

CORRECCIÓN ESPECTRAL DE MEDIDAS DE SATÉLITE. PARTE I: TRANSFORMACIÓN DE BANDA ESTRECHA A BANDA ANCHA. APLICACIÓN A METEOSAT Y AVHRR

J. F. GIMENO, A. BODAS y E. LÓPEZ-BAEZA

Ernesto.Lopez@uv.es

*Unidad de Investigación de Teledetección. Dept. de Termodinámica. Universitat de València
C/ Dr. Moliner 50. Burjassot (Valencia)*

RESUMEN: La corrección espectral de los datos de Teledetección, supone la deconvolución de la señal medida en un determinado canal respecto a su función filtro. De esta manera conseguimos magnitudes referidas a una determinada región ancha del espectro (onda corta, onda larga) y no a un canal concreto del sensor. Este es un paso previo fundamental para posteriores estudios de interés climático como los balances de radiación en onda corta y onda larga o el balance global de energía del planeta. Las plataformas espaciales son imprescindibles para estos análisis por poseer una alta representatividad espacial y una resolución temporal conveniente. La mayoría de las plataformas operativas incorporan entre sus sensores instrumentos de bandas estrechas con canales en regiones concretas del espectro. La utilidad de las medidas en banda estrecha para reconstruir la señal en banda ancha depende altamente del número de canales disponibles y de la anchura y posición de estos canales. En este trabajo se muestran procedimientos de transformación de medidas de satélite en banda estrecha a valores en banda ancha (onda corta) a partir de datos Meteosat y AVHRR.

Palabras clave: corrección espectral, transformación de banda estrecha a banda ancha, Meteosat, AVHRR.

ABSTRACT: The spectral correction of remote sensing data implies the deconvolution of the signal as measured in a channel with respect to its filter function. With this procedure channel data is corrected to obtain quantities referred to a broad region of the spectrum (short-wave, long-wave). This is a previous step of major importance for further climatic studies such as short- and long-wave radiative budgets or the Earth radiation budget. Spatial platforms are essential in these analyses because of their high spatial representativity and their convenient temporal resolution. Most of the operative platforms include narrowband instruments with channels in specific regions of the spectrum. The usefulness of narrowband measurements to reconstruct the broadband signal greatly depends on the number of available channels and on their width and position. In this work procedures for narrowband to broadband (short-wave) transformation of satellite measurements are presented as applied to Meteosat and AVHRR data.

Key words: spectral correction, narrowband to broadband conversion, Meteosat, AVHRR.

INTRODUCCIÓN

La corrección espectral de datos de satélite de banda estrecha se realiza habitualmente en términos de albedo planetario o superficial, asumiendo un comportamiento lambertiano del campo de radiancias. La validez de esta hipótesis y la utilidad de las magnitudes derivadas son limitadas, por lo que es más conveniente realizar la corrección espectral de las radiancias para

obtener su valor en banda ancha. A partir de estos datos corregidos se pueden obtener productos derivados de interés climático en banda ancha mediante la aplicación de algoritmos de cualquier grado de complejidad, como modelos bidireccionales de superficie. Estos algoritmos sólo serán aplicables en banda ancha si hemos realizado la corrección de las radiancias.

El paso de banda estrecha a banda ancha se realiza correlacionando estadísticamente la radiancia en banda ancha con las radiancias en banda estrecha de todos los canales disponibles en la región espectral de banda ancha de nuestro interés para un conjunto de condiciones geométricas y atmosféricas suficientemente representativo. En este trabajo se ha analizado la transformación a banda ancha del canal VIS de Meteosat-5 y de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR de NOAA-14 (Tabla 1). La capacidad de los canales de banda estrecha para predecir la radiancia en banda ancha depende altamente del número de canales disponibles y de la posición y forma de su función filtro (Laszlo *et alii*, 1988). Esta predicción será más precisa si se realiza con canales estrechos situados en zonas significativas del espectro de la señal que queremos reconstruir. Los canales 1 y 2 de AVHRR son comparativamente más estrechos que el canal VIS de Meteosat, por lo que es de esperar que la corrección espectral sea más precisa si se realiza mediante la combinación de medidas AVHRR.

Canal	Posición espectral (μm)
Banda ancha (SW)	0.28 – 4.00
VIS	0.3 – 1.1
AVHRR 1	0.55 – 0.75
AVHRR 2	0.695 – 1.055

Tabla 1. Canales utilizados para el análisis de la corrección espectral.

