

EFFECTOS DE LA CORRECCIÓN DEL EFECTO TOPOGRÁFICO EN LAS IMÁGENES LANDSAT SOBRE LA CLASIFICACIÓN DE LOS USOS DEL SUELO

A. M. FELICISIMO, P. GARCIA-MANTECA Y J. MARQUINEZ.
INDUROT, Instituto de Urbanismo y Ordenación del Territorio.
Oviedo

RESUMEN

La respuesta espectral de las superficies se ve modificada por su orientación relativa frente a la fuente de iluminación. La corrección de este efecto topográfico puede mejorar significativamente la identificación, clasificación y comparación multitemporal de imágenes de satélite. Se han realizado clasificaciones de dos imágenes Thematic Mapper, con y sin la mencionada corrección radiométrica, para evaluar su influencia en los procesos de clasificación. La zona de estudio se corresponde a la hoja 100-II (Degaña), de donde se dispone de un mapa de vegetación usado como referencia.

ABSTRACT

The spectral response of surfaces is modified by their relative orientation as regards the source of lighting. Correction of this topographical effect could significantly improve identification, classification and multitemporal comparison of satellite images. Two Thematic Mapper image classifications have been performed, with and without the above mentioned radiometric correction, in order to evaluate their influence on classification processes. The study area corresponds to map 100-II (Degaña), of which a reference vegetation map is available.

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de las técnicas de teledetección en zonas montañosas se ve dificultada por los efectos debidos al relieve, que modifican la respuesta radiométrica en función de la situación relativa de cada lugar frente a las fuentes de iluminación. Como resultado, superficies cubiertas por un mismo tipo de vegetación aparecen con distintos valores de reflectancia en función de su pendiente y orientación. La corrección de este efecto puede mejorar significativamente los procesos de clasificación al disminuir la dispersión de la respuesta espectral y reducir la probabilidad de error en la asignación de cada pixel a una clase concreta.

La corrección radiométrica de los datos procedentes de un sensor multispectral se centra, por tanto, en la determinación de la respuesta característica de los diferentes tipos de superficie manteniendo invariante el efecto debido a la topografía y posiciones del sol y del observador.

En las páginas siguientes se exponen los resultados de aplicar esta corrección a la imagen de una zona donde la vegetación es conocida. Para ello se ensayan métodos de clasificación sobre una imagen Thematic Mapper con y sin corrección radiométrica. Los resultados se comparan con el mapa de vegetación existente para analizar los porcentajes de asignación realizada correctamente.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El análisis se ha realizado sobre la zona cubierta por la hoja 100-II (Degaña), escala 1/25.000, situada en el suroeste de

Asturias. El área representada tiene una extensión próxima a los 126 km² de los cuales unos 120 pertenecen a los concejos asturianos de Cangas de Narcea, Ibias y Degaña, mientras que el resto se distribuye entre los términos leoneses de Páramo de Sil y Vega Espinareda.

El relieve de la zona es relativamente abrupto, con una pendiente media de 29° (55 por ciento) y altitudes distribuidas entre una cota mínima de 600 m en el borde occidental y cumbres superiores a los 1800 m en la cresta septentrional y en la divisoria meridional.

A pesar de la homogeneidad del sustrato, predominantemente silíceo, la vegetación de la zona es relativamente variada. La leyenda del mapa de vegetación incorpora 43 clases de formaciones vegetales, de las que 20 corresponden a formaciones leñosas altas, 9 a leñosas bajas, 5 a formaciones herbáceas y el resto a diferentes complejos de vegetación (de charcas, de turberas, rupícolas, etc). La mayoría de estas clases tienen, sin embargo, una extensión reducida y no pueden considerarse especialmente representativas según este criterio.

