



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

# Identificación De Cielos Despejados A Través De Medidas De Radiación Solar En Superficie

Marta Guitián Pena, Septiembre 2015

*Máster en Geofísica y Meteorología  
Universidad de Granada*

**Resumen.** En este trabajo se evalúa y compara la eficacia de 4 criterios para la identificación de cielos despejados a partir de medidas instantáneas de irradiancia solar en superficie, tomadas en la ciudad de Granada a lo largo de un año. Estos criterios han sido elegidos dentro de los más usados en la comunidad científica, en base a una complejidad progresiva, sin que lleguen a ser necesarios métodos computacionales. Dichos criterios hacen uso de las medidas de irradiancia solar en superficie, variables a partir de las cuales se definen unos *índices de cielo*, que sirven para caracterizar el estado del cielo. Los dos primeros criterios utilizan el llamado *índice de claridad*,  $k_t$ , cuyo cálculo requiere el conocimiento de la irradiancia global y los restantes usan unos índices que requieren además el conocimiento de la irradiancia difusa (componente de la global). El último criterio a diferencia de los anteriores resulta de aplicar diferentes tests sucesivos. La capacidad de clasificación de estos criterios entre cielos despejados o no se analiza a través de los parámetros estadísticos de sensibilidad, especificidad y valores predictivos positivo y negativo. Para ello se comparan los resultados de cada criterio con las medidas obtenidas por una cámara de nubes, que determina la cobertura a partir de imágenes dadas por la cámara, considerando cielos despejados aquellos con 0 octas. Este trabajo concluye que de los 4 criterios el último es considerablemente mejor que los demás, con sensibilidad, especificidad, y valores predictivos por encima de 0.8. Los demás criterios tienen también sensibilidad y valor predictivo altos, sin embargo su especificidad y valor predictivo positivo son bastante menores aunque cercanos a 0.55. Por otro lado se evalúa la eficacia de cada test que conforma el criterio 4, resultando bastante mejor el test basado en la irradiancia difusa. Así, podemos concluir que es posible identificar cielos despejados a partir de medidas de irradiancia solar en superficie cuando no se dispone de información directa de la cobertura nubosa, siendo la componente difusa la que mejor recoge la información del estado del cielo, dado que esta componente aumenta considerablemente su proporción bajo la presencia de nubes. Estos criterios fáciles de aplicar permiten caracterizar el estado del cielo con variables usualmente medidas en la mayoría de las estaciones radiométricas.

**Palabras clave:** irradiancia global, irradiancia difusa, cielo despejado, índice de cielo.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las condiciones del cielo en relación con la presencia de nubes es de gran interés en diferentes áreas, principalmente en las relacionadas con el aprovechamiento de la radiación solar como recurso energético. El objetivo principal de este trabajo es la identificación de cielos despejados, comparando diferentes criterios muy usados en la bibliografía y proponiendo algunas modificaciones a los mismos. Estos criterios de identificación de cielos despejados usan unos índices que caracterizan el estado del cielo, los cuales se definen a partir de las medidas de radiación solar en superficie.

Para tal fin, se ha llevado a cabo un análisis de un año completo de datos instantáneos de medidas tomadas por el Grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de Granada (GFAT), en la ciudad de Granada. Estos datos incluyen medidas de la radiación solar global y sus componentes, así como medidas de la cobertura nubosa.

## INSTRUMENTACIÓN Y MEDIDAS

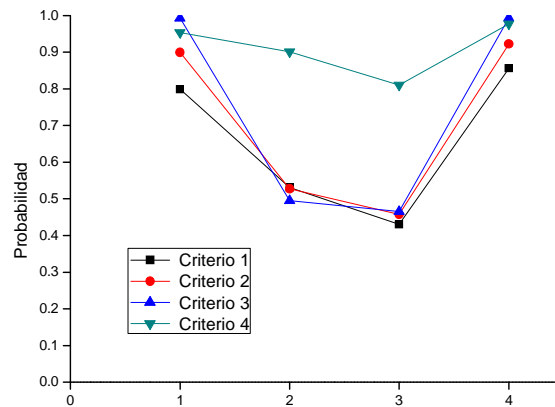
Los datos experimentales corresponden a un año completo de datos tomados en la terraza del IISTA-CEAMA en Granada (37.17°N, 3.61°O, 680 m.a.s.l.). Granada tiene un clima mediterráneo continental, con gran dependencia estacional de temperaturas y precipitaciones, siendo escasas estas últimas. Su clima y topografía favorecen las inversiones térmicas y las velocidades de viento muy bajas. Granada está frecuentemente influenciada por masas de aire procedentes del Norte de África y de Europa. Las fuentes locales de aerosol provienen principalmente del tráfico (gasoil) y del suelo y de la calefacción doméstica.

En este trabajo se emplean datos de irradiancia solar global y difusa, y datos de la cobertura nubosa proporcionados por una cámara de nubes. Se trata de medidas instantáneas tomadas cada 5 minutos. Las irradiancias solares han sido medidas con dos piranómetros; uno para las medidas de la global, y otro para la difusa, gracias a una banda de sombra que oculta el Sol. Los piranómetros (Kipp Zonen, serie CM-11) miden la densidad de flujo de radiación solar en un campo de visión de 180°, empleando una pila termoeléctrica como sensor.