Las radiancias en banda ancha y en banda estrecha han sido simuladas mediante el código de transferencia radiativa *Streamer* (Key, 1998). Se ha generado una extensa base de datos mediante la variación de las condiciones geométricas y atmosféricas sobre un rango de valores suficientemente representativo para la acumulación de estadística. En la modelización de la superficie se han considerado tres tipos de firmas espectrales: desierto, océano y vegetación. En todos los casos se han realizado las simulaciones bajo cielo despejado y con presencia de nubes en diversas situaciones.

CORRECCIÓN ESPECTRAL DE METEOSAT

La transformación de banda estrecha a banda ancha para Meteosat puede realizarse únicamente con el canal VIS. Trabajos previos han puesto de relieve la fuerte dependencia de la precisión de la corrección espectral con el ángulo solar cenital (Minnis *et alii*, 1995; Tristán *et alii*, 1997). En el presente trabajo se ha estudiado la transformación de banda estrecha a banda ancha discriminando entre valores de ángulo solar cenital,

para tratar posteriormente de obtener un resultado final global válido para cualquier geometría.

Para analizar la dependencia de la corrección espectral con el ángulo solar cenital, se propone una relación lineal simple entre las radiancias de banda ancha (L_{BB}) y de banda estrecha (L_{NB}):

$$L_{BB} = a_0 + a_1 L_{NB} \quad (1)$$

donde a_0 y a_1 son los coeficientes del ajuste lineal por mínimos cuadrados. Aplicamos esta regresión a las radiancias simuladas distinguiendo entre valores de ángulo solar cenital. La superficie se trata con y sin identificación explícita de escena. La dependencia obtenida para los parámetros de (1) con el ángulo solar cenital es sistemática y especialmente significativa para escenas brillantes (Figura 1):

$$a_0 = \alpha + \beta \cos \theta_s \quad (2)$$

$$a_1 = \alpha + \beta \ln(1/\cos \theta_s) \quad (3)$$

Para obtener una corrección espectral válida para cualquier geometría, introducimos analíticamente las relaciones (2) y (3) en la expresión (1). La transformación de banda estrecha (VIS) a banda ancha (SW) para Meteosat toma ahora la forma:

$$L_{SW} = a_0 + a_1 \mu + a_2 L_{VIS} + a_3 \ln(1/\mu) L_{VIS} \quad (4)$$

donde $\mu = \cos \theta_s$. La expresión deducida es similar a la propuesta por Minnis para el albedo planetario (Minnis *et alii*, 1995):

$$\alpha_{BB} = a_0 + a_1 \alpha_{NB} + a_2 \alpha_{NB}^2 + a_3 \ln(1/\mu) \quad (5)$$

Comparando la precisión de la transformación (4) y de la expresión de Minnis aplicada a radiancias, vemos que ambas son comparables, excepto cuando no se dispone de identificación explícita de escena. En este caso la expresión de Minnis es preferible (Tabla 2). Esta diferencia se debe al término cuadrático que incluye la expresión de Minnis, que da cuenta de la saturación de la radiancia en banda ancha respecto a la radiancia en el canal VIS debido a las diferentes propiedades ópticas de las nubes en ambos intervalos espectrales (Wiegner *et alii*, 1997). Incluyendo el término cuadrático en la radiancia VIS en (4) obtenemos la expresión:

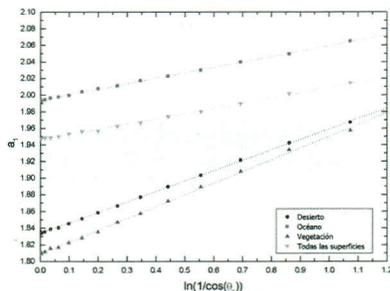
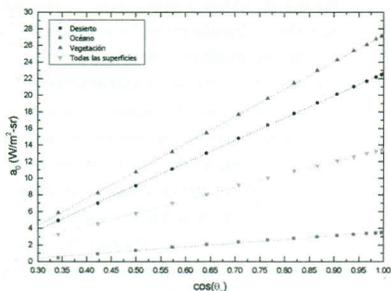


Figura 1. Dependencia de los parámetros de la corrección espectral (1) para Meteosat con el ángulo solar cenital.

