

Extracción de parámetros de nubes mediante imágenes de satélite

J.C. Pérez, A. González y A. Cerdeña

Lab. Comunicaciones Y Teledetección. Dpto. Física F.E.E.S. - **Universidad de La Laguna**

En este trabajo se presentan diversos procedimientos para la extracción de los parámetros característicos de las nubes utilizando técnicas de teledetección. Los métodos propuestos están basados en la utilización de modelos de transferencia radiativa, que incluyen los efectos de absorción y dispersión simple y múltiple, teniendo en cuenta las propiedades macro y microfísicas de las nubes. Con estos modelos se simulan las radiancias que reciben los distintos sensores para condiciones atmosféricas y nubosas dadas. La obtención de los parámetros de la nube a partir de las radiancias suministradas por los satélites requiere la inversión de estos modelos, que ha sido realizada empleando técnicas numéricas evolutivas.

Los métodos propuestos han sido aplicados a datos de diferentes satélites (NOAA-AVHRR, Terra-MODIS y ERS2-ATSR) pertenecientes tanto a imágenes diurnas como nocturnas. Los resultados obtenidos al aplicar dichos métodos a nubes constituidas por gotas de agua y partículas de hielo han sido contrastados con datos in-situ obtenidos en diversas campañas internacionales, observando una buena concordancia entre ambos.

1. Introducción

Las nubes modulan de forma significativa el balance energético del sistema Tierra-océanos-atmósfera, debido a su extensa cobertura espacial y temporal. Muchos han sido las teorías y experimentos de campo realizados durante las últimas décadas con el fin de mejorar la caracterización de dicha influencia. Sin embargo, la determinación de las propiedades de las nubes a gran escala requiere el uso de datos de satélites, interpretando la radiación reflejada y emitida por las nubes en diferentes bandas del espectro electromagnético. Numerosos trabajos han utilizado estas técnicas de teledetección para determinar los parámetros macro- y micro-físicos que caracterizan la cubierta nubosa, el tamaño y forma de las partículas, la geometría de la nube, su contenido en agua y su localización. La mayor parte de estos trabajos se han desarrollado utilizando imágenes diurnas, lo que permite extraer de forma independiente el espesor óptico de la nube y el tamaño de sus partículas.

En el presente trabajo se proponen algunas técnicas para la extracción de los parámetros de las nubes utilizando tanto imágenes nocturnas como sistemas multicapa. En el siguiente apartado se describen los modelos radiativos utilizados. En la sección 3 se presentan los métodos numéricos de inversión empleados para la extracción de parámetros y a continuación se muestran los principales resultados obtenidos, discutiendo la aplicabilidad de los métodos propuestos.

2. Modelo de transferencia radiativa

Con el fin de simular las radiancias observadas por los distintos sensores a bordo de satélites, es necesario utilizar un modelo de transferencia radiativa que tenga en cuenta los procesos de absorción y dispersión de la radiación por los diferentes componentes atmosféricos. Para caracterizar las propiedades radiativas de cada una de las partículas que componen las nubes se ha utilizado la teoría de Mie para las gotas de agua líquida, las cuales se han supuesto esféricas, y la parametrización de Key et al. (2002) para las partículas de hielo suponiendo seis formas básicas: columnas hexagonales sólidas y huecas, platos hexagonales, rosetas bi- y tri-dimensionales y agregados rugosos de columnas. Para considerar la dispersión múltiple se ha empleado un modelo unidimensional (DISORT 2.0, Stamnes et al., 1988), y se ha supuesto una capa de nube homogénea.

La contribución del resto de los componentes atmosféricos ha sido modelada siguiendo a Nicolet (1994) para la dispersión Rayleigh y la absorción molecular ha sido parametrizada usando el modelo de transferencia radiativa SBDART (Ricchiazzi et al., 1998). Además, las características de la superficie bajo la cubierta nubosa son estimadas a partir de zonas despejadas próximas a los píxeles de interés.

Las radiancias simuladas para una situación particular son pesadas por la respuesta del filtro de cada uno de los canales y transformadas a reflectancia o temperatura de brillo, según la región espectral de la banda.

3. Método de extracción

El modelo de transferencia radiativa expuesto en la sección anterior debe ser invertido para obtener los parámetros de la nube a partir de las radiancias medidas por el sensor. Sin embargo, la complejidad de estos modelos hace necesario el uso de métodos numéricos de inversión. Para ello, se ha definido una función de coste que tiene en cuenta la diferencia entre los valores simulados y los medidos por el satélite:

$$\text{coste} = \sum_i (R_{\text{modelo},i} - R_{\text{satélite},i})^2 + \alpha \sum_j (T_{\text{modelo},j} - T_{\text{satélite},j})^2 \quad (1)$$

donde R representa las reflectancias y T las temperaturas de brillo. El parámetro α es un factor de normalización para hacer comparables las magnitudes de ambas diferencias. Con esta función, la inversión del modelo se reduce a la búsqueda del conjunto de parámetros de la nube que minimizan la misma. Para encontrar dicho mínimo deben utilizarse métodos numéricos inmunes a la existencia de mínimos locales, por lo que se propone el uso de técnicas evolutivas como los algoritmos genéticos o el "scatter search" (Glover et al., 2001). Ambos han sido aplicados a nuestro problema obteniendo la solución buscada, aunque se ha constatado la mayor rapidez que presenta el "scatter search".

4. Resultados y conclusiones

El método propuesto ha sido aplicado a imágenes de diversos satélites coincidentes con campañas de medidas correspondientes a diferentes proyectos internacionales (Tenerife Cloud Project –TCP–, Dynamics and Chemistry of Marine Stratocumulus –DYCOMS II–, e Interhemispheric differences in Cirrus properties from Anthropogenic emissions –INCA).

