Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección

S. Hantson¹, E. Chuvieco¹, X. Pons², C. Domingo², C. Cea², G. Moré², J. Cristobal², J. J. Peces³ y J. A. Tejeiro³

 ¹ Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía, Calle Colegios, 2. 28801 Alcalá de Henares (Madrid)
 ² Universitat Autònoma de Barcelona, Departamento de Geografía. 08193 Cerdanyola del Vallès (Barcelona)
 ³ Instituto Geográfico Nacional, General Ibáñez de Ibero, 3. 28003 Madrid

Resumen

El presente artículo describe el flujo de pre-procesamiento de imágenes Landsat de diversos orígenes, tanto adquiridas a Eurimage por entidades diversas, descargadas del servidor GloVis, como adquiridas en el marco del Plan Nacional de Teledetección (PNT). Se presenta, además, un resumen de los resultados de la comparación entre los diferentes algoritmos validados, tanto en la corrección geométrica como en la radiométrica y topográfica, junto con una descripción de los algoritmos a aplicar. Se pretende facilitar a los usuarios de los productos de media resolución del PNT la información necesaria para pre-procesar imágenes Landsat permitiendo la generación de series temporales de imágenes de media resolución.

Palabras clave: Landsat, corrección atmosférica, corrección geométrica, corrección topográfica, Plan Nacional de Teledetección.

Abstract

Standard pre-processing flow for Landsat imagery within the Spanish remote sensing program

This article describes the flow of pre-processing algorithms for the correction of Landsat imagery acquired from different origin; from Eurimage by different institutions, from the GloVis server and imagery acquired within the framework of the Spanish Remote Sensing Program (PNT). A short summary of the inter-comparison exercise between the algorithms considered is given, next to a description of the algorithms that will be applied. Like this the users of the products offered by the PNT know which algorithms were applied to the Landsat imagery and are able to apply the same algorithms to the imagery acquired by the proper users. This will help to generate stable temporal series of medium resolution imagery.

Key words: Landsat, atmospheric correction, topographic correction, geometric correction, Spanish National Plan in Remote Sensing

Introducción

La utilización de imágenes de satélite se ha incrementado notablemente en los últimos años, tanto a nivel público como privado. Hace apenas una década la información espacial era utilizada solamente por especialistas, mientras que actualmente múltiples usuarios aprovechan la información capturada por diversos sensores espaciales. No obstante, su uso no es una tarea trivial y se requiere un considerable esfuerzo financiero y humano para su adquisi-

^{*} Autor para la correspondencia: hantson.stijn@gmail.com Recibido: 07-06-11; Aceptado: 06-10-11.

ción, administración y pre-procesamiento. Por estas razones, no todos sus potenciales usuarios emplean este tipo de imágenes o bien se limitan a una interpretación visual o análisis muy básicos. Si se mejorara la disponibilidad de imágenes debidamente calibradas, se extendería también el número y diversidad de los usuarios de éstas.

Con la puesta en marcha del Plan Nacional de Teledetección (PNT), el Instituto Geográfico Nacional (IGN) quiere facilitar y aumentar el uso de la teledetección en las administraciones públicas españolas, empresas y ciudadanos en general.

Este plan está dividido en tres ramas dependiendo de la resolución espacial: imágenes de baja resolución (Terra/Aqua-MODIS, Meteosat-SEVIRI,...), imágenes de media resolución (Landsat-MSS/TM/ETM+, CBERS-HRCC/IRMSS/MUXCAM, Deimos-1-SLIM6, ...), e imágenes de alta resolución (SPOT-HRV/HRVIR/HRG, Ikonos-OSA, CBERS-HRPC/PANMUX,...).

En el caso de las imágenes de media resolución, el PNT pondrá a disposición de los usuarios nacionales la serie histórica de imágenes adquiridas por los satélites Landsat, desde su lanzamiento en 1972. Actualmente el IGN está facilitando imágenes adquiridas en tiempo real de la misión Landsat-5 TM, que es la que en estos momentos genera una mejor calidad de datos.

Dada la importancia histórica y actual de la familia de satélites Landsat, pareció razonable elaborar una metodología estándar de procesamiento de las imágenes adquiridas por los distintos sensores de la serie. Contar con productos calibrados, tanto geométrica como radiométricamente, resultará de una ayuda inestimable para la mayoría de los potenciales usuarios de estos datos, evitando una realización de una serie de procesos bastante tediosos y no siempre suficientemente precisos.

