de la intensidad de la radiación solar en un plano horizontal (prescindiendo de la atmósfera del lugar y de las desigualdades en la distancia Tierra-Sol). La insolación se obtiene proyectando el valor de la *constante solar*, i.e., la energía por unidad de tiempo y área que llega a una superficie orientada hacia el Sol, según la vertical del lugar. Por lo tanto, el cambio de intensidad de la radiación solar debido a la variación de la posición del Sol en el cielo, es un tema que posee un eminente interés técnico, resultando importante en contaminación urbana, por ejemplo, en el estudio de islas térmicas (Oke, 1990) y en la formación del ozono atmosférico (Seinfeld, 1985).

Objetivos

El objetivo del presente trabajo es obtener expresiones aproximadas, suficientemente precisas y sencillas a fin de modelar, a partir de un valor de la constante solar, la radiación incidente en un determinado punto de la atmósfera o de la corteza terrestre, debido al cambio de orientación del Sol a lo largo del día y del año.

Desarrollo y resultados

Un observador sobre la superficie terrestre percibe la variación de la distancia angular del Sol sobre la *esfera celeste*, respecto al ecuador (o *declinación solar*) durante los distintos días del año. De forma más evidente, como movimiento reflejo de la rotación terrestre, el Sol presenta un movimiento aparente este-oeste, denominado *movimiento diario*. Debido a esta rotación, se produce la *salida* y *puesta* (ocaso) del Sol y los demás astros. Por lo tanto, el movimiento aparente del Sol en la esfera celeste, se presenta de la siguiente manera:

- un *movimiento diario* este-oeste, solidario con la esfera celeste (reflejo del movimiento rotacional terrestre);
- un *movimiento anual* sobre la esfera celeste, a lo largo de la eclíptica (reflejo del movimiento de traslación terrestre).

La insolación sobre un plano horizontal de un determinado lugar (de latitud φ), se calcula a partir de la constante solar según la siguiente expresión:

$$I = I_0 \cos z, \quad (1)$$

en la actualidad $I_0 \cong 1370 \text{ W m}^{-2}$; z es el ángulo entre la dirección al Sol y la dirección de la vertical local o simplemente *distancia zenital* del Sol. Para tener una descripción dinámica de la posición solar este ángulo debe ponerse en función del movimiento solar diario y anual. Esto se logra vinculando z con los ángulos t (*ángulo horario*) y δ (*declinación*) los cuales expresan la posición del Sol, sobre la esfera celeste, a lo largo del día y del año respectivamente (ver Fig.1). Utilizando trigonometría esférica sobre la esfera celeste, la ec. (1) resulta:

$$I = I_0 (\text{sen}\delta \text{sen}\varphi + \text{cos}\delta \text{cos}\varphi \text{cos}t). \quad (2)$$

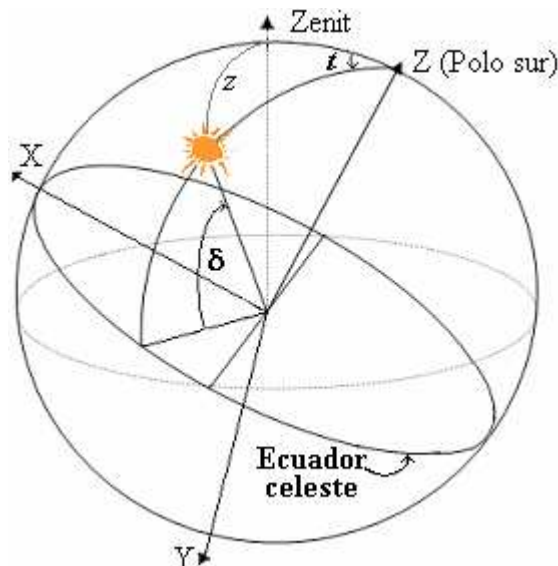


Figura 1: Proyección del sol sobre la esfera celeste y un sistema cartesiano asociado al ecuador celeste y al polo sur. Se indican el zenit, ángulo horario, distancia zenital y declinación solar.

La ec. (2) depende del tiempo a través de δ y t . La declinación, en función de los días del año (d), se obtuvo mediante un proceso de ajuste a expresiones astronómicas rigurosas, encontrándose para la presente centuria:

$$\delta = -23,46^\circ \cos\left(\frac{2\pi}{371,64}d + 0,23\right). \quad (3)$$

El ángulo horario t , medido en una escala horaria e incrementado en 12 horas, define el *tiempo solar local verdadero (TSLV)*; sin embargo, debe ser vinculado a una escala de *hora legal (tiempo solar local medio, TSLM)*, mediante el uso de la *ecuación del tiempo (ET)*, $ET = TSLV - TSLM$. La ET puede obtenerse a partir de expresiones teóricas provenientes de la mecánica celeste. Nuevamente, a los fines de proveer una forma funcional de fácil aplicación, se realizó un ajuste sobre la ecuación del tiempo durante esta centuria, obteniéndose:

$$ET = \left(-7,76 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{352,95}d - 6,44\right) + 10,21 \operatorname{sen}\left(\frac{4\pi}{372,43}d - 2,67\right)\right) \operatorname{min}. \quad (4)$$

Mediante la ec. (4) se vincula el ángulo horario con la hora legal del lugar.

Conclusiones y comentarios finales

En este trabajo se analizan breve pero detalladamente las particularidades inherentes al cálculo de la posición del Sol respecto a un punto sobre la superficie de la Tierra para estimar teóricamente la insolación del lugar. La posición solar queda determinada por el ángulo z , el cual puede escribirse en función de los ángulos (t, δ) , los cuales expresan el movimiento solar aparente sobre la esfera celeste en función del tiempo. Se presentan las fórmulas que han de utilizarse en el cálculo de la posición solar aparente (i.e., tal cual es percibida por un observador sobre la esfera celeste). Se da una expresión suficientemente precisa a los fines de la estimación de la declinación solar, válida para cualquier día de esta centuria. Se explica cómo relacionar el ángulo horario solar con la hora legal del país y se ofrece además una expresión para calcular el tiempo solar verdadero de un sitio. Como paso siguiente, se planifica comparar la insolación medida en la estación meteorológica de la FRSN con un valor teórico (obtenido a partir de estos cálculos) mediante un modelo de atmósfera, con la finalidad de estimar valores locales de densidad, opacidad y espesor zenital atmosférico.

Referencias

- Humphreys, W. J., (1964). "Physics of the air". Dover Publications, Inc., N. York.
 Oke, T. R., (1990). "The urban energy balance" In "Progress in Physical Geography" by Arnold Edward (Ed.), ISSN 0309/1333: 471-507.
 Seinfeld, J. H., (1985). "Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution". John Wiley & Sons.