

# DETECCIÓN, CONFIRMACIÓN Y VALIDACIÓN DE CAMBIOS CON SERIES DE IMÁGENES. APLICACIÓN A LANDSAT 7

*L. Martínez Rodrigo, M. Joaniquet Tamburini, V. Palà Comellas y R. Arbiol Bertran*

Unitat de Teledetecció. Institut Cartogràfic de Catalunya. Parc de Montjuïc s/n, 08038 Barcelona

## RESUMEN

*En este trabajo hemos desarrollado una metodología para la detección de cambios cartográficamente significativos a partir de una serie de imágenes de satélite, con el propósito de asistir en los procesos de actualización cartográfica. Como paso previo, se aplica a la serie un proceso de corrección y compensación del efecto atmosférico, y se discriminan los cambios no deseados como nubes, variación de cubiertas de agua, etc. A continuación, se elaboran pares multitemporales que emplean la primera imagen de la serie como referencia. Estos pares se fotointerpretan para delinear las zonas que presentan diferencias radiométricas importantes. Las imágenes de diferencias obtenidas son clasificadas en árbol de tal modo que los cambios detectados en la primera imagen de diferencias pueden confirmarse en la segunda y validarse con la tercera imagen. La metodología de detección, confirmación y validación de cambios se ha aplicado a una serie multitemporal de cuatro imágenes Landsat 7 (banda pancromática) del área de Banyoles, y el resultado muestra que la técnica sugerida es adecuada para el fin propuesto. Adicionalmente, los resultados de la metodología aplicada han sido contrastados satisfactoriamente mediante la comparación con ortofotomapas 1:25000 del área de estudio.*

**Palabras Clave:** *Detección cambios, actualización cartográfica, diferencia radiométrica, clasificación, Landsat 7, Banyoles*

## ABSTRACT

*In this paper, a methodology developed for the detection of significant changes for cartographic purposes on a set of satellite images is introduced. The main aim of this work is to assist the user in cartographic updating processes. As a previous step, a series of atmospheric compensation and correction processes are applied to the imagery. Besides, several covers such as clouds and water layers that are prone to generate blunder changes are detected and marked off. Next, multitemporal pairs of images are generated using the oldest image of the series as a reference image. Then, the pairs are photo interpreted to delineate the areas that show significant radiometric differences. The difference images obtained are analysed within a tree classification structure in such a way that the changes detected in the first difference image can be confirmed on the second one, and can be validated with the third image. The methodology for detection, confirmation and validation of changes has been applied to a multitemporal set of four Landsat 7 images (pan band) on Banyoles area. The results show that the suggested technique is appropriated to the pursued objective. Additionally, the results of the methodology have been successfully verified by comparison with 1:25000 orthophotomaps of the area.*

**Key Words:** *Change detection, cartographic updating, radiometric difference, classification, Landsat 7, Banyoles.*

## INTRODUCCIÓN

La localización de cambios territoriales, como los derivados de la obra pública, es fundamental para asistir a la planificación de los programas de actualización cartográfica, que es fundamental para una mejor gestión y planificación territorial. Por este motivo, el Institut Cartogràfic de Catalunya desarrolla un proyecto destinado a la detección de cambios territoriales significativos a partir de imagen de satélite.

Las imágenes obtenidas por un sensor como el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) de la plataforma Landsat 7, son un instrumento adecuado para el análisis de dichos cambios, gracias a su resolución temporal, espacial y radiométrica. El satélite Landsat 7 cuenta con un ciclo de repetición de 16 días, un conjunto de bandas en espectro solar con resolución de 30 metros y una

pancromática de 15 metros, y una banda en infrarrojo térmico con 60 metros de resolución (Tabla 1). La banda pancromática es especialmente interesante por su resolución espacial, mientras que el resto permiten obtener información temática adicional que incorporar al proceso.

**Cuadro 1.** Resolución espacial y espectral del sensor Landsat ETM+.

Número de banda	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución nadir (m)
<b>1</b>	0,45 - 0,52	30
<b>2</b>	0,52 - 0,60	30
<b>3</b>	0,63 - 0,69	30
<b>4</b>	0,76 - 0,90	30
<b>5</b>	1,55 - 1,75	30
<b>6</b>	10,4 - 12,5	60
<b>7</b>	2,08 - 2,35	30
<b>Pan</b>	0,50 - 0,90	15

Las metodologías clásicas para la detección de cambios mediante imagen de satélite se basan en posclasificaciones o clasificaciones multitemporales a partir de dos imágenes (*Singh*, 1989). Por otro lado, existe la posibilidad de realizar el seguimiento del territorio a partir de una serie de imágenes por procedimientos aritméticos básicos (*Jensen*, 1996). En este trabajo planteamos una orientación diferente en la aplicación de una serie de imágenes para el seguimiento del territorio y la detección cambios, de tal modo que la información de las nuevas imágenes permita validar o rechazar los resultados de las anteriores.