Para determinar de entre los múltiples algoritmos de corrección existentes (geométrica, atmosférica, topográfica, etc.) los que serán utilizados, se contactó a distintos especialistas que trabajan en estas temáticas, realizándose diversas pruebas y una validación rigurosa para asegurar una alta consistencia temporal de los productos generados. La validación realizada tuvo como objetivo elaborar series temporales radiométricamente estables. Para mayor información sobre las validaciones aplicadas y los resultados obtenidos se puede consultar la memoria final del proyecto: «Estudios de procesos a aplicar y productos a obtener de las imágenes de satélite a media resolución»: http://www.ign.es/PNT/pdf/especificaciones-tecnicas-pnt-mediar-landsat_v2-2010.pdf.

Publicar todos los resultados de las pruebas de validación está fuera del objetivo de este artículo, que presenta un resumen de los resultados y avances de los últimos años del PNT de media resolución, orientado sobre el establecimiento del primer flujo de pre-procesamiento (versión 1) de imágenes Landsat, tanto para las bandas del espectro óptico como las del espectro térmico. El esquema del flujo de trabajo para la corrección de las imágenes esta presentado en la figura 1.

Corrección geométrica

La primera etapa para utilizar la información de las imágenes de satélite es la georreferenciación, asignándole a cada píxel su coordenada geográfica correspondiente, o encontrando el píxel o grupo de píxeles que proporcionan información sobre una determinada coordenada geográfica. El método tradicional, seleccionando puntos de control manualmente en cada imagen no es una opción operativa cuando se requiere procesar una gran cantidad de imágenes. Para facilitar la selección de puntos de control, la Universidad Autónoma de Barcelona/Centro de Investigación Ecológica Aplicaciones Forestales y (UAB/CREAF) ha desarrollado un algoritmo automático para la corrección geométrica (Pons et al., 2010 y Pons et al., in prep.).

El algoritmo desarrollado por estos autores se estructura en los siguientes pasos:

1) Selección de una imagen de referencia, de alta resolución espacial, con una óptima georreferenciación. Se utilizó para ello el mosaico SPOT con 2.5 m de resolución generado en el marco del PNT (Tejeiro, 2010) y las ortofotos 1:25.000 del plan nacional de ortofotografía (píxel de 0.5 m). En ambos casos, las imágenes de



Figura1. Flujo de la corrección de las imágenes Landsat.

referencia se remuestrearon a la resolución nominal de las imágenes a corregir (30 m).

2) El algoritmo utilizado genera automáticamente una serie de puntos de control y test en un muestreo que recoge automáticamente todos los rangos XYZ potenciales.

3) El programa realiza aproximaciones sucesivas y corrige la imagen. La búsqueda tiene en cuenta una aproximación espectral lo más parecida a la ortofoto de referencia así como estrategias de corregistro de ventanas espaciales que tienen en cuenta la ubicación aproximada de la línea de nadir, el desplazamiento nominal esperado por el relieve, etc. A diferencia de otros métodos que buscan estructuras geométricas en la imagen y que no funcionan bien en zonas naturales, el método radiométrico permite encontrar centenares de puntos en todo el rango XYZ.

Para la validación del polinomio a utilizar se realizó una prueba con toda la serie histórica de la escena 198/31 (236 imagenes). Durante las pruebas se observó una clara superioridad del modelo de un polinomio de cabeceo constante con Z (tabla 1), obteniendo valores promedios de RMS alrededor de 20 m para imágenes TM/ETM+, siempre dando valores de RMS menores que los obtenidos con los otros polinomios. Ejercicios adicionales de validación se realizaron para toda la serie histórica de la escena 201/33 y para múltiples escenas aisladas con el polinomio de cabeceo constante con z siempre dando valores de RMS menores que los otros polinomios. Para la serie histórica de 201/33 los RMS para el polinomio constante con z eran de entre 13-18m (TM/ETM+), con los valores más altos para las imágenes ETM+ con el SLC-OFF. El algoritmo es capaz de corregir imágenes con una alta fiabilidad siempre cuando tengan un cobertura nubosa inferior al 80% (Pons *et al*, 2010). Refinamientos posteriores han permitido en series aún más largas valores RMS del orden de 1/3 de píxel en tests independientes de cientos de puntos (Pons *et al.*, in preparation). El modelo polinomio de corrección a aplicar es el siguiente:

$$x' = A + Bx + Cy + Dz + Ezx + Fzy$$

 $y' = A' + B'x + C'y + D'z$ [1]

