

## OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE NUBES A ESCALA GLOBAL A PARTIR DE IMÁGENES SEVIRI

J. C. Pérez, M. Armas y A. González.

*Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA). Universidad de La Laguna.  
Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n. 38206. La Laguna. S/C Tenerife. jcperez@ull.es*

### RESUMEN

En este trabajo se propone una metodología para la determinación de los parámetros característicos de la cubierta nubosa a escala global haciendo uso de datos multispectrales proporcionados por el sensor SEVIRI a bordo de los satélites METEOSAT de Segunda Generación (MSG).

La metodología propuesta está basada en la inversión de un modelo teórico de transferencia radiativa que tiene en cuenta tanto los procesos de absorción de los componentes atmosféricos así como los procesos de absorción y dispersión tanto simple como múltiple de la radiación en la capa nubosa. A partir de este modelo directo, se propone la utilización de técnicas basadas en redes neuronales para realizar la inversión. De esta forma, se diseña la arquitectura (perceptrón multicapa) y se sintoniza la red que mejor se ajusta al problema, para a continuación proceder a las fases de entrenamiento y validación de las mismas. La red neuronal resultante se aplica a imágenes nocturnas SEVIRI para obtener los parámetros característicos de las nubes (espesor óptico, temperatura y radio efectivo de las gotas) y los resultados son comparados con aquellos derivados de medidas radar realizadas por el satélite CLOUDSAT.

### ABSTRACT

In this work, a methodology to retrieve global-scale cloud macro and microphysics parameters, from SEVIRI-METEOSAT Second Generation multispectral satellite data is proposed. This methodology is based on the inversion of a theoretical radiative transfer model that takes into account atmospheric gases absorption processes and multiple scattering processes inside the cloud layer. From this direct model, artificial neural network (ANN's) techniques are proposed to accomplish the inversion. For this aim, the optimal network configuration (multilayer perceptron) is evaluated and the training and validation stages are applied. The resultant ANN is the applied to actual SEVIRI data to obtain the cloud characteristic parameters (optical thickness, top temperature and droplet effective radius). Results are compared with those derived from radar measurements provided by the CLOUDSAT platform.

**Palabras clave:** MSG-SEVIRI, nubes, redes neuronales artificiales.

### INTRODUCCIÓN

El papel que desempeñan las nubes en el sistema climático es, a día de hoy una de las mayores incertidumbres, tal y como se reconoce en el 4º Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Randall et al, 2007). Las nubes interactúan tanto con la radiación solar incidente como con la radiación infrarroja emitida por la superficie. Por tanto, su efecto neto en el balance radiativo global puede ser de enfriamiento o calentamiento dependiendo de la distribución atmosférica del vapor de agua y de las partículas precursoras de las nubes (CCN: Cloud Condensation Nuclei), lo que en última instancia modula las propiedades macro y microfísicas de la capa nubosa. La correcta caracterización tanto temporal como espacial de estas propiedades a escala global es uno de los principales problemas que se plantean en los

Modelos de Circulación General y es uno de los grandes retos para la comunidad científica. En este sentido, muchos esfuerzos se han realizado para la determinación de las propiedades de las nubes. En particular, se han realizado diversas campañas para la medida in-situ de características tales como tamaño, forma y distribución de las gotas de agua (tanto en fase líquida como en partículas de hielo), el contenido de agua líquida o el espesor de la capa nubosa. Sin embargo, la obtención de estos parámetros con una adecuada resolución temporal y a escala global requiere el uso de sensores a bordo de plataformas espaciales. En particular, se han usado para este fin datos proporcionados por sensores a bordo de satélites de órbita polar (Nakajima and King, 1990; Nakajima and Nakajima, 1995). Sin embargo, las técnicas aplicadas en estos trabajos son válidas exclusivamente para imágenes diurnas, ya que hacen uso del diferente comportamiento de la función de reflexión de la

nube en las bandas correspondientes al visible y al infrarrojo cercano.

