

# Sistema de Corrección Atmosférica en Espectro Solar por Métodos Físico-Estadísticos

Martínez, L., Palà, V. y Arbiol, R.  
Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)  
Unitat de Teledetecció  
Parc de Montjuïc s/n  
08038 Barcelona  
E-mail: lmartinez@icc.es

**Palabras clave:** corrección atmosférica, espectro solar, adyacencia, transferencia radiativa, normalización, multitemporal, superficies invariantes, MASS, Landsat 7 ETM+.

## Resumen:

En este trabajo se muestra el Sistema de Corrección Atmosférica ICC, para sensores de teledetección pasiva en el espectro solar, que reduce el impacto de la absorción gaseosa, la dispersión de Rayleigh, la dispersión de Mie y el efecto de adyacencia que la atmósfera produce en la medida radiométrica.

El método físico se basa en simulaciones de transferencia radiativa, no está restringido a una plataforma concreta y su diseño permite contemplar el impacto de la geometría de iluminación y observación, el estado de la atmósfera, y la topografía. La corrección física se complementa mediante un procedimiento de normalización estadística basado en la radiometría de superficies invariantes que posibilita la generación de series multitemporales de imágenes compensadas.

El Sistema se ha implementado para la corrección de series de imágenes pancromáticas Landsat 7 ETM+, empleando datos atmosféricos del modelo de predicción meteorológica MASS. El efecto de la corrección atmosférica se analiza sobre superficies invariantes determinadas sobre la transformación Tasseled Cap. La desviación cuadrática media de la reflectividad de las superficies invariantes se redujo a la mitad al aplicar el método propuesto, respecto a la reflectividad sin corregir.

## 1.Introducción

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 con imágenes de diferentes sensores.

La radiancia medida por el sensor depende de la reflectividad de la superficie observada y la geometría de iluminación. 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. 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 próximos.

Para obtener medidas de la radiancia teledetección libre de efectos atmosféricos se ha desarrollado un Sistema de Corrección Atmosférica de Espectro Solar basado en un método físico con datos atmosféricos síncronos, seguido de un método de normalización a partir de superficies invariantes. Dicho método es de carácter modular y adaptable a cualquier tipo de sensor y plataforma de espectro solar, y permite la incorporación de datos síncronos a la imagen para la obtención de reflectividades absolutas mediante simulaciones de transferencia radiativa o el uso de valores estándar en ausencia de estos. Una vez realizada la corrección atmosférica absoluta de cada imagen, permite el depurado de una serie multitemporal mediante un método de normalización estadística.

## 2. Metodología del Sistema

### 2.1 El método físico

El método físico se aplica a las radiancias medidas por el sensor o radiancia Top Of Atmosphere (TOA), para obtener la reflectividad corregida o reflectividad Bottom Of Atmosphere (BOA).

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

$$\rho^* = \frac{\pi \cdot L^*}{\mu_s \cdot E_s}$$

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 Staenz [2], es posible notar la radiancia solar que alcanza un sensor de teledetección observando una superficie horizontal como

$$L^* = A\rho_c / (1 - \langle \rho_e \rangle S) + B\langle \rho_e \rangle / (1 - \langle \rho_e \rangle S) + L_a$$

donde:  $\rho_c$  es la reflectividad corregida de la superficie observada.  
 $\langle \rho_e \rangle$  es la reflectividad 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 del efecto atmosférico sobre la radiación directa y difusa, respectivamente.

Así la reflectividad corregida de la superficie observada, será para cada píxel

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

Los parámetros  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$  caracterizan tanto la geometría y posición en la atmósfera de sensor y área observada, como las condiciones atmosféricas en las que se realiza la medida. Su valor no depende ni de la reflectividad 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 reflectividad uniforme se notan como

$$L_g = A \frac{\rho_c}{1 - S\rho_c} \quad L_p = B \frac{\rho_c}{1 - S\rho_c} + L_a$$

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

La magnitud  $\langle \rho_e \rangle$  o reflectividad corregida del medio en el que se encuentra la superficie observada se obtendrá tratando el conjunto de píxeles que constituyen el entorno o vecindad, como un nuevo píxel situado en un entorno uniforme de reflectividad. Su valor vendrá dado por

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

Así el cálculo de la reflectividad corregida para cada píxel se realiza en un procedimiento de dos pasos, que permite recuperar contraste perdido debido al efecto de adyacencia al incorporar en el procedimiento el efecto de la reflectividad del entorno del píxel.

