

MAPA 1:250.000 DE USOS Y CUBIERTAS DEL SUELO DE CATALUNYA A PARTIR DE DATOS TM

Oriol VIÑAS, Xavier BAULIES, Joan ROMEU y Matilde VIÑA
Institut Cartogràfic de Catalunya. Balmes 209-211. 08006 Barcelona

RESUMEN

A partir del tratamiento digital de imágenes multitemporales de 1987 registradas por el sensor TM del satélite LANDSAT-5, y utilizando técnicas de fotointerpretación para el establecimiento de las parcelas de entrenamiento y de test del proceso, se está finalizando la cartografía temática de Catalunya (32.000 km²) a escala 1:250.000 en 21 tipos de cubiertas y usos del suelo.

Palabras clave: Cartografía temática, Clasificación multitemporal, Componentes principales, Fotointerpretación

ABSTRACT

By applying a digital treatment of multitemporal images of the LANDSAT-5 TM, and using photointerpretation techniques to set up the training and test areas of the process, we are finishing the thematic cartography of Catalonia (32.000 km²) at scale 1:250.000 with 21 types of land use and cover.

Key words: Thematic cartography, Multitemporal classification, Principal components, Photointerpretation.

1. INTRODUCCION

El conocimiento de los diversos niveles de información del territorio para establecer actuaciones de planificación de una forma científica y operativa son prioridades actualmente inaplazables por su importancia intrínseca. Actualmente se dispone de técnicas y métodos que posibilitan su obtención.

Si bien existen hoy en día algunos estudios temáticos del territorio, no es posible derivar de ellos un conocimiento de síntesis global, por el hecho de que se efectúan en áreas concretas del mismo y bajo ópticas distintas.

Una primera aproximación en este sentido fue el estudio realizado en el CCUPC con datos obtenidos por el satélite LANDSAT-2 (Arbiol, 1983), que permitió alimentar el Sistema de Información Territorial de Catalunya de la D.G.P.T. de la Generalitat y a su vez generar un mapa 1:250.000 de las cubiertas del suelo de Catalunya (Arbiol, 1986). Los datos usados en este estudio anterior (MSS-LANDSAT) y las necesidades del SITC en aquellos tiempos determinaron que sólo se diferenciases siete tipos de cubiertas del suelo (bosque, matorral, cultivos de secano, de regadío, agua, zonas urbanas y otros) y que se agregasen las cubiertas distinguidas en cuadros de 1 km² para manifestar únicamente la dominante.

El único trabajo temático que contempla más cubiertas del suelo sobre la totalidad del Catalunya son los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura, si bien presenta numerosas incorrecciones y en la actualidad resulta bastante desfasado con la realidad.

Ha sido para solucionar esta falta de información que en 1988 el ICC, en colaboración con la DGAPT (Direcció General d'Acció i Planificació Territorial) inició el estudio de las cubiertas y usos del suelo de Catalunya a partir del tratamiento digital de datos captados por el sensor TM del satélite LANDSAT-5, el cual al ofrecer una mayor resolución espacial y espectral nos ha permitido diferenciar hasta 21 cubiertas distintas.

2. METODO

El método se ha basado en el análisis digital de datos TM captados en la primavera y final de verano de 1987. Se ha aplicado un proceso de clasificación multispectral sobre archivos multitemporales constituidos por componentes principales. El etiquetado de las clases obtenidas se ha establecido automáticamente a partir de su comparación con archivos de campo formados por parcelas cuya cubierta y uso han sido reconocidos por fotointerpretación de pares estereoscópicos. Después de una supervisión visual del resultado se ha establecido el producto definitivo tras determinadas interacciones con el proceso.

3. MATERIAL

3.1. INSTRUMENTAL

- Ordenador VAX 11-750 con 15 Mb de memoria central.
- Unidad de cintas de 1.600/6.250 bpi.
- 4 Discos Fujitsu de 300 Mb.
- Procesador de matrices CSPI MiniMAP.
- 2 Procesadores de imagen COMTAL SYSTEM ONE/20.
- 1 Procesador de imagen I2S-IVAS.
- Mesa de digitalización NUMONICS DIN-A1.
- Estereoscopio SOKKISHA.

3.2. INFORMACION COLATERAL

- Mapas topográficos 1:50.000 del SGE.
- Ortofotomapas 1:5.000 del ICC.
- Banco de Puntos de Control del ICC.
- Fotografía aérea 1:22.000 de 1984-88.
- Mapas de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura.
- Mapas de la vegetación alpina de Catalunya.
- Otros mapas y estudios temáticos concretos.