El tipo de remuestreo a aplicar siempre será discutible, tanto para el vecino más próximo como con las distintas interpolaciones, con sus ventajas y desventajas. Por esta razón los

Tabla 1. Resultados de la corrección geométrica,como RMS (m) promedio para los puntos de test

MSS	L5 TM	L7 ETM+		
Cabeceo constante con z		43.0	19.0	21.5
Polinomio 1 ^{er} grado sin z		64.4	48.5	28.1
Polinomio de 2º grado sin z		51.2	39.8	24.0

productos se procesan con dos tipos de remuestreo, correspondientes al vecino más próximo y a la convolución cúbica. Conviene considerar en este sentido que la cadena estándar de proceso del United States Geological Survey (USGS) aplica una interpolación de convolución cúbica (Chander *et al.*, 2009).

El tamaño de píxel es otro tema controvertido. Se ha comprobado que con un menor tamaño de píxel que el original se conserva mejor ciertos aspectos visuales y estructuras dentro de la imagen, especialmente cuando se corrige con el vecino más próximo. En consecuencia, se propone que el tamaño de píxel resultante sea de 25 m, aunque la resolución nominal sigue siendo obviamente de 30 m.

Corrección radiométrica en el óptico

Para las bandas 6 en el espectro óptico (visible e infrarrojo cercano y medio), se calculan en primer lugar las radiancias a partir de los coeficientes de conversión, empleando la siguiente ecuación:

$$Ll = G \cdot ND + B$$
 [2)]

siendo L_{λ} la radiancia espectral obtenida por el sensor (W · m⁻² · sr⁻¹ · μ m⁻¹), ND los niveles digitales de la imagen, G la ganancia y B el sesgo.

Para las imágenes obtenidas desde el USGS se aplican los parámetros dados en los metadatos, que coinciden con los aportados por Chander et al. (2009), obtenidos a partir de las nuevas curvas de calibración radiométricas temporales (Chander y Markham, 2003; Chander et al., 2007). Para las diferentes imágenes MSS se aplican los nuevos parámetros propuestos por Helder (2009) para tomar en cuenta la sobre/sub calibración de los distintos sensores. La aplicación de estos parámetros para MSS no será necesaria en el futuro para imágenes ofrecidas por parte del USGS cuando el nuevo pre-procesamiento de las imágenes MSS esté en marcha a fines del 2011 (comunicación personal, USGS).

En las imágenes del sensor TM-5 obtenidas a partir del EURIMAGE se observaron distintos problemas radiométricos, dado que el procesamiento de las imágenes que realizan es diferente al del USGS, cuando estas fueron adquiridas antes del verano de 2009. Para que la radiometría sea igual para los diferentes preprocesamientos, es necesario convertir todos los parámetros para hacerlos comparables con las imágenes ofrecidas por el USGS, siguiendo las curvas de degradación presentadas por Chander *et al* (2007). El proceso de esta parametrización esta explicado en Saunier y Rodríguez (2006).

Una vez obtenida la radiancia espectral recibida por el sensor se puede calcular la reflectividad aparente (en el techo de la atmósfera, TOA) con la siguiente fórmula:

$$\rho \text{TOA} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{0,\lambda} \cos \theta_s}$$
[3]

Siendo:

d: Distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en unidades astronómicas (ua).

 L_{λ} : Radiancia espectral, calculada como en el punto anterior.

 $E_{0,\lambda}$: Irradiancia espectral solar exoatmosférica

 θ_s : Ángulo cenital solar.

Los parámetros d y $E_{0,\lambda}$ están recogidos en el artículo de Chander *et al.* (2009), y el ángulo cenital solar en los metadatos de la propia imagen.

Corrección radiométrica en el térmico

Para la obtención de radiancias en el espectro térmico se emplea la misma metodología antes descrita para el espectro óptico (ecuación 1), usando los coeficientes de calibración del sensor térmico.

