

ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ULTRAVIOLETA MEDIANTE IMÁGENES METEOSAT

I. Foyo-Moreno, F.J. Olmo, L. Alados-Arboledas, y J. Vida

alados@ugr.es

*CRYTIS. Departamento de Física Aplicada. Facultad de Ciencias.
Universidad de Granada. 18071 Granada.*

RESUMEN: En este trabajo presentamos una técnica que permite estimar la irradiancia solar global ultravioleta incidente en la superficie terrestre para todo tipo de cielos, a partir de observaciones de satélite. La técnica evalúa la irradiancia global ultravioleta bajo condiciones de cielo despejado mediante una parametrización de la transferencia radiativa, usando información de fuentes climatológicas o de satélite. El efecto radiativo de las nubes se incluye a través de una transmitancia hemisférica, que es obtenida a partir de imágenes proporcionadas por el canal visible del satélite METEOSAT. Mostramos los resultados preliminares comprobando el modelo con un conjunto independiente de datos de tierra.

ABSTRACT: In this work we present a technique to estimate the ultraviolet hourly global solar irradiance incoming at earth's surface, from satellite observations and for any type of sky. The technique evaluates the ultraviolet global irradiance under cloudless sky by means of a parameterisation of the radiative transfer, using climatic and remote sensing information. The clouds radiative forcing is included through an hemispherical transmittance, that is obtained from METEOSAT visible images. We present the preliminary results testing the model with a set of independent ground measurements.

PALABRAS CLAVE: irradiancia global ultravioleta, cielo despejado, imágenes de satélite, factor de contribución de nubes.

INTRODUCCIÓN

Es destacable la gran importancia que tiene el conocimiento de la radiación solar ultravioleta, con serias implicaciones para la biosfera, incluyendo la salud humana (Horneck, 1995). De ahí el notable interés suscitado en los últimos años en técnicas o modelos que permitan estimar la cantidad de energía que llega a la superficie terrestre en esta banda del espectro (290-385 nm), teniendo en cuenta que existen pocas estaciones radiométricas repartidas por el mundo que midan dicha magnitud de forma sistemática y continuada en el tiempo.

Para estimar la radiación solar incidente en la superficie terrestre a partir de imágenes de satélite se ha recurrido tradicionalmente a dos métodos diferentes. El primero se basa en regresiones estadísticas entre las medidas obtenidas de los radiómetros instalados en los satélites y los valores de radiación solar medidos en las estaciones radiométricas en tierra, dentro del área considerada en estudio. Estos son los comúnmente llamados modelos estadísticos. El segundo método recurre a los modelos de transferencia radiativa que describen explícitamente los procesos físicos que intervienen

en la interacción de la radiación solar con los diversos constituyentes que se encuentra en su paso por la atmósfera; son los llamados modelos físicos (Noia et al., 1993).

En este trabajo presentamos un procedimiento de estimación de la irradiancia global ultravioleta cuyo esquema mostramos en la fig. 1. El método consta de dos fases, por un lado se emplea un modelo de tipo físico, basado en parametrizaciones de la transferencia radiativa, para obtener el flujo radiativo en condiciones de cielo despejado. Este modelo requiere información que puede ser obtenida mediante observaciones in situ, datos climatológicos o variables atmosféricas generadas mediante teledetección. El efecto radiativo de las nubes se introduce mediante una transmitancia hemisférica que se ha modelizado en forma estadística usando como predictor la radiancia medida por el canal visible del satélite METEOSAT. Esta radiancia se transforma en un factor de reflectancia debida a nubes cuando se normaliza a la radiancia prevista bajo condiciones de cielo despejado. El modelo estadístico ha sido generado usando un conjunto de datos de tierra e imágenes de satélite. En el apartado correspondiente comprobamos la eficacia del método

con datos de tierra obtenidos en una estación diferente.

MEDIDAS EXPERIMENTALES

Las imágenes PDUS METEOSAT utilizadas en este trabajo han sido adquiridas por el sistema de recepción PDUS del Centro de Recepción y Tratamiento de Imágenes de Satélite (CRYTIS) de la Universidad de Granada. La eficacia del método se ha validado con las imágenes correspondientes a la primavera, verano e invierno de 1995.

