
DINÀMICA DE LES SUPERFÍCIES DE CONREU A CATALUNYA MITJANÇANT TELEDETECCIÓ EN EL PERÍODE 1987-2012

**Òscar González-Guerrero,¹ Xavier Pons-Fernández,¹
Roger Bassols-Morey² i Francisco Javier Camps-Fernández²**

1. Grup de Recerca Mètodes i Aplicacions en Teledetecció
i Sistemes d'Informació Geogràfica (GRUMETS), Departament
de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra

2. Departament de Territori i Sostenibilitat,
Generalitat de Catalunya, Barcelona

REBUT: 5 de novembre de 2018 - ACCEPTAT: 7 de gener de 2019

RESUM

L'objectiu d'aquest treball és l'estudi dels canvis succeïts a Catalunya durant els 25 anys transcorreguts entre 1987 i 2012 amb relació a les superfícies dedicades a l'agricultura. Es basa en les dades de les sis edicions del *Mapa d'usos i cobertes del sòl de Catalunya* (MUCSC), obtinguts mitjançant la classificació automàtica d'imatges de satèl·lit del programa Landsat, que posa de relleu els avantatges d'aquest tipus d'informació per a l'estudi de grans extensions de terreny en llargues sèries temporals. Els resultats mostren que la superfície mitjana ocupada per conreus a Catalunya al llarg d'aquests anys se situa en el 32 %, amb predomini dels conreus de secà per sobre dels de regadiu (24 % i 8 %, respectivament) i dels herbacis per sobre dels llenyosos (20 % i 12 %, respectivament). La superfície ocupada per aquesta coberta ha anat disminuint durant el període d'estudi a una velocitat mitjana de gairebé 8.000 ha/any, tot i que l'acceleració mitjana (-47 ha/any²) sembla indicar que el procés de regressió s'està frenant, particularment els darrers anys. Aquesta pèrdua afecta principalment els conreus de secà, mentre que el regadiu es manté força estable, i es deu sobretot a l'abandonament de terres i la posterior renaturalització dels camps,

Ò. González-Guerrero, X. Pons-Fernández, R. Bassols-Morey, F. J. Camps-Fernández

així com a l'augment de les superfícies urbanitzades (en aquest cas, en especial a les comarques de la costa central). Malgrat les pèrdues, apareixen noves terres de conreu en comarques de les terres de Lleida, a Osona i a l'Empordà.

PARAULES CLAU: teledetecció, Landsat, MUCSC, conreus, canvis en les cobertes del sòl.

DINÁMICA DE LAS SUPERFICIES DE CULTIVOS EN CATALUÑA MEDIANTE TELEDETECCIÓN EN EL PERIODO 1987-2012

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el estudio de los cambios sucedidos en Cataluña durante los 25 años comprendidos entre 1987 y 2012 en relación con las superficies dedicadas a la agricultura. Este estudio se basa en los datos de las seis ediciones del *Mapa de usos y cubiertas del suelo de Catalunya* (MUCSC), obtenidos mediante clasificación automática de imágenes de satélite del programa Landsat, y pone de relieve las ventajas del uso de este tipo de información para el estudio de grandes extensiones de terreno en largas series temporales. Los resultados muestran que la superficie media ocupada por cultivos en Cataluña a lo largo de estos años se sitúa en el 32%: predominan los cultivos de secano sobre los de regadío (24% y 8%, respectivamente) y los herbáceos sobre los leñosos (20% y 12%, respectivamente). La superficie ocupada por esta cubierta ha ido disminuyendo durante el periodo de estudio a una velocidad media de casi 8.000 ha/año, aunque la aceleración media (-47 ha/año²) parece indicar que el proceso de regresión se está ralentizando, particularmente en los últimos años. Este descenso afecta principalmente a los cultivos de secano, mientras que el regadío se mantiene bastante estable, y se debe sobre todo al abandono de tierras y la posterior renaturalización de los campos, así como al aumento de las superficies urbanizadas (en este caso, sobre todo en las comarcas de la costa central). A pesar de las pérdidas, aparecen nuevas tierras de cultivo en comarcas de las tierras de Lleida, en Osona o en el Empordà.

PALABRAS CLAVE: teledetección, Landsat, MUCSC, cultivos, cambios en las cubiertas del suelo.