Para imágenes Landsat 5 TM adquiridas después de 1/04/1999 se propone añadir un $0,092 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu \text{m}^{-1}$ a la radiancia obtenida (Barsi *et al.*, 2007). Esto es necesario para las imágenes Eurimage, aspecto que ya ha sido introducido como parte del pre-procesamiento de las imágenes del USGS (Chander *et al.*, 2009). En la tabla 2 se presentan los valores de G y B para los sensores del Landsat 4,5 y 7. A

•			
	K1	K2	
L4 TM	671.62	1284.3	
L5 TM	607.76	1260.56	
L7 ETM+	666.09	1282.71	

Tabla 2. Valores de K1 y K2 para los sensores Landsat 4, 5 y 7 (Chander et al., 2009)

partir de la radiancia, la temperatura de brillo se calcula usando la siguiente fórmula:

$$T_{sen} = \frac{K2}{\ln(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1)}$$
[4]

Siendo:

T_{sen}: temperatura de brillo (K) K1: constante de calibración 1 $(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$

K2: constante de calibración 2 (K)

Corrección atmosférica en el óptico

Para poder comparar la radiometría entre imágenes en una serie temporal es necesario convertir la reflectividad aparente (TOA) a reflectividad de la superficie terrestre. Esto requiere abordar la corrección atmosférica y la del sombreado topográfico. El algoritmo de corrección atmosférica aplicado aquí corrige la señal recibida por el sensor de la influencia y distorsiones radiométricas causadas por la atmósfera. Durante el estudio se ha analizado la estabilidad temporal de tres métodos distintos: el método basado en el objeto oscuro (Chavez, 1988; Chavez, 1996), una versión adaptada del mismo (Pons y Solé-Sugrañes, 1994) y otro método basado en modelos de transferencia radiativa (Guanter et al., 2009). Otros métodos existentes de corrección atmosférica con modelos de transferencia radiativa o el método SMAC no fueron analizados por falta de operatividad o la necesidad de datos adicionales no disponibles para toda la seria temporal. Analizando la estabilidad temporal de cada algoritmo a partir de pixeles pseudo-invariantes, se observó que el algoritmo de Guanter daba coeficientes de variación más altos que los otros dos algoritmos en todas las bandas. Esto es porque el algoritmo genera valores de reflectividad erróneos para algunas imágenes difíciles de corregir. Para los otros dos métodos analizados, el método de Chavez da coeficientes de variación más bajos en el espectro visible, en cambio el algoritmo propuesto por Pons & Solé da coeficientes de variación más bajos en el infrarrojo. Dado que el efecto de la atmosfera es más importante en el espectro visible que en el infrarrojo, se ha optado para utilizar el método de Chavez para la corrección atmosférica. El modelo toma en cuenta la transmisividad de la atmósfera en el camino sol-tierra y la dispersión atmosférica:

$$\rho = \frac{\pi \cdot [L - L_a] \cdot d^2}{\cos \theta \cdot E_0 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2}$$
[5]

Siendo ρ la reflectividad, E_0 la irradiancia exoatmosférica solar (en $W \cdot m^{-2} \cdot mm^{-1}$), τ_1 es el coeficiente de transmisión atmosférica en el camino Sol-Tierra, τ_2 el coeficiente de transmisión atmosférica en el camino Tierra-sensor L_a es la radiancia recibida por el sensor en un área donde sólo hay contribución de la atmósfera (área de sombra o agua según la región espectral), *L* la radiancia del píxel a corregir, 1 el ángulo cenital solar y d la distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas.

Hemos recogido una de las propuestas de Chavez de su trabajo de 1996, que basaba la estimación de la transmisión atmosférica con valores estándar. Para τ_1 se emplean los valores estándar (0,70; 0,78; 0,85 y 0,91) dados por Chavez (1996) para las bandas 1-4, respectivamente, y (0,95 y 0,97) para banda 5 y 7, propuestos por Gilabert *et al.* (1994). Para los valores de τ_2 se considera cos 10, siendo 10 el ángulo cenital del sensor. Sería 1 para imágenes Landsat, ya que la observación es siempre vertical.