Las medidas usadas como verdad de tierra se han obtenido en dos estaciones radiométricas, una localizada

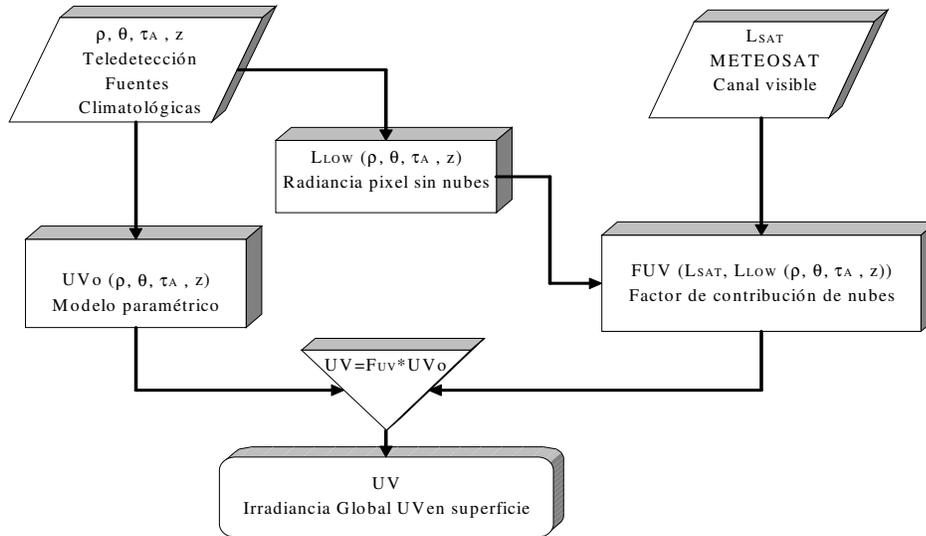


Figura 1. Diagrama de flujo mostrando el método utilizado.

en las proximidades de Granada (37.18°N, 3.58°O, 660 m), la cual dispone de un conjunto de sensores que miden diferentes flujos radiativos, en concreto un radiómetro Eppley TUVR para la irradiancia global ultravioleta (290-385 nm) incidente sobre una superficie horizontal, además de diversos dispositivos que nos permiten el conocimiento de varios parámetros meteorológicos de interés como temperatura, humedad relativa. La otra estación se sitúa en la Universidad de Almería (36.83° N, 2.41°O, 0 m), localidad costera con características climáticas diferentes a la de Granada. Los radiómetros Eppley TUVR han sido calibrados con un espectrorradiómetro de campo (LI-1800, LICOR).

Más detalles acerca de la calibración y de las características experimentales pueden encontrarse en Foyo-Moreno et al. (1998). Para este trabajo hemos utilizado los valores promedios horarios. Con el fin de evitar problemas asociados a la falta de respuesta coseno hemos limitado los casos usados a los correspondientes a ángulos cenitales inferiores a 80°.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

En trabajos anteriores (Foyo-Moreno et al., 1998) se ha analizado extensamente los valores horarios de irradiancia global ultravioleta en las dos localidades mencionadas anteriormente, destacándose el papel

relevante de las nubes que ejerce una influencia mayor que la masa de aire. Esto representa un problema importante dada la variabilidad de la cubierta nubosa. La influencia de las nubes, caracterizada en términos de una transmitancia hemisférica de irradiancia UV, se ha estudiado en función de observaciones meteorológicas y de parámetros adimensionales como la transmitancia hemisférica de banda ancha, en la que evaluamos la irradiancia global incidente en superficie normalizando a la irradiancia extraterrestre (Foyo-Moreno et al., 1999). Dada la gran variabilidad del campo de nubes es importante tener una valoración del mismo con frecuencia y con una cobertura suficiente. La teledetección es la herramienta apropiada para este fin.

En lo que sigue, definimos la transmitancia UV debida a nubes como:

$$F_{UV} = \frac{UV}{UV_o}$$

donde UV representa el valor de irradiancia ultravioleta y UV_o corresponde a la estimación para cielo despejado. Esta contribución (UV_o) se ha generado con el modelo paramétrico simple SPECTRAL-2. La aproximación usada ha consistido en estimar este parámetro F_{UV} en función de la radiancia medida por el satélite METEOSAT en el canal visible (L_{sat}), previamente normalizado al valor correspondiente a cielo despejado (L_{Low}), es decir:

$$R = \frac{L_{sat}}{L_{Low}}$$

Para la generación de la tabla de valores de cielo despejado (L_{Low}), se ha usado el código de transferencia radiativa LOWTRAN-7, variando las condiciones de albedo, contenido de aerosoles y contenido de agua precipitable, así como factores geométricos dentro del rango de situaciones posibles.