Superficie	Transformación (4)	Minnis	Transformación (6)
Desierto	3.5	3.6	3.3
Océano	4.0	3.9	3.9
Vegetación	3.1	3.2	3.0
Todas las superficies	6.5	5.7	5.5

Tabla 2. RMS (%) de las correcciones espectrales (4), (6) y la propuesta por Minnis aplicada a radiancias.

$$L_{SW} = a_0 + a_1\mu + a_2L_{VIS} + a_3 \ln(1/\mu)L_{VIS} + a_4L_{VIS}^2 \quad (6)$$

Esta expresión mejora la precisión de la transformación (4) cuando no se dispone de identificación explícita de escena (Tabla 2) y mantiene precisiones comparables con la expresión de Minnis. A la vista de estos resultados, la regresión óptima propuesta para la transformación de banda estrecha a banda ancha es la (6) (Tabla 3), ya que en la mayoría de los casos no disponemos de una identificación explícita de escena con Meteosat. Como era de esperar, la mayor dispersión en la predicción de las radiancias de banda ancha se produce para situaciones de cielo cubierto con altos espesores ópticos.

CORRECCIÓN ESPECTRAL DE AVHRR

La transformación de banda estrecha a banda ancha con AVHRR puede realizarse en onda corta con la combinación de los canales 1 y 2 de este instrumento. Esta corrección espectral ha sido abordada en numerosas ocasiones (Brest y Goward, 1987, Saunders, 1990; Valiente *et alii*, 1995; Russell *et alii*, 1997) en términos de albedo superficial como una relación lineal simple en la magnitud en banda ancha y la reflectividad de los canales 1 y 2:

$$\alpha_{SW} = a_0 + a_1\rho_{AVHRR-1} + a_2\rho_{AVHRR-2} \quad (7)$$

Nuestra transformación se realiza en términos de radiancias. Se ha tratado de encontrar una dependencia sistemática de la corrección espectral con el ángulo solar cenital para incrementar la precisión de la transformación mediante un procedimiento análogo al seguido en el caso de Meteosat. En este caso no parece existir una clara dependencia sistemática de la transformación de banda estrecha a banda ancha con la geometría como sucedía para Meteosat, de forma que la corrección espectral para AVHRR se realizará sin incluir ninguna dependencia angular.

La expresión más simple para la corrección espectral es la transformación (7) en términos de radiancias:

$$L_{SW} = a_0 + a_1L_1 + a_2L_2 \quad (8)$$

Una transformación alternativa es la que incluye términos cuadráticos en las radiancias de banda estrecha:

$$L_{SW} = a_0 + a_1L_1 + a_2L_2 + a_3L_1^2 + a_4L_2^2 \quad (9)$$

Esta expresión mantiene una precisión similar a la transformación (8) cuando estamos sobre escenas brillantes o consideramos todas las superficies conjuntamente. Únicamente supone una reducción más notable del error de la radiancia en banda ancha sobre escenas oscuras (Tabla 4).

Song y Gao (1999) proponen una dependencia de los parámetros de la expresión (7) con el NDVI de la forma:

$$a_1 = \alpha_1 + \beta_1 NDVI + \gamma_1 NDVI^2 \quad (10)$$

$$a_2 = \alpha_2 + \beta_2 NDVI + \gamma_2 NDVI^2 \quad (11)$$

con $a_0=0$. Esta expresión tiene en cuenta las propiedades de la superficie en los parámetros. No obstante, in-

troduciendo estas dependencias en la transformación (8) no se incrementa de manera apreciable la precisión de la transformación de banda estrecha a banda ancha.

A la vista de los resultados derivados de las correcciones espectrales (8) y (9), sería claramente suficiente tomar una regresión con términos lineales en las radiancias de banda estrecha cuando no se disponga de una identificación explícita de escena o estemos sobre escenas brillantes. En el caso de estar sobre escenas oscuras, la introducción de dos nuevos parámetros en la transformación no supone una mejora muy significativa de la precisión, de modo que la corrección óptima para AVHRR es la (8) (Tabla 5).

Parámetro	Desierto	Océano	Vegetación	Todas las superficies
a_0	-7.15 ± 0.11	-0.70 ± 0.07	-8.41 ± 0.14	0.99 ± 0.16
a_1	38.0 ± 0.2	3.02 ± 0.09	44.1 ± 0.3	0.5 ± 0.2
a_2	1.558 ± 0.004	2.0679 ± 0.0019	1.565 ± 0.005	2.428 ± 0.004
a_3	0.302 ± 0.003	0.019 ± 0.002	0.294 ± 0.004	-0.220 ± 0.004
a_4	0.00168 ± 0.00002	-0.000534 ± 0.000013	0.00140 ± 0.00003	-0.00328 ± 0.00002

Tabla 3. Parámetros de la transformación de banda estrecha a banda ancha óptima para Meteosat.

