

PROTOCOLO PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS A TRAVÉS DE DIFERENTES SENSORES

P. SERRA*, X. PONS*‡ y D. SAURÍ*

pserra@seneca.uab.es

* *Departament de Geografia, Edifici B. Universitat Autònoma de Barcelona.*

‡ *Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Edifici C. Universitat Autònoma de Barcelona.*

RESUMEN: La comunicación presenta un protocolo para el análisis fiable de los cambios en las cubiertas y usos del suelo entre dos fechas (1977-1993) a través de la superposición ráster de dos clasificaciones obtenidas independientemente (método de postclasificación). A pesar de ser un método muy empleado, existen muy pocos trabajos que consideren los factores que pueden distorsionar los resultados como la exactitud temática, el error planimétrico, la fragmentación del paisaje, el tamaño del píxel y el origen de las mallas. La metodología se aplica en el análisis de los cambios en un área del NE peninsular (1977-1993). Los resultados muestran claramente que, de no corregirse estos factores, la exactitud del mapa de cambios era sólo del 43.9%.

Palabras clave: cambios cubiertas y usos del suelo, superposición de capas, postclasificación, RMS, erosión de imágenes.

ABSTRACT: This paper presents a protocol for realistic accuracy assessment of land-cover and land-use changes between two dates (1977-1993) through the overlay of two independent classifications (post-classification method). Despite of being a very used method, there are only a few works that considering the factors that can distort results like the thematic accuracy, the misregistration, the fragmentation of the landscape, the pixel size and grid origin. The methodology is applied in change analysis in a northern peninsular area (1977-1993). The results clearly show that, without correcting these factors, the accuracy of the change map was only 43.9%.

Key words: land-cover and land-use changes, overlay, post-classification, RMS, image erosion.

INTRODUCCIÓN

El análisis de los cambios en las cubiertas y usos del suelo (CUS) proporciona información fundamental para la gestión y planificación territorial, la comparación de las dinámicas paisajísticas y los estudios de impacto ambiental (Sommer *et alii*. 1998). Por su parte, la teledetección nos permite la localización de los cambios desde una perspectiva histórica, gracias a su resolución temporal, pudiéndose hacer el seguimiento de fenómenos dinámicos como la deforestación (Mertens y Lambin, 1997), etc.

Existen dos métodos para la detección de cambios a través de imágenes satélite (Singh, 1989):

1. Comparación de clasificaciones de diferentes fechas producidas independientemente (comparación postclasificación).
2. Análisis simultáneo de datos multitemporales (clasificación multifechas y otros).

Ambos métodos tienen ventajas y desventajas, pero generalmente el más usado es el primero. Según Aspinall

y Hill (1997) en la clasificación postclasificación destacan dos fuentes de incertidumbre:

1. La inexactitud de la localización de las fronteras de los polígonos en las diferentes clasificaciones, produciéndose la aparición de píxeles de frontera con cambios negativos (cuando no se identifica un cambio) o positivos (cuando se identifica un cambio) falsos.
2. Problemas derivados de los errores de clasificación debido a que uno o ambos de los polígonos están mal clasificados.

A ellos habría que añadir que la exactitud del mapa de cambios es el resultado de la multiplicación de la exactitud de cada una de las clasificaciones individuales (Singh, 1989). Pero esa exactitud es ficticia ya que tenemos que tener en cuenta el efecto del error planimétrico de ambas clasificaciones, que nos introducirá falsos cambios positivos o negativos.

Cuando los datos provienen de la combinación de diferentes sensores, por ejemplo MSS con SPOT en

Jensen *et alii.* (1995) o MSS con TM en Lodhi *et alii.* (1998), algunos problemas extras aparecen:

1. Una misma cubierta no será clasificada de igual modo debido al diferente tamaño de píxel; así algunos elementos no serán detectados, por ejemplo, por la resolución de 60 m pero sí por la de 30 m.
2. La superposición, a parte de los problemas planimétricos causados por la corrección geométrica, se ve dificultada por el diferente tamaño de píxel y/o origen de la malla.
3. El número de bandas y la longitud de onda (información espectral) difieren, siendo este factor más crítico en el segundo método.

