TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España, 1999. pp. 149-152.
Editores: Santiago Castaño Fernández y Antonio Quintanilla Rodenas

INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA ESTIMACIÓN DE LOS VALORES DE IRRADIACIÓN SOLAR A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS

J. Tovar (*), C. Pinilla (**) y F. J. Ariza (**)

jtovar@ujaen.es

* Dpto. de Física, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén, 23071 Jaén, España.
** G. I. en Ingeniería Cartográfica, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén, 23071 Jaén, España.

RESUMEN

Se analiza la influencia de la variabilidad temporal de la radiación solar en la estimación de la irradiación solar cuando se utilizan imágenes de satélites. Para obtener la irradiación se utilizan los valores puntuales de irradiancia obtenidos de las imágenes de satélites, sin que sea posible conocer los valores de irradiancia en los momentos intermedios a los instantes de recepción de las imágenes. Para el estudio se han obtenidos las funciones de distribución de valores de 1 minuto del índice de claridad k_t, que representa el cociente entre el valor de irradiancia solar horizontal que se está recibiendo en un punto de la Tierra y la de irradiancia solar horizontal disponible fuera de la atmósfera terrestre. Se aprecia que cuando el valor promedio horario es mayor disminuye drásticamente la variabilidad y por tanto aumenta la probabilidad estadística de que un valor cualquiera de k_t medido dentro de la hora esté mas cercano al valor promedio horario.

ABSTRACT

In this work we analyse the influence of temporal variability of solar radiation on the estimation of solar irradiation obtained from satellite images. To obtain the irradiation, firstly it is necessary to estimate the irradiance values correspondent to actual time of reception of images, and then the irradiation is calculated by means of the algorithms, without the possibility of knowing the irradiance values in the intermediate times. For our study we have obtained the 1 minute values distribution functions of the index of clarity k_t, that represents the ratio between the horizontal global irradiance in a point of the earth and the extraterrestrial horizontal global irradiance. It is appreciated that when hourly average increase, the variability have a hard decreasing and, consequently, increases the statistical probability that a k_t value measured in the hour is near to the k_t hourly average.

Palabras clave: Satélites meteorológicos. Radiación solar. Variabilidad intrahoraria del índice de claridad. Modelado del comportamiento de k_t. Funciones de distribución del índice de claridad.

1. INTRODUCCIÓN

Las imágenes de satélites meteorológicos son en la actualidad una fuente fundamental para obtener datos de radiación solar debido fundamentalmente a la amplia cobertura espacial. Esta gran cobertura contrasta, sin embargo, con la pequeña frecuencia temporal que proporcionan y que es necesaria cuando se trata de estudiar gran parte de fenómenos meteorológicos, por lo general muy dinámicos. La relación inversa que hay entre la resolución espacial y temporal obliga a la utilización de datos muy espaciados en el tiempo sin que sea posible conocer el valor que estos adquieren dentro de los intervalos de recepción de las imágenes. Por este motivo posee gran interés analizar las relaciones que pueda haber entre los valores puntuales de irradiancia solar obtenidos directamente de las imágenes obtenidas por teledetección y los valores probables de esta magnitud dentro de dichos intervalos. El análisis de la variabilidad temporal se muestra, por tanto, como una herramienta imprescindible para mejorar la estimación de la irradiancia solar en super-

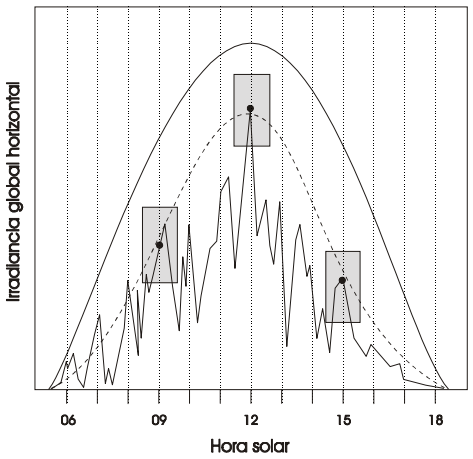


Fig. 1 Ejemplo donde se muestra la marcha diaria de la irradiancia solar y los momentos en que un satélite proporciona una imagen a partir de la cual debe estimarse los valores de irradiación diarios o de intervalos más amplios. La línea continua marca el corresponde al valor de la irradiancia extraterrestre, mientras la línea de punto podría ser la marcha estimada de los valores recibidos en superficie teniendo únicamente como referencia los tres puntos correspondientes a las 9.00, 12.00 y 15.00 horas.

ficie a partir de las medidas obtenidas mediante sensores remotos.