Entre los bosques destacan por su extensión los **hayedos** y los **robledales**. Los primeros, muy homogéneos en la zona, se sitúan en laderas umbrías con exposición al Norte y sobre fuertes pendientes. Su mejor representación es el gran hayedo del valle de Hermo, en el cuadrante NE de la hoja. Entre los robledales pueden destacarse los bosques de **roble albar** (*Quercus petraea*) y las formaciones de **roble rosado** (*Quercus rosacea*). Los bosques de roble albar ocupan posiciones similares a las de los hayedos, compitiendo en

condiciones favorables con éstos en zonas de transición hacia ambientes menos húmedos y umbríos.

Otras formaciones de gran importancia en la zona son los **brezales** de *Erica aragonensis* (brezo rojo) y los **piornales** de *Genista polygaliphylla*. Se trata de formaciones leñosas bajas, muy extendidas a consecuencia de la intensa actividad humana ejercida sobre las comunidades climácicas y el progresivo abandono de prados y tierras de labor. El brezo rojo forma los matorrales acidófilos más comunes en la zona de estudio, consecuencia de la fuerte degradación de los correspondientes a la mayoría de los bosques.

Finalmente, los fondos de los valles están ocupados en una extensión muy significativa por **prados**, formaciones herbáceas densas desarrolladas sobre zonas de baja pendiente y suelos profundos y cuya existencia está condicionada al manejo humano, mediante siegas periódicas y pastoreo ocasional.

Este área fue elegida por tratarse de una zona con fuerte relieve de la que se dispone de una cartografía de la vegetación actualizada y fiable, lo que permite analizar más detalladamente las respuestas espectrales sin necesidad de limitarse a un proceso de muestreo de ámbito más reducido.

3. MATERIAL

3.1. Material informático.

Una parte de los procesos han sido realizados en una estación de trabajo SUN donde se han instalado los sistemas de información geográfica **Arc/Info** y **Erdas**. Arc/Info fue utilizado para el manejo de la cartografía de vegetación y de las variables topográficas en formato vectorial. Erdas se utiliza para el manejo de la información en formato matricial, especialmente las imágenes de satélite. El tratamiento de los modelos digitales se realizó en un ordenador IBM PS-80, conectado a la estación de trabajo mediante una red Ethernet. En él se llevó a cabo la creación de los modelos de reflectancia y la rectificación radiométrica de las imágenes.

3.2. Imágenes multiespectrales.

La imagen utilizada en el proceso de corrección radiométrica corresponde al sensor Thematic Mapper del Landsat-5. Fue tomada a las 10 h 30 min TMG del 21 de junio de 1986. A esta fecha y hora le corresponden unos valores de azimut solar y elevación sobre el horizonte de 122,3 y 56,1° respectivamente.

La imagen original fue rectificadas geométricamente para su ajuste al área de estudio, adoptando un píxel cuadrado de 25 m de lado (sistema de proyección UTM). La imagen final es un archivo multiespectral con 6 bandas TM, 386 filas y 555 columnas (la banda 6 fue excluida debido a su menor resolución espacial).

3.3. El modelo digital de elevaciones.

El proceso de corrección radiométrica precisa de un modelo digital de elevaciones (MDE) que pueda superponerse a la imagen de satélite. No existen mapas topográficos de la zo-

na a la escala utilizada (1:25.000) por lo que se compuso un mosaico de mapas a escala 1:10.000 y se realizó la digitalización manual del conjunto.

La digitalización se llevó a cabo mediante el programa AutoCAD en un tablero digitalizador conectado a un IBM AT. El archivo con la topografía fue transferido a la estación de trabajo mediante la red e incorporado a Arc/Info para su tratamiento. La edición gráfica, asignación de cotas, corrección y depuración de la información vectorial conduce a un modelo digital de elevaciones en formato TIN (*triangulated irregular network*) con 48118 triángulos. Para su incorporación a Erdas es preciso transformarlo a formato matricial lo cual se realiza con un tamaño de píxel (25x25) en el mismo sistema de proyección geográfica (UTM) mediante operaciones de interpolación. Partiendo del modelo inicial vectorial, se compone un MDE matricial constituido por un total de 214230 datos (386 filas y 555 columnas).