El modelo SPECTRAL-2 es un modelo paramétrico sencillo que necesita como parámetros de entrada las coordenadas geográficas locales, la presión atmosférica y el contenido de agua precipitable. A su vez requiere información acerca de la turbiedad y del contenido de ozono. Estos datos pueden obtenerse mediante imágenes AVHRR o en el caso del ozono también de datos TOMS.

En nuestro caso, la turbiedad ha sido estimada a partir de los datos de irradiancia directa. Los datos de ozono han sido facilitados por el INTA (El Arenosillo-Huelva). El modelo de cielo despejado ha

sido previamente evaluado en las estaciones de Granada y Almería, cubriendo un periodo de dos años para cada estación, con resultados altamente satisfactorios. Las ecuaciones del modelo son:

$$I_b = I_o \tau_o \tau_R \tau_A$$

$$D_R = I_o \cos \theta \left(0.5(1 - \tau_R)^{0.95} \tau_o \tau_{Aa} \right)$$

$$D_A = I_o \cos \theta \left(B_A (1 - \tau_A) \tau_{As} \tau_R^{1.5} \tau_o \tau_{Aa} \right)$$

$$D_M = (I_b \cos \theta + D_R + D_A) \rho_A \rho_G / (1 - \rho_A \rho_G)$$

$$UV = I_b \cos \theta + D_R + D_A + D_M$$

donde I_b es la irradiancia UV directa, D_i las distintas componentes de la irradiancia UV difusa y UV es la irradiancia global ultravioleta.

El código de transferencia radiativa LOWTRAN-7 ha sido utilizado para generar radiancias a nivel del satélite para pixeles libres de nubes; para ello hemos necesitado información de albedo, el espesor óptico medio de aerosoles, la elevación solar, el ángulo de barrido del satélite y la geometría solar.

Este esquema de trabajo corresponde a un planteamiento en el que se asume que la atmósfera puede ser tratada como una capa despejada situada por encima de una capa de nubes (fig. 2), donde tienen lugar los diferentes procesos de atenuación de la radiación solar (dispersión y absorción). Posteriormente analizamos la relación entre ambas magnitudes adimensionales encontrando una dependencia lineal del tipo:

$$F_{UV} = a - b R$$

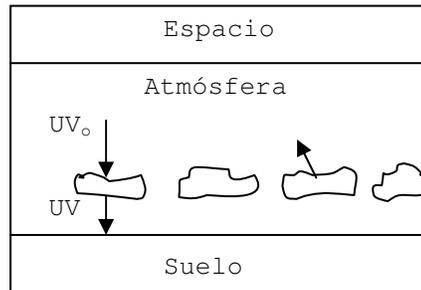


Figura 2.- Esquema de un cielo nublado.

Los valores de los coeficientes a y b son respectivamente 1.23 ± 0.01 y 0.15 ± 0.01 , con un coeficiente de correlación de 0.63. Esta relación de linealidad inversa se explica porque un aumento en la nubosidad conlleva una mayor dispersión en la atmósfera, esto implica una disminución en la transmitancia atmosférica y a su vez una mayor reflectividad de las nubes.

Haciendo uso de la relación anterior y siguiendo el esquema descrito en la fig.1, hemos estimado finalmente la irradiancia global ultravioleta mediante la expresión:

$$UV = UV_o F_{UV}$$

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El método descrito anteriormente se ha validado utilizando datos de verdad de tierra adquiridos en las estaciones radiométricas de Granada y Almería. Se han usado valores horarios de cada estación correspondientes a todo tipo de condiciones de cielo. Las Tablas I y II muestran los resultados estadísticos del análisis del modelo en función de la desviación media (MBD) y el error cuadrático medio (RMSD) en porcentajes. Asimismo incluimos los valores de la pendiente, la ordenada en el origen y el coeficiente de correlación de los valores estimados frente a los experimentales. La fig. 3 muestra las gráficas de los valores estimados por el método propuesto frente a los valores experimentales. A su vez representamos la recta de mejor ajuste (línea a trazos) junto con la recta 1:1.

