

# CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA EN ESPECTRO SOLAR PARA SERIES MULTITEMPORALES. APLICACIÓN A IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+

L. Martínez, V. Palà y R. Arbiol

[lmartinez@icc.es](mailto:lmartinez@icc.es)

*Unitat de Teledetecció  
Institut Cartogràfic de Catalunya  
Parc de Montjuïc s/n 08038 Barcelona*

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el Sistema de Corrección Atmosférica ICC, un sistema en dos pasos para series multitemporales de imágenes de teledetección pasiva en espectro solar. El primer paso es un modelo semiempírico, mientras que el segundo es empírico. El paso semiempírico es un modelo que tiene en cuenta la absorción gaseosa, y la dispersión de gases y aerosoles. Incluye un módulo de simulación de transferencia radiativa desarrollado a partir del código 6S, que se aplicó a cada imagen con datos atmosféricos del sistema de predicción meteorológica MASS. El segundo paso es un modelo empírico basado en la radiometría de áreas pseudoinvariantes, que se determinaron a partir de una transformación Tasseled Cap sobre reflectancias TOA. Este segundo método permite compensar degradaciones del calibrado del sensor y otros factores no tenidos en cuenta en el primer paso, y requiere el uso de una serie multitemporal. El sistema se aplicó a un conjunto de imágenes Landsat 7 pancromáticas del área urbana de Barcelona. Tras el primer paso, las zonas pseudoinvariantes mostraron una ligera reducción del RMSE de reflectancia BOA con respecto al de la TOA. Sin embargo, el RMSE se redujo a la mitad cuando se aplicó el segundo paso.

## ABSTRACT

In this paper, a two-step system for passive solar spectrum remote sensing multitemporal imagery series, the ICC Atmospheric Correction System, is presented. The first step is a semi-empirical model, while the second one is empirical. The semi-empirical step consists of a model designed to account for gaseous absorption and both atmospheric and aerosol scattering. It includes a radiative transfer simulation module developed from the 6S code, which was applied to each image with MASS forecasted data. The second step is an empirical model based on radiometry of pseudo-invariant areas found from a Tasseled Cap transformation applied on TOA reflectances. The last step permits to compensate calibration degradations and other factors not taken into account in the first step, and requires the use of a multitemporal set of images. The system was applied to a Landsat 7 multitemporal series of images of the Barcelona urban area. After the first step the pseudo-invariant areas showed a small reduction of the RMSE of BOA reflectance with regard to that of the TOA. However, the RMSE was reduced by half when the second step was applied.

**Palabras clave:** corrección atmosférica, transferencia radiativa, normalización multitemporal, MASS, Landsat 7

## INTRODUCCION

Los sensores de teledetección en el espectro solar miden básicamente la radiancia del Sol reflejada por el sistema superficie-atmósfera, puesto que en el rango espectral de estos sensores las emisiones térmicas de la Tierra son despreciables. Estas imágenes presentan diversas distorsiones geométricas y radiométricas. La corrección de las distorsiones radiométricas es necesaria para modelar adecuadamente parámetros físicos realistas y consistentes, abordar estudios multitemporales o emplear imágenes de diferentes sensores.

La radiancia medida por el sensor depende de la reflectancia de la superficie observada y de la geometría de iluminación. Pero esta medida está perturbada por dos fenómenos atmosféricos: la absorción gaseosa, y la dispersión por moléculas gaseosas y aerosoles, denominadas dispersión de Rayleigh y Mie, respectivamente. La absorción es una interacción inelástica y, por tanto, de carácter discreto con la longitud de onda. Por el contrario, la dispersión es una interacción elástica, de carácter continuo con la longitud de onda, que modifica la

dirección de propagación de la radiación electromagnética. De esta forma la dispersión es responsable del efecto de adyacencia, por el que la medida radiométrica del área acotada por un píxel se ve contaminada por la radiación que se propaga desde el entorno de dicho área, es decir, desde los píxeles más próximos.