Una cámara de nubes dispone de un sistema de imagen automático que captura a nivel de suelo la cobertura nubosa de todo el cielo, y obtiene, mediante un software, datos cuantitativos de la cantidad de cielo cubierto por las nubes. La cámara empleada es una adaptación de una cámara científica basada en Dispositivos de Carga Acoplada (CCD en sus siglas en inglés) desarrollada por Cazorla et al. (2008). Es una cámara de video digital en color con una lente ojo de pez, es decir, con campo visual de 180°, apuntando al cenit.

## RESULTADOS

El análisis de la eficacia de los 4 criterios evaluados en este trabajo para identificar cielos despejados, se lleva a cabo mediante una comparación con un criterio de referencia, que hemos considerado como válido, éste es el de considerar cielos despejados aquellos con 0 octas, información obtenida a partir de las medidas proporcionadas por la cámara de nubes. Estos criterios hacen uso de unos *índices de cielo*, definidos a partir de las medidas de irradiancia solar en superficie. La comparación se hace a través de unas Tablas de contingencia y unos parámetros como son la sensibilidad, especificidad y valor predictivo positivo y negativo. Los criterios 1 y 2 emplean el índice de claridad,  $k_t$ , en el que interviene la irradiancia solar global. El 1 impone un límite constante a dicho índice, y el 2 un límite dependiente de la posición solar. Los otros dos usan unos índices que necesitan el conocimiento además de la irradiancia global, de la irradiancia difusa (componente de la global). Los parámetros estadísticos para la evaluación de la eficacia de los criterios se muestran en la siguiente Figura:



**FIGURA.** Probabilidades de acierto de los diferentes criterios. (1: Sensibilidad, 2: Eficacia, 3: Valor predictivo positivo, 4: valore predictivo negativo).

En la Figura destacan los altos valores de todos los parámetros para el criterio 4 (Long y Ackerman, 2000) frente al resto de criterios, por lo que se concluye que es el mejor para la identificación de cielos despejados. El criterio 1, que considera un límite constante para  $k_t$  es claramente peor que el 2, luego si se hace uso de este índice para discernir cielos despejados es necesario incluir la dependencia con la posición solar. El criterio 1 es entonces el más simple, pero también el menos eficaz.

## CONCLUSIONES

Si en la identificación de cielos despejados no se dispone de medidas directas de la cobertura nubosa, se puede hacer uso de medidas de radiación solar en superficie, que

usualmente son medidas en la mayoría de las estaciones radiométricas. Estas medidas permiten aplicar unos criterios establecidos a partir de unos índices que caracterizan el estado del cielo, sin incluir la dependencia solar. El índice más idóneo será aquel que contabilice mejor la variabilidad de la irradiancia solar en superficie debido a la presencia de nubes, siendo la componente difusa la que recoge mejor la información sobre la nubosidad presente en el cielo, dado que esta componente aumenta su proporción en gran cantidad bajo la presencia de nubes. Así el criterio de Long y Ackerman (2000) ha demostrado ser el más eficaz de los evaluados en este trabajo, haciendo uso de tests sucesivos que requieren el conocimiento de la irradiancia solar global y de su componente difusa.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora Inmaculada Foyo Moreno sus inspiradas correcciones, su paciencia y el esfuerzo realizado.

## REFERENCIAS

1. Iqbal, M., “*Prediction of Hourly Diffuse Solar Radiation from Measured Hourly Global Radiation on a Horizontal Surface*,” in *Solar Energy*, 1980, 24(5) pp 491-503.
2. Lyamani, H., Olmo, F. J., Alados-Arboledas, L., “*Physical and Optical Properties of Aerosols Over an Urban Location in Spain: Seasonal and Diurnal Variability*”, in *Atmos. Chem. Phys*, 2010, 10 pp. 239-254.
3. Agencia Estatal de Meteorología (aemet). Disponible en: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=5530E&k=and>
4. Lyamani, H., Olmo, F. J., Foyo, I., Alados-Arboledas, L., “*Black Carbon Aerosols over an Urban Area in South-Eastern Spain: Changes Detected after the 2008 Economic Crisis*”, in *Atmospheric Environment*, 2011 45(35) pp. 6423-6432.
5. Titos, G., Foyo-Moreno, I., Lyamani, H., Querol, X., Alastuey, A., Alados-Arboledas, “*Optical Properties and Chemical Composition of Aerosol Particles at an Urban Location: An Estimation of The Aerosol Mass Scattering and Absorption Efficiencies*”, in *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2012, 117(D4)
6. Cazorla, A., Olmo F. J., Alados-Arboledas, L., “*Development of a Sky Imager for Cloud Cover Assessment*”, in *Journal of the Optical Society of America A*, 2008<sup>a</sup> 25 (1), pp. 29-39-
7. Wikipedia, la enciclopedia libre. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Lp02-manual-v02.gif>
8. Kasten, 1984
9. Igawa, N., Koga, Y., Matsuzawa, T., Nakamura, H., “*Models of Sky Radiance Distribution and Sky Luminance Distribution*”, in *Solar Energy*, 2004, 77 pp. 137-157.
10. Long, C. N., y Ackerman, T. P., “*Identification of Clear Skys from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effect*”, in *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(12) pp. 15609-15626.
11. Alados-Arboledas, L., Olmo F. J., Alados, I., Pérez, M., “*Parametric Models to Estimate Photosynthetically Active Radiation in Spain*” in *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 101 pp. 187-201.
12. Pfister, G., McKenzie, R. L., Liley, J. B., Thomas, A., “*Cloud Coverage Based on All-Sky Imaging and Its Impact on Surface Solar Irradiance*”, in *American Meteorological Society*, 2003, pp. 1421-1434.