Como muestra la desviación media, hay una tendencia a la sobreestimación en Granada del 2% y de subestimación en Almería del 4%. Por otro lado, el error cuadrático medio y el coeficiente de correlación ponen de manifiesto los buenos resultados del método, ya que sus valores se encuentran en unos márgenes muy aceptables desde el punto de vista de los modelos que estiman la irradiancia global UV en todo tipo de cielos.

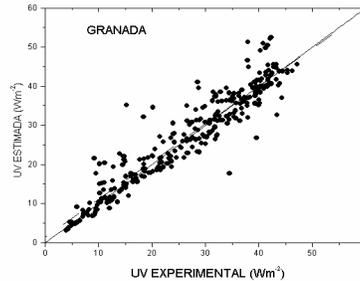
MBD %	RMSD %	Ordenada W/m^2	Pendiente	R
2.2	15.3	1.0 ± 0.5	0.98 ± 0.01	0.95

Tabla I. Resultados estadísticos para Granada.

MBD %	RMSD %	Ordenada W/m^2	Pendiente	R
-4.1	13.4	0.4 ± 0.3	0.94 ± 0.01	0.97

Tabla II. Resultados estadísticos para Almería.

Figura 3.- Valores estimados frente a experimentales.



Una fuente de error adicional a considerar es la debida a las diferencias temporales entre las estimaciones instantáneas de satélite y los valores horarios integrados registrados en las estaciones radiométricas.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos propuesto un método de estimación de la radiación ultravioleta a partir de imágenes METEOSAT. El método se basa en la relación existente entre dos parámetros que tienen en cuenta el efecto de las nubes. Estos son calculados para los datos de tierra y para los de satélite, como cociente entre los valores experimentales y los correspondientes a cielo despejado. Estos últimos se calculan mediante modelos (SPECTRAL2 y LOWTRAN7). La validez del método propuesto ha sido evaluada con los datos de tierra obtenidos en dos estaciones radiométricas: Granada y Almería. Los valores de los errores cuadrático medio y desviación media son del orden del 13% y del -4%, respectivamente, para la estación de Almería (no empleada en la generación del método). Estos resultados son satisfactorios, con la ventaja de ser un método simple lo que conlleva su eficacia operacional, teniendo presente las diferencias existentes en las escalas espacial y temporal entre las medidas de tierra y las de satélite. La aplicabilidad general del modelo requiere de una futura extensión

de los datos tanto espacial como temporal, objetivo que pretendemos acometer próximamente.

BIBLIOGRAFÍA

Bird, E.R. and Riordan, C. 1986. Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on Horizontal and tilted planes at the Earth's surface for cloudless atmospheres. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 25, 87-97.

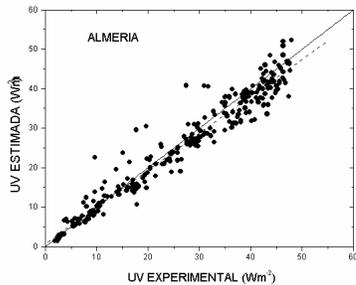
Horneck G. 1995. Quantification of the biological effectiveness of environmental UV radiation. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology.* 31, 43-49.

Foyo-Moreno, I., Vida, J. And Alados-Arboledas, L. 1998. Ground based ultraviolet (290-385 nm) and broadband solar radiation measurements in South-Eastern Spain. *Int. J. Climatol.* 18, 1389-1400.

Foyo-Moreno, I., Vida, J. And Alados-Arboledas, L. 1999. A simple all weather model to estimate ultraviolet solar radiation (290-385 nm). *Journal of Applied Meteorol. (en prensa).*

Kneizys, F. X., Shettle, E.P., Abreu, L.W., Chetwind, J.H., Anderson, G.P., Gallery, W.O., Selby, J.E.A. and Clough, S.A. 1988. *Users guide*

Morena que nos proporcionó los datos de ozono medidos por el INTA en Arenosillo.



to *LOWTRAN7* Environ. Res. Paper 1010, U.S. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom Air Force Base, Bedford, Mass., 01731.

Noia, M., Ratto, C.F. and Festa, R. 1993 Solar irradiance estimation from geostationary satellite data: I: Statistical models. *Solar Energy*, 51, 449-456.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la CICYT mediante el proyecto CLI-98-0912-C02-01. Los autores muestran su agradecimiento al Dr. de la