3.4. El mapa de vegetación.

El mapa de vegetación utilizado para definir los límites de las diferentes clases de vegetación fue realizado en 1990 dentro de un programa de cartografía temática más amplio (INDUROT, 1991). La elaboración se realizó mediante trabajo de campo y fotointerpretación, y su incorporación a Arc/Info se llevó a cabo mediante digitalización manual. El mapa contiene un total de 44 clases de vegetación definidas con criterios fitosociológicos y estructurales.

La separación de las clases mediante imágenes multiespectrales es una tarea imposible ya que las características de reflectancia no reflejan la clasificación fitosociológica. Por este motivo se realizó una agrupación aplicando criterios fisiológicos y de similitud, que condujo a 11 categorías cuya descripción y superficie es la siguiente: Pueblos, escombreras y otras zonas sin vegetación (0,60 km²), Bosques (hayedos, robledales, abedulares, etc: 51,75 km²), Formaciones arbustivas (acebales, serbales, avellanedas, etc: 7,71 km²), Plantaciones de coníferas madereras (0,33 km²), Plantaciones de frondosas madereras (1,15 km²), Piornales y matorral de *Erica arborea* (18,13 km²), Brezales (27,37 km²), Prados y pastos (7,88 km²), Comunidades de charcas y turberas (0,23 km²), Comunidades de roquedos y depósitos de cantos (6,65 km²), Vegetación subalpina (0,11 km²).

El mapa resultante puede ser utilizado para contrastar la calidad de los resultados de las clasificaciones. Para ello se realizó un trasvase y una recodificación desde Arc/Info (mapa original en formato vectorial) a Erdas, donde se estructuró en formato matricial.

4. MÉTODOS

4.1. El modelo de reflectancia.

El modelo de reflectancia se elaboró inicialmente según el método presentado en Felicísimo y García-Manteca (1991), a partir de los valores de pendiente y orientación de cada píxel frente al vector solar y a la posición del observador, definidas por sus coordenadas esféricas (azimut y elevación) en

el momento de la toma de la imagen.

El modelo de reflectancia se construye teniendo en cuenta tanto la componente directa como difusa de la radiación incidente. La relación entre las componentes directa y difusa de la radiación solar se ha establecido en un 80/20 por ciento, de acuerdo con las observaciones para la misma fecha del Observatorio Meteorológico de Oviedo.

El modelo de reflectancia final es la suma de las componentes reflejadas debidas a la radiación incidente directa y difusa. En esta visión idealizada se supone un albedo constante para toda la superficie del terreno. Los valores de reflectancia se calculan en función exclusiva de los factores topográficos y de posición de las fuentes de luz y del observador.

Inicialmente se supuso una reflexión perfectamente difusa (Lambertiana) por el terreno. Realizadas las correcciones de las bandas originales se comprobó, sin embargo, una sobre-corrección cuya magnitud está aparentemente relacionada con la longitud de onda de la banda, siendo especialmente notable en la banda 1.

Este resultado condujo a la elaboración de modelos de reflectancia específicos para cada banda, asumiendo una reflexión no Lambertiana por parte del terreno (superficies de Minnaert).

Minnaert (1941) definió un tipo de superficies en las que la radiancia de cada punto depende no sólo de la orientación frente a la fuente de luz sino también de la posición del observador. La expresión para una fuente de luz direccional es la siguiente (Woodham y Lee, 1985):

$$L_r = \frac{E_0 \cdot (k + 1)}{2\pi} \cdot (\cos i)^k \cdot (\cos e)^{k-1}$$

El parámetro k está físicamente limitado al rango entre 0 y 1. Cuando $k=1$, se trata de superficies perfectamente difusoras o Lambertianas. La construcción del modelo de reflectancia en función del valor de los gradientes se realiza mediante la expresión:

$$R(p,q) = \frac{E_0 \cdot (k + 1)}{2\pi} \cdot \left[\frac{1 + p \cdot p_0 + q \cdot q_0}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \cdot \sqrt{1 + p_0^2 + q_0^2}} \right]^k \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{1 + p_0^2 + q_0^2}} \right]^{k-1}$$