En este trabajo se propone una metodología para la extracción de los parámetros característicos de las nubes (espesor óptico, radio efectivo de las gotas de agua y temperatura del tope) para imágenes nocturnas haciendo uso exclusivamente de la información proporcionada por los canales infrarrojos del sensor SEVIRI. Para describir este método, en la siguiente sección se presentan las características básicas de los datos utilizados. A continuación, se describen tanto el modelo teórico de transferencia radiativa propuesto como el método numérico de inversión del mismo. Por último, se muestra el análisis de sensibilidad del método así como algunos resultados y la validación del mismo haciendo uso de información proporcionada por otras plataformas.

#### DATOS DE SATÉLITE

En esta sección se describen las principales características de los datos utilizados en este trabajo, los proporcionados por el sensor MSG-SEVIRI utilizados para la implementación del método y los datos proporcionados por CLOUDSAT para la validación del mismo.

##### Datos MSG-SEVIRI

Este radiómetro proporciona datos del hemisferio centrado en el Atlántico con una alta resolución espectral (11 canales) y una alta resolución temporal (15 minutos). Para el caso de imágenes nocturnas se han seleccionado aquellos canales térmicos sensibles a las propiedades de las nubes y que no se encuentren afectados por la absorción de algún componente atmosférico: 4 (3.9  $\mu\text{m}$ ), 7 (8.7 $\mu\text{m}$ ), 9 (10.8  $\mu\text{m}$ ) and 10 (12.0 $\mu\text{m}$ ).

##### Productos CLOUDSAT

CloudSat es un satélite experimental que hace uso de tecnología radar para observar las nubes desde el espacio. Forma parte de la constelación de satélites A-Train con el fin de proporcionar información global de las características de las nubes. En concreto, haremos uso del producto CloudSat Cloud Optical Depth (2B-TAU) que proporciona el espesor óptico y el radio efectivo de las gotas haciendo uso de la información proporcionada por el conjunto de sensores de la constelación.

#### MODELO TEÓRICO DE TRANSFERENCIA RADIATIVA.

En este trabajo se ha utilizado libRadtran (www.libradtran.org) para simular las radiancias en lo alto de la atmósfera a partir de los parámetros tanto atmosféricos como de la capa nubosa. Este modelo tiene en cuenta los procesos de absorción y dispersión múltiple en cada una de las capas definidas. Además, se ha supuesto un comportamiento adiabático para la distribución vertical de tamaño de gotas dentro de la capa nubosa, estando esta distribución representada por el radio efectivo.

#### INVERSIÓN DEL MODELO RADIATIVO: REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Una vez propuesto el modelo teórico de transferencia radiativa, el siguiente paso consiste en la inversión del mismo, es decir, la determinación de los parámetros característicos de las nubes a partir de las radiancias recibidas en los canales seleccionados. Sin embargo, dada la complejidad de este modelo "directo", la inversión no puede realizarse de forma analítica y es necesario recurrir a técnicas numéricas para realizar esta tarea. En este caso, se propone la utilización de técnicas de Redes Neuronales Artificiales debido a su capacidad de generalización y a su bajo coste computacional. En este estudio se opta por la arquitectura típica de *perceptrones multicapa* (MLP). Para optimizar la capacidad de generalización de la red, es necesario determinar el número de capas y neuronas ocultas. Para ello, se ha seleccionado un algoritmo supervisado denominado *retropropagación con momento* que utiliza un conjunto de patrones de entrenamiento para aprender el comportamiento del problema propuesto. La capacidad de aprendizaje se comprueba aplicando la red resultante a otro conjunto de patrones conocidos como validación (Cerdeña et al, 2007). Tanto los patrones de entrenamiento (aprox. 60.000) como los de validación (aprox. 30.000) han sido generados a partir del modelo directo variando de forma pseudo-aleatoria los parámetros de entrada, con el fin de cubrir todo el espacio de soluciones.

#### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para comprobar la robustez del método, se ha realizado un análisis exhaustivo de sensibilidad con la intención de evaluar los errores que se cometen en la extracción de los parámetros de las nubes como consecuencia de las incertidumbres propias en las variables de entrada (temperaturas de brillo en los canales SEVIRI) así como de las

hipótesis del modelo. En la Tabla 1 se muestran los errores promedios correspondientes a un gran número de simulaciones en las que se han introducido errores de 0.5K en las temperaturas de brillo recibidas por el satélite y errores de 1g/cm<sup>2</sup> en la determinación del vapor de agua. Para facilitar la interpretación de los errores, éstos se han dividido en tres categorías atendiendo al espesor óptico de la nube ( $\tau$ ). Así, se han considerado nubes densas ( $\tau >$

8), nubes ópticamente finas ( $\tau < 2$ ), y nubes de densidad media ( $2 < \tau < 8$ ). Como se puede apreciar en la tabla, los mayores errores aparecen para el caso de nubes ópticamente finas, donde la contribución de la radiancia procedente de las capas inferiores a la nube tiene gran importancia y es necesario realizar grandes modificaciones en los parámetros de las nubes para contrarrestar los errores en los valores recibidos en el sensor.

**Tabla 1.-** Errores en los parámetros de nubes obtenidos mediante el método propuesto como consecuencia de las incertidumbres en la obtención de las variables de entrada al mismo. .

<b>Errores en los parámetros obtenidos</b>									
Incertidumbres	Radio( $\mu\text{m}$ )			Temp. nube (k)			Espesor óptico		
	$\tau < 2$	$2 < \tau < 8$	$8 < \tau$	$\tau < 2$	$2 < \tau < 8$	$8 < \tau$	$\tau < 2$	$2 < \tau < 8$	$8 < \tau$
T4 (0.5 K)	-2.13	-0.80	-0.73	1.41	0.19	0.08	0.23	0.67	1.76
T7 (0.5 k)	2.82	0.19	-0.01	-0.08	-0.03	-0.06	0.09	-0.46	-1.44
T9 (0.5 k)	2.57	3.74	5.11	0.61	0.34	0.26	0.22	1.00	3.53
T10 (0.5 k)	-3.83	-2.66	-0.94	-1.96	-0.51	-0.11	-0.23	-0.69	-1.02
Ts (0.5 k)	0.35	0.07	0.03	-0.43	-0.04	-0.01	-0.08	-0.09	-0.08
Vapor agua ( 1g/cm <sup>2</sup> )	0.58	-0.23	0.02	-1.82	-0.41	-0.27	0.02	-0.21	-0.53
Total	0.73	-0.16	0.21	-2.60	-1.04	-0.87	0.14	-0.04	-0.30

## RESULTADOS Y VALIDACIÓN

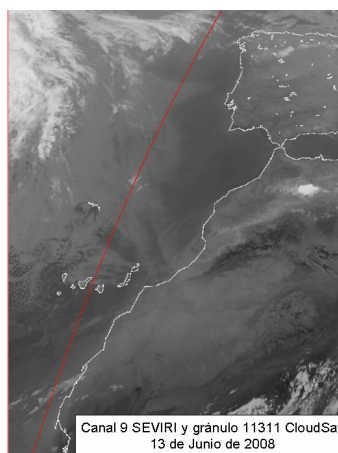
El método propuesto ha sido aplicado a imágenes nocturnas del sensor SEVIRI. Para validar los resultados obtenidos, ante la ausencia de campañas de medida in-situ de estos parámetros en periodos nocturnos, los hemos comparado con productos disponibles para otro tipo de sensores.

En primer lugar, se han seleccionado imágenes SEVIRI coincidentes en el tiempo con algún pase de CloudSat. En la Figura 1 se muestra un fragmento de una imagen SEVIRI correspondiente al Canal 9 (10.8  $\mu\text{m}$ ) que incluye la costa Oeste de África, la Península Ibérica y las Islas Canarias.

