

## ESTIMACIÓN DE LA IRRADIANCIA TÉRMICA ATMOSFÉRICA EN SUPERFICIE MEDIANTE INFORMACIÓN DE SATÉLITE

M. Pérez García(\*), I. Alados (\*\*), F.J. Olmo (\*\*\*) y L. Alados-Arboledas(\*\*\*)

mperez@ualm.es

(\* *Departamento de Física Aplicada. Universidad de Almería. 04120 La Cañada Almería*

(\*\* *Departamento de Física Aplicada II. Universidad de Málaga. Málaga*

(\*\*\* *Departamento de Física Aplicada. Universidad de Granada. 18071 Granada*

**RESUMEN:** En este trabajo se analiza el comportamiento de un modelo de estimación de la irradiancia térmica atmosférica cuyos datos de entrada incluyen información adquirida mediante teledetección. El estudio se restringe a la situación de cielo despejado y las estimaciones se contrastan con observaciones realizadas en una estación radiométrica situada en la Universidad de Almería (36.83 °N, 2.41 °W). El comportamiento del modelo, basado en el uso de la información proporcionada por la sonda TOVS a bordo de los satélites NOAA12 y NOAA14, se contrastan con el proporcionado por modelos de diferente complejidad basados exclusivamente en información de superficie. Se evidencia que a pesar de la simplicidad de su planteamiento el modelo basado en teledetección proporciona una mejor estimación a lo largo de todo el día, mientras que los modelos de superficie presentan importantes sobreestimaciones en las horas centrales del día.

**ABSTRACT:** This work analyses the performance of a model for the estimation of incoming atmospheric thermal irradiance based on remote sensing information. The study is restricted to clear sky conditions and the model estimations are compared to surface measurements carried out in a radiometric station located in the University of Almería (36.83 °N, 2.41 °W). The model, which uses the TOVS channel on board of NOAA12 and NOAA14 satellites, is also compared with other equivalent models that use only screen level data. As conclusion, the model based on satellite information present an adequate performance, especially for daily estimations where surface models show more errors.

**Palabras clave:** Irradiancia térmica atmosférica, teledetección, modelos de estimación

### INTRODUCCIÓN

Entre los procesos de superficie en la geosfera y en la biosfera los intercambios de energía juegan un papel fundamental. Así, si queremos estudiar los procesos que contribuyen al establecimiento de microclimas particulares es necesario el conocimiento de las componentes del flujo de energía en superficie. En lo referente a la componente radiativa de este flujo es importante conocer no sólo el término de radiación neta, sino que es fundamental conocer la contribución de los flujos incidentes y emergentes tanto de onda corta (0.4-4 µm) como de onda larga (4-50µm). En lo referente a la componente de onda larga hay que decir que esta caracterización no es, ni mucho menos, inmediata. Esto es debido, principalmente, a la escasa cobertura de las redes de medida en superficie implantadas hasta la fecha, así como a la existencia de ciertos errores instrumentales en los dispositivos radiométricos disponibles, todavía no resueltos de

forma completa (Alados-Arboledas et al., 1988; Pérez y Alados Arboledas, 1999).

Como consecuencia de lo anterior, se han desarrollado diferentes procedimientos de estimación de la irradiancia térmica atmosférica a partir de información accesible. Estos modelos se han desarrollado normalmente para condiciones de cielo despejado, de modo que su aplicación a condiciones de cielo cubierto se ha hecho mediante la introducción de un término corrector. En este trabajo nos centraremos en estudiar la situación de cielo despejado. Entre los métodos de estimación se pueden distinguir básicamente dos grandes grupos. En primer lugar se encuentran los métodos de tipo físico, basados en la solución numérica o analítica de la ecuación de transporte radiativo. Estos modelos requieren información sobre la composición y estructura vertical de la atmósfera. Por otro lado, tenemos los métodos de tipo empírico, obtenidos a partir de correlaciones entre observaciones de irradiancia térmica y otras

variables en superficie, especialmente índices de contenido de vapor de agua. Estos últimos, aunque mucho más simplificados, suelen presentar un marcado carácter local y no recogen las variaciones de estructura vertical de la atmósfera que afectan a los primeros metros de atmósfera a lo largo de un día (Alados Arboledas, 1993).