Para obtener medidas de la radiancia por teledetección libre de efectos atmosféricos, en el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) se ha desarrollado un Sistema de Corrección Atmosférica de Espectro Solar. Se trata de un sistema en dos pasos que concatena un método semiempírico basado en un modelo físico seguido de un método empírico de normalización a partir de la radiometría de superficies pseudoinvariantes a lo largo del tiempo. Dicho sistema es de carácter modular y no está restringido a ningún sensor o plataforma de espectro solar. El paso semiempírico permite la incorporación de datos síncronos a la imagen para la obtención de reflectancias absolutas mediante simulaciones de transferencia radiativa, o el uso de valores estándar en ausencia de estos datos. Una vez realizada la corrección atmosférica absoluta de cada imagen, el sistema depura la serie multitemporal mediante un método empírico de normalización estadística.

## METODOLOGÍA DEL SISTEMA

### El paso semiempírico

El paso semiempírico se aplica a las radiancias medidas por el sensor o radiancia Top Of Atmosphere (TOA), y da como resultado la reflectancia corregida o reflectancia Bottom Of Atmosphere (BOA).

La radiancia medida por el sensor  $L^*$ , puede relacionarse con la reflectancia extraterrestre equivalente, o reflectancia TOA,  $\rho^*$ , como

$$\rho^* = \frac{\pi \cdot L^*}{\mu_s \cdot E_s} \quad (1)$$

donde:

- $E_s$  es la irradiancia solar extraterrestre.
- $\mu_s$  es el coseno del ángulo cenital solar.

Pero teniendo en cuenta los fenómenos de interacción con la atmósfera descritos y según Staez y Williams (1997), es posible notar la radiancia solar que alcanza un sensor de

teledetección observando una superficie horizontal como

$$L^* = A \frac{\rho_c}{(1 - \langle \rho_e \rangle S)} + B \frac{\langle \rho_e \rangle}{(1 - \langle \rho_e \rangle S)} + L_a \quad (2)$$

donde:

- $\rho_c$  es la reflectancia corregida de la superficie observada
- $\langle \rho_e \rangle$  es la reflectancia corregida del entorno en el que se encuentra la superficie observada
- $S$  es el albedo esférico de la atmósfera
- $L_a$  es la radiancia retrodispersada por la atmósfera hacia el sensor
- $A$  y  $B$  dan cuenta de la interacción sobre la radiación directa y difusa, respectivamente

Así la reflectancia corregida  $\rho_c$ , o reflectancia BOA, de la superficie observada será para cada píxel

$$\rho_c = \frac{(L^* - L_a)(1 - \langle \rho_e \rangle S) - \langle \rho_e \rangle B}{A} \quad (3)$$

Los parámetros  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$  caracterizan tanto la geometría de observación e iluminación, como las condiciones atmosféricas en las que se realiza la medida. Su valor no depende ni de la reflectancia de la superficie observada ni de la de su entorno. Así pues, su cálculo se realiza a partir de las magnitudes  $L_g$  o radiancia que alcanza el sensor desde la superficie observada, y  $L_p$  o radiancia que alcanza el sensor desde el entorno de la superficie observada y por la atmósfera, que para un medio de reflectancia uniforme se notan como

$$L_g = A \frac{\rho_c}{1 - S\rho_c} \quad (4)$$

$$L_p = B \frac{\rho_c}{1 - S\rho_c} + L_a \quad (5)$$

Ambas magnitudes  $L_g$  y  $L_p$  pueden obtenerse mediante códigos de transferencia radiativa funcionando en modo directo. Así, la obtención del valor de  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$  es trivial mediante la resolución de sistemas de ecuaciones. En dicha simulación es donde se hace uso de los datos atmosféricos síncronos a la obtención de la imagen.