3.3. DATOS

- Imágenes LANDSAT5-TM de primavera y de final de verano de 1987 (10 x 2 cuartos).

3.4. PROGRAMAS INFORMATICOS

- Aplicación RS (Arbiol, 1984). Consta de un centenar de programas escritos en lenguaje FORTRAN, desarrollados en principio en el CCUPC y modificados y ampliados en el mismo ICC.

4. DESCRIPCION DEL PROCESO

1.— **Selección de imágenes.** De la colección disponible en el ICC de las fotografías a pequeña escala de las imágenes registradas por el satélite (quick-looks), se escogieron las más adecuadas respecto a la fecha de captura y a la carencia de nubes. Finalmente se seleccionaron diez cuartos de imagen de la primavera y otros diez de final de verano de 1987.

2.— **Corrección geométrica.** Se han reposicionado los pixels de la imágenes según una función polinómica de grado 2 establecida a partir de una serie de puntos de control identificados sobre la imagen

y sobre la cartografía disponible. El uso de un proceso de correlación automática entre la imagen a corregir y un banco de puntos de control confeccionado con imágenes ya corregidas (Romeu, 1989) ha permitido obtener, con gran ahorro de tiempo, los archivos de puntos de control para la corrección de las imágenes de 1987.

3.— Formación de los archivos multitemporales. El espacio geográfico correspondiente a cada hoja 1:100.000 ha sido considerado como unidad de tratamiento (UT). Para cada una de las 27 hojas a esta escala que constituyen Catalunya se ha generado el archivo multitemporal con 12 variables (6 + 6 canales TM) por registro de las imágenes homólogas de las dos épocas; se ha rechazado el canal TM6 por presentar menor resolución.

4.— Reducción de variables. Sobre cada UT se ha procedido a una reducción de variables basada en el cálculo de componentes principales. Dependiendo de la información aportada por ellas se han retenido 5,6 ó 7 en las distintas UT.

5.— Generación de la Unidad de Estudio (UE). Cada UT constituida por las componentes principales seleccionadas ha sido segmentada en cuatro archivos correspondientes a las cuatro hojas 1:50.000 para obtener los archivos base del proceso de clasificación (UE).

6.— Estratificación. Por fotointerpretación se ha delimitado una máscara correspondiente a las zonas urbanas con su entorno en cada UE con el fin de evitar confusiones espectrales con otras cubiertas en el proceso de clasificación. En determinadas UE se han establecido otros estratos con la misma finalidad (agua, forestal, agrícola).

7.— Generación de la Unidad de Clasificación (UC). Se ha efectuado una clasificación no supervisada de cada máscara por separado. La máscara urbana ha sido segmentada en una veintena de clases y sobre las restantes máscaras se han obtenido un centenar de clases, aproximadamente, generándose los distintos archivos de clasificación.

8.— Confección de los archivos de verdad-terreno. A partir de la fotointerpretación de pares estereoscópicos se han derivado las cubiertas y usos de las parcelas de entrenamiento y de test y, tras su identificación sobre ortos 1:5.000, 1:25.000 o en su defecto sobre la misma imagen de satélite, han sido digitalizadas para formar una base de datos de información de campo. El número de parcelas seleccionadas ha sido suficiente para constituir una muestra estadística de las cubiertas del suelo; para cada hoja 1:50.000 se han localizado unas 300-400 parcelas, abarcando una superficie comprendida entre el 4 por 100 y el 6 por 100 de cada UE.

En la base de datos, cada parcela ha quedado identificada por un código alfanumérico que indica el tipo de cubierta que posee, la hoja 1:50.000 en la que se sitúa y un número que la identifica como parcela de entrenamiento para ser usada en la etapa 9 de etiquetado de clases, o como parcela de test para usarla en la etapa 13 de evaluación de resultados.

Posteriormente se ha extraído esta información en un formato semejante al de los archivos de clasificación para poder ser comparados automáticamente, constituyéndose dos archivos de información de campo: uno con las parcelas de entrenamiento (ICE), y otro con las de test (ICT).

9.— Etiquetado de las clases espectrales. Por comparación automática entre el archivo de clasificación (UC) y el de entrenamiento (ICE) se ha establecido una primera asignación de cada clase espectral a la cubierta con que presenta mayores coincidencias, creándose además durante el proceso una tabla de pureza de cada clase, donde se ponen de manifiesto las confusiones con las demás cubiertas.