Para los procesos de actualización cartográfica, los cambios de especial interés son los de carácter artificial. Los cambios artificiales tienen unas especiales características en cuanto a radiometría, morfología y periodo temporal, lo que condicionará la metodología para su detección. En cuanto a la radiometría, cabe destacar las grandes fluctuaciones durante una modificación artificial del terreno, dado que con frecuencia implica la aparición de suelo desnudo que tiene una elevada reflectividad comparado con la reflectividad de la mayoría de las construcciones antropogénicas. Sobre la morfología, se puede mencionar que existe una gran variabilidad de formas en los cambios que son de interés, desde formas muy compactas como las construcciones urbanas, hasta formas claramente lineales, como las vías de comunicación terrestre. Respecto al periodo temporal, es destacable que el periodo típico de evolución de las modificaciones significativas de interés para la cartografía va de varios meses a varios años.

Las imágenes que conforman la serie de estudio son de carácter multitemporal, por tanto, cada una se ha obtenido bajo una geometría de iluminación y unas condiciones atmosféricas particulares. Por ello, es necesario paliar el impacto que sobre la medida radiométrica tiene cada condición de observación. De este modo se obtiene finalmente una serie de imágenes de reflectividad corregida atmosféricamente y normalizada (*Martínez et al.*, 2003iii). Así mismo, los cambios de carácter natural y no relevantes en el ámbito cartográfico como es la presencia de nubes y su sombra, y las variaciones naturales de las cubiertas de agua, deben ser previamente identificados y eliminados de las imágenes (*Martínez et al.*, 2003i).

El problema que pueden presentar las de imágenes que se emplean en el estudio, es la presencia de nubes no muy extensas y por lo general de carácter disperso. Este tipo de nube proyecta una sombra distinguible en la imagen Landsat debido a la elevada resolución espacial

del sensor. La sombra de las nubes también debe ser delimitada correctamente, pues de lo contrario se manifiesta como un cambio acusado por disminución de la reflectividad en la imagen de diferencias (*Martínez et al.*, 2003i).

El objetivo de este trabajo es establecer una metodología de trabajo a partir de imágenes de satélite para la detección de cambios reales en el territorio, susceptibles de ser reflejados en la cartografía. En el siguiente apartado se expondrá la metodología propuesta para la realización de este estudio. A continuación se presentará la zona de aplicación y los resultados alcanzados. Finalmente se expondrán las conclusiones obtenidas.

## **METODOLOGÍA**

### **Corrección y compensación del efecto atmosférico**

La corrección atmosférica de las imágenes se realiza mediante el método descrito por *Martínez et al.* (2003iii) y *Martínez et al.* (2003ii) que consiste en la aplicación consecutiva de un sistema de corrección atmosférica basado en un método físico y simulaciones de transferencia radiativa, más un método de normalización estadístico basado en áreas pseudoinvariantes, que permite suavizar desviaciones no contempladas por el anterior.

### **Discriminación de cubiertas sin interés**

La metodología propuesta para identificar las nubes se basa en tres fuentes de información. En primer lugar, la elevada reflectividad de las nubes en el espectro visible, que supone un incremento de reflectividad respecto a la serie. En segundo lugar la menor temperatura del techo de la nube respecto al suelo, debido al gradiente geométrico de temperatura en la atmósfera, que se asocia a un descenso de radiancia en la imagen térmica (*Martínez et al.*, 2000). Por último, la presencia de sombras proyectadas por las nubes sobre el suelo, que produce un descenso acusado de reflectividad. De cada una de ellas se establece una máscara por aplicación de umbrales que se supervisa buscando la alineación de nubes y sombras de acuerdo a la geometría de iluminación.

La metodología propuesta para la detección de agua se realizará en este trabajo mediante un clásico método de umbral aplicado sobre la reflectividad de la banda 4, puesto que en ella existe un gran contraste entre las cubiertas de agua respecto al suelo y la vegetación en general (*Martínez et al.*, 2003i).

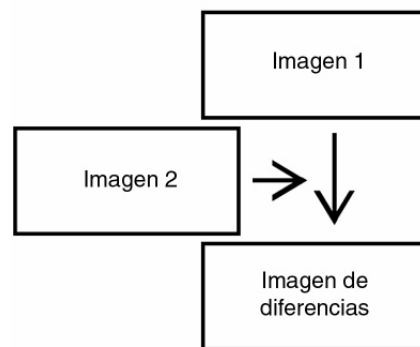
### **Generación de los pares multitemporales y clasificación de las imágenes**

La alteración de la cubierta terrestre tiene como consecuencia directa la modificación de su signatura espectral. Una vez compensadas las condiciones geométricas y atmosféricas en las que se realiza la observación, la signatura espectral depende tan solo del comportamiento radiométrico de la superficie. Así las diferencias radiométricas que presenten las imágenes de la superficie de la Tierra se pueden interpretar como cambios reales en la cubierta. Para observar adecuadamente estas diferencias adoptaremos la táctica de generar imágenes RGB formadas con un canal de dos de las imágenes, empleando la configuración cromática descrita en el Cuadro. 2. El canal seleccionado para la composición del par es el pancromático, por su mayor resolución espacial y para evitar un exceso de información en la fase de fotointerpretación. Los pares que se generarán a partir de la serie de imágenes, son los que contienen la imagen más antigua como imagen común a todos ellos, dado que permiten estudiar la evolución de los cambios observados en el territorio combinando la información obtenida de cada uno de ellos.

