

CORRECCIÓN ESPECTRAL DE MEDIDAS DE SATÉLITE. PARTE II: DESFILTRADO DE SEÑALES DE BANDA ANCHA. SINERGIA ENTRE INSTRUMENTOS MULTIESPECTRALES Y RADIÓMETROS DE BANDA ANCHA

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 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. Para estos análisis es conveniente utilizar medidas realizadas por radiómetros de banda ancha en órbita heliosíncrona o geoestacionaria. No obstante, en estos casos también es necesario eliminar el filtrado de la señal que realiza el instrumento (desfiltrado), para lo que puede ser interesante la inclusión de medidas realizadas en banda estrecha por instrumentos multiespectrales en sinergia con el radiómetro de banda ancha. En este trabajo se presenta una metodología general de deconvolución de la señal de un radiómetro de banda ancha en onda corta, analizando la utilidad de las medidas realizadas en banda estrecha.

Palabras clave: corrección espectral, proceso de desfiltrado, radiómetros de banda ancha.

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. In these analyses it is helpful to use the measures retrieved by broadband radiometers in heliosynchronous or geostationary orbit. However, even in this suitable situation the instrument filter effect must be removed from the measurements (unfiltering process). In this process it may be useful the synergetic inclusion of narrow-band radiances provided by imaging instruments. In this work a general methodology for a broadband radiometer signal deconvolution in the short-wave spectrum is presented, analysing the usefulness of the narrowband imagery measurements.

Key words: spectral correction, unfiltering process, broadband radiometers.

INTRODUCCIÓN

La corrección espectral de radiancias se realiza de forma empírica correlacionando estadísticamente los valores radiométricos que mediría un sensor con un filtro plano de transmisividad unidad con los obtenidos a partir de medidas en canal. En el presente trabajo se ha desfiltrado la señal de un radiómetro de banda ancha

bajo determinado ángulo de visión cenital incluyendo medidas nadir en banda estrecha de un instrumento multiespectral. Los filtros que se han utilizado son sintéticos con niveles de ruido típicos y situados en zonas características del espectro, con un perfil gaussiano en el caso de los canales de banda estrecha (Tabla 1).

Canal	Posición espectral (μm)	Nivel de ruido (3σ)
Banda ancha (SW)	0.28 – 4.00	$0.1 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
Banda estrecha 1	0.649 – 0.669	6%
Banda estrecha 2	0.855 – 0.875	6%
Banda estrecha 3	1.58 – 1.64	6%
Banda estrecha 4	2.15 – 2.25	6%

Tabla 1. Filtros sintéticos definidos para el análisis de la corrección espectral

Las medidas del radiómetro de banda ancha vienen afectadas por un error aleatorio procedente del ruido del instrumento y por un error sistemático que incluye las incertidumbres en el diseño y la calibración. Esta fuente de error se ha aproximado con una forma lineal en la radiancia filtrada:

$$\epsilon_{\text{sis}}(L_{\text{SW}}^f) = a + b L_{\text{SW}}^f \quad [\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}] \quad (1)$$

Hasta un nivel de 3σ , se ha asignado a las constantes unos valores típicos de $a=0.4 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ y $b=0.016$.

Para realizar la corrección de las medidas filtradas del radiómetro de banda ancha, debemos encontrar una expresión empírica que sea capaz de predecir los valores desfiltrados correspondientes. Las regresiones analizadas mediante un procedimiento lineal de mínimos cuadrados son:

$$L_{\text{SW}}^{uf} = \alpha + \beta_1 L_{\text{SW}}^f \quad (2)$$

$$L_{\text{SW}}^{uf} = \alpha + \beta_1 L_{\text{SW}}^f + \sum_{i=1}^4 \gamma_i L_{\text{NB}_i}^f \quad (3)$$

$$L_{\text{SW}}^{uf} = \alpha + \beta_1 L_{\text{SW}}^f + \beta_2 (L_{\text{SW}}^f)^2 \quad (4)$$

$$L_{\text{SW}}^{uf} = \alpha + \beta_1 L_{\text{SW}}^f + \beta_2 (L_{\text{SW}}^f)^2 + \sum_{i=1}^4 \gamma_i L_{\text{NB}_i}^f \quad (5)$$

donde las radiancias del radiómetro de banda ancha se refieren a un ángulo de visión cenital concreto y las medidas de los canales de banda estrecha son siempre nadir. Los errores aleatorios y sistemáticos de las radiancias filtradas se propagarán a la estimación de las magnitudes desfiltradas a través de las correlaciones. Por tanto el criterio para establecer la bondad de las regresiones propuestas debe ser el error con que nos permiten estimar estadísticamente la radiancia desfiltrada en banda ancha a partir de las medidas filtradas. La propagación de los errores aleatorios y sistemáticos se estudia de forma independiente.