Seguidamente, se ha efectuado una supervisión manual del resultado de la asignación automática usando como información tanto la tabla de pureza como la distribución espacial de los pixels de cada clase. Esta supervisión puede dar lugar a tres tipos de actuaciones:

- Reclasificación de clases impuras.
- Cambio de asignación de determinadas clases.
- Generación de máscaras para evitar confusiones espectrales.

Tras aplicar de forma independiente este proceso a los diversos estratos, se construye para cada una de ellos el archivo de agrupación, donde cada pixel queda asignado al código correspondiente a la cubierta que presenta.

10.— Reunión de los estratos. Si la UE había sido segmentada en estratos, se reúnen los archivos de agrupación para reconstruir la unidad 1:50.000. En este proceso, sin embargo, nunca se incorpora el estrato urbano con la finalidad de no perder heterogeneidades interesantes en esta cubierta durante la etapa siguiente de filtrado.

11.— Filtrado. Para evitar el efecto de "picado" que ofrecen los resultados de la clasificación a pixel, el archivo resultante de la etapa anterior ha sido sometido a un filtro modal.

12. Generación del archivo definitivo (UD). El archivo resultante del proceso de filtrado es seguidamente reunido con el correspondiente al estrato urbano clasificado y agrupado, y se procede además a un cambio automático de los pixels de determinadas áreas (autopistas, puertos, canteras) por intersección con gráficos derivados por fotointerpretación. El resultado de estas últimas actuaciones da lugar al archivo definitivo (UD).

13.— Evaluación del proceso. La evaluación se efectúa por generación de la matriz de aciertos y confusiones. Se ha decidido establecerla sobre las UT, o sea, sobre hojas correspondientes a mapas 1:100.000, por lo que previamente se ha procedido a reunir las cuatro UD que los constituyen. Esta matriz se ha obtenido por comparación automática entre las UD y los archivos de test (ICT).

14.— Confección del mapa 1:250.000. A medida que las diversas hojas 1:100.000 han sido solucionadas, se ha procedido a una etapa de mosaico digital para cubrir todo el territorio de Catalunya. Momentáneamente se han impreso los sucesivos mapas clasificados a escala 1:100.000 utilizando un sistema de restitución que a partir de cintas magnéticas con el archivo definitivo origina tres films tramados que son usados en la fase de impresión en color.

5. DISCUSION

La metodología expuesta fue establecida tras efectuar diversas pruebas para resolver las distintas etapas que podían afrontarse con métodos diversos. Un primer tema de estudio fue la magnitud de la unidad de estudio (UE), parámetro que condiciona y que a su vez está condicionado por otros factores e instrumentos (tiempo de cálculo, sistemas de representación, número de superficies de mosaico lateral). Se eligió como UE la superficie correspondiente a las hojas 1:50.000 por requerir un tiempo de cálculo soportable, por la comodidad que representa esta unidad, así como para poder representar el archivo correspondiente mediante los sistemas de representación (IVAS) con plena resolución. Con el fin de que no se tuviesen demasiados problemas en la fase de mosaico de los archivos de clasificación definitivos, el análisis de componentes principales se efectuó sobre archivos correspondientes a las hojas 1:100.000. De esta forma, además, se podían recuperar centros espectrales puros de una UE para mejorar la clasificación de otra UE que correspondiese a la misma hoja 1:100.000.

La estratificación urbana se ha debido realizar a partir de su fotointerpretación, pues la derivada de la serie 1:50.000 ha resultado contener inexactitudes importantes de localización y actualización. Al contener esta máscara los entornos urbanos ha permitido identificar con gran exactitud las áreas de crecimiento.

La confección de los archivos de información de campo podía incorporar ciertas parcelas mal situadas o parcialmente heterogéneas, debido al proceso de identificación de las parcelas seleccionadas sobre los ortofotomapas o sobre la imagen para su digitalización o bien a ligeros problemas de geometría.

Para detectarlas se ha usado un programa que lista las parcelas incorrectamente clasificadas y tras visualizarlas de nuevo se ha podido verificar si el motivo era su incorrecta localización, su cambio de cubierta entre el tiempo transcurrido entre la fotografía y la imagen de satélite, motivos que determinaban su exclusión del archivo de test, o sencillamente su mala clasificación en cuyo caso se han conservado.