En el proyecto TCP (Pérez et al., 2000, González et al., 2002) se utilizaron imágenes nocturnas del sensor NOAA-AVHRR y los resultados (Fig. 1) se compararon con medidas realizadas por el Instituto de Investigación Desértica de Nevada desde Pico del Inglés, situado en la vertiente norte de la isla de Tenerife. Se obtuvieron las propiedades de los estratocúmulos marinos que forman el "mar de nubes" con diferencias menores de 0.5 micras para el tamaño de las gotas de agua, siendo éste el parámetro de más difícil obtención. Similares resultados (Pérez et al., 2002) se obtuvieron durante el DYCOMS-II, utilizando los datos del sensor Terra-MODIS y las medidas realizadas en estratocúmulos en múltiples vuelos nocturnos frente a la costa de California. En este caso, la disponibilidad de múltiples canales en la región infrarroja hace posible la corrección de ciertos efectos no contemplados en el método anterior, como la influencia del vapor de agua sobre la nube.

El método de extracción ha sido también aplicado a situaciones multicapa utilizando imágenes diurnas del sensor ERS2-ATSR, el cual observa la escena con dos ángulos de visión diferentes. Esto permite inferir no sólo el tamaño de las partículas de hielo, sino su forma más probable. Aprovechando los canales de este sensor y las características multivisión, se lograron recuperar las propiedades tanto de las capas de cirros como las de los estratocúmulos situados bajo ellos (González et al., 2002).

En general, los análisis de sensibilidad realizados muestran que los métodos propuestos son robustos, presentándose los mayores errores cuando las nubes analizadas poseen un espesor óptico bajo o el pixel en estudio no se encuentra completamente cubierto.

5. Referencias

- Glover, F., M. Laguna, and R. Martí, Theory and applications of evolutionary computations: Recent trends, Springer-V., 2001
- González, A., J. Pérez, F. Herrera, and F. Rosa, Stratocumulus properties retrieval meted from NOAA-AVHRR data based on the discretization of cloud parameters, *Int. J. Remote Sensing*, 23, 627-645, 2002
- González, A., P. Wendling, B. Mayer, J.F. Gayet, and T. Rother, Remote sensing of cirrus cloud properties in the presence of lower clouds: An ATSR-2 case study during the Interhemispheric Differences in Cirrus Properties From Anthropogenic Emissions (INCA) experiment, *J. Geophys. Res.*, 107, 4693-4708, 2002.
- Key, J., P. Yang, B. Baum, and S. Nasiri, Parametrization of shortwave ice cloud optical properties for various particle habits, *J. Gephy. Res.*, accepted, 2002.
- Nicolet, M., On the molecular scattering in the terrestrial atmosphere: an empirical formula for its calculation in the homosphere, *Planet. Space. Sci.*, 32, 1467-1468, 1984.
- Pérez, J., F. Herrera, F. Rosa, and A. González, "Retrieval of marine stratus cloud droplet size from NOAA-AVHRR nighttime imagery, *Rem. Sensing of Environ.*, 73, 31-45, 2000.
- Pérez, J., P. Austin, and A. González, Retrieval of boundary layer cloud properties using infrared satellite data during the DYCOMS-II field experiment, *15th Symposium on boundary layers and turbulence, Wageningen, The Netherlands*, July 2002.
- Ricchiuzzi, P., S. Yang, C. Gautier, and D. Sowie, SBDART: A research teaching software tool for plane-parallel radiative transfer in the Earth's atmosphere, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 79, 2101-2114, 1998.
- Stamnes, K., D. Tsay, W. Wiscombe, and K. Jayaweera, Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media, *Appl. Opt.* , 27, 2502-2509, 1988.

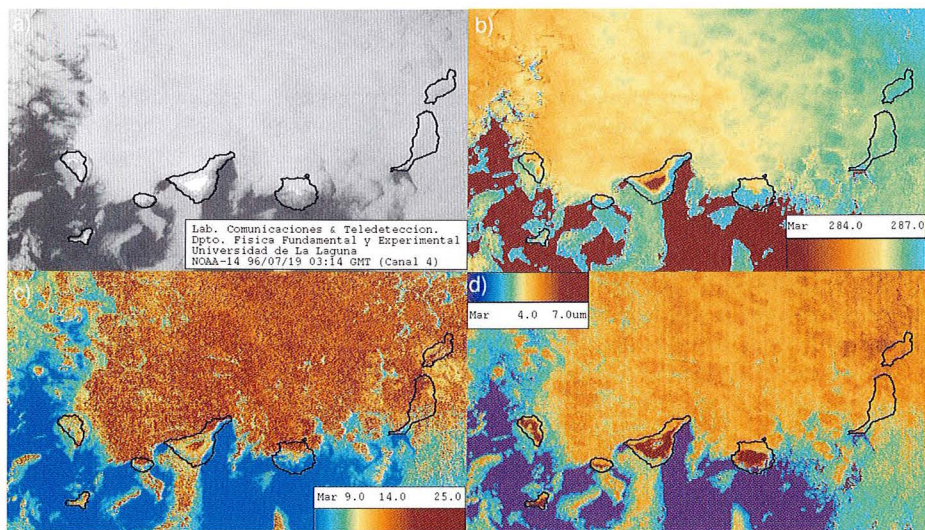


Fig. 1. Ejemplo de extracción de parámetros con el sensor NOAA-AVHRR (26/07/1996). a) Imagen original canal 4 (infrarrojo). b) Temperatura de nube, c) espesor óptico y d) radio efectivo.