Las radiancias desfiltradas y filtradas en cada canal se han simulado mediante en código de transferencia radiativa *Streamer*. Para recoger suficiente estadística se ha creado una extensa base de datos variando las condiciones geométricas y atmosféricas sobre un amplio

rango de valores, incluyendo la presencia de nubes. Las superficies estudiadas han sido desierto, océano y vegetación.

ANÁLISIS DE LAS REGRESIONES

Los ajustes de las expresiones propuestas se han realizado discriminando únicamente entre valores de ángulo de visión cenital, intervalos de valores de ángulo solar cenital y, en su caso, tipo de superficie y de cobertura nubosa. La introducción de los errores aleatorios en el análisis se ha realizado modificando las radiancias filtradas de acuerdo a una distribución gaussiana del ruido instrumental:

$$L_{\text{SW}}^f \rightarrow L_{\text{SW}}^f + \mathfrak{N}(0, \sigma_{\text{SW}}) \quad (6)$$

$$L_{\text{NB}_i}^f \rightarrow L_{\text{NB}_i}^f \left[1 + \mathfrak{N}(0, \sigma_{\text{NB}_i}) \right] \quad (7)$$

donde $\mathfrak{N}(A,B)$ es una distribución gaussiana de media A y desviación estándar B. El error sistemático de la medida filtrada del radiómetro de banda ancha se ha incluido tras la regresión como una propagación cuadrática al error sistemático de la radiancia desfiltrada:

$$\epsilon_{\text{sis}}(L_{\text{SW}}^{uf}) = \left| \beta_1 (a + b L_{\text{SW}}^f) \right| \quad (8)$$

para las expresiones (2) y (3), y

$$\epsilon_{\text{sis}}(L_{\text{SW}}^{uf}) = \left| (\beta_1 + 2\beta_2 L_{\text{SW}}^f) (a + b L_{\text{SW}}^f) \right| \quad (9)$$

para las regresiones (4) y (5). En estas expresiones las radiancias no vienen afectadas por ruido, ya que el análisis de ambos tipos de errores se realiza por separado.

A continuación aplicamos las regresiones propuestas a las simulaciones realizadas sobre océano totalmente cubierto por tres capas de nubes (bajas, medias y altas). Esta simulación se ha realizado suponiendo que disponemos de una identificación explícita de escena previa mediante el instrumento multiespectral y ha sido seleccionada por presentar un rango de errores de entre los más elevados en estas condiciones. Los comportamientos que resultan para el error aleatorio (Figura 1) y el sistemático (Figura 2) son diferentes. En ambos casos, la introducción del término cuadrático en la radiancia filtrada del radiómetro de banda ancha no incrementa de manera significativa la precisión de la corrección espectral. No obstante, la inclusión en el desfiltrado de los canales de banda estrecha del instrumento multiespectral hace disminuir el error aleatorio estimado en un factor dos aproximadamente, mientras que este descenso es menos acusado para el error sistemático.

La dependencia angular de los errores de la corrección espectral presenta un comportamiento muy regular. En general, los errores disminuyen al aumentar el ángulo solar cenital, especialmente en el caso del error sistemático. Por su parte, un incremento en el ángulo de visión cenital da lugar a un aumento del error aleatorio y a una disminución del sistemático, aunque este último presenta un comportamiento más estable.

La inclusión de las radiancias de banda estrecha es necesaria en el proceso de desfiltrado. Sin embargo, no existe una diferencia significativa entre la inclusión o no del término cuadrático en la radiancia filtrada de banda ancha, de forma que la regresión óptima para la corrección espectral es la (3) por incluir un menor número de parámetros.