La adopción de superficies de Minnaert trae consigo la necesidad de definir nuevos valores que son dependientes, no sólo del tipo de superficie, sino también de la longitud de onda de la luz y de las coordenadas del vector solar. El problema básico consiste en la estimación del parámetro k , lo que puede realizarse a partir de la expresión que define el valor de radiancia:

$$L_r = a \cdot (\cos i)^k \cdot (\cos e)^{k-1}$$

Donde a es una constante. El parámetro k puede estimarse linearizando la expresión anterior:

- multiplicando ambos términos por $\cos e$:

$$L_r \cdot \cos e = a \cdot (\cos i)^k \cdot (\cos e)^{k-1} \cdot \cos e = a \cdot (\cos i)^k \cdot (\cos e)^k$$

- tomando logaritmos y reduciendo términos se llega a la expresión siguiente:

$$\ln(L_r \cdot \cos e) = a + k \cdot \ln(\cos i \cdot \cos e)$$

Esto significa que el valor de k es la pendiente de la recta de regresión entre $\ln(L_r \cdot \cos e)$ y $\ln(\cos i \cdot \cos e)$.

Para la estimación de k se realizaron los cálculos pertinentes de regresión lineal para cada banda original. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1, donde puede observarse que los valores estimados de k , \hat{k} , aumentan con la longitud de onda de la banda. El valor de k para la banda 7 es indistinguible de la opción Lambertiana. Estos valores fueron utilizados para construir modelos de reflectancia específicos para cada banda.

Tabla 1.- Intervalo de longitud de onda, número de píxeles utilizados en las estadísticas y valor estimado del coeficiente de Minnaert para las 6 bandas Thematic Mapper utilizadas.

Banda	μm	Datos	\hat{k}
1	0,45 - 0,52	9003	0,21
2	0,52 - 0,60	9003	0,29
3	0,63 - 0,69	9003	0,44
4	0,76 - 0,90	9003	0,46
5	1,55 - 1,75	9003	0,53
7	2,08 - 2,35	9003	0,95

4.2. Corrección radiométrica de la imagen TM.

Llamando $R_{(0,q)}$ al valor de reflectancia estimado para una superficie horizontal, y si $R_{(p,q)}$ es el correspondiente a un punto del terreno con gradiente (p,q) , el cociente $R_{(0,q)}/R_{(p,q)} = \hat{\tau}(p,q)$ es una estimación del efecto topográfico para ese punto. El valor de $\hat{\tau}(p,q)$, o más resumidamente $\hat{\tau}$ puede ser mayor, igual o menor que la unidad, en función del valor del gradiente frente a las fuentes de luz y de la existencia de sombreado. Valores menores que 1, por ejemplo, sugieren una orientación preferente hacia la fuente de luz direccional y ausencia de ocultamiento topográfico.

Si se toman los valores digitales reales de la imagen Landsat R^l , la corrección de la reflectancia para eliminar el efecto topográfico se realiza de la forma siguiente:

$$\hat{R}^l = R^l \cdot \hat{\tau} = R^l \cdot \frac{R_{(0,q)}}{R_{(p,q)}}$$

Donde \hat{R}^l es el valor corregido en la imagen para un píxel concreto que coincide con un punto del modelo de reflectancia para el cual se ha estimado un valor $R(p,q)$.

Aplicando esta transformación, el valor observado para cada píxel se aumenta o disminuye proporcionalmente al efecto topográfico estimado a partir del modelo digital de elevaciones. Por tanto, las variaciones de reflectancia de la

imagen resultante serán debidas en una mayor proporción al cambio de características de la cubierta superficial.