**Cuadro 2.** Configuración RGB para los pares multitemporales.

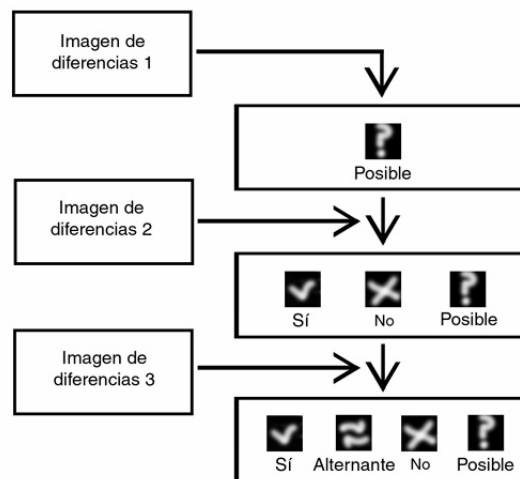
Color	Información
R (rojo)	Imagen más antigua
G (verde)	Imagen más moderna
B (azul)	Imagen más antigua

Cada uno de los pares se analiza por fotointerpretación para generar por delineación una imagen con los cambios radiométricos observados, tal como muestra la Figura 1. Dado el proceso que se ha realizado a las imágenes previamente, al observar el par con la configuración RGB descrita, la región que no presenta variación radiométrica tendrá unas tonalidades próximas al gris, la región que ha experimentado un crecimiento de la reflectividad presentará tonalidades verdes, mientras que aquella que han disminuido su reflectividad presentará tonalidades magenta. Durante la fase de fotointerpretación, se hace uso de la información obtenida de los canales multispectrales y térmico, de manera que toda la información que es capaz de proporcionar el sensor es susceptible de ser incorporada al proceso de detección de cambios, aunque la delineación de las diferencias radiométricas se realice empleando como base los canales pancromáticos.



**Figura 1.** Esquema para la generación de la imagen de diferencias.

La fotointerpretación de cada par multitemporal nos proporciona una imagen de diferencias. Estas imágenes deben procesarse para determinar los verdaderos cambios en el territorio. Para esto emplearemos un mínimo de 3 imágenes de diferencias, resultado de la fotointerpretación descrita anteriormente. El procedimiento a emplear es una clasificación en árbol (Figura 2) que permitirá dilucidar el carácter de las diferencias en las primeras imágenes por comparación con las diferencias observadas en las sucesivas imágenes, de manera que la detección en la primera de las imágenes, puede ser confirmada en la segunda y validada mediante la incorporación de la tercera. Siguiendo el esquema de la Figura 2, tendremos que:



**Figura 2.** Esquema de clasificación en árbol para las imágenes de diferencias.

- **Primera imagen de diferencias:** todas las diferencias que se detectan en la primera imagen de diferencias se clasifican en la categoría de cambios “Posibles”, y por tanto están pendientes de validar y confirmar.
- **Segunda imagen de diferencias:** algunos de los cambios detectados anteriormente se confirman en esta segunda imagen de diferencias, quedando clasificados como cambios “Sí”, mientras que los cambios antes detectados y ahora no confirmados quedan clasificados como “No”. En esta segunda imagen se producirá la detección de nuevos cambios, que como en la etapa anterior se clasifican en la categoría de “Posibles” cambios.
- **Tercera imagen de diferencias:** Los cambios confirmados anteriormente, que también aparecen se muestran en la tercera imagen de diferencias pasan a quedar validados, y se clasifican como “Sí”. Los cambios confirmados que ahora no aparecen en la imagen, junto a los cambios detectados pero no confirmados que ahora sí aparecen en la imagen sugieren un comportamiento errático de la cubierta correspondiente, por lo que se clasifican como “Alternante” y deben ser analizados con información adicional. Por su parte, los cambios detectados pero no confirmados que siguen sin aparecer en la tercera imagen son definitivamente descartados y clasificados como “No”. Como en los casos anteriores, en esta tercera imagen de diferencias se producirá la detección de nuevos cambios, que como ocurría previamente se clasifican en la categoría de “Posibles” cambios.

