

# Clasificación de imágenes Landsat TM con precisión de subpíxel por medio de la mejora de la resolución y de la desconvolución

J. García-Consuegra\*, G. Cisneros\*\* y A. Quintanilla\*

\* Sección de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional. Dpto. Informática. Universidad de Castilla-La Mancha. e-mail: jdgarcia@info-ab.uclm.es

\*\* Grupo de Tratamiento de Imágenes. Universidad Politécnica de Madrid. ETS. Ing. Telecomunicación. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

## RESUMEN

Un gran número de esfuerzos se ha realizado para mejorar los resultados obtenidos al clasificar imágenes de satélite de baja resolución. El principal interés hasta ahora estaba enfocado a determinar *qué superficie*, de un píxel mixto, está ocupada por cada clase. En este trabajo no sólo se intenta resolver el problema de cuantificar la superficie sino que además afronta el problema de localizar *cómo* está compuesto el píxel mixto de una forma gráfica. La metodología propuesta se basa en un pseudo incremento de la resolución espacial mediante la combinación de la interpolación y la desconvolución.

**PALABRAS CLAVE:** Interpolación, desconvolución, Landsat, clasificación de píxeles mixtos, IFOV, resolución espacial, segmentación.

## ABSTRACT

A great number of efforts has been done to improve classification results of low resolution satellite imagery. The main interest up to now was to focus on *how much* is present at each mixed pixels of every class. The main aim of this paper is not only to determinate *how much*, but also to tackle the problem of *where* the classes are located within the pixel in a graphic way. The methodology proposed is based on spatial resolution increasing by means of a combination of interpolation plus deconvolution.

**KEY WORDS:** Landsat, interpolation, deconvolution, Landsat, mixture pixel classification, IFOV, spatial resolution, segmentation.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la clasificación de imágenes teledetectadas consiste en la identificación de las zonas (regiones), y su localización, ocupadas por los distintos tipos de cubiertas (clases) del terreno, discriminados o suministrados por el algoritmo de clasificación. El proceso de clasificación asume que todo píxel mixto representa la suma ponderada de la radianza espectral de las clases que lo forman (30 x 30 m para las bandas 1-5,7 y 120 x 120 m para la banda 6 del sensor Thematic Mapper) con independencia de las clases de los píxeles vecinos.

Existe un gran número de factores que contribuyen a la codificación final de los niveles digitales asociados a cada píxel, que invalidan la premisa anterior. En función de su naturaleza, dichos factores pueden dividirse en dos grupos, aquellos debidos al proceso de adquisición y los que son inherentes a la resolución espacial. Los primeros hacen referencia a las distorsiones radiométricas y geométricas: efecto de la iluminación, dispersión y absorción atmosférica, efecto del relieve, el campo de vista instantáneo efectivo (EIFOV), proceso de medida, muestreo, etc.. Mientras que el segundo grupo hace referencia a la relación de las dimen-

siones de la superficie cubierta por la clase con las del EIFOV.

En función de la localización de dichos píxeles mixtos en la parcela o región podremos diferenciar entre *píxeles de borde*, aquellos ubicados en los límites de al menos dos regiones, y *píxeles mixtos*, cuando la región entera está formada por varias clases entremezcladas de tal forma que a la resolución del sensor es imposible su diferenciación. En ambos casos, la radianza detectada vendrá dada como la combinación de la respuesta de las clases.

Las correcciones geométricas y radiométricas ya han sido ampliamente estudiadas (Itten, et al., 1993; Markam, 1985; Vermote, et al., 1995). También han sido estudiados los píxeles mixtos y de borde (Jasinki, 1996; Settle, 1993; Shimabukuru, 1991; Wu, et al., 1993), pero en ambos tipos de píxel el objetivo estaba orientado a cuantificar qué superficie, de cada píxel, era cubierta por cada clase. En este trabajo, se presenta una metodología capaz de determinar, en el caso de píxeles de borde, no sólo qué superficie cubre cada clase, sino que además indica *cómo* se distribuye dicha clase en el píxel de una forma gráfica. Dicha metodología se basa en un pseudo incremento de la resolución por medio de la combinación de un proceso de interpolación junto con una desconvolución.

Una de las fases considerada en la metodología es la corrección del IFOV del sensor en un intento de eliminar la componente de los píxeles vecinos en la respuesta radiométrica detectada por el sensor. Como criterios de evaluación se han considerado tanto aspectos cuantitativos como cualitativos.

