

UTILIZACIÓN DE UN MODELO PARAMÉTRICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR DIRECTA A PARTIR DE IMÁGENES DE METEOSAT

M.A. Rubio (*), G.Lopez (**), Pozo, D (***), F.J.
Batlles (*)

mrubio@ualm.es

(*) *Dpto. Física Aplicada, Universidad de Almería.
04120, Almería*

(**) *Dpto. de Física Aplicada e Ingeniería Eléctrica,
Universidad de Huelva, 21819, Huelva.*

(***) *Dpto de Física Aplicada, Universidad de Jaen,
23071, Jaen..*

ABSTRACT

Using remote sensing data we can obtain radiation measurements with high temporal and spatial resolution. In this paper we describe a model that is able to estimate hourly values of direct irradiance from space observations. We first calculate the cloudless sky global radiation using a parametric model and then amend it for the effect of the clouds. function. Cloud amount and optical thickness of the clouds patches present have been estimated from radiance measured from Meteosat visible channel.

RESUMEN

La utilización de sistemas de teledetección permite el desarrollo de métodos capaces de obtener medidas de radiación con una alta cobertura espacial y una alta resolución temporal. En el presente trabajo se describe un modelo capaz de predecir valores horarios de irradiancia directa en todo tipo de condiciones de cielo a partir de medidas de teledetección. Para ello primero se estima la irradiancia directa horaria en condiciones de cielo despejado mediante un modelo paramétrico y posteriormente se corrige con un esquema de transmitancia que tenga en cuenta el efecto de las nubes. La información sobre la cantidad y el espesor óptico de la capa de nubes se obtiene a partir de medidas del canal visible del satélite Meteosat.

Palabras clave: teledetección, radiación solar, radiación directa, energía solar, recursos energéticos solares.

INTRODUCCIÓN

La irradiancia solar es una medida de fundamental importancia tanto en los estudios de aprovechamiento energético como los procesos de simulación de sistemas solares. Si bien la componente global de la radiación solar ha sido objeto de numerosos estudios y su medida se realiza de modo rutinario en redes radiométricas razonablemente extensas, las dificultades instrumentales que plante la medida de la irradiancia directa han hecho que se mida con menor profusión, y que se estime, normalmente en función de información más fácilmente accesible, ya sea radiométrica o meteorológica.

Un método alternativo para estimar la irradiancia directa es a partir de la información que nos suministran los sistemas de teledetección (Cano 1982; Cano et al. 1986; Michaud-Regas 1986; Diabaté 1989). Los sistemas de teledetección tienen la ventaja de poseer una gran cobertura espacial, lo que permite obviar la necesidad de grandes redes radiométricas. Además las medidas realizadas de la superficie terrestre son casi instantáneas y son realizadas por el mismo sensor, por lo que la información obtenida en todo el territorio es perfectamente comparable. Esto permite utilizar las imágenes, para extrapolar las medidas realizadas en una estación radiométrica situada en una localización concreta. Una ventaja añadida es la posibilidad de obtener información de áreas inaccesibles por otros medios, pero de gran interés en el estudio de los recursos energéticos solares, como pueden ser las zonas desérticas.

Para una correcta estimación de la irradiancia directa es fundamental una buena comprensión de los distintos procesos que tienen lugar cuando la radiación solar interacciona con la atmósfera. Entre los diversos factores que atenúan la irradiancia directa el tamaño y la distribución de la capa de nubes son unos de los más relevantes.

En este trabajo hemos estimado la irradiancia directa horaria a partir de un modelo paramétrico de cielo despejado con un esquema de transmitancia de nubes. Hemos determinado la cantidad y propiedades ópticas de las nubes presentes a partir de imágenes de satélite.

DATOS EXPERIMENTALES

Las medidas utilizadas en el presente trabajo se obtuvieron a lo largo del año 1996 en la

localidad de Almería (36.83°N, 2.41°W). Se han utilizado medidas horarias de irradiancia global y difusa, humedad, temperatura y presión. Los valores de irradiancia directa se obtuvieron a partir de medidas de irradiancia global y difusa. Tanto para la medida de radiación global como de radiación difusa se utilizaron piranómetros Kipp&Zonnen modelo CM-11, uno de los cuales lleva incorporada una banda de sombra. Las medidas realizadas con banda de sombra se han corregido mediante el método propuesto por (Batlles et alii 1995)

Las imágenes Meteosat seleccionadas para este trabajo han sido imágenes de alta resolución obtenidas cada hora. Dichas imágenes han sido proporcionadas por EUMETSAT, y comprenden la región delimitada por los paralelos 26°N y 65°N y los meridianos 20°W y 45°E. Para la obtención de las estimaciones se utilizaron grupos de 3*3 pixeles en torno a la estación de tierra.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En este apartado vamos a estimar la irradiancia directa horaria en todo tipo de condiciones de cielo. Para ello vamos a utilizar un modelo paramétrico de cielo despejado con un esquema de transmitancia de nubes.