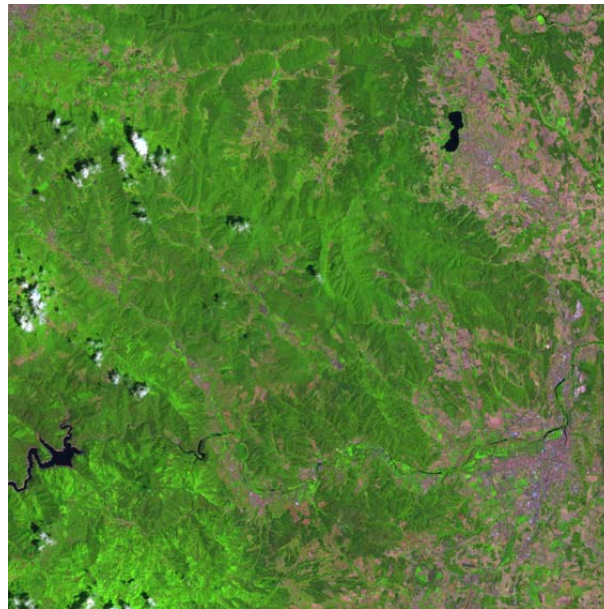
Tras la incorporación de la tercera imagen de diferencias se completa la inicialización del proceso de clasificación. El número de categorías ya no se incrementa si se incorporan más imágenes de diferencias al proceso, pero esto último sí que permitiría ir confirmando y validando los cambios que aparecen por primera vez en la segunda o tercera imagen de diferencias.

### Comparación con ortofotomapa 1:25000

Para finalizar y comprobar que los cambios que se validan mediante la metodología propuesta, se realizará una comparación de diferentes series de ortofotomapas escala 1:25000 realizados con fotografías anteriores y posteriores a las fechas de las imágenes. De este modo, se realizará una estimación de la precisión de la metodología propuesta para discriminar los verdaderos cambios producidos en el territorio.

### RESULTADOS

El conjunto de métodos expuesto se ha aplicado a una serie de 4 imágenes Landsat 7 ETM+ de Path y Row 031 del World Reference System (WRS) correspondientes a los días: 23-07-1999, 03-03-2000, 10-08-2000 y 13-08-2001. Las imágenes han sido orientadas geométricamente en un solo bloque usando el modelo geométrico de *Palà y Pons* (1995), y rectificadas por vecino más próximo en píxeles de 15 metros las pancromáticas y de 30 metros el resto. La Figura 3 muestra con detalle el fragmento de las imágenes que fue estudiado, y que supone aproximadamente 1000 Km<sup>2</sup> de superficie.

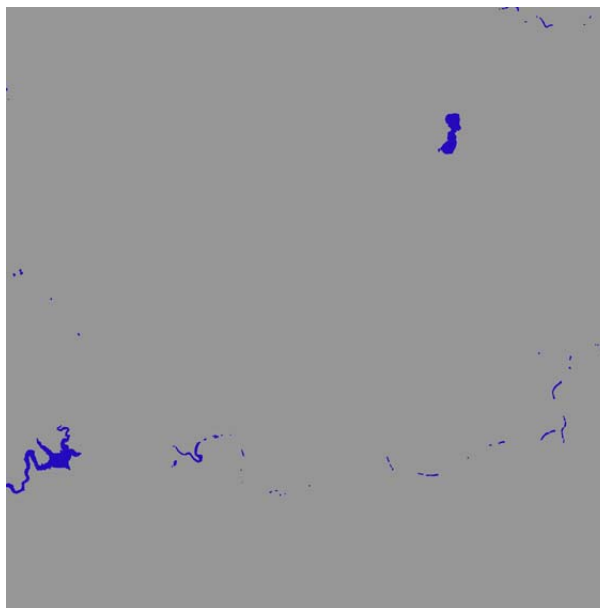


**Figura 3.** Zona de aplicación de la metodología de detección confirmación y validación de cambios (Imagen de fecha 23-07-1999)

A continuación se realizó el tratamiento de las imágenes para delinear adecuadamente las cubiertas nubosas y de agua siguiendo los pasos descritos anteriormente. Como ejemplo del tipo de resultado obtenido para cada imagen, la Figura 4 muestra el caso concreto de las nubes detectadas en la primera de las imágenes. Por su parte, la Figura 5 muestra la máscara de agua obtenida para la misma imagen.