### CLASIFICACION DE LOS PÍXELES DE BORDE MEDIANTE UN PSEUDO INCREMENTO DE LA RESOLUCION

Como se muestra en la Figura 1, el número y el grado de mezcla de los píxeles de borde se reduce al incrementar la resolución espacial. Por esto, un incremento de la resolución original de las imágenes mediante la interpolación conllevará presumiblemente el mismo efecto. La mejora de la resolución espacial en imágenes teledetectadas no es un tema nuevo, como se ve en los trabajos (Moreno, 1994; Nishii, et al., 1994; Sethmann, et al., 1994).

Previo al proceso de interpolación, todas las correcciones necesarias deben realizarse para reducir las degradaciones sufridas por el valor digital del píxel en el proceso de adquisición (ver. Introducción). Por ejemplo, de acuerdo con el trabajo de Wu, et al., (1993), la mejora introducida en los valores radiométricos de los píxeles al aplicar una desconvolución lineal de Wiener (Andrews, et al., 1997), con la PSF (Point Spread Function) propuesta por Markham (1985), implica una mejora de la clasificación de los píxeles mixtos al reducir el efecto EIFOV.

El proceso de interpolación tiende a realzar las frecuencias bajas produciendo el efecto contrario en las frecuencias altas. Por lo que, en un intento por minimizar dichos efectos, en este trabajo, se introduce un proceso de desconvolución a la imagen interpolada, usando una PSF invariante frente a desplazamientos similar a la sugerida por Maréchal (Andrews, et al., 1997).

### DATOS Y RESULTADOS

Para probar la metodología se trabajó con las bandas 3, 4 Y 5 de una imagen del satélite Landsat

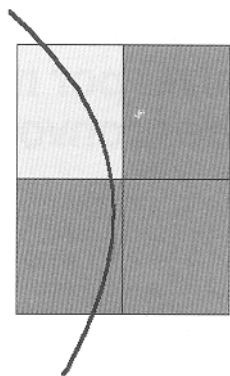


Figura 1. Efecto de la resolución espacial de los sensores en el área cubierta por un píxel de borde

5 TM, de 256x256 píxeles, de un área agrícola de la provincia de Albacete (Fig. 2). Los procesos de interpolación y desconvolución se comprobaron en dichas imágenes al realizarse un sub-muestreo junto con una interpolación para la recuperación de la resolución espacial original.

Para lo cual se emplearon seis algoritmos de interpolación tradicionales (bilineal, vecino más próximo, convolución cúbica, Bezier, b-spline y Catmun-Roll). La combinación sub-muestreo bilineal junto a la interpolación Catmun-Roll obtuvo las mejores relaciones SNR (Signal-to-Noise Ratio) 20.85, 20.56, 17.95, 17.04, 19.55 Y 22.108 dB, respectivamente; así como un mayor grado de correlación entre las bandas obtenidas y las originales.

Donde, la SNR se calculó como el SNR cuadrático medio de la siguiente ecuación:

$$SNR = \frac{\sum_x \sum_y f(x,y)^2}{\sum_x \sum_y [f(x,y) - \hat{f}(x,y)]^2}$$

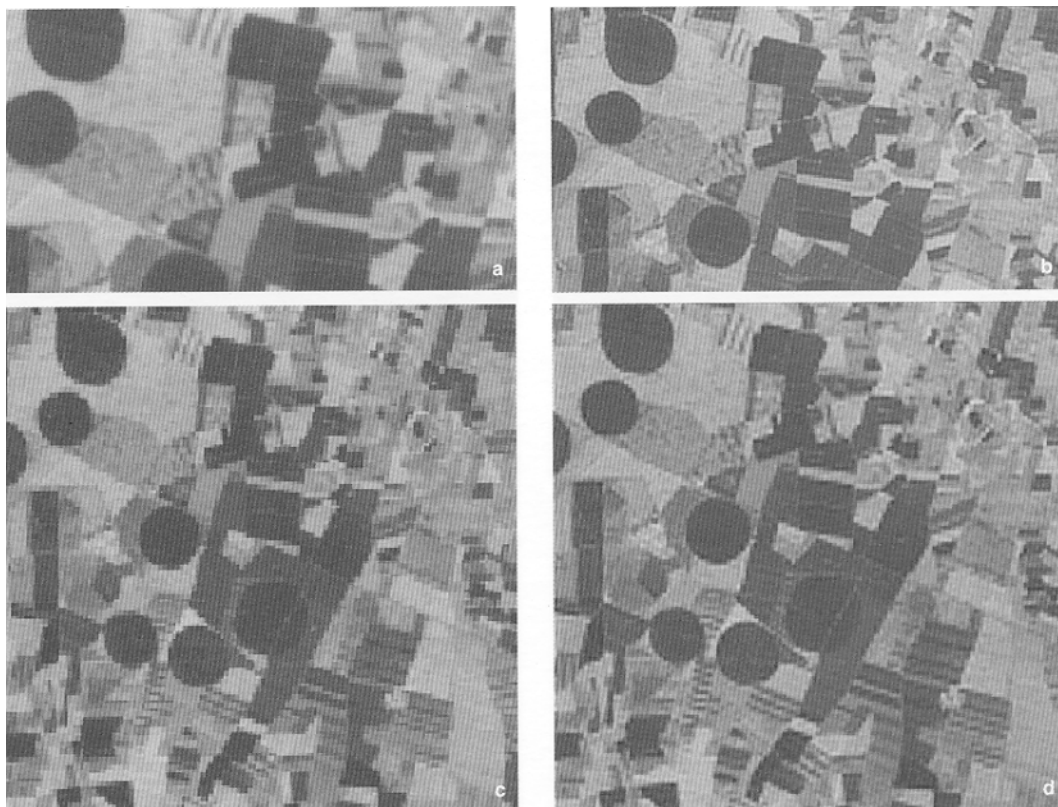
siendo  $f(x,y)$  la imagen original y  $\hat{f}(x,y)$  la imagen interpolada.

La imagen interpolada se desconvolucionó con la PSF empíricamente obtenida  $\begin{bmatrix} 0.04 & 0.12 & 0.04 \\ 0.12 & 0.36 & 0.12 \\ 0.04 & 0.12 & 0.04 \end{bmatrix}$ , la cual obtuvo una relación SNR y un escalón de borde mayores (Fig. 3) que los producidos por la PSF  $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$  propuesta por Maréchal (Andrews et al., 1977).

### CONCLUSIONES

Se han empleado dos criterios para la valoración de la bondad de la metodología para la clasificación de los píxeles de borde. De una parte, la relación SNR proporciona una medida de similitud entre las imágenes obtenidas y las originales. Por otro lado, la comparación de los escalones de borde proporcionan una medida de la discriminabilidad de las regiones o parcelas en su límite o borde.

Como se muestra en la Fig. 2, la imagen segmentada obtenida de la interpolación y, posterior desconvolución es muy similar a la obtenida a partir de la banda original. Los resultados de SNR obtenidos en la el epígrafe anterior avalan la valoración subjetiva de la Fig. 3 con medidas objetivas. El pseudo incremento de la resolución espacial implica un incremento de la definición del píxel, lo que se traduce en una estimación de la composición de los píxeles de borde. Esta estimación determina tanto cuánta área de cada píxel está cubierta por cada clase como están espacialmente distribuidas.