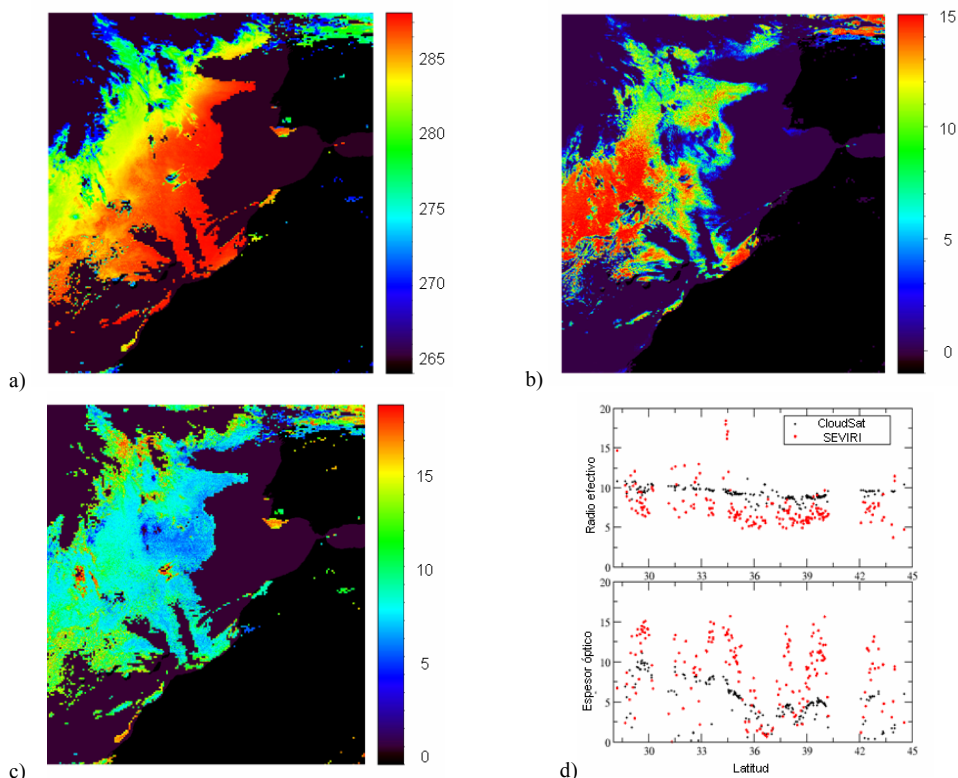
En esta imagen cabe destacar una situación típica de presencia de estratocúmulos marinos al Norte de las Islas bajo la influencia de los vientos Alisios. Superpuesta a esta imagen, se muestra el pase del satélite CloudSat coincidente en el tiempo que se corresponde al gránulo 11.311

Los resultados de aplicar el método propuesto a los datos multispectrales de esta escena se presentan en la Figura 2.a, 2.b y 2.c para la temperatura del tope de la nube, el espesor óptico y

el radio efectivo de la distribución de gotas, respectivamente.



**Figura 1.-** Imagen del canal 9 del sensor SEVIRI del 13 de Junio de 2008. El trazo rojo se corresponde a la órbita de CloudSat coincidente.



**Figura 2.-** Resultados de aplicar el método propuesto sobre una imagen nocturna SEVIRI: a) Temperatura de la nube (K), b) espesor óptico, c) radio efectivo ( $\mu\text{m}$ ). d) Comparación con el producto 2B-TAU de CloudSat.

En la figura 2.d se compara, para aquellos píxeles coincidentes, los valores de espesor óptico y temperatura de la nube con los obtenidos por el producto 2B-TAU de CloudSat. En general, se observa una buena concordancia en lo que a tamaño efectivo de la gota (siempre dentro del intervalo de confianza del producto 2B-TAU), mientras que para el espesor óptico se observan mayores diferencias, como era de esperar, debido al comportamiento asintótico de este parámetro en esta región del infrarrojo.

#### BIBLIOGRAFÍA

Cerdeña, A., González, A. & Pérez, J.C. Remote Sensing of Water Cloud Parameters using neural networks. *J. Atmos. Oceanic Tech.*, Vol. 24, pp. 52-63, 2007.

Nakajima, T. and King, M.D. Determination of the optical thickness and effective particle radius of clouds from reflected solar radiation measurements.

Part I: Theory. *J. of Atmospheric Sciences*. 47, 1878-1893, 1990.

Nakajima, T. and T. Y Nakajima, Wide-area determination of cloud microphysical properties from AVHRR measurements for FIRE and ASTEX regions. *J. Atmospheric Sci.* 52, 4043-4059, 1995.

Randall et al., 2007: Climate Models and Their Evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, USA.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el MIC con cargo al Proyecto de Investigación CGL2006-11901.