**Figura 4.** Máscara de nubes obtenida de la imagen de fecha 23-07-1999.

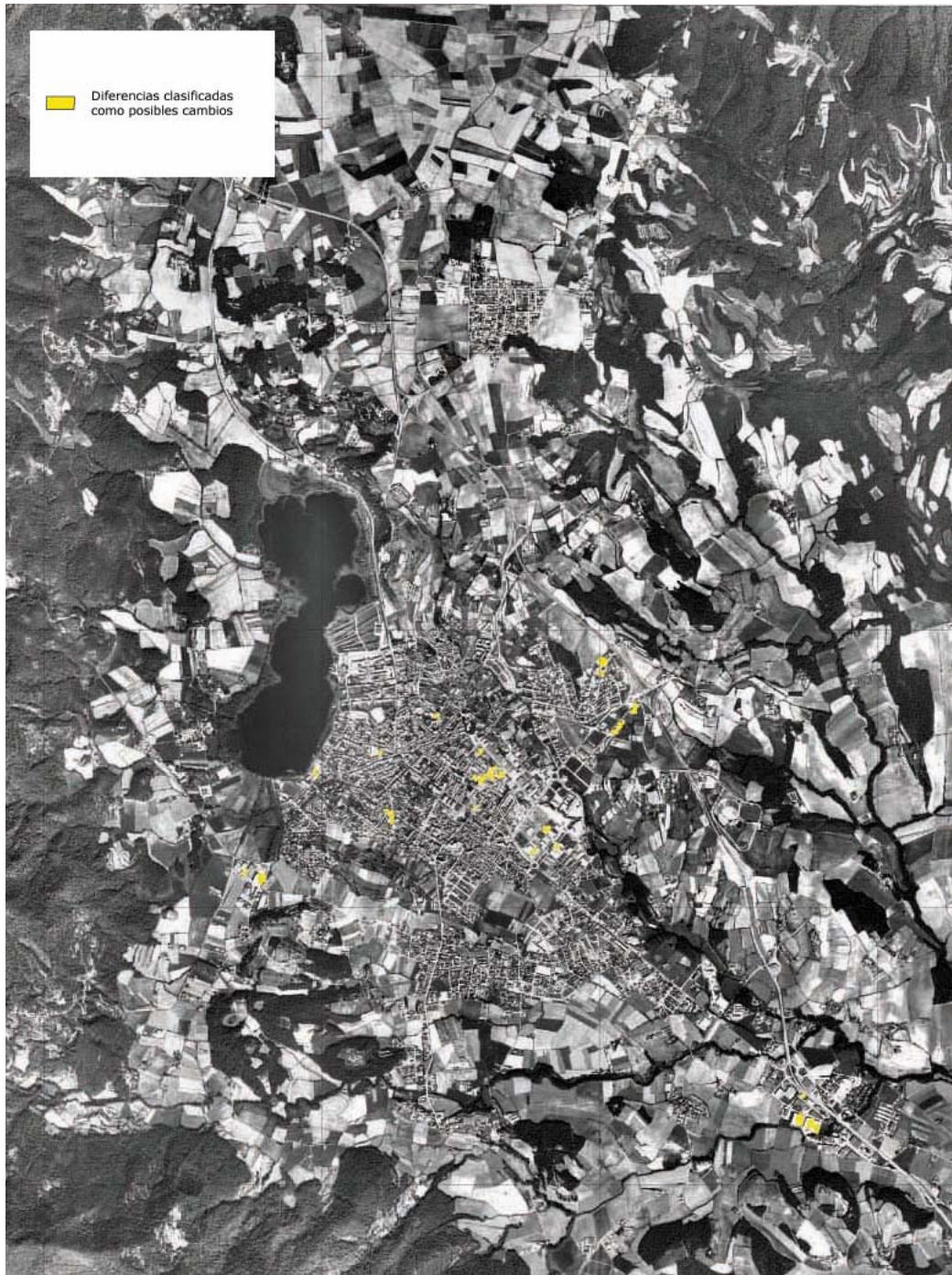


**Figura 5.** Máscara de agua obtenida de la imagen de fecha 23-07-1999.

Con las 4 imágenes que conforman nuestra serie de trabajo se elaboraron 3 pares multitemporales empleando la más antigua de todas ellas, como imagen común a los pares. Los 3 pares fueron analizados por un fotointérprete experto, que delineó con precisión las áreas que mostraban diferencias radiométricas significativas, generando una imagen de diferencias por cada par procesado. El tiempo promedio necesario para fotointerpretar cada par y delinear la imagen de diferencias correspondiente por parte del fotointérprete fue de 5 horas. Para las zonas de estudio, las principales dificultades en la tarea de fotointerpretación se centran en: problemas de precisión geométrica de las diferentes imágenes Landsat, las variaciones fenológicas de cultivos cerca de áreas urbanas que pueden dar falsos positivos, y la presencia de cursos fluviales con caudal y vegetación variable que generan cambios no relevantes para el estudio. Los



caudal y vegetación variable que generan cambios no relevantes para el estudio. Los problemas geométricos limitan en gran medida la capacidad de resolver los cambios por parte de la metodología, que se muestra más eficiente cuanto mayor es el cambio a detectar.