Este esquema de transmitancia utilizará como parámetro de entrada el índice de nubosidad efectivo que hemos obtenido a partir de las imágenes de Meteosat. El modelo que vamos a utilizar tiene la siguiente forma

$$I = I_s f(n)$$

Donde I es la irradiancia directa en todo tipo de condiciones de cielo, I_s es la irradiancia directa en condiciones de cielo despejado y n es el índice de nubosidad efectiva. Como ya comentamos en la introducción el índice de nubosidad efectiva nos da información no solo sobre la cantidad de nubes en el cielo sino también de su opacidad. Podemos ver la nubosidad efectiva como el promedio de las nubes presentes ponderado por su opacidad.

Cálculo de la irradiancia directa en cielo despejado

Gueymard (1989) modelizó la irradiancia directa en incidencia normal mediante la división del espectro electromagnético en dos bandas. La banda del ultravioleta-visible (0.29-0.7 mm) denominada B1 y la banda del infrarrojo (0.7-2.7 mm)

denominada B2.

El modelo propuesto por Gueymard viene dado por la siguiente ecuación:

$$I_{ni} = \tau_{oi} \tau_{ri} \tau_{gi} \tau_{wi} \tau_{ai} I_{oi}$$

Donde I_{oi} es la irradiancia extraterrestre normal para esa banda y las distintas τ son las transmitancias de banda ancha para cada uno de los procesos que intervienen, τ_{oi} es la transmitancia por ozono, τ_{ri} es la transmitancia por Rayleigh, τ_{ai} la transmitancia por aerosoles, τ_{gi} es la transmitancia por gases y τ_{wi} es la transmitancia por vapor de agua.

La irradiancia directa normal se obtiene como la suma de la contribución de cada banda.

$$I_n = I_{n1} + I_{n2}$$

Esquema de transmitancia de la capa de nubes

Una vez estimada la irradiancia directa en condiciones de cielo despejado es necesario introducir el efecto de la cubierta nubosa. Utilizaremos un parámetro adimensional para caracterizar tanto el tamaño como el espesor óptico de las nubes presentes en el cielo. A este parámetro lo denominaremos nubosidad efectiva y lo denotaremos como n.

Es más podemos proponer un esquema de transmitancia que sea la media de la irradiancia directa en cielo despejado con la irradiancia directa en cielo cubierto ponderado con la nubosidad efectiva, obteniendo la siguiente expresión:

$$I = I_s (1 - n)$$

Donde I es la irradiancia directa estimada, I_s es la irradiancia directa en condiciones de cielo despejado.

La nubosidad efectiva, n, la obtenemos a partir de la siguiente expresión :

$$n = \frac{\rho - \rho_{des}}{\rho_{cub} - \rho_{des}}$$

Donde ρ es el albedo relativo obtenido a partir de la imagen por satélite, ρ_{cub} el albedo relativo asociado a condiciones de cielo cubierto y ρ_{des} el albedo relativo asociado a condiciones de

cielo despejado. Los valores de albedo relativo cubierto se obtienen a partir del método propuesto por Costanzo (1994) y lo del albedo relativo despejado a partir del modelo propuesto por Cano et al (1986)

El albedo relativo lo hemos calculado utilizando una modificación del modelo propuesto por Moussu et al (1989). Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{c - c_o}{0.7R (\text{sen}\alpha)^{1.15} (\cos\theta_v)^{0.15}}$$

Donde α es la altura solar, c es la medida proporcionada por el sensor, c_o es la coordenada en el origen en la ecuación del calibración del sensor. c_o se estima a partir de la medida obtenida por el sensor cuando apunta al espacio exterior. R es la distancia de la Tierra al Sol normalizada de tal manera que la distancia media vale 1. θ_v es el ángulo entre la línea de visión del satélite y la normal a la superficie terrestre.

RESULTADOS

En la tabla 1 se recogen los resultados estadísticos en términos del error cuadrático medio y de la desviación media. El error cuadrático medio da cuenta del error que comete el modelo a corto plazo, mientras que la desviación media, nos indica cual es el error del modelo cuando se estima la irradiancia directa durante largos periodos de tiempo.

	MBE (%)	RMSE (%)
Gueymard	0.9	28.0

Tabla 1. Resultados estadísticos del modelo

El modelo paramétrico presenta desviaciones medias que no son significativas ya que no superan el 1%. Mientras que el valor del error cuadrático medio es del orden del 28%.

Si bien los errores son importantes estos son inferiores a los que se obtienen cuando se utilizan modelos estadísticos para estimar la irradiancia directa a partir de medidas de satélite, errores que son superiores al 30% (Rubio, 2002).