Tanto para la estimación los valores diarios y mensuales de irradiación (Möser and Raschke, 1984; Cano et al.,1986; Stuhlmann et al., 1990; Delorme et al. ,1992; Laszlo and Pinker, 1993; Beyer et al.,1995; Beyer et al.,1996) como para la simulación del comportamiento de sistemas de conversión de energía solar (Perez el al., 1994) se han desarrollado diversas varias rutinas que utilizan los valores de irradiancia obtenidos mediante imágenes de satélites. En todos los casos se utilizan un número de imágenes de satélites a partir de los cuales se hace una estimación de los valores de irradiancia solar que se está recibiendo en superficie. Los valores estimados corresponden a unos valores puntuales. A partir de esos valores puntuales es necesario, mediante los correspondientes algoritmos, obtener una estimación de los valores de irradiación horarios o diarios. La Fig. 1 visualiza un posible caso de la marcha de la irradiancia solar en un día. En ella se han indicado los valores instantáneos en que se recibe una imagen de satélite que sirve como base para la posterior estimación de los valores de radiación recibida en intervalos mas amplios de tiempo. Parece

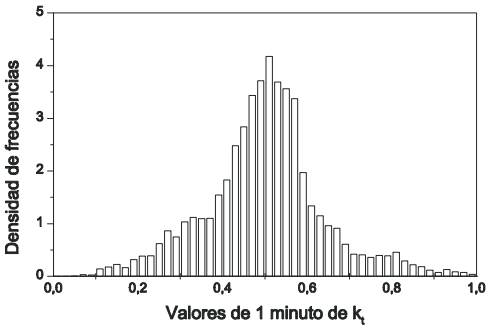


Fig 2.- Densidad de distribución de los valores de 1 minuto de k_t correspondiente al valor promedio horario 0.5. El posible rango de variación de k_t (0,1) se ha dividido en 50 particiones de anchura (0.02).

lógico plantearse hasta que punto esta información es suficiente para una adecuada estimación, por ejemplo, de la radiación solar recibida en un día. También tiene interés saber si, aun pudiendo disponer de mas imágenes, es suficiente con un número determinado de ellas para una correcta estimación de los valores de radiación solar. Actualmente, por ejemplo, se puede disponer de imágenes METEOSAT cada 30 minutos, mientras que en la nueva generación del sistema METEOSAT (MSG) el intervalo entre imágenes será de 15 minutos. Con estos límites máximos se trataría de seleccionar en cada situación el número mínimo de imágenes adecuado.

2. DATOS EXPERIMENTALES Y METODO

Los datos meteorológicos y radiométricos que se han utilizado en este trabajo se han registrado en la estación meteorológica Armilla (37.13 º N, 3.63 W, 687 m sobre el nivel del mar), en las proximidades de Granada, España. Los registros han sido obtenidos cada 1 minuto desde Diciembre de 1993 hasta Noviembre de 1996. Para evitar el problema de la respuesta coseno de los sensores solamente se han utilizado datos donde el ángulo de elevación es mayor de 5º. Las medidas de irradiancia global tiene un error experimental estimado en torno al 3%.