A pesar de la problemática descrita, la combinación de diferentes sensores suele ser una necesidad, como lo ha sido en nuestra investigación, ya que el objetivo general ha sido la comparación de las CUS entre 1977 (obtenidas con el sensor MSS) y 1993 (obtenidas con el sensor TM).

Los objetivos de esta comunicación se centrarán en las implicaciones de la comparación de clasificaciones provenientes de diferentes sensores, teniendo en cuenta la resolución espacial (tamaño del píxel) y el error geométrico medible a través del *Root Mean Squared* (RMS). A pesar de algunas aportaciones teóricas (Lunetta *et alii.* 1991), es infrecuente encontrar ejemplos aplicados. Así, en la mayoría de los trabajos el método de postclasificación se basa en una simple superposición de las distintas clasificaciones sin tener en cuenta los factores enumerados anteriormente, a pesar de su gran importancia para evitar la obtención de resultados totalmente ficticios. A continuación, se presentará un protocolo adecuado para este tipo de situaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y materiales

El área de estudio se localiza en la comarca del Alt Empordà, al nordeste de Catalunya y abarca 22 municipios con una superficie total de 30 170 ha. Se trata de una zona predominantemente llana, ya que no excede los 100 m de altitud, recubierta por sedimentos terciarios y cuaternarios. Tradicionalmente, esta llanura se ha especializado en cultivos herbáceos, sobretodo cereales y forrajes, distribuidos en parcelas muy fragmentadas.

Para una mayor discriminación de las CUS se seleccionaron tres imágenes para cada uno de los periodos considerados: tres imágenes MSS para los 1970s (17 de julio de 1977, 2 de junio de 1978 y 18 de septiembre de 1978) y tres TM para los 1990s (16 de mayo de 1992, 28 de junio de 1993 y 31 de agosto de 1993). Como información adicional se empleó el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de 1978 del Ministerio de

Agricultura, Pesca y Alimentación, diversas fotografías aéreas de mediados de los 1970s, ortofotomapas del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) de 1993 y el Mapa Topográfico del Alt Empordà de l'ICC de 1996.

Metodología

Correcciones radiométricas y geométricas

La corrección geométrica de las imágenes se realizó a través del método de Palà y Pons (1993), remuestreándose las imágenes MSS a 60 m x 60 m y las TM a 30 x 30 m. El RMS de las imágenes MSS fue de 0.9 píxeles (54 m) y para las TM de 0.7 píxeles (21 m). La posterior corrección radiométrica se realizó a través del método de Pons y Solé (1994), obteniéndose un rango coherente de valores de reflectancia.

Clasificación

Debido a la alta fragmentación del área de estudio se procedió a la clasificación de las imágenes de los 1970s y de los 1990s independientemente, a través de *clusters* y de áreas de entrenamiento (método del clasificador híbrido; para más detalle véase P. Serra *et alii.* 2000). La leyenda de los setenta se estructuró en 12 clases, mientras que en la de los noventa se añadieron 2 de adicionales no presentes en los 1970s.

Protocolo propuesto para el análisis fiable de los cambios en los usos del suelo

Tal como se ha comentado anteriormente, para la obtención de cambios fiables provenientes de clasificaciones de diferentes fechas y sensores (y en algunos aspectos aplicable a los provenientes del mismo sensor) han de considerarse los siguientes factores:

1. *Las exactitudes de ambos mapas deben multiplicarse.* La aceptación del resultado depende del umbral establecido de antemano, más o menos riguroso según los objetivos de la investigación. En nuestro caso el umbral fue a partir del 75%.
2. *Erosión de las fronteras de los polígonos para evitar la comparación de píxeles localizados inexactamente.* Para ello es necesario definir algún parámetro que nos indique el área a erosionar. Este valor dependerá, de una parte, del RMS obtenido en la corrección geométrica ya que, asumiendo una distribución normal, nos indica la desviación estándar de los errores. Pero no será el único factor a considerar, ya que debido a que la inexactitud planimétrica afecta a la frontera de los polígonos y no a su parte interna, un paisaje muy homogéneo requerirá menor erosión que uno muy fragmentado. A través de diversos tests se procedió a comprobar este hecho; seleccionamos tres áreas con diferente grado de fragmentación (muy fragmentadas, bastante y poco) y se