De los modelos de tipo físico con capacidad para incorporar información vertical, en este trabajo se ha seleccionado el propuesto por Prata (1996):

$$L_0 = \left[ 1 - (1 + \xi) \exp(-1.2 + 3.0\xi)^{\frac{1}{2}} \right] \sigma T_s^4 \quad (1)$$

donde  $L_0$  es la irradiancia bajo cielo despejado y

$$\xi = \frac{M_a}{R\psi \left[ H_v^{-1} + \gamma / T_s \right]} \left( \frac{e_s}{T_s} \right) \quad (2)$$

$\psi \approx 1.006$ ,  $M_a$  es la masa molecular del aire seco,  $R$  la constante de los gases perfectos,  $e_s$  (hPa) y  $T_s$  (K) la presión parcial de vapor y temperatura en superficie y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzman ( $5.667 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ). La dependencia con la estructura vertical está determinada por  $H_v$  (km) y  $\gamma$  ( $^{\circ}\text{Ckm}^{-1}$ ) que son respectivamente la altura de escala del contenido de vapor de agua atmosférico y el gradiente vertical de temperatura en la troposfera.

En ausencia de otros valores más representativos, se suelen considerar valores estándar de estos parámetros ( $H_v = 2 \text{ km}$ ,  $\gamma = 6 \text{ }^{\circ}\text{Ckm}^{-1}$ ). De este modo

$$\xi = 46.5 \left( \frac{e_s}{T_s} \right) \quad (3)$$

De entre los modelos empíricos, uno de los más aceptados es el propuesto por Berdahl y Martin (1984), elaborado con una amplia base de datos de superficie y formulado de la siguiente manera:

$$L_0 = [ 0.711 + 56 \cdot 10^{-4} t_{\text{roc}} + 73 \cdot 10^{-6} t_{\text{roc}}^2 ] \sigma T_s^4 \quad (4)$$

donde  $t_{\text{roc}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) es la temperatura de rocío en superficie,  $T_s$  (K) la temperatura de bulbo seco a nivel de garita.

La disponibilidad de datos de satélite permite, sin embargo, plantear la cuestión desde un punto de vista más general y completo (Schmetz,

1991). Existen en este sentido diferentes aproximaciones a partir de los diferentes canales disponibles (Schmetz *et al.*, 1986; Tuzet, 1990; Schwieger y Key, 1997; Shanz y Schüssel, 1997). De todas ellas, en este trabajo se ha optado por la utilización de un método basado en los perfiles atmosféricos obtenidos a través de la sonda TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder), incorporado en la familia de satélites NOAA. El modelo ha sido propuesto por Gupta (1989), y presenta una simplicidad formal, perfectamente comparable a los modelos de datos de superficie anteriormente mencionados.

$$L_0 = [ a_0 + a_1(\ln W_s) + a_2(\ln W_s)^2 + a_3(\ln W_s)^3 ] T_e^{3.7} \quad (5)$$

en la que  $a_0 = 1.791 \cdot 10^{-7}$ ,  $a_1 = 2.093 \cdot 10^{-8}$ ,  $a_2 = -2.748 \cdot 10^{-9}$  y  $a_3 = 1.184 \cdot 10^{-9}$ .  $W_s$  (mm) es el contenido total en agua precipitable obtenido del tratamiento de los datos TOVS, y  $T_e$  es una temperatura resultante de la ponderación de la temperatura en superficie  $T_s$  y las temperaturas de los niveles 1 y 2 del perfil TOVS analizado, esto es, los niveles superficie-850 hPa y 850-700 hPa, respectivamente.

$$T_e = 0.5T_s + 0.4T_1 + 0.1T_2 \quad (6)$$

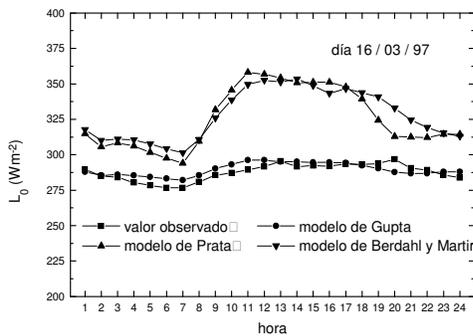
## MATERIAL Y MÉTODO

Se ha contado con dos fuentes de datos principales que cubren el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1997 y el 31 de diciembre de 1997. Por un lado, los datos de superficie de la estación radiométrica del grupo de Física de la Atmósfera en el campus de la Universidad de Almería (36.8  $^{\circ}\text{N}$ , 2.41  $^{\circ}\text{W}$ ). Por otro lado, hemos dispuesto de perfiles de humedad y temperatura obtenidos mediante procesado de los datos de la sonda TOVS mediante el algoritmo ITPP 5.0 (CIMSS, 1995). Estos datos incluyen información sobre el contenido de agua precipitable y ozono totales. Asimismo proporciona la temperatura en 14 niveles (850, 700, 500, 400, 300, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa) y temperatura de punto de rocío en cinco niveles (850, 700, 500, 400, 300 hPa).