Al final de esta fase se tienen dos imágenes TM multibanda diferentes: una sin corrección, con los datos originales, y otra con la corrección radiométrica y, por tanto, con los valores de los píxeles modificados en función de los modelos de reflectancia de cada banda. En las Imágenes 1 y 2 se muestran, respectivamente, composiciones en falso color antes y después del proceso de corrección.

4.3. Clasificaciones de las imágenes.

La clasificación de las imágenes se realizó por dos métodos diferentes provistos por Erdas: mínima distancia euclidiana y máxima verosimilitud. El objetivo fue observar si la influencia



Imagen 1.- Composición en falso color de la zona de estudio antes de realizar la corrección radiométrica. Para su presentación se han asignado los colores rojo, verde y azul a las bandas 4, 5 y 3 de la imagen original rectificada geométricamente al sistema de proyección UTM. Véase Anexo de color.

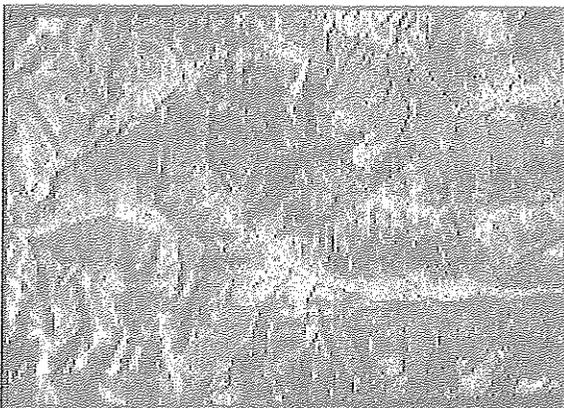


Imagen 2.- Composición en falso color de la zona de estudio después del proceso de corrección radiométrica. La composición es idéntica a la presentada en la Imagen 1, pero puede observarse que, al menos visualmente, el efecto topográfico se ha reducido de forma sensible. El aspecto rotado se debe al corte efectuado para su ajuste a una hoja estándar 1:25.000. Véase Anexo de color.

de la corrección radiométrica se muestra dependiente del método de clasificación.

Las firmas espectrales se extrajeron a partir de áreas muestra delimitadas con la ayuda del mapa de vegetación original. Las áreas extraídas lo han sido con un criterio muy poco restrictivo, sin intentar incluir zonas especialmente homogéneas ni uniformes, utilizando los límites de algunas manchas de cada categoría como máscara para extraer las áreas muestra de la imagen completa. Este proceso repercute necesariamente en la calidad de la clasificación resultante, ya que se agrupan bajo una misma firma espectral zonas con recubrimientos y densidades probablemente distintas. Se ha considerado, sin embargo, que para los fines del trabajo, una delimitación "a ciegas" ofrece más garantía de objetividad que otra realizada más selectivamente.

5. RESULTADOS

La observación de los efectos de la corrección radiométrica se ha realizado mediante dos pruebas independientes. En primer lugar, se han delimitado zonas dentro de una misma categoría pero en diferentes condiciones de iluminación para comprobar las diferencias existentes entre la imagen anterior y posterior a la corrección. En segundo lugar, se han realizado las clasificaciones mencionadas en el apartado anterior y se han comparado los resultados mediante los índices de precisión.

5.1. Evaluación de las distancias espectrales.

Independientemente del proceso de clasificación se delimitaron zonas de hayedo y robleal (incluidos en la categoría de **bosques**) correspondientes a zonas de insolación baja, media y alta. El objetivo es analizar la distancia espectral entre las firmas espectrales de estas zonas. Si esta distancia disminuye con el proceso de corrección radiométrica significa que el método funciona en el sentido deseado. La clase en cuestión (hayedo y/o robleal) se hace más homogénea y, previsiblemente, los resultados de la clasificación serán mejores. Los resultados obtenidos para el hayedo y robleal se muestran en las Tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2.- Distancias espectrales (distancia euclidiana) entre áreas de hayedo con alta, media y baja insolación (H1, H2 y H3).