Para la estimación de L_a se utiliza el valor mínimo de ND del histograma, con el umbral de 200 píxeles (se elige como ND mínimo el valor que primero supere la cantidad de 200 píxeles), utilizando solo la parte central de la imagen (para evitar valores anómalos en los bordes).

Corrección topográfica

Los métodos de corrección topográfica, comúnmente utilizados fueron analizados por su consistencia temporal, mediante la medida de la desviación típica (DT) en píxeles de suelo desnudo observados bajo distintos ángulos de incidencia solar. Los métodos analizados son: C de Teillet, coseno, minnaert, minnaert incluyendo la pendiente and empírico-estadístico. Más información sobre los distintos methodos y los resultados de la validación se puede encontrar en Hantson y Chuvieco (2011). La disminución en DT para el método empírico-estadístico y C de Teillet en el espectro visible era mayor que 100% comparado con los otros métodos y mayor que 50% en el infrarrojo.

El método empírico-estadístico generó mayormente valores de DT más bajos en los distintos análisis, considerándose el más adecuado para el PNT. Este método sólo se aplica a las bandas ópticas, y es un método solamente estadístico, pero no sobre-corrige las imágenes, siendo unos de los mayores problemas de los métodos convencionales. Este método se aplica independiente para coberturas de suelo, separando entre zonas con vegetación y zonas de suelo desnudo, utilizando un umbral de 0.4 de NDVI para la separación entre ambas. El método empírico-estadístico está descrito por el siguiente algoritmo:

$$\rho_{\lambda,h,i} = \rho_{\lambda,i} \cos \gamma_i m_\lambda - b_\lambda + \overline{\rho}_{\lambda,i} \qquad [6]$$

Siendo:

 $\rho_{\lambda,h,i}$: reflectividad de un píxel en terreno horizontal

 $\rho_{\lambda,i}$: reflectividad de un píxel en terreno en pendiente

 $\overline{\rho}_{\lambda,i}$: reflectividad promedio de todos los Ú_{i,i} γ_i : : ángulo de incidencia en un píxel i

 b_{λ} : la ordenada en el origen de la regresión

lineal entre $\gamma_i y \rho \lambda_{,i}$

 m_{λ} : la pendiente de la regresión lineal entre γ_i y $\rho\lambda_{,i}$

Estimación de la Temperatura de la Superficie Terrestre

Esta metodología aún no ha sido desarrollada operativamente, pero está planeada para un futuro próximo.

Para obtener la Temperatura de la Superficie Terrestre (TST) a partir de la radiancia térmica es necesario realizar una corrección tanto del efecto atmosférico como de la emisividad de la superficie.

Para llevar a cabo la corrección radiométrica a partir de la banda(s) térmica de Landsat (banda 6) y obtener así la TST, se usa un algoritmo mono-canal descrito por Jiménez-Muñoz *et al.* (2009). El método se basa en la corrección atmosférica a partir de la estimación del vapor de agua (w). Para llevar a cabo la corrección atmosférica se necesita una estimación del vapor de agua en la atmósfera y una estimación de las emisividades. El producto MODIS de vapor de agua se considera muy preciso, pero sólo se encuentra disponible desde el año 2000.

Para poder corregir toda la serie temporal es necesario utilizar datos obtenidos por otro sensor, optándose por estimar el vapor de agua a partir de imágenes NOAA-AVHRR. En consecuencia, se estima *w* como variable de entrada en el modelo de generación de la TST a partir del producto de w de MODIS (MOD05) para las imágenes con fecha posterior al 2000 y a través del cálculo del *w* a partir de imágenes AVHRR para las imágenes anteriores al 2000 a partir de la metodología de Sobrino *et al.* (1999). La estimación de las emisividades se describe en el párrafo siguiente.