Superficie	Transformación (8)	Transformación (9)
Desierto	3.3	3.2
Océano	4.5	4.0
Vegetación	2.7	2.7
Todas las superficies	3.9	3.8

Tabla 4. RMS (%) de las correcciones espectrales (8) y (9).

CONCLUSIONES

Se han realizado transformaciones de banda estrecha a banda ancha de radiancias medidas desde satélite. Este tipo de transformación es ventajoso frente al realizado en términos de albedo, ya que permite obtener posteriormente cualquier magnitud derivada mediante cualquier tipo de algoritmo directamente en banda ancha.

Para el caso de Meteosat, se ha realizado una transformación de banda estrecha a banda ancha dependiente del ángulo solar cenital. Esta dependencia se ha justificado, lo que ha permitido dar una mayor generalidad frente a las correlaciones existentes hasta el momento.

Para AVHRR no parece existir una dependencia sistemática de la corrección espectral con la geometría. No obstante, incluso en este caso la precisión de la transformación es superior a la que se consigue con Meteosat. Esto se debe a que los dos canales del instrumento permiten reconstruir de forma más eficiente la señal en banda ancha. Además, incorporan de forma implícita información sobre la superficie en la transformación, especialmente para escenas de vegetación.

Parámetro	Desierto	Océano	Vegetación	Todas las superficies
a_0	8.43 ± 0.04	10.22 ± 0.03	5.54 ± 0.05	10.51 ± 0.03
a_1	1.596 ± 0.009	2.86 ± 0.02	2.919 ± 0.002	3.062 ± 0.003
a_2	3.238 ± 0.008	2.135 ± 0.017	2.140 ± 0.002	1.945 ± 0.002

Tabla 5. Parámetros de la transformación de banda estrecha a banda ancha óptima para AVHRR.

BIBLIOGRAFÍA

- BREST, C. L. y S. N. GOWARD, 1987: Deriving surface albedo measurements from narrow band satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, **8**, 351-367.
- KEY, J., 1998: Streamer User's Guide, Technical Report 96-01, Department of Geography, Boston University, 90 pp.
- LASZLO, I., H. JACOBOWITZ y A. GRUBER, 1988: The relative merits of narrowband channels for estimating broadband albedos. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **5**, 757-773.
- MINNIS, P., W. J. SMITH JR., D. P. GARBER, J. K. AYERS y D. R. DOELLING, 1995: Cloud properties derived from GOES-7 for the Spring 1994 ARM Intensive Observing Period using Version 1.0.0 of the ARM satellite data analysis program. *NASA RP1366*, 59 pp.
- RUSSELL, M. J., M. NUÑEZ, M. A. CHLADIL, J. A. VALIENTE y E. LÓPEZ-BAEZA, 1997: Conversion of nadir, narrowband reflectance in red and near-infrared channel to hemispherical surface albedo. *Remote Sens. Environ.*, **61**, 16-23.
- SAUNDERS, R. W., 1990: The determination of broad band surface albedo from AVHRR visible and near-infrared radiances. *Int. J. Remote Sens.*, **11**, 49-67.
- SONG, J. y W. GAO, 1999: An improved method to derive surface albedo from narrowband AVHRR satellite data: narrowband to broadband conversion. *J. Appl. Meteor.*, **38**, 239-249.
- TRISTÁN, J., E. LÓPEZ-BAEZA, J. M. FUSTER y J. A. VALIENTE, 1997: Spectral transformation of Meteosat-visible-band surface albedo to broad-band surface albedo and its dependency on solar zenith angle. *VII Congreso Nacional de Teledetección: Teledetección aplicada a la gestión de recursos naturales y medio litoral marino*, 234-237.
- VALIENTE, J. A., M. NUÑEZ, E. LÓPEZ-BAEZA y J. F. MORENO, 1995: Narrow-band to broad-band conversion for Meteosat-visible channel and broad-band albedo using both AVHRR-1 and -2 channels. *Int. J. Remote Sens.*, **16**, 1147-1166.
- WIEGNER, M., P. SEIFERT y P. SCHLUSSEL, 1997: Effect of thin cirrus clouds on Meteosat Second Generation (MSG) observations. *EUMETSAT contract no. EUM/CO/96/430/SAT*, 69 pp.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto CCLI99-0793 (CICYT) "Evaluación por teledetección de la incidencia de los cambios de la cubierta vegetal del suelo en los flujos de agua y energía".