La base de datos en superficie contiene valores horarios de temperatura y humedad relativa a nivel de garita y datos de irradiancia térmica atmosférica obtenida con un pirgeómetro de la firma EPPLEY modelo PIR. Este instrumento es calibrado periódicamente y las lecturas diurnas del mismo son convenientemente corregidas del efecto del calentamiento solar de la cúpula (Alados-Arboledas

et al., 1988; Pérez y Alados Arboledas, 1999).

De la información TOVS disponible se han extraído aquellos perfiles correspondientes a una cuadrícula de dimensiones  $1^\circ \times 1^\circ$  que contiene la localización geográfica de la estación en superficie de referencia. Por otro lado, con ayuda, tanto de observaciones sinópticas como del análisis de los flujos en onda corta en superficie medidos en la propia estación, se han seleccionado los casos de cielo despejado. De manera que, para este análisis se ha dispuesto de un conjunto de 168 observaciones horarias en las que la cantidad de nubes fue nula y en las que existían datos TOVS suficientes para la estimación de irradiancia térmica incidente mediante el modelo desarrollado por Gupta. De forma equivalente, se han realizado las estimaciones con los datos en superficie mediante los modelos propuestos por Prata y por Berdahl y Martin.



**Figura 1:** Evolución diaria de la irradiancia térmica de cielo despejado observada y estimada por los diferentes modelos analizados.

## RESULTADOS

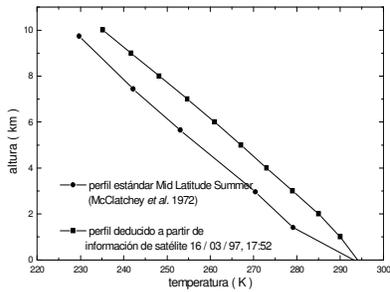
Los resultados de la comparación entre las estimaciones de irradiancia térmica atmosférica y las correspondientes observaciones en superficie se resumen en la Tabla 1. En dicha tabla MBE es la desviación media observada entre las estimaciones de los modelos y las propias observaciones, y RMSE es el error cuadrático medio. Se puede observar cómo todos los modelos sobrestiman los valores experimentales. En el caso del modelo de Gupta tanto RMSE como MBE presentan valores próximos al 5% del valor medio y, por tanto, próximo al error experimental. En cambio los otros modelos triplican la magnitud de ambos errores. Es de señalar que

estas diferencias de comportamiento son resultado de la variación de las condiciones verticales de la atmósfera. La figura 1 muestra la evolución de las medidas y las estimaciones para un día completamente despejado. Asimismo, es evidente que los modelos Berdahl y Martin y el propuesto por Prata sobrestiman a lo largo de todo el día, pero especialmente en las horas centrales del mismo. En cambio el modelo de Gupta proporciona un mayor acuerdo a lo largo de todo el día, evidenciando lo importante que es contabilizar las variaciones en la estructura vertical de la atmósfera.

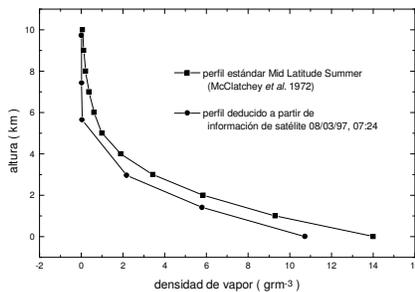
|                    | Gupta | Prata | B&M  |
|--------------------|-------|-------|------|
| MBE ( $Wm^{-2}$ )  | 14.2  | 47.6  | 42.7 |
| RMSE ( $Wm^{-2}$ ) | 17.8  | 49.5  | 45.4 |

**Tabla 1:** Resultados de la comparación entre observaciones y estimaciones para los diferentes modelos analizados.

Los resultados concuerdan con las conclusiones de un análisis previo sobre la aplicación de modelos de tipo físico al entorno considerado (Pérez y Alados- Arboledas, 98) del que se dedujo la necesidad de considerar parámetros sobre la estructura vertical de la atmósfera con valores distintos a los típicos, a la vista de los valores de irradiancia observados. En aquel análisis, se estableció, por ejemplo, la posible influencia de la altura de escala del vapor de agua,  $H_v$ , aunque la ausencia de datos verticales limitaba la aplicación de las conclusiones obtenidas. En este caso, la información proporcionada por los perfiles deducidos a partir de la información de satélite, permite evaluar esta cuestión de forma más rigurosa. Por ejemplo, las figuras 2 y 3 muestran las diferencias entre la información sobre la distribución vertical temperatura y humedad proporcionadas por el satélite y la correspondiente a un modelo estándar usado en la formulación del modelo simplificado de Prata.