HAYEDO	H2	H3	
H1	15,6	62,9	Imagen sin corrección
H2	—	47,3	
HAYEDO	H2	H3	
H1	4,5	22,2	Imagen con corrección
H2	—	18,4	

Tabla 3.- Distancias espectrales (distancia euclidiana) entre áreas de robleal con alta, media y baja insolación (R1, R2 y R3).

ROBLEDAL	R2	R3	
R1	27,9	50,9	Imagen sin corrección
R2	—	23,1	
ROBLEDAL	R2	R3	
R1	11,6	16,6	Imagen con corrección
R2	—	5,2	

En ambos casos puede observarse una clara reducción de las distancias espectrales, calculadas como distancias euclidianas. Este resultado es una confirmación de que el método de corrección reduce efectivamente los contrastes entre zonas con diferente exposición a la insolación.

5.2. Precisión de la clasificación.

Para evaluar la corrección de los resultados se han realizado operaciones de tabulación cruzada entre el mapa de referencia y el resultado de la clasificación. Este proceso conduce a la elaboración de matrices de error que permiten la medida del ajuste de la clasificación al mapa de vegetación (Verigin, 1989). A partir de una matriz de error *C* es posible calcular el porcentaje de píxeles correctamente identificados (PCC) y utilizarlos como un índice de precisión de la clasificación. El PCC muestral, usualmente denominado \hat{p} es la suma de píxeles en la diagonal principal de *C* dividido por el número total de píxeles en la muestra.

Los resultados obtenidos para la imagen clasificada según los criterios de mínima distancia euclidiana y máxima verosimilitud se presentan en la Tabla 4. En ella se observa que la reducción del efecto topográfico solamente provoca efectos sensibles cuando se utiliza el método de clasificación por mínima distancia. El método de máxima verosimilitud realiza la identificación con precisiones muy similares para ambas imágenes, hasta el punto de que éstas resultan visualmente indistinguibles.

Tabla 4.- Valores de índice \hat{p} (en porcentaje) en las imágenes con y sin corrección radiométrica con el método de clasificación de máxima verosimilitud.

CORRECCION	MIN. DIST.	MAX. VEROS.
SI	63,4	75,5
NO	42,7	73,4

De forma general, el método de máxima verosimilitud presenta errores de identificación mucho menores que el de mínima distancia. La corrección radiométrica hace, sin embargo, que esta diferencia sea significativamente menor: un 12,1% frente a un 30,7. Esto significa que, en el caso de

utilizar el método de mínima distancia como clasificador, la corrección es altamente recomendable. La clasificación por este método sin corrección presenta resultados muy mediores, con un error general de identificación del 57,3%, que invalida el posible uso del mapa resultante. La aplicación del método reduce el error hasta un 36,6%, con una ganancia, por tanto, de 20,7%.

El clasificador de máxima verosimilitud es suficiente para diferenciar las clases con errores generales del 25%, independientemente de la aplicación de la corrección. Las posibles causas serán discutidas en el apartado siguiente.

5. DISCUSIÓN

El método de corrección radiométrica empleado para reducir el efecto de la topografía reduce significativamente el error de la identificación cuando el clasificador empleado es el de mínima distancia euclidiana (el valor de \hat{p} aumenta un 20,7%). La mejora es mucho más reducida (un 2,1%) cuando se aplica el criterio de máxima verosimilitud, que parece suficientemente resolutivo como para separar las categorías independientemente de la corrección.

En el caso de usar el criterio de mínima distancia euclidiana, el efecto de la corrección radiométrica es suficientemente importante como para hacer recomendable la corrección sistemática de las imágenes. Este resultado es coherente con el análisis de distancias espectrales, que muestra que la distancia entre muestras con diferente exposición a la radiación solar se reduce significativamente en la imagen corregida.