La reflectancia corregida del medio  $\langle \rho_e \rangle$ , se obtendrá tratando el conjunto de píxeles que constituyen el entorno o vecindad, como un hipotético píxel situado en un entorno uniforme de reflectancia. Su radiometría se puede obtener a partir de la radiometría de los píxeles del mencionado entorno. Sobre estas hipótesis, el valor de la magnitud  $\langle \rho_e \rangle$  vendrá dado por

$$\langle \rho_e \rangle = \frac{L^* - L_a}{A + B + S(L^* - L_a)} \quad (6)$$

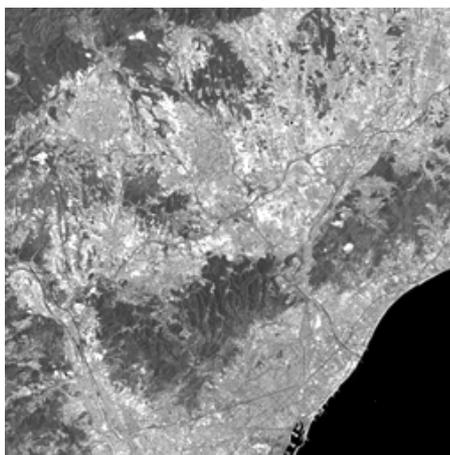
### El método empírico

Sobre una serie de imágenes corregidas con el método semiempírico propuesto se puede aplicar sin limitación un método de normalización sobre superficies pseudoinvariantes, pues es de esperar que no presente diferencias radiométricas por las condiciones de adquisición de la imagen que limitan el uso de dicho tipo de método. Este tipo de procedimiento homogeneiza la reflectancia de series multitemporales corrigiendo desviaciones de la caracterización atmosférica, derivas del calibrado del sensor, etc (Caselles y López 1989). A partir de la reflectancia BOA de dichas zonas se calcula los coeficientes de sesgo y ganancia que relacionan las reflectancias corregidas entre las imágenes de la serie.

### APLICACIÓN Y RESULTADOS

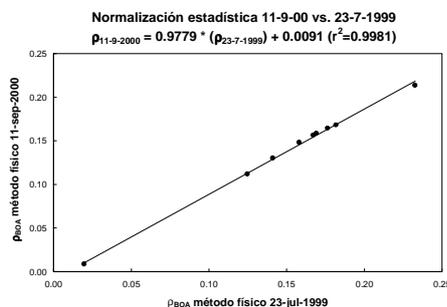
El Sistema de Corrección se ha adaptado para corregir atmosféricamente una serie de 6 imágenes pancromáticas del sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) de la plataforma Landsat 7. El fragmento analizado se localiza en el área metropolitana de Barcelona (Figura 1). La fecha de adquisición por el sensor de las imágenes es: 23-jul-1999, 09-sep-1999, 30-dic-1999, 03-mar-2000, 07-jun-2000 y 11-sep-2000. La serie está orientada geométricamente en un solo bloque usando el método geométrico de Palà y Pons (1995), y rectificada por vecino más próximo en píxeles de 15 metros.

La simulación de transferencia radiativa para la modelización física se ha realizado a partir del código Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S) (Vermonte et alii. 1997), empleando simulaciones de la atmósfera del modelo Mesoscalar Atmospheric Simulation System (MASS) (Codina et al. 1997) del Servei de Meteorologia de Catalunya (SMC), un modelo climatológico estándar de aerosoles, y un modelo de elevación del terreno del ICC de idéntica resolución espacial que la imagen.



**Figura 1.-** Escena Landsat 7 ETM+ pancromática del área metropolitana de Barcelona sobre la que se aplica la corrección atmosférica

Las áreas pseudoinvariantes para el método estadístico se han escogido a partir de la transformación Tasseled Cap (TC) para ETM+ según Huang et alii. (2001). Se han tomado un total de 9 zonas que contaban con un amplio rango de valores de la primera componente TC o intensidad, con los mínimos valores encontrados para la segunda componente TC o índice de verdor. Como se muestra en la Figura 2, a partir de la radiometría de estas áreas se ha realizado un conjunto de regresiones lineales respecto a la radiometría de la primera imagen de la serie. El valor de  $r^2$  obtenido fue superior a 0.98 para todos los casos, un buen resultado pese al efecto de la variación de las sombras a lo largo de la serie (Palà y Arbiol 2002).