**Figura 2:** Comparación entre distribución vertical de temperatura para la atmósfera de referencia MSA ( Mid Latitude Summer Atmosphere) según McClatchey *et al.* (1972) y la deducida a partir de una observación TOVS individual en el emplazamiento analizado



**Figura 3:** Comparación entre distribución vertical de contenido de vapor de agua atmosférico estándar para la atmósfera de referencia MSA ( Mid Latitude Summer Atmosphere) según McClatchey *et al.* (1972) y la deducida a partir de una observación TOVS individual.

## CONCLUSIONES

La conclusión principal obtenida es la adecuación del modelo de Gupta, basado en datos de satélite, para la predicción de la irradiancia térmica atmosférica en cielos despejados en el entorno analizado. Esta mejor adecuación puede atribuirse a la posibilidad ofrecida por dicho modelo de utilizar información vertical real, en este caso inferida a través de las propias medidas del satélite, en lugar de información vertical de tipo medio o estándar como la utilizada por los modelos de tipo físico simplificados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alados-Arboledas, L., Vida, J. and Jiménez, J.I. (1988) Effects of solar radiation on the performance of pyrgeometers with silicon domes, *J. Atmos. Ocean., Technol.*, **5**, 666-670.
- Alados-Arboledas, L. (1993): The Estimation of Hourly Values of Downward Atmospheric Radiation under Cloudless Skies during Day- and Night-time conditions, *Theor. Appl. Climatol.*, **48**, 127-132.
- Berdhal, P. y M. Martin (1984): Emissivity of clear skies, *Solar Energy*, **32** (5), 663-664.
- CIMSS (1995). International TOVS Processing Package (ITPP 5.0) User Guide. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS). Universidad de Wisconsin-Madison.
- Gupta, S. K. (1989): A parameterization for longwave surface radiation from sun-synchronous satellite data, *Journal of Climate*, **2**, 305-320.
- McClatchey, R.A., R.W. Fenn, J.E.A. Selby, F. E. Volz y J.S. Garing (1972): Optical Properties of the atmosphere. Air Force Cambridge Research Laboratory, AFCRL-72-0497.
- Pérez, M. y L. Alados-Arboledas (1998): On the use of physical based models to estimate effective sky emissivity from surface data in absence of clouds. Comunicación al II Congreso Europeo de la Sociedad Internacional de Energía Solar, 14-17 Septiembre de 1998, Portoroz (Slovenia). (En prensa)
- Pérez, M. y L. Alados-Arboledas (1999): Effects of Natural Ventilation and Solar Radiation on the performance of Pyrgeometers. *J. Atmos. Ocean., Technol.*, **16** (1), 174-180.
- Prata A.J. (1996). A new longwave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, **122**, 1127-1151.
- Schmetz J., (1991). Retrieval of surface radiation Fluxes from satellite data. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **16**, 61-72.
- Schmetz P., J. Schmetz y E. Rashke (1986). Estimation of Daytime Longwave radiation at the Surface from Satellite and Grid Point Data. *Theoretical and Applied Climatology*, **37**, 136-149

Schweiger A.J. y J. R. Key (1997). Estimating surface radiation fluxes in the Arctic from TOVS brightness temperatures. . *International Journal on Remote Sensing*, **18** ( 4), 955-970

Shanz, L. C. y P. Schlüssel (1997). Atmospheric back radiation in the Tropical Pacific: Intercomparison of in situ Measurements, Simulations and Satellite Retrievals. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **63**, 217-226.

Tuzet A. (1990). A simple method for estimating downward longwave radiation from surface and satellite data by clear sky. *International Journal on Remote Sensing*, **11** ( 1), 125-131.

**AGRADECIMIENTOS:** Este trabajo ha sido financiado por la CICYT a través del proyecto CLI-98-0912-C02-01. Agradecemos al proyecto ADIOS gestionado por la Unidad de Gestión de Buques Oceanográficos (UGBO/CSIC) los datos TOVS proporcionados para este estudio.