El algoritmo para el cálculo de TST se basa en la inversión de una ecuación de transferencia radiativa (Jiménez-Muñoz *et al.*, 2009). Con el fin de que el algoritmo pueda aplicarse de forma operacional se propone una aproximación de las funciones atmosférica (ψ_1 , ψ_2 , ψ_3) únicamente con el vapor de agua. La estimación de la TST se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$T_{s} = \gamma \left[\frac{1}{\varepsilon} (\psi_{1} L_{sen} + \psi_{2}) + \psi_{3} \right] + \delta \qquad [7]$$

$$\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^2 \\ w \\ 1 \end{bmatrix}$$
[8]

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^2}{b_{\gamma} L_{sen}}$$
[9]

$$\delta \approx T_{sen} - \frac{T_{sen}^2}{b_{\gamma}}$$
[10]

Siendo:

 T_s : temperatura de la superficie terrestre γ & δ : parámetros para la estimación de TST T_{sen} : temperatura de brillo L_{sen} : radiancias recibidas por el sensor b_{γ} : igual a 1.290 K, 1.256 K, y 1.277 K respectivamente para L4B6, L5B6, y L7B6

Los coeficientes para la estimación de las funciones atmosféricas fueron tomados de (Jiménez-Muñoz *et al.*, 2009) para las bandas térmicas de Landsat 4, 5 y 7. Los parámetros obtenidos de la base de datos TIGR61 contienen una cantidad de valores de vapor de agua bien distribuidos y por tanto podrían ser utilizados para un producto global. Los parámetros para los distintos sensores Landsat son entonces:

Landsat 4:

$$\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.07247 & -0.06968 & 1.07880 \\ -0.60283 & -0.68176 & -0.13311 \\ -0.01999 & 1.43469 & -0.46157 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^2 \\ w \\ 1 \end{bmatrix}$$
[11]

Landsat 5:

$$\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.08735 & -0.09553 & 1.10188 \\ -0.69188 & -0.58185 & -0.29887 \\ -0.03724 & 1.53065 & -0.45476 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^2 \\ w \\ 1 \end{bmatrix}$$
[12]

Landsat 7:

$$\begin{vmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.07593 & -0.07132 & 1.08565 \\ -0.61438 & -0.70916 & -0.19379 \\ -0.02892 & 1.46051 & -0.43199 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w^2 \\ w \\ 1 \end{vmatrix}$$
[13]

Corrección de emisividades

Emisividad en suelos y zonas con vegetación

El método propuesto es la metodología presentada por Sobrino *et al.* (2008), que estima la emisividad a partir de la reflectividad en la banda 3 y de la proporción de cubierta vegetal P_v , obtenida a partir del NDVI.

NDVI < 0.2 $\varepsilon = 0.979 - 0.035 \cdot \text{TM3}$ $0.2 \le \text{NDVI} \le 0.5$ $\varepsilon = 0.979 + 0.004 \cdot P_v$ [15] NDVI > 0.5 $\varepsilon = 0.99$

La P_v como parámetro de entrada en la estimación de emisividades por parte de Sobrino se calcula a partir del NDVI con la siguiente ecuación:

$$P_{v} = \left(\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{s}}{\text{NDVI}_{v} - \text{NDVI}_{s}}\right)^{2}$$
[16]

donde los valores de NDVI_v = 0.5 y NDVI_s = 0.2 fueron propuestos por Sobrino y Raissouni (2000) para una aplicación global. Aunque estos valores de NDVI pueden variar en el caso de imágenes de mayor resolución, se ha optado de seguire estos umbrales en la falta de disponibilidad de valores mas adaptados a imágenes de media resolución. Para obtener valores consistentes de P_v, se debe asignar el valor 0 en el caso que NDVI < NDVI_s y 1 en el caso de píxeles donde NDVI > NDVI_v. En el caso de zonas urbanas se tratarán como si fuera un suelo desnudo.

Cálculo de la emisividad en cuerpos de agua, nieves y hielo

Para aguas continentales o marinas, se emplea una máscara, asignando al píxel un valor de 0.99. Estos cuerpos de agua son detectados a partir de un umbral de 0.15 en las banda 4 y 5, pero sólo para las zonas con posibilidad que haya agua, extraídas a partir del mapa topográfico 1:50.000 del IGN.

En el caso de la nieve y el hielo, no es posible la utilización de una máscara estándar debido a la alta variabilidad estacional de este tipo de cubiertas. Por ello se propone determinar la cubierta de nieve y hielo a través de la metodología basada en el cálculo del índice Normalized Difference Snow Index (NDSI), del cual se obtiene una máscara que permite asignar un valor aproximado para este tipo de cubierta, típicamente 0.98.