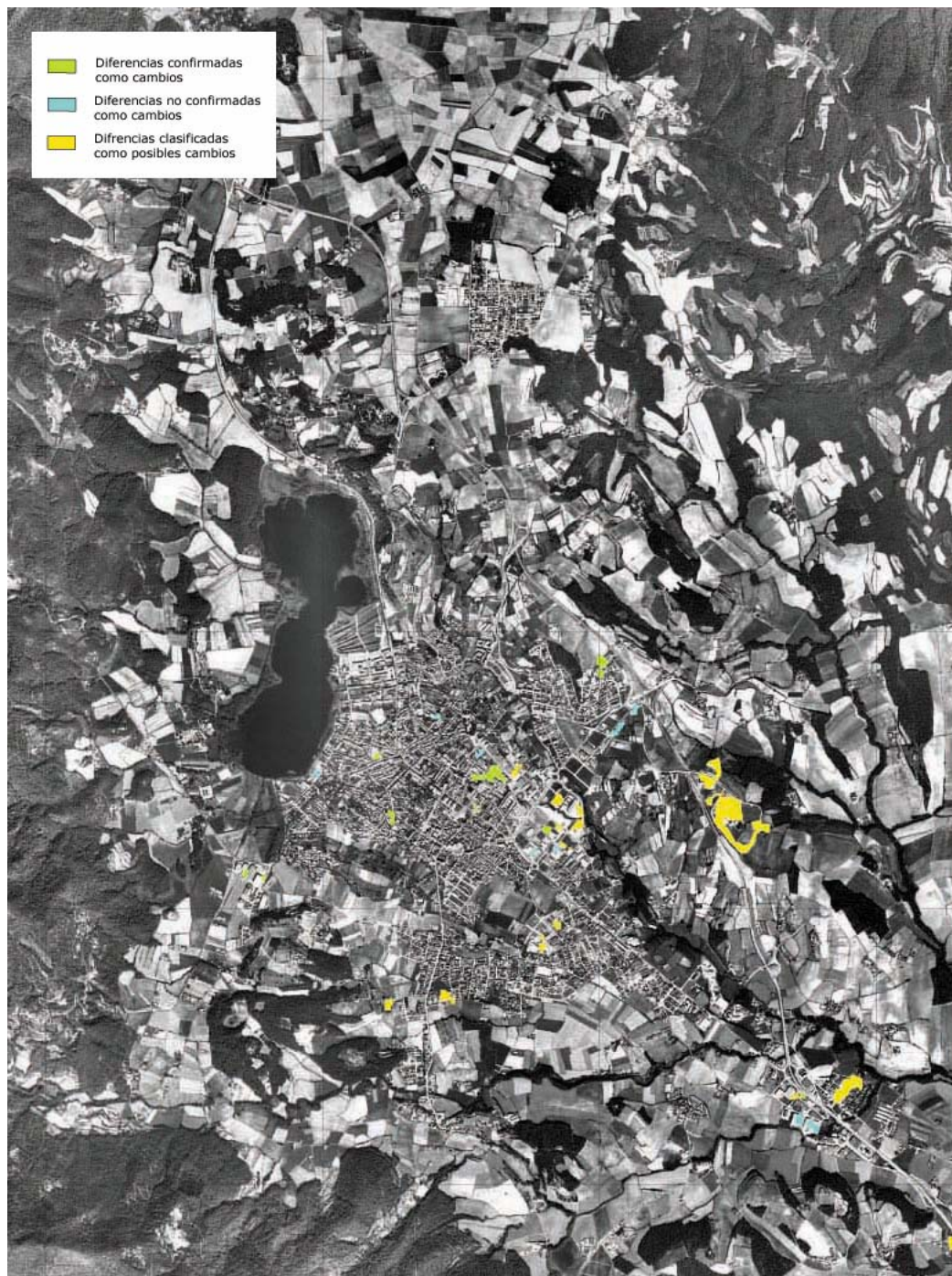


**Figura 6.** Clasificación de cambios con la primera imagen de diferencias (Detalle sobre ortofotomapa 1:25000 Banyoles (76-23)).

Empleando las tres imágenes de diferencias obtenidas, se realizó el proceso de clasificación para la detección, confirmación y validación de cambios, siguiendo la metodología propuesta. La