## 2.2 El método estadístico

En una serie de imágenes corregidas absolutamente con el método físico se puede aplicar de manera general un método de normalización sobre superficies invariantes, pues se ha eliminado los factores que limitan el uso de dicho método estadístico. Este procedimiento homogeneiza la reflectividad de series multitemporales corrigiendo desviaciones de la caracterización atmosférica, derivas del calibrado del sensor, etc [3]. A partir de la reflectividad de dichas zonas se calculan los coeficientes de sesgo y ganancia que relacionan las reflectividades entre las imágenes de la serie.

## 3. 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 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 [4], y rectificadas por vecino más próximo en píxeles de 15 metros.

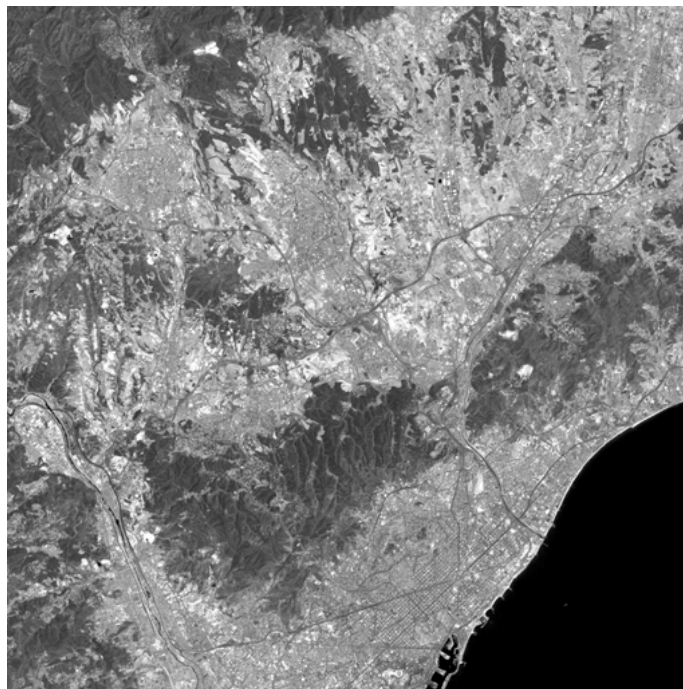


Figura 1: Imagen Landsat 7 ETM+ de Barcelona sobre la que se aplica la corrección atmosférica

La simulación de transferencia radiativa para el método físico se han realizado a partir del código ): Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S) [5], empleando simulaciones de la atmósfera del modelo Mesoscalar Atmospheric Simulation System (MASS) [6] del Servei de Meteorologia de Catalunya (SMC) [7], un modelo climatológico estándar de aerosoles y un modelo de elevación del terreno (MET) con la misma resolución espacial que la imagen.

Las áreas invariantes para el método estadístico se han escogido a partir de la transformación Tasseled Cap (TC) para ETM+ según Huang [8]. 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. Sobre ellas se han realizado regresiones lineales con  $r^2$  superior a 0.98 para la normalización estadística respecto a la primera imagen de la serie correspondiente a 23-jul-1999 (Figura 2).

**Normalización estadística 11-set-2000 respecto a 23-jul-1999**  
 $\text{Reflectividad}_{11\text{-sep-2000}} = 0.9779 * (\text{Reflectividad}_{23\text{-jul-1999}}) + 0.0091$   
 $r^2=0.9981$