Capas temáticas

Detección de superficies de agua

Para la detección de zonas de agua se propuso poner un umbral en la banda 5 de 0.15 (Bustamante *et al.*, 2005) y también en la banda 4, pero solo para las zonas con posibilidad que haya agua, extraídas previamente a partir



Figura 2. Esquema del proceso de detección de nieve.

del mapa topográfico 1:50.000 del IGN. Así se evita también, en la mayoría de los casos, la confusión con zonas de sombras que también presentan valores muy bajos en ambas bandas.

Detección de nieve

El algoritmo a aplicar fue desarrollado por Cea *et al.* (2007), y se basa en el Normalized Difference Snow Index (NDSI):

$$NDSI = \frac{\text{banda } 2 - \text{banda } 5}{\text{banda } 2 + \text{banda } 5} > 0.4 \quad [17]$$

fijando el umbral en el valor 0.4. Para disminuir la confusión de las superficies de agua, se excluyen del análisis las zonas detectadas como agua. El esquema utilizado para la detección de nieves se observa en la figura 2.

Se obtuvieron buenos resultados en la discriminación de la nieve (Cea *et al.*, 2007), minimizando los posibles errores de comisión de otras cubiertas utilizando la máscara de cuerpos de agua.

Máscara de nubes

En este ámbito se utilizó una propuesta dada por el grupo de la UAB (Universidad Autónoma de Barcelona), el cual se basa en la diferencia entre una imagen de referencia (libre de nubes) y la imagen a evaluar, excluyendo los falsos positivos, fijando un umbral en la banda térmica. Debido a que el algoritmo también detecta parte de las zonas cubiertas por nieve se sobrepone la máscara de nieve obtenida con otro algoritmo. Se puede ver el algoritmo de detección de nubes esquematizado en la figura 3.

En detalle se compara el TOA de la banda 1 entre la imagen de referencia y la banda a analizar. Si la diferencia es mayor que 0.08 se considera posiblemente una nube. Para eliminar los falsos positivos se propone un umbral en la banda térmica (banda 6, de ganancia baja en el caso de ETM+) que cambia a lo largo del año. En verano la propuesta es de 290K y, para invierno, de 272K. Restando ambas capas se obtiene un resultado de píxeles que aumentan su reflectividad en la banda 1 y que tienen una baja temperatura. Para evitar confusión con capas de nieve se resta también la máscara de nieve del resultado. Después de eliminar los grupos de menos de 3 píxeles se obtiene la máscara de nubes.

Nomenclatura de los productos a distribuir

La nomenclatura de los productos sigue una estructura estándar, como a continuación se indica:



Figura 3. Esquema del algoritmo de detección de nubes.

proyecto_satelite_sensor_pathrow_fecha (año mes dia)_tipo de producto_sistema de referencia_huso_tamaño de pixel_flotante o estándar

Los productos que actualmente están distribuidos son los siguientes:

```
— Imágenes originales:
```

```
e.g. pnt_landsat5_tm_199036_
20101031_ori_flo
```

— Imágenes corregidas geométricamente (vecino más próximo=xsnn, convolucion cubica=xsbic):

e,g, pnt_landsat5_tm_199036_20101031_ geo_xsbic_etrs89_hu30_gsd25_flo

Los productos que serán servidos próximamente:

- Radiancias:

e.g. pnt_landsat5_tm_199036_ 20101031_rad_etrs89_hu30_gsd25_flo

Reflectividad TOA:

e.g. pnt_landsat5_tm_199036_20101031 _toa_etrs89_hu30_gsd25_flo - Reflectividades de superficie:

e.g. pnt_landsat5_tm_199036_20101031_ rfl_etrs89_hu30_gsd25_flo

Para los productos térmicos y las capas temáticas, que actualmente están en fase de desarrollo, no se ha decidido los productos a distribuir.

Conclusiones

En este artículo se presenta el primer flujo de pre-procesamiento que se aplicará a las imágenes Landsat en el marco del PNT. Este preprocesamiento tiene como objetivo generar imágenes de satélite listas para ser utilizadas por diferentes usuarios. Por esto se puede considerar como un primer paso en facilitar el acceso hacia la información espacial, fomentando así el uso de imágenes satelitales y de los productos generados a partir de ellas por parte de las administraciones públicas, empresas y ciudadanos en general.