**Figura 2.-** Ejemplo del método de normalización estadística para la imagen de 11-sep-2000

Como se detalla la Tabla 1, la reflectancia sin corregir atmosféricamente o reflectancia TOA de las áreas establecidas como pseudoinvariantes mostraba un RMSE de 0.012 para la serie. Al aplicar el método semiempírico se obtuvo una desviación cuadrática media de 0.010 en la reflectancia corregida BOA. Cuando después del primer método se aplicó a la serie el segundo, la reflectancia corregida de dichas áreas redujo su RMSE hasta 0.006, la mitad del RMSE antes de aplicar el proceso de corrección. La reducción del RMSE lograda con el método físico no es muy elevada. Debe tenerse en cuenta que este proceso de obtención de reflectancias corregidas permite usar sin reservas el método de normalización. Además, aporta a la imagen otros beneficios como la recuperación de contraste al considerar el fenómeno de adyacencia en la ecuación de transferencia radiativa del modelo.

Método de corrección atmosférica aplicado	RMSE de $\rho$ áreas pseudoinvariantes
Ninguno (TOA)	0.012
Físico	0.010
Físico + Estadístico	0.006

**Tabla 1.-** RMSE de la reflectancia en áreas pseudoinvariantes según el método de corrección.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado el Sistema de Corrección Atmosférica ICC para sensores de teledetección en el espectro solar. El Sistema se basa en la concatenación de un método semiempírico sobre un modelo físico y simulaciones de transferencia radiativa con 6S, más un método empírico de normalización estadística mediante regresiones lineales. Se ha descrito su metodología básica y su aplicación a un caso práctico: una serie de imágenes pancromáticas Landsat ETM+ del área de Barcelona. Se ha seleccionado un conjunto de áreas pseudoinvariantes cuya reflectancia TOA presentaba una desviación cuadrática media de 0.012. Tras la aplicación del primer método el RMSE de la reflectancia BOA era de 0.010 y se redujo hasta a 0.006 tras la aplicación consecutiva de ambos métodos. Estos resultados son satisfactorios, más teniendo en cuenta que las zonas

pseudoinvariantes se encuentran en un entorno urbano y, por tanto, son muy susceptibles de presentar alteraciones radiométricas por el efecto de las sombras.

## BIBLIOGRAFIA

Caselles, V. y López, M.J. 1989. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies, *IJRS*, **10**, pp. 1127-1134.

Codina, B., Aran, M., Young, S. y Redaño, A. 1997. Prediction of a Mesoscale Convective System over Catalonia (Northeastern Spain) with a Nested Numerical Model. *Meteor. Atmos. Phys.*, **62**, 9-22.

Huang, C., Wylie, B., Homer, C., Yang, L., y Zylstra, G. 2002. Derivation of a Tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *IJRS*, **23**, no. 8, p. 1741-1748

Huang, C., Yang, L., Homer, C., Wylie, B., Vogelmann, J., y T. DeFelice, 2001. At-Satellite Reflectance: A First Order Normalization of Landsat & ETM+ Images. USGS Land Cover Program Publications.

Palà, V. y Arbiol, R. 2002. True orthoimage generation in urban areas. *Proceedings of 3rd International Symposium Remote Sensing of Urban Areas*, vol 1, pp. 309-314. Estambul.

Palà, V. y Pons, X. 1995. Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections, *PE&RS*, **61**, pp. 935-944.

Staenz, K., Williams, D.J. 1997. Retrieval of Surface Reflectance from Hiperespectral Data Using a Look-up Table Approach. *CJRS*, **23**, nº4, 354-368.

Vermote, E., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M. y Morcrette, J.J. 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. *IEEE TGRS*, **35**, 675-686.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a Eliseu Vilaclara Ribas y Abdelmalik Sairouni del SMC, por los datos del modelo de predicción meteorológica MASS.