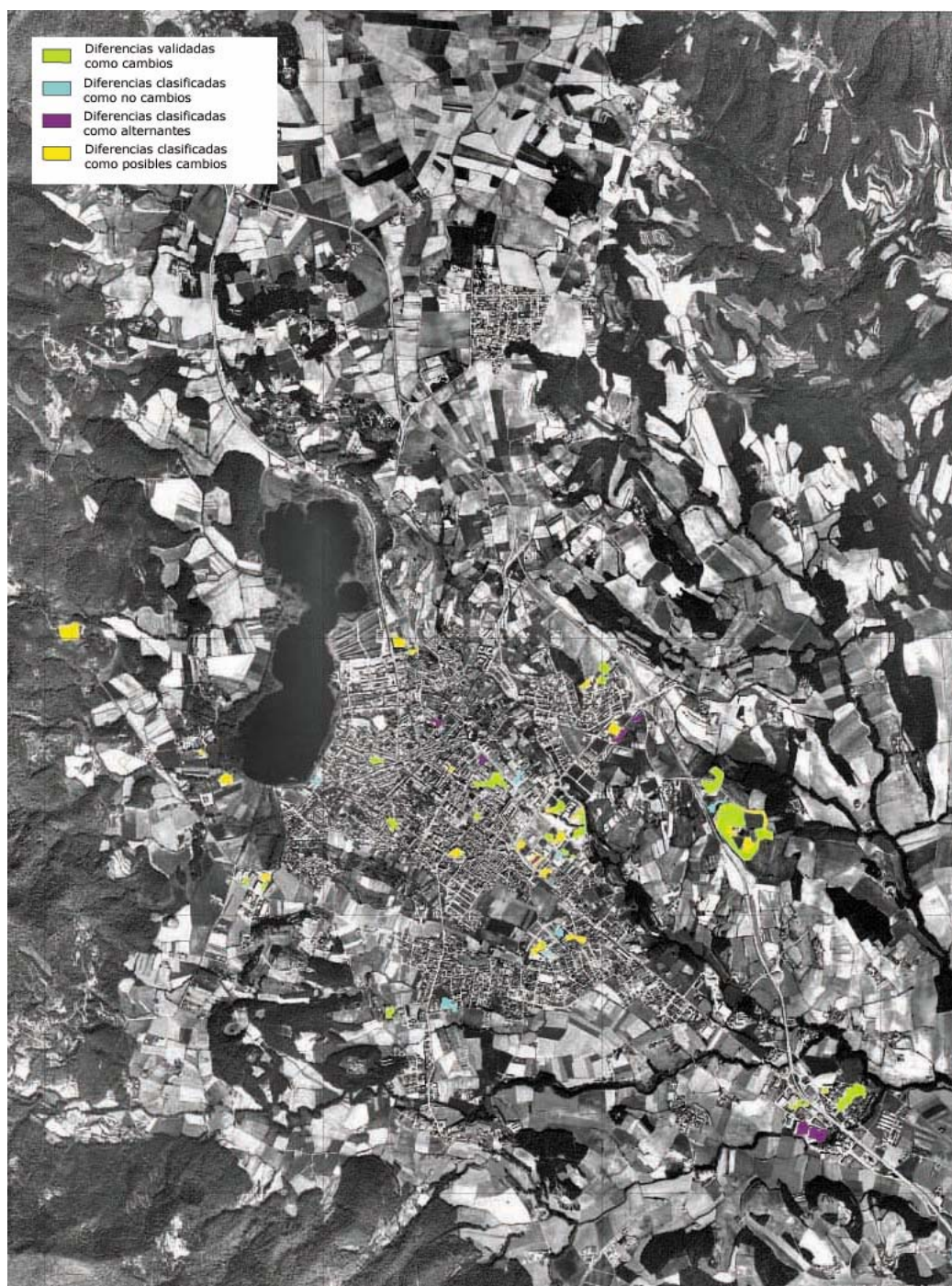
Figura 6 muestra la primera etapa del proceso, donde todas las diferencias encontradas en la primera imagen de diferencias, quedan clasificadas como posibles cambios. A continuación al incorporar la segunda imagen de diferencias podemos ver en la Figura 7 los cambios que se han confirmado, los que no se confirman y los nuevos cambios detectados en la segunda imagen de diferencias. Para completar el proceso, la incorporación de la tercera imagen de diferencias nos ofrece, tal como muestra la Figura 8. Ésta muestra la leyenda definitiva, con los cambios validados como tales, los que quedan declarados como alternantes, los que son rechazados como cambios reales y por último los nuevos cambios detectados en la tercera imagen de diferencias.



**Figura 7.** Clasificación de cambios tras la segunda imagen de diferencias (Detalle sobre ortofotomapa 1:25000 Banyoles (76-23)).