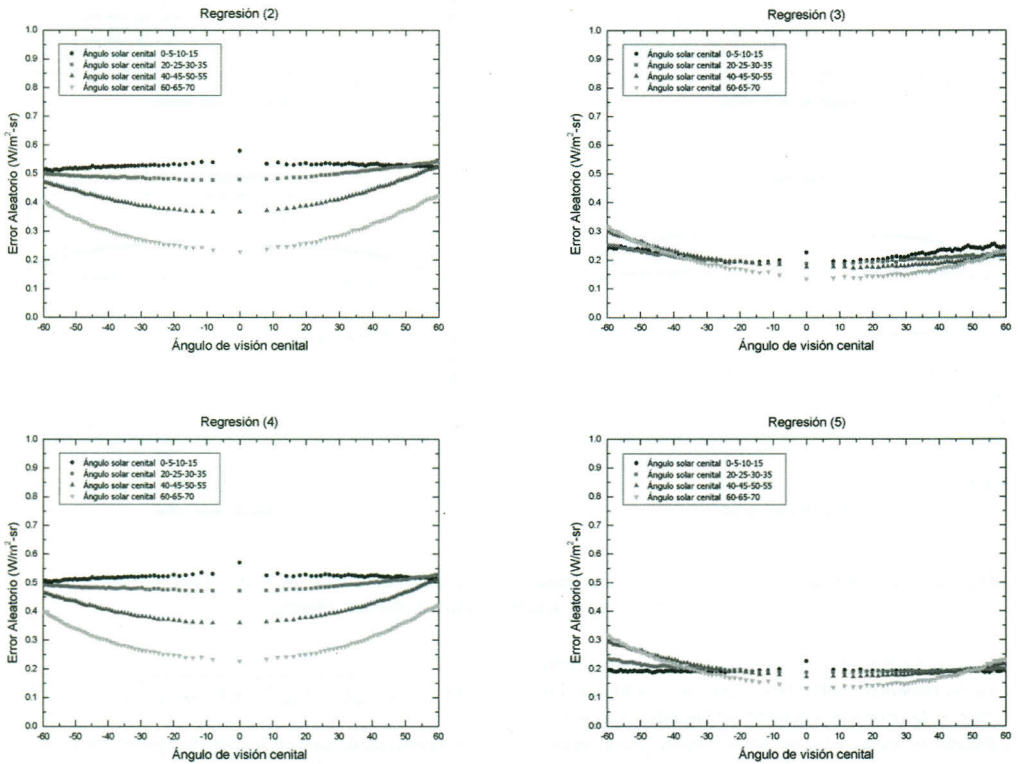


Figura 1. Errores aleatorios de la radiancia desfiltrada en banda ancha a partir de cada una de las regresiones analizadas. Simulación sobre océano totalmente cubierto.

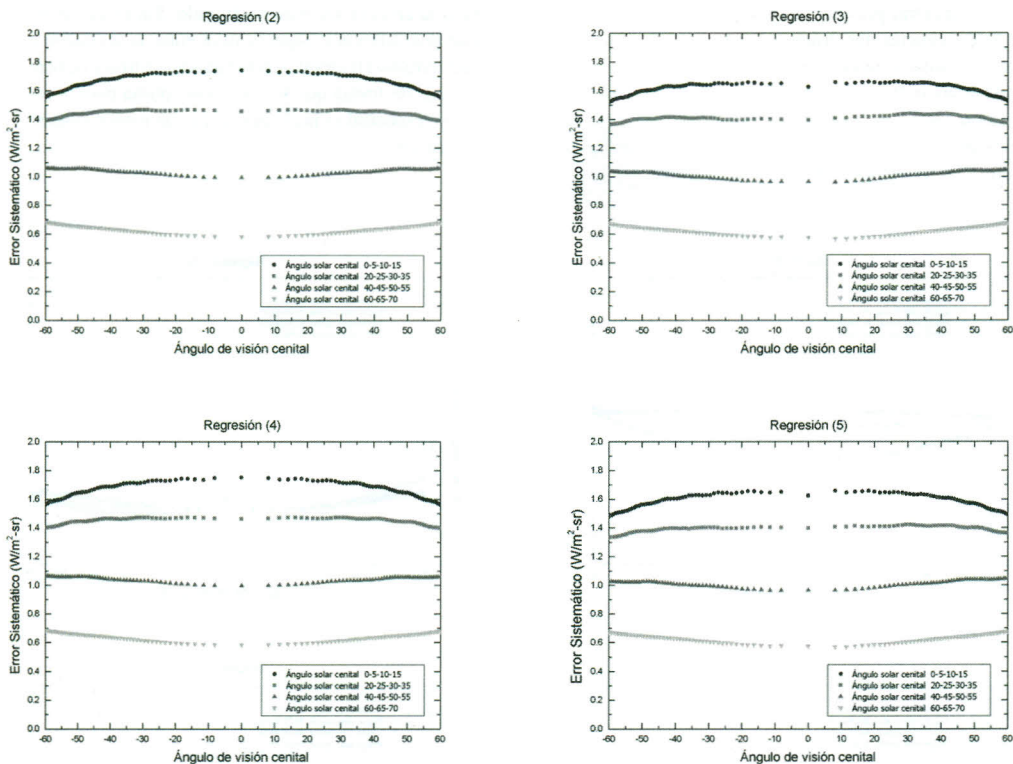


Figura 2. Errores sistemáticos de la radiancia desfiltrada en banda ancha a partir de cada una de las regresiones analizadas. Simulación sobre océano totalmente cubierto.

Aplicando la regresión (3) sobre las demás superficies, se obtienen comportamientos muy similares. Los patrones de error son prácticamente iguales con escenas cubiertas de nubes y las mayores diferencias se presentan en las escenas con cielo despejado. En todos los casos, los valores de error obtenidos sobre océano son una cota superior para los que presentan las demás superficies.