simularon diversos RMS (de menos de 0.5 píxeles a 2 píxeles). En cada caso, las imágenes fueron mal registradas con una función aleatoria de media 0 y desviación igual al RMS y seguidamente superpuestas a las originales para cuantificar el número de píxeles erróneamente localizados. Los resultados mostraron que cuando una imagen tiene un RMS pequeño (menos de 0.5 píxeles) y poca fragmentación, no es necesario erosionar ya que el 99.2% de los píxeles tiene la misma posición (ver figura 1). Contrariamente, cuando una imagen está muy fragmentada y tiene un RMS elevado (2 píxeles), sólo el 42.3% de los píxeles tienen la misma posición, mientras que si erosionamos 1 píxel alrededor de todos los polígonos, el 70% aparecen bien localizados. En casos más habituales, con fragmentación moderada y errores alrededor de un píxel, el 66.5% de los píxeles estarían bien localizados, mientras que con la erosión aumentarían al 97.9%. Por todo ello se concluye que una aproximación conservadora, para paisajes de bastante a muy fragmentados, es erosionar un píxel para evitar resultados ficticios.

Finalmente, remarcar que la erosión afecta la exactitud de la multiplicación de ambas clasificaciones, ya que si aplicamos la operación expuesta anteriormente, en el caso de no erosionar, la exactitud de la superposición descendería, para el caso de nuestras imágenes completas, en un factor 0.665 (debido a los 1970s), y en un factor 0.763 (debido a los 1990s).

3. *Remuestreo considerando el tamaño del píxel y el origen de la malla.* Para la superposición de ambas clasificaciones necesitamos un remuestreo que considere dos aspectos: el diferente tamaño del píxel y el diferente origen de la malla, si es el caso.

Respecto al primer aspecto, a pesar de perderse información es necesario el remuestreo a la resolución más baja, ya que de este modo evitamos falsos cambios. De las técnicas disponibles para el remuestreo a una resolución más baja con el mismo origen de malla, el criterio de la moda parece ser el más adecuado (Yang y Merchant 1997), sin embargo, tiene el problema de dar un valor final aunque no haya una clase claramente mayoritaria. En nuestra opinión cuando se produce este hecho se debería aplicar un filtro de moda inteligente que tuviera en cuenta si la clase modal es mayoritaria en la ventana de remuestreo o, incluso, en caso de empate entre dos clases, pudiera aplicar criterios externos.

Respecto al diferente origen de la malla, es necesario remuestrear la imagen con alta resolución al origen de la malla de la baja, antes de ejecutar el filtro de moda

inteligente, para evitar errores en las ventanas de convolución. Para ello, la imagen con alta resolución ha de remuestrearse a la submalla común y detectar el mínimo, no cero, desplazamiento en X y/o Y producido entre las dos mallas. Por ejemplo, si una malla de píxeles de 30 m tiene un desplazamiento en X de 20 m respecto a la malla de 60 m y de 0 m en Y, la submalla necesaria para el remuestreo común es una malla de 10 m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de las matrices de error se obtuvieron unas exactitudes del 91.8% para los 1970s y 95.2% para los 1990s. Siguiendo el protocolo presentado anteriormente, la exactitud provisional del mapa de cambios fue del 87.4%. Una vez aplicada la erosión de 1 píxel alrededor de cada polígono, obtuvimos que para los setenta, el 97.9% de los píxeles estaban correctamente localizados y para los noventa el 99.5% (sin la erosión el porcentaje era del 65.8% y el 76.3%, respectivamente). En consecuencia, la exactitud final del mapa de cambios fue de $87.4 * 0.979 * 0.995 = 85.1\%$, mientras que si no se hubiese realizado la erosión, la exactitud hubiese sido $87.4 * 0.658 * 0.763 = 43.9\%$, a todas luces insuficiente. Debido a la zona erosionada (muy importante a causa de la fragmentación paisajística) una significativa proporción del área de estudio se convirtió en "sin valor", concretamente el 85.8% en los setenta y el 73.6% en los noventa. Finalmente, la clasificación de los noventa fue remuestreada a 60 m a través de un filtro de moda inteligente (paso 3) y superpuesta a la de los 1970s, obteniéndose la matriz de cambios. El porcentaje final de área fiable para el análisis de los cambios fue del 6% (1 831.3 ha).