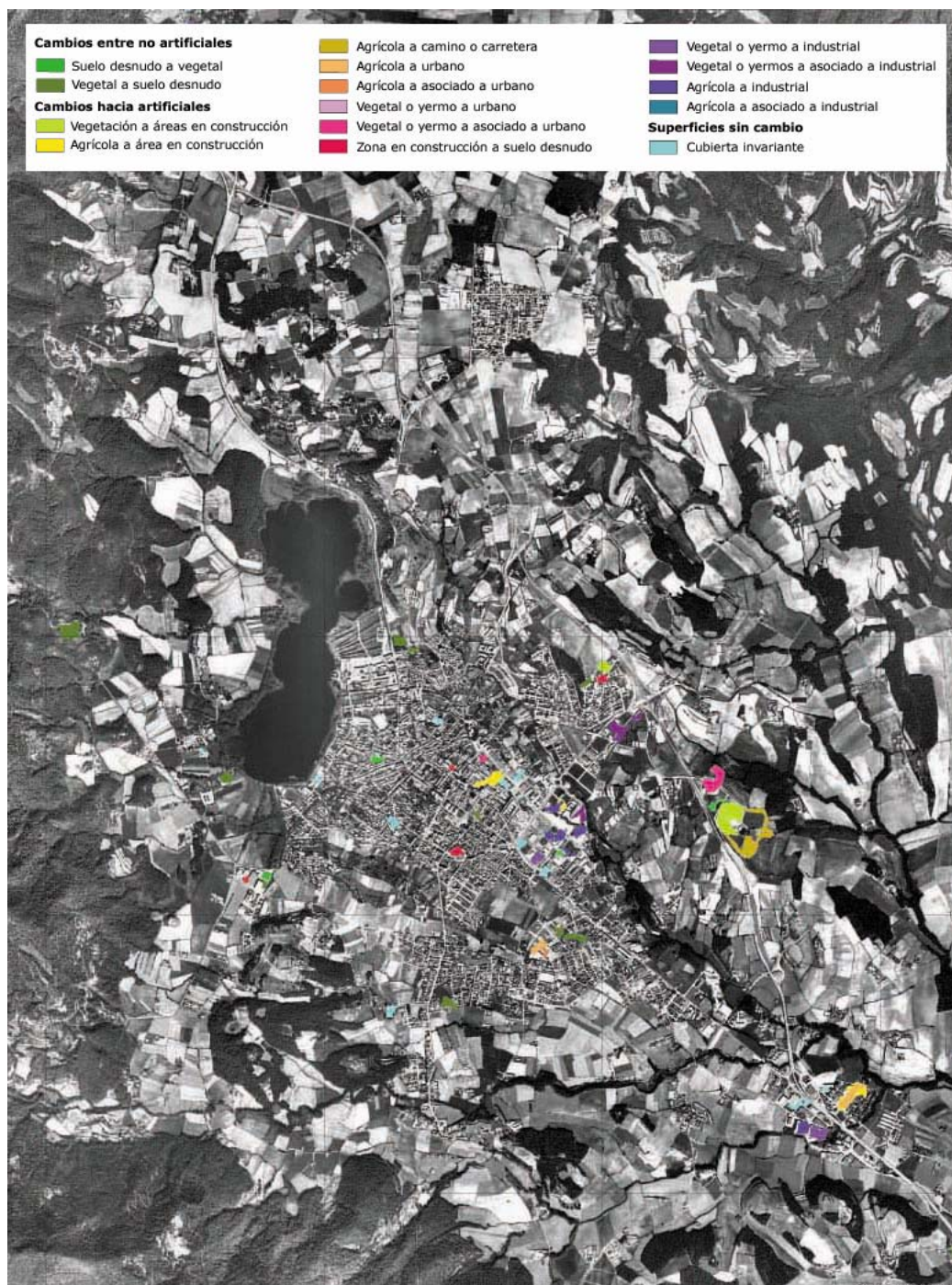


Seguidamente, los resultados que muestra la Figura 8 fueron comparados con 2 ortofotomapas de la zona, realizados a partir de fotografías realizadas en los años 1999 y 2002, respectivamente. Por lo tanto, la serie de imágenes objeto de este estudio debería reflejar los cambios que se observen entre ambos ortofotomapas. La Figura 9 nos muestra una pequeña clasificación temática del tipo de cambio que la metodología aplicada fue capaz de señalar. Así podemos ver que la metodología propuesta proporciona mayoritariamente cambios de interés para el proceso de actualización cartográfica.



**Figura 8.** Clasificación de cambios tras la tercera imagen de diferencias (Detalle sobre ortofotomapa 1:25000 Banyoles (76-23)).





**Figura 9.** Comprobación con ortofotomapas 1:25000 de los cambios validados con la metodología y clasificación temática de los mismos (Detalle sobre ortofotomapa 1:25000 Banyoles (76-23)).

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos desarrollado una metodología para la detección de cambios cartográficamente significativos, a partir de una serie de imágenes Landsat 7. Se han filtrado los cambios no deseados, calculado imágenes de diferencias y clasificado éstas en árbol para la confirmación y validación de cambios. La comparación de los resultados con ortofotomapas

1:25000 muestra que la metodología es adecuada para la localización de cambios susceptibles de ser incorporados a la cartografía. La principal dificultad detectada se relaciona con la geometría de las imágenes Landsat, lo que hace complejo la detección de pequeños cambios. Sin embargo, la resolución temporal y espectral del sensor elegido parecen adecuadas para asistir a los procesos de actualización cartográfica con la metodología propuesta.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todo el personal del Institut Cartogràfic de Catalunya que han colaborado en alguna medida para el desarrollo de este trabajo. En especial, desean agradecer al resto de los miembros desarrolladores de la Unitat de Teledetecció: Fernando Pérez, Oscar Mora y Roger Xandri.

## REFERENCIAS

- Jensen, J.R. (1996): *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Segunda Edición. New Jersey, USA. Prentice Hall.
- Martínez, L.; Gimeno J.F. y Caselles, V. (2000) “Estudio de la precisión y tiempo de proceso en la teledetección nubosa mediante tres métodos”, *Revista de Teledetección*, nº14, páginas 33-37.
- Martínez, L.; Palà, V. y Arbiol, R. (2003i): “Discriminación de nubes, agua e innivación en series de imágenes corregidas y compesadas físico-estadísticamente”, *V Setmana de Geomàtica*, 10-14 febrero, 2003, Barcelona.
- Martínez, L.; Palà, V. y Arbiol, R. (2003ii): “Comparision of Standard, Radiosounded and Forecasted Atmospheric Data in a Solar Spectrum Atmospheric Correction System”, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 21-25 julio, 2003, Toulouse.
- Martínez, L.; Palà, V. y Arbiol, R. (2003iii): “Corrección atmosférica en espectro solar para series multitemporales. Aplicación a imágenes Landsat 7 ETM+”, *X Congreso Nacional de Teledetección: “Teledetección y Desarrollo Regional”*, 17-19 septiembre, 2003, Cáceres.
- Palà, V. y Pons, X. (1995): “Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 61, pp. 935-944.
- Singh, A. (1989): “Digital change detection technique using remotely-sensed data”, *International Journal of Remote Sensing*, 10, 989-1003.