El clasificador de máxima verosimilitud, sin embargo, procesa ambas imágenes con niveles de error similares. Esto puede significar que el clasificador es suficientemente discriminante para unos niveles de precisión determinados y que la potencial mejora debida a la corrección se ve limitada por otros factores. El análisis crítico del proceso realizado indica que la naturaleza de éstos puede estar relacionada con una calidad insuficiente de los modelos de reflectancia.

Al analizar la imagen corregida radiométricamente puede observarse la existencia de anomalías locales ligadas a las zonas de crestas y fondos de valles estrechos. En estos lugares parece existir una estimación incorrecta del efecto topográfico que conduce a la aparición de artefactos ya citados por otros autores. Woodham y Gray (1987) los atribuyen a un MDE poco resolutivo en estas zonas conflictivas. Estos autores indican que las condiciones para una determinada corrección pueden no mantenerse en zonas en las que cambios de relieve son suavizados por el MDE.

La eficacia de la corrección radiométrica puede verse visiblemente limitada por esta circunstancia, que provoca errores en estas estructuras conflictivas. Aunque en el resto de las zonas la corrección sea adecuada, el porcentaje de píxeles incluidos en crestas y fondos de valle puede llegar a ser importante en algunas categorías de vegetación y tener una influencia significativa en los valores de \hat{p} particulares.

El probable motivo de este efecto es la inadecuada precisión del MDE utilizado, cuyos intervalos entre cotas de 25 m han sido logrados mediante interpolación a partir de un mo-

delo vectorial digitalizado manualmente y probablemente poco resolutivo.

Un segundo factor de error puede estar relacionado con la inadecuada superposición de los modelos de reflectancia y la imagen. La corrección geométrica de la imagen original fue realizada con dificultad debido a las características de la zona, que impiden una identificación precisa de los puntos de control. El error cuadrático medio fue de 1,2 píxeles, lo que implica una superposición poco precisa con los modelos digitales. Esto puede agravar el efecto anteriormente mencionado ya que la corrección (de por sí poco precisa en zonas de cresta y fondos de valle) puede aplicarse con un desplazamiento de uno o dos píxeles, que pueden encontrarse en condiciones topográficas diferentes.

La reducción de los problemas citados debe realizarse si-

multáneamente por dos vías: mejorando la resolución espacial de los modelos digitales hasta garantizar una correcta reproducción de relieve en las zonas conflictivas y realizando la corrección geométrica de la imagen con errores inferiores al píxel.

Una razón suplementaria, aún no sometida a prueba, recomienda la realización de la corrección radiométrica de las imágenes de forma rutinaria. Se trata de que el resultado queda, en principio, independizado de las condiciones de iluminación. Esta característica puede ser muy importante para el proceso conjunto de imágenes multitemporales que, al ser tomadas en diferentes fechas, están sometidas a condiciones de iluminación variable.

6. BIBLIOGRAFIA

- ✓ FELICISIMO, A.M. y GARCIA-MANTECA, P. (1991): Corrección del efecto topográfico de las imágenes Landsat mediante el uso de un modelo digital de elevaciones. En *III Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*. Madrid, pp 209-216. Asociación Española de Teledetección, Madrid.
- ✓ INDUROT. (1991): *Cartografía temática ambiental. Hoja 100-II (Degaña)*, escala 1:25.000. ICONA. Madrid. 59p.+ 7 mapas.
- ✓ MINNAERT, M. (1941): The reciprocity principle in Lunar photometry. *Astrophysics Journal*, 93: 403-410. En Woodham y Lee (1985).
- ✓ VEREGIN, H. (1989): *A taxonomy of error in spatial databases*. NCGIA, National Center for Geographical Information & Analysis. Technical Paper 89-12. Geography Department, University of California. 115 p.
- ✓ WOODHAM, R.J. & GRAY, M.H. (1987): An analytic method for radiometric correction of satellite multispectral scanner data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(3): 258-271.
- ✓ WOODHAM, R.J. & LEE, T.K. (1985): Photometric method for radiometric correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 11(2): 132-161.