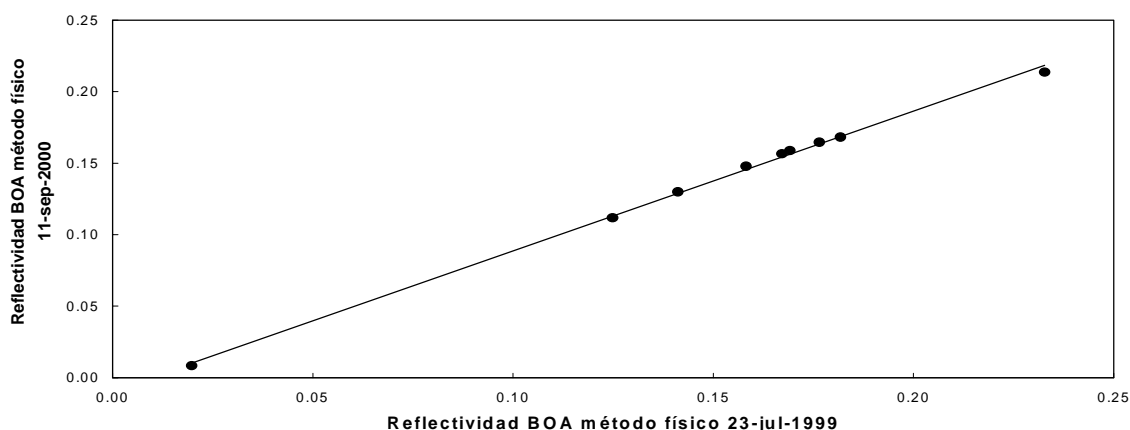


Figura 2: Ejemplo del método de normalización estadística para la imagen de 11-sep-2000

Como muestra la Tabla 1, la reflectividad TOA de las áreas establecidas como invariantes muestran una desviación cuadrática media en su reflectividad de 0.012 y si se aplica el método físico se obtiene una desviación cuadrática media de 0.010. Cuando después del método físico se aplica a la serie el método estadístico, la reflectividad corregida de dichas áreas reduce su desviación cuadrática media a 0.006. La reducción de la desviación cuadrática media lograda con el método físico no es muy elevada. Pero debe tenerse en cuenta que este proceso de obtención de reflectividades BOA aporta a la imagen otro beneficio que es la recuperación de contraste.

Método de corrección atmosférica aplicado a la reflectividad	Desviación cuadrática media de la reflectividad corregida en áreas invariantes
Ninguno (TOA)	0.012
Físico	0.010
Físico + Estadístico	0.006

Tabla 1: Desviación cuadrática media de la reflectividad corregida en áreas invariantes

#### 4. Conclusiones.

En este trabajo se ha presentado el Sistema de Corrección Atmosférica ICC para sensores de teledetección en el espectro solar, basado en la concatenación de un método físico, con simulaciones de transferencia radiativa, más un método estadístico, con 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 han seleccionado áreas invariantes cuya reflectividad TOA presentaba una desviación cuadrática media de 0.012. Tras la aplicación del método físico la desviación cuadrática media de la reflectividad BOA era de 0.010 y se redujo a 0.006 tras la aplicación consecutiva del método físico y del método estadístico. Estos resultados son satisfactorios, más teniendo en cuenta que las zonas invariantes se encuentran en un entorno urbano y, por tanto, son susceptibles de presentar alteraciones radiométricas por el efecto de las sombras.

#### Agradecimientos

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

## Referencias

- [1] Huang, C., L. Yang, C. Homer, B. Wylie, J. Vogelmann and T. DeFelice, "At-Satellite Reflectance: A First Order Normalization of Landsat & ETM+ Images". USGS.
- [2] Staenz, K., Williams, D.J. 1997, Retrieval of Surface Reflectance from Hiperespectral Data Using a Look-up Table Approach. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol 23, nº4, 354-368.
- [3] Caselles, V. y López, M.J. (1989): An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies, International Journal of Remote Sensing, vol. 10, pp. 1127-1134.
- [4] Palà V. y Pons X. (1995): Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 61, pp. 935-944.
- [5] Vermonte, 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 Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35, 675-686.
- [6] <http://www.meteocat.es>
- [7] 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.
- [8] Huang, C., Wylie, B., Homer, C., Yang, L., and Zylstra, G., 2002, Derivation of a Tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance: International Journal of Remote Sensing, v. 23, no. 8, p. 1741-1748.