Los algoritmos seleccionados, fueron escogidos a partir de una exhaustiva validación, que tiene como objetivo asegurar que éstos generaban un resultado estable en el tiempo. Futuros trabajos tendrán que verificar la exactitud de la información distribuida.

Como hemos indicado, es la primera versión del flujo de pre-procesamiento, que según la disponibilidad de nuevos algoritmos, información o parámetros, podrían generar nuevas versiones que mejoren los resultados obtenidos.

En este artículo se describen los algoritmos de pre-procesamiento, para que así los usuarios comprendan el producto que utilizan, además de ofrecer la oportunidad a usuarios que poseen una base de datos Landsat adquirida anteriormente de poder aplicar este pre-procesamiento para que así su base de datos sea comparable con la información ofrecida por parte del PNT.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por parte del IGN (Instituto Geográfico Nacional), en el marco de Plan Nacional de Teledetección. Agradecemos especialmente las contribuciones de los asistentes de diferentes instituciones a las reuniones en la UAB, UAH e IGN.

Referencias

- BARSI, J. A., HOOK, S. J., et al. (2007). Landsat-5 Thematic Mapper Thermal Band Calibration Update. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 4(4): 552-555.
- BUSTAMANTE, J., DÍAZ-DELGADO, R., & ARAGONÉS, D. (2005). Determinación de las caracteristicas de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección. *Revista de Teledetección* 24: 107-111.
- CEA, C., CRISTÓBAL, J., & PONS, X. (2007). An improved methodology to map snow cover by means of landsat and MODIS imagery. Paper presented at: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IEEE international)*.
- CHANDER, G., & MARKHAM, B. L. (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41: 2674-2677.
- CHANDER, G., MARKHAM, B. L., & BARSI, J. A. (2007). Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 41: 490-494.

- CHANDER, G., MARKHAM, B. L., & HELDER, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment* 113: 893-903.
- CHAVEZ, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: 459-479.
- CHAVEZ, P. S. (1996). Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. *Photo*grammetric Engineering and Remote Sensing 62: 1025-1036.
- GILABERT, M. A., CONESE, C., & MASELLI, F. (1994). An atmosferic correction method for the automatic retrieval of surface reflectance from TM images. *International Journal of Remote Sensing* 15: 2065-2086.
- GUANTER, L., RICHTER, R., & KAUFMANN, H. (2009). On the application of the MODTRAN4 atmospheric radiative transfer code to optical remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 30: 1407-1424.
- HANTSON, S., & CHUVIECO, E. (2011). Evaluation of different topographic correction methods for Landsat imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*13(5): 691-700.
- HELDER, D. L. (2009). Consistent Radiometric Calibration of Landsat TM and MSS Sensors. In: Landsat Science Team Meeting (Fort Collins, CO).
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., CRISTÓBAL, J., SO-BRINO, J. A., SÒRIA, G., NINYEROLA, M., & PONS, X. (2009). Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval From Landsat Thermal-Infrared Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 47: 339-349.
- PONS, X., MORÉ, G., & PESQUER, L. (2010). Automatic matching of Landsat image series to high resolution orthorectified imagery. *in* Lacoste-Francis (ed.) *Proc. 2010 ESA Living Planet Symposium, ESA Communications*, Noordwijk, Holanda (CD-ROM, ISBN: 978-92-9221-250-6)
- PONS, X., & SOLÉ-SUGRAÑES, L. (1994). A simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Date. *Remote sensing of envi*ronment 48: 191-204.
- SOBRINO, J. A., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., SÒRIA, G., ROMAGUERA, M., GUANTER, L., MORENO, J., PLAZA, A., & MARTÍNEZ, P. (2008). Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46: 316-327.
- SOBRINO, J. A., & RAISSOUNI, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover

dynamic monitoring: Application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing* 21: 353-366.

SOBRINO, J. A., RAISSOUNI, N., SIMARRO, J., NERRY, F., & PETITCOLIN, F. (1999). Atmospheric water vapor content over land surfaces derived from the AVHRR data: application to the Iberian Peninsula. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 37: 1425-1434.

TEJEIRO, J. A. (2010). Procedimiento Operativo Estándar. Plan Nacional de Teledetección. Procesado Básico Alta Resolución. IGN. Madrid.