Para los archivos correspondientes a las áreas montañosas se han incorporado datos TM de otras imágenes TM del ICC registradas a comienzos de verano, principalmente las de los Pirineos, para evitar en parte los problemas ocasionados por las sombras presentes en las imágenes de la primavera y final de verano. En estos casos se han seleccionado 9 componentes principales para constituir los archivos de clasificación.

Ya que el proceso de clasificación ha sido básicamente del tipo no supervisado, determinadas cubiertas minoritarias han presentado grandes problemas para ser correctamente clasificadas. En algunas UC incluso se ha optado por no diferenciarlas de la cubierta mayoritaria con quien presentaban más confusiones. Esta actuación, sin embargo, no resulta significativa de cara a la finalidad del presente estudio teniendo en consideración la escala de representación.

La etapa más costosa ha sido la del establecimiento del archivo definitivo, pues el proceso de clasificación y etiquetado automático de las clases determina siempre una sobrevaloración de los usos más extensos en perjuicio de los minoritarios; por otra parte, la tabla de pureza de las clases siempre ha evidenciado graves problemas de confusión espectral entre diversas cubiertas.

Estos motivos han obligado a un control visual de esta asignación, tal como se ha expuesto en el apartado anterior, control que debido a la falta de información colateral existente ha obligado a fotointerpretar de nuevo determinadas áreas a partir de los pares estereoscópicos.

Como ejemplo de los resultados obtenidos hemos incorporado una tabla resumen (Tabla 1) correspondiente a un mosaico de 15 hojas 1:50.000 centrado en el área de Barcelona, área representada en la figura 1; la correspondencia entre los colores y las cubiertas o usos del suelo diferenciados se indica en la Tabla 2.

TABLA 1

Matriz de aciertos y confusiones correspondientes al área representada en la figura 1; los códigos de las entradas se explican en la Tabla 2

	2	3	4	5	12	13	14	15	17	21	23	24	33	40	42	45	46	47
2	97.5	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	93.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	4.7	82.1	4.5	0.0	3.5	0.2	0.8	0.1	4.5	4.7	0.6	0.1	0.8	2.2	1.3	2.3	1.9
5	0.0	0.0	0.0	73.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	83.0	0.0	12.3	0.2	3.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.5
13	0.5	0.0	0.9	2.4	0.0	75.0	0.7	5.3	0.1	0.4	0.7	0.0	0.0	1.6	0.6	2.1	1.9	0.1
14	0.0	0.0	0.1	0.0	6.6	1.0	80.8	4.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.4	0.9	1.3
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	73.9	0.00	0.0	0.1	0.0	8.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.1	0.0	6.5	0.2	1.3	0.1	90.0	0.0	0.0	0.1	0.0	10.2	0.0	0.6	0.9	5.5
21	0.1	0.0	4.3	4.3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	75.6	10.6	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.3	0.0
23	0.8	0.0	2.3	8.7	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	12.8	79.7	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	95.7	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1
33	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.4	0.0	0.0	0.0	0.0
42	0.0	0.1	0.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	87.9	0.4	3.3	0.4
45	0.1	0.2	2.4	0.0	0.5	9.0	2.1	2.7	0.9	0.3	1.6	0.1	0.2	0.0	3.8	92.4	7.0	2.5
46	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0	3.2	0.2	8.4	0.0	0.2	0.0	1.0	0.0	0.0	2.9	0.5	77.6	0.9
47	0.4	0.6	6.7	0.0	3.3	3.9	2.3	4.3	4.5	0.3	0.4	2.2	0.0	0.6	1.5	1.8	4.8	85.2
NPT	3628	1307	3567	508	7151	6692	11355	86	50538	17100	5460	6280	4431	620	5552	45016	3510	28385

NPT (Número Pixels Test). CALIDAD GLOBAL: 87.1 por 100.

La calidad global obtenida es de 87.1 por 100 y como puede deducirse de las confusiones entre cubiertas diferenciadas, no todos los errores pueden explicarse desde el punto de vista de las confusiones espectrales. Esto indica que los números obtenidos no pueden ser contemplados como una valoración exacta de las capacidades de la metodología, pues están condicionados por aspectos que conviene tener presente al hacer su valoración.