CONCLUSIONES

El método de postclasificación permite realizar el análisis de los cambios en las CUS con leyendas más detalladas que con el método multifecha. A pesar de ser muy empleado, hay que considerar las fuentes de incertidumbre que raramente se tiene en cuenta para evitar resultados ficticios y que son: las exactitudes de las clasificaciones individuales, la fragmentación del paisaje, el error planimétrico, el tamaño del píxel y el origen de las mallas. El protocolo propuesto considera todos estos aspectos evitándose falsos cambios positivos o negativos, analizándose sólo aquellas zonas más fiables (el interior de los polígonos) en detrimento de una parte del área de estudio. Con la disponibilidad de nuevos sensores con resoluciones espaciales mayores (10, 5, 1, etc. m), el problema de superponer clasificaciones desde una perspectiva histórica aumenta, haciéndose necesario el establecimiento de protocolos para el análisis de los cambios en las CUS.

BIBLIOGRAFÍA

- ASPINALL, R. J., y HILL, M. J., 1997, Land cover change: a method for assessing the reliability of land cover changes measured from remotely-sensed data. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, (Singapore), pp. 269-271.
- JENSEN, J. R., RUTCHEY, K., KOCH, M. S. y NARUMALANI, S., 1995, Inland wetland change detection in the everglades water conservation area 2A using a time series of normalized remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 199-209.
- LODHI, M., ECHAVARRIA, F. R., y KEITHLEY, C., 1998, Using remote sensing data to monitor land cover changes near Afghan refugee camps in Northern Pakistan. Geocarto International, 13, 33-39.
- MERTENS, B., y LAMBIN, E. F., 1997, Spatial modelling of deforestation in Southern Cameroon. Applied Geography, 17, 143-162.
- PALÀ, V., and PONS, X., 1995, Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 935-944.
- PONS, X., y SOLÉ-SUGRAÑES, LL., 1994, A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. Remote Sensing of Environment, 48, 191-204.
- SERRA, P., PONS, X. y SAURÍ, D., (2000), Anàlisi dels usos del sòl a la plana de l'Alt Empordà i la seva localització a través de la teledetecció. Documents d'Anàlisi Geogràfica, 36, 63-89.
- SINGH, A., 1989, Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10, 989-1003.
- SOMMER, S., HILL, J., y MÉGIER, J., 1998, The potential of remote sensing for monitoring rural land use changes and their effects on soil conditions. Agriculture, Ecosystems and Environment, 67, 197-209.
- YANG, W. y MERCHANT, J. W., 1997, Impacts of upscaling techniques on land cover representation in Nebraska, U.S.A. Geocarto International, 12, 27-39.

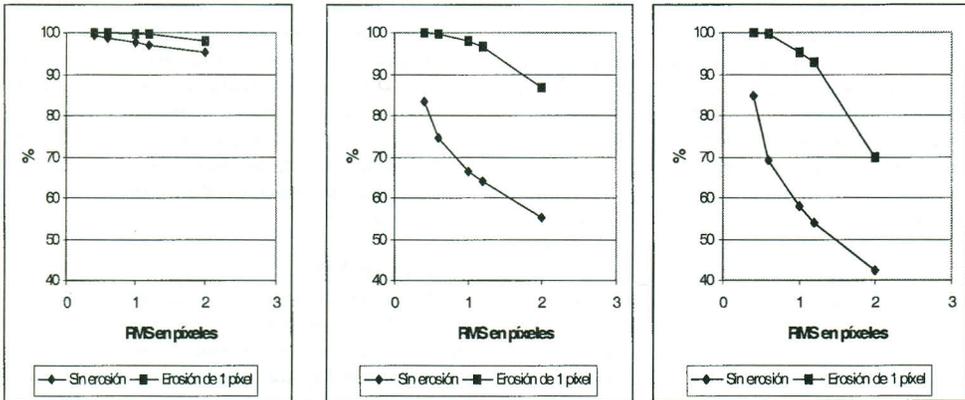


Figura 1. Porcentaje de píxeles bien localizados según diferentes errores geométricos en las imágenes (RMS en píxeles) antes y después de erosionar un píxel, en paisajes poco fragmentados (izquierda), bastante fragmentados (centro) y muy fragmentados (derecha), respectivamente. Tamaño del píxel 60 m.