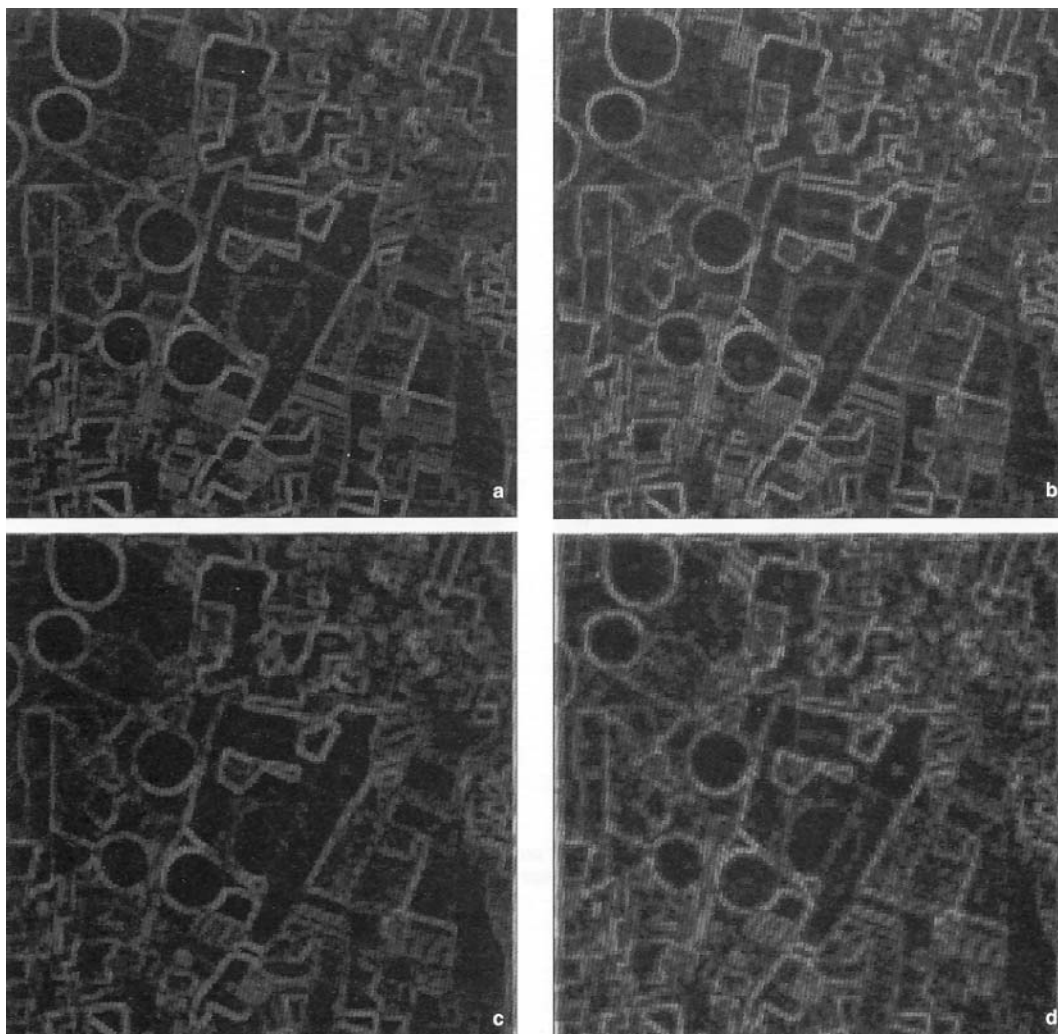
**Figura 2.** Imágenes obtenidas en los diferentes pasos del procesamiento para la banda 5. a: banda original, b: imagen sin el efecto IFOV, c: submuestreo de la imagen, b, d: imagen c interpolada y desconvolucionada

Otro factor importante es la consideración del efecto de la radiación de los píxeles vecinos en la respuesta espectral medida para cada píxel. Esta consideración se realiza desde dos puntos claramente diferenciados: la corrección del IFOV y la interpolación/desconvolución.

Como se muestra en la Fig. 3, la desconvolución con las PSFs del IFOV y empírica, Fig. 3b y 3d, introducida en la metodología implica un realce de borde. Lo que supone una mejora del proceso de segmentación.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, H.C. et al. 1977. Digital image restoration. Prentice-hall, inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- ITIFEN, K. I. et al. 1993. Geometric and radiometric correction of TM data of mountainous forested areas. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 31 (4): 764-770.
- JASINSKI, M. F. 1996. Estimation of subpixel vegetation density of natural regions using satellite multispectral imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 34: 804-813.
- MARKAM, B. 1985. The Landsat sensors spatial responses. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 23 (6): 864-875.
- MORENO, J. F. 1994. An optimum interpolation method applied to the resampling of NOAA AVHRR data. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 32 (1): 131-151.
- NISHII, R. et al, 1996. Enhancement of low spatial resolution image based on high resolution bands. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 34 (5): 1151-1158.
- SETHMANN, R. et al., 1994. Spatial resolution improvement of SSM/I data with image restoration techniques. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 32 (6): 1144-1151.
- SETTLE, J. J. 1993. Linear mixing and the estimation of ground cover proportions. International Journal of Remote Sensing. 14: 1159-1177.
- SHIMABUKURO, Y. E. 1991. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 29: 16-20.
- VERMOTE, E. et al., 1995. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S), Department of Geography, University of Maryland, NASA-Goddard Space Flight Center-Code 923, Greenbelt, USA.
- WU, H.P. et al., 1993. Improved estimation of fraction images using partial image restoration. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. GE-31. 4: 771-778



**Figura 3.** Estas imágenes muestran la máxima diferencia, en cada píxel, entre el píxel y sus 8 píxel vecinos (conectividad 8), para las imágenes 2a, 2b, la imagen obtenida de interpolar la imagen 2c previo al paso de desconvolución, así como las imágenes obtenidas usando la desconvolución con las PSF empírica (Fig. 2d) y de Maréchal, donde los valores más blancos representan un mayor escalón de borde