El análisis de los valores de irradiancia global se ha realizado utilizando el índice de claridad (k_t) que representa la relación entre la irradiancia global hori-

zontal recibida en superficie y la irradiancia global horizontal disponible en el límite superior de la atmósfera en ese mismo instante de tiempo. Se ha analizado la secuencia temporal de los datos obtenidos y las distribuciones estadísticas de los valores de 1 minuto de k_t que aparecen para cada valor determinado de $\bar{k}_t^H$ (valor promedio horario de irradiancia). Para el análisis de las distribuciones se ha dividido el posible rango del índice de claridad (0-1) en 50 intervalos de anchura 0.02 que se ha denotado por (0|0.02|1). Los valores en el paréntesis indican el comienzo del primer intervalo, la anchura de cada partición y el final del intervalo. Para nuestro estudio se han utilizado aquellas distribuciones para valores de $\bar{k}_t^H$ igual a 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7. Para ellos se han seleccionado aquellas horas cuyos valores promedio del índice de claridad eran iguales a estas cantidades ± 0.05. El número total de datos utilizados que cumplían con estas condiciones ha sido del orden de 100.000. La fig. 2 muestra la distribución que aparece para $\bar{k}_t^H$=0.5

3. DISTRIBUCIONES DE LOS VALORES DE k_t DE 1 MINUTO DEPENDIENDO DEL PROMEDIO HORARIO D E LA RADIACIÓN Y AJUSTE DE LAS DISTRIBUCIONES.

Al estudiar las distribuciones de los valores de k_t de 1 minuto para los diferentes valores promedios horarios $\bar{k}_t^H$ (0.3|0.1|0.7) se observa que mientras que las funciones de distribución de los valores de irradiancia de 1 minuto condicionadas a la masa óptica m_a presentaban una bimodalidad característica (Tovar et al, 1998), este tipo de distribuciones es de tipo unimodal. Se puede observar también, en la mayor parte de las distribuciones, una marcada simetría de las curvas en torno a un máximo centrado que corresponde con el valor de $\bar{k}_t^H$. Este aspecto es especialmente marcado para valores de $\bar{k}_t^H$ en torno a valores medios (entre 0.45 y 0.65) mientras que las particiones más extremas muestran ya una cierta asimetría, con distinto signo según nos movamos hacia mayores o menores valores de $\bar{k}_t^H$.

Un aspecto a reseñar en las distribuciones es que aquellas que corresponden a $\bar{k}_t^H$ más bajos presentan valores en todo el rango de la distribución siendo, por tanto, de una anchura mayor. La dispersión de los datos es por tanto mas grande que las distribuciones que corresponden a $\bar{k}_t^H$ altos. En estas últimas los valores de $\bar{k}_t^H$ sólo pueden ser el resultado de valores de k_t muy altos. Esto queda reflejado en el carácter más leptocúrtico de estas distribuciones, con una gran concentración de valores de k_t próximos a $\bar{k}_t^H$. Esto supone que un valor de k_t obtenido aleatoriamente de una serie temporal tiene una probabilidad mas alta de que esté próximo al valor promedio temporal en el caso de las distribuciones correspondientes a $\bar{k}_t^H$ elevados.

La distribuciones se han ajustado mediante un tipo de función utilizada anteriormente para modelizar distribuciones de valores de 1 minuto condicionadas a la masa óptica (Tovar et al, 1998). Este tipo de función proporciona buenos ajustes. Cada uno de los parámetros que intervienen en esta función está relaciona con la forma de la distribución y , en definitiva, con el comportamiento de la radiación solar. Los parámetros que intervienen en este tipo de función pueden correlacionarse con el valor promedio horario $\bar{k}_t^H$ correspondiente a cada distribución.