La principal fuente de error en estos modelos se halla en el hecho de que las medidas de nubosidad efectiva estimadas por teledetección son

promedios espaciales de los cúmulos nubosos presentes en el cielo en un instante dado. Esta medida no representa adecuadamente la distribución estocástica e inhomogénea de las nubes. En presencia de cielos parcialmente cubiertos la radiación solar incidente muestra grandes variaciones de tipo totalmente aleatorio, variaciones que son especialmente importantes en el caso de la irradiancia directa y que no son recogidas en las estimaciones obtenidas mediante teledetección.

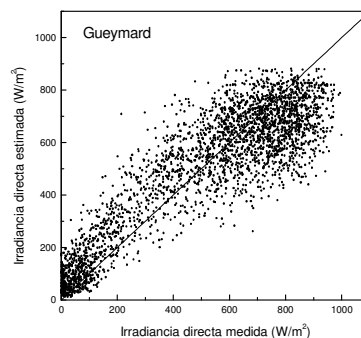


Figura 1. Valores de irradiancia directa estimados frente a medidos.

En la figura 1 se muestran los valores horarios de irradiancia directa estimados frente a los medidos. Se observa que el modelo tiende a subestimar la irradiancia directa para valores medidos por encima de los 800 W/m², situándose la mayoría de los puntos experimentales por debajo de la línea de perfecto ajuste 1:1.

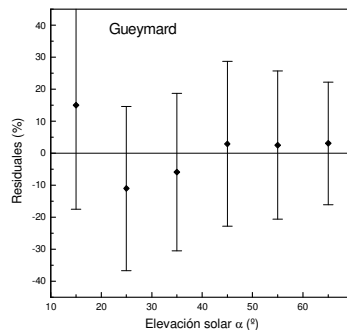


Figura 2. Distribución de los residuales del modelo en función de la elevación solar.

En la figura 2 se muestra la distribución de

los residuales en función de la elevación solar. Existe una cierta dependencia de las estimaciones del modelo con la elevación solar tendiendo este a subestimar la irradiancia directa a bajas elevaciones solares. Para elevaciones solares por debajo de 20° el modelo pasa de subestimar a sobrestimar la irradiancia directa. En este caso la causa predominante es la presencia de nubes en el horizonte cuyo efecto hemos descrito en el apartado anterior.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos estimado valores horarios de la irradiancia directa a partir de medidas realizadas por el satélite Meteosat. El método que hemos desarrollado utiliza un modelo paramétrico de cielo despejado y un esquema de transmitancia de nubes en el que se utilizan medidas obtenidas a partir de las imágenes Meteosat

Los resultados obtenidos son bastante satisfactorios, como demuestran los valores de la desviación media, un 1%, y del error cuadrático medio, un 28%. La principal fuente de error se halla en la correlación existente entre la irradiancia directa y la posición relativa del disco solar y la capa de nubes. Este hecho se refleja en que los errores obtenidos en nuestros modelos son del mismo orden que los obtenidos con modelos que utilizan información de la cubierta de nubes tomada en la superficie.

BIBLIOGRAFIA

Batlles F.J., Olmo, F.J., Alados Arboledas, L., 1995. On shadowband correction methods for diffuse irradiance measurements". *Solar Energy*, vol. 54: 115-124

Cano D. Etude de l'enneuagement par analyse de séquences d'images de satellite. Application à l'évaluation du rayonnement solaire global au sol. *Tesis doctoral*, Francia, 1982.

Cano D., Monget J.M., Albuissou M., Guillard H., Regas N., and Wald L., A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data, *Solar Energy*, 37, 1986, 31-39.

Costanzo C. Bestimmung der solaren Einstrahlung am Boden aus Meteosat-Daten-Untersuchung und Erweiterung einer empirischen Methode. *Diploma thesis*. 1994.

Diabaté L., Moussu G., Wald L., Description of an operational tool for determining global solar radiation at ground using geostationary satellite images, *Solar Energy*, 42, 1989, 201-207.

Gueymard, C., A two-band model for the calculation of clear sky solar irradiance, illuminance and photosynthetical active radiation at the Earth's surface, *Solar Energy*, 43, 253-265 1989.

Michaud-Regas N., Mise en oeuvre et validation d'une méthode opérationnelle et automatique pour l'évaluation d'atlas solaires en Europe à l'aide de mesures satellitaires Meteosat. Tesis Doctoral, Francia. 1986.

Moussu G., Diabaté L., Obrecht D., Wald L., A method for the mapping of the apparent ground brightness using visible images from geostationary satellites, *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1989, 1207-1225.

Rubio, M, A. Caracterización y Modelización de la Irradiancia Directa. Tesis Doctoral, España, 2002.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado con la financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del proyecto (REN/2001)-3890-C02-01/CLI. Deseamos agradecer a EUMETSAT las imágenes que nos ha proporcionado.