El mismo estudio se ha realizado para el caso en que no se dispone de una identificación explícita de escena (Figura 3). En este caso, para cielo cubierto los errores aleatorios son ligeramente superiores a los obtenidos distinguiendo entre superficies y los errores sistemáticos se mantienen en valores muy similares. Para cielo despejado las diferencias son mayores, especialmente en el caso del error aleatorio sobre superficie oceánica. No obstante, dados los rangos de valores obtenidos, el error total del proceso de desfiltrado

$$\epsilon_{tot}(L_{SW}^{uf}) = \sqrt{\epsilon_{ale}^2(L_{SW}^{uf}) + \epsilon_{sis}^2(L_{SW}^{uf})} \quad (10)$$

viene determinado casi en su totalidad por el error sistemático, que toma valores muy similares con y sin identificación de escena para la mayoría de superficies. Esto indica que la identificación explícita de escena no es necesaria para realizar el desfiltrado de las radiancias de banda ancha.

CONCLUSIONES

El estudio del proceso de desfiltrado sobre todas las superficies ha determinado que la regresión óptima para la corrección espectral es la que incluye términos lineales en la radiancia de banda ancha y en las radiancias de banda estrecha nadir de un instrumento multispectral. Se ha comprobado que la magnitud del error aleatorio de la radiancia desfiltrada en banda ancha es muy infe-

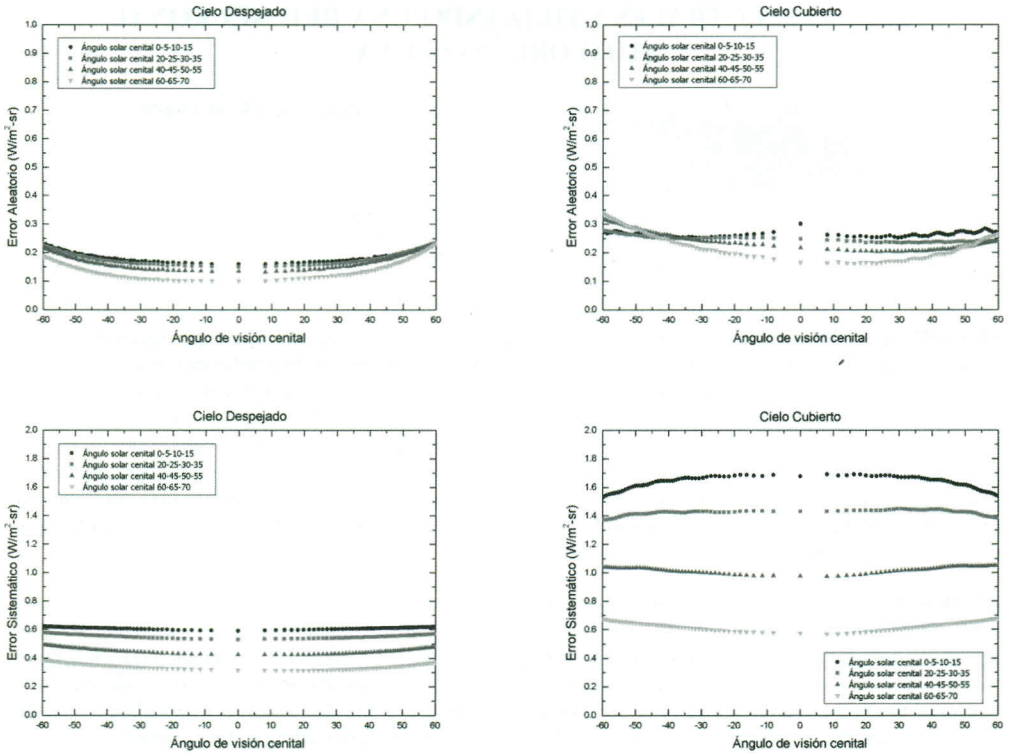


Figura 3. Errores aleatorios y sistemáticos de la radiancia desfiltrada en banda ancha a partir de la regresión (3). Simulación sin identificación explícita de escena.

rior a la de su error sistemático, que determina casi en su totalidad el error total de la magnitud. Este error total no sufre un incremento significativo cuando no disponemos de una identificación explícita de escena, ya que a través de la sinergia del radiómetro de banda ancha con el instrumento multispectral se produce una identificación implícita de escena en la que se incorpora información de la superficie en la expresión óptima para la corrección espectral.

BIBLIOGRAFÍA

KEY, J., 1998: Streamer User's Guide, Technical Report 96-01, Department of Geography, Boston University, 90 pp.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el contexto del proyecto SAGEM-INGE0878 "Broad-Band Radiometer Optimisation Study".