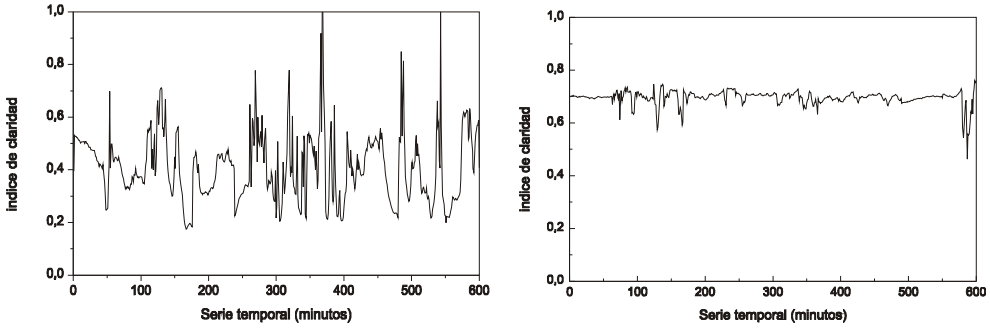
En la fig. 3 se muestra el comportamiento de los valores de k_t de 1 minuto correspondientes a dos de las distribuciones ($\bar{k}_t^H$ = 0.40 y $\bar{k}_t^H$ = 0.70) analizadas. Se han representado de cada una de ellas 10 horas consecutivas. En las figuras se puede apreciar que la distribución $\bar{k}_t^H$ = 0.40 tiene una variabilidad mucho mas grande que la correspondiente a $\bar{k}_t^H$ = 0.70, cuyos valores se agrupan fuertemente en torno al valor promedio.

RESULTADOS

Algunos aspectos a reseñar del estudio realizado son los siguientes:

La variabilidad intrahoraria de los valores de k_t de 1 minuto disminución sustancialmente al aumentar los valores de $\bar{k}_t^H$. Esto supone que para la obtención de valores de irradiación a partir de imágenes de satélites debería utilizarse mayor cantidad de imágenes diarias para valores de $\bar{k}_t^H$ bajos.

Las funciones utilizadas para modelizar el comportamiento estadístico de la radiación proporcionan buenos ajustes para este tipo de distribuciones.



a) b)

Fig. 3.- Series temporales de datos de 1 minuto donde se manifiesta el diverso comportamiento de los valores dependiendo del promedio horario. En cada una de las series se ha representado los valores de kt de 1 minuto correspondientes a 10 horas consecutivas. a) Cuando el valor promedio horario es 0.4. b) Cuando el valor promedio horario es 0.7. Puede apreciarse la distinta variabilidad que exhiben los valores de irradiancia en cada una de ecuencias temporales correspondientes a cada distribución.

BIBLIOGRAFIA

Beyer, H.G., Constanzo C. and D. Heinemann (1995). Modifications of the Heliosat procedure for irradiance estimates from satellite images. *Solar Energy* 56, 207-213.

Beyer, H.G., Constanzo C. and Reise Ch. (1995). Multiresolution analysis of satellite-derived irradiance maps an evaluation of a new tool for the spatial characterization of hourly irradiance fields. *Solar Energy* 55, 9-20.

Cano, D., Monglet, J.M., Albuisson, M., Guillard, H. (1986). A method for determination of the global solar radiation from meteorological satellite data. *Solar Energy,* **37**, 31-39.

Dedieu Dedieu, G. Deschamps, P.Y. and Kerr, Y.H. (1987) Satellite estimation of solar irradiance at the surface of the earth and of surface albedo using a physical model applied to METEOSAT data. *J. Climate Appl. Meteor.* 26, 79-87.

Delorme, C., Gallo,A., Olivieri, J. (1992) Quick use of wefax images from Meteosat to determine daily solar radiation in France. *Solar Energy,* 49, 191-197.

Laszlo I. and Pinker R.T. (1993). Global distribution of surface solar irradiance as observed from satellites. *Proc. ISES Solar World Cong.,* Budapest 2, 179-184.

Möser, W. and Raschke, E. (1984). Incident solar radiation over Europe estimated from METEOSAT data. *Journal of Climate and Applied Metereology,* 23, 166-170.

Perez, R., Seals R., Stewart R., Zelenka A. and Estrada-Cagigal V. (1994) Using satellite derived insolation data for the site/time specific simulation of solar energy systems. *Solar Energy* 53, 491-495.

Stuhlmann, R., Rieland, M., and Raschke, E. (1990) An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 29, 586-603.

Tovar, J., Olmo, F.J., Alados-Arboledas, L. (1998) One-minute global irradiance probability density distributions conditioned to the optical air mass. *Solar Energy,* 62,387-393.