Entre estos condicionantes existen ciertas confusiones que sólo pueden explicarse por un ligero desplazamiento entre la digitalización de las parcelas y su situación real en la imagen de satélite, suficiente como para incorporar algunos pixels situados en su entorno real, pixels que han sido correctamente clasificados como pertenecientes a otra cubierta (confusión entre arenales y zonas industriales litorales). En otros casos las parcelas no se comportan como totalmente homogéneas; el caso más evidente son las confusiones entre las diversas cubiertas forestales y la cubierta matorral, donde en la misma fase de fotointerpretación, al integrarse dentro de una parcela como cubierta absolutamente homogénea gradaciones de la misma, pueden incluso dar lugar a que sea más real el resultado de la clasificación que el de fotointerpretación. Otro tipo de problemas reside en el etiquetado de cubiertas que pueden presentar una cierta dinámica en cuanto a su uso; el caso más evidente es la confusión entre herbáceos de regadío y de secano. En ocasiones el problema se origina por el hecho de que la fotointerpretación usa también un aspecto de textura que permite homogeneizar áreas realmente heterogéneas; el ejemplo más característico son los campos de frutales de secano.

Al hacer la lectura de la tabla de aciertos y confusiones es necesario, por lo tanto, tener presente estas observaciones y considerar este tipo de valoración como una aproximación a la calidad del proceso.

6. CONCLUSION

El uso de la metodología expuesta nos permitirá poseer en un futuro muy cercano (febrero de 1990) la cartografía temática de Catalunya a escala 1:250.000 en las 21 cubiertas y usos del suelo siguientes: áreas urbanas densas, urbanizaciones, áreas industriales, infraestructuras (puertos, autopistas, aeropuertos), canteras, cultivos herbáceos de regadío, de secano, frutales, leñosos, viñedos, caducifolios, coníferas, esclerófilos, matorrales, áreas forestales devastadas por incendios en 1986, 1987, pastizales alpinos, vegetación de zonas húmedas, arenales, agua, suelos desnudos y glaciares.

Por el hecho de ser un estudio basado en el tratamiento digital de imágenes de satélite corregidas geométricamente será incorporado al sistema de información geográfica del ICC (Arc-Info) para cubrir la información sobre ocupación del suelo del mismo. Esta posibilidad abrirá el camino a numerosos estudios al poder cruzar esta información con las restantes del sistema de información, estudios que actualmente no pueden ser realizados de forma operativa a causa de la falta de información temática.



Figura 1.— Fotografía correspondiente a una parte del mapa 1:250.000 de los usos y cubiertas del suelo de Catalunya, abarcando un mosaico de 15 hojas 1:50.000.

Tabla 2.— Correspondencia entre los códigos numéricos y colores de impresión con las cubiertas y usos diferenciados.

LEYENDA	
2	INFRAESTRUCTURAS VIARIAS (autopistas, estación ferrocarriles, puertos y aeropuertos)
3	EXTRACCIONES MINERAS (canteras)
4	SUELOS DESNUDOS (afloramientos rocosos)
5	ARENALES (playas, dunas)
12	ESCLEROFILOS (encinas, alcornoques, carrascas)
13	HERBACEOS DE REGADÍO
14	CADUCIFOLIOS (robles, chopos, hayas)
15	FRUTALES DE REGADÍO
17	CONIFERAS (pinos, abetos)
20	URBANIZACIONES
21	AREAS URBANAS DENSAS
23	AREAS INDUSTRIALES
24	AREAS FORESTALES QUEMADAS
33	AGUA
40	VEG. ZONAS HUMEDAS
42	VIÑEDOS
45	HERBACEOS DE SECANO
46	LEÑOSOS (olivos, almendros)
47	MATORRALES

BIBLIOGRAFIA

Arbiol, R., Viñas, O. y Camarasa, J.M. 1983. Un essai de cartographie de l'utilisation des sols en Catalogne. En **EARSEL/ESA Symposium on Remote Sensing. ESASP-188** pg. 241-247.

Arbiol, R., Palà, V. y Viñas, O. 1984. **Manual de Sistema de la Aplicación RS y Manual I,II del Usuario de la Aplicación RS.** CCUPC. Barcelona.

Arbiol, R., Viñas, O., Camarasa, J.M. y Palà, V. 1986. **Mapa d'usos del sòl de Catalunya 1:250.000 a partir de dades del satèl·lit LANDSAT-2.** Barcelona. 154 p. ISBN 84-393-0643-1.

Romeu, J., Arbiol, R. y Viñas, O. 1989. Búsqueda semiautomática de Puntos de Control. En este volumen.