CROP SURFACE DYNAMICS THROUGH REMOTE SENSING IN CATALONIA IN THE PERIOD 1987-2012

ABSTRACT

This paper presents a study of the changes that occurred in Catalonia during the 25 years between 1987 and 2012 in the areas devoted to agriculture. This study is based on data from the six editions of *Land use and land cover map of Catalonia* (MUCSC, from Catalan) obtained through automatic classification of Landsat satellite imagery, highlighting the advantages of this type of information for the study of large land extensions in long time series. The results show that the average area occupied by crops in Catalonia over these years is 32%, with rainfed crops predominating over irrigated crops (24 % and 8%, respectively) and herbaceous crops over woody crops (20% and 12%, respectively). The area occupied by this cover has been decreasing during the study period at an average rate of almost 8,000 ha/year, although the average acceleration (-47 ha/year²) seems to indicate that the regression process has been slowing down, particularly in recent years. This loss mainly affects rainfed crops, while irrigated crops remain fairly stable, and it is mainly due to the abandonment of croplands and the subsequent renaturation of fields, as well as to the increase in urbanized areas (in this case particularly in the central coast regions). Despite the losses, new cropland is appearing in the areas of Lleida and of the Osona and Empordà regions.

KEYWORDS: remote sensing, Landsat, MUCSC, crops, land cover changes.

1. INTRODUCCIÓ

Des dels seus inicis, la teledetecció mitjançant imatges de satèl·lit ha estat font d'informació per a tot tipus d'estudis a escala local, regional i global. Els principals avantatges de l'ús de dades d'observació de la Terra són el baix cost i la disponibilitat creixent (fins i tot per a usuaris no experts), la recurrència de les captacions (diàries, setmanals, etc., segons la plataforma i el sensor) i la capacitat de caracteritzar grans extensions de territori en un moment precís (Elvidge *et al.*, 2004).

Així, doncs, les dades que ofereix la teledetecció a la comunitat científica tenen aplicacions molt diverses, com la gestió forestal (White *et al.*, 2016; Hudak *et al.*, 2002), la planificació i la gestió urbanes (Zambon *et al.*, 2017; Chang *et al.*, 2010), el canvi climàtic (Cristóbal *et al.*, 2011), el monitoratge d'ecosistemes (Richter *et al.*, 2008; García Martín *et al.*, 2006), la detecció i

la prevenció de riscos (Roberts i Wooster, 2014) o els estudis de canvis de cobertes del sòl (Hansen i Loveland, 2012).

En el cas concret dels estudis temporals sobre la dinàmica de les cobertes del sòl, hi ha diversos factors condicionants, entre els quals destaquen, per una banda, la disponibilitat d'imatges de satèl·lit i d'altres bases de referència en el període d'estudi i, per altra banda, les característiques pròpies de la plataforma i del sensor que percep les dades.

En efecte, tot i que actualment es troben a l'abast de tothom i gratuïtament grans volums d'imatges captades per diferents satèl·lits d'observació de la Terra, aquestes imatges es remunten, en el millor dels casos, als anys 70 del segle xx, amb menor disponibilitat com més ens remuntem en el temps.

Malgrat que aquesta baixa disponibilitat de les dades de dècades enrere es deu principalment a un menor nombre de satèl·lits d'observació de la Terra en aquell temps, també guarda relació amb la periodicitat amb què un satèl·lit visita un mateix punt de la superfície terrestre (resolució temporal). Aquesta característica, juntament amb la resolució espacial (dimensió de l'objecte més petit que pot ser distingit en la imatge, relacionat amb la mida del píxel sobre el terreny), la resolució espectral (les zones de l'espectre electromagnètic que es capten, així com la seva amplada) i la resolució radiomètrica (el grau de sensibilitat amb què es discrimina el senyal rebut), determinaran, en gran mesura, els fenòmens que podem estudiar amb les dades d'un satèl·lit concret (Pons i Arcalís, 2012; Chuvieco, 2008).

Probablement el cas més emblemàtic, tant per la continuïtat en el temps com per la gratuïtat de les dades, és el programa Landsat dels Estats Units d'Amèrica (Loveland i Dwyer, 2012; Wulder *et al.*, 2012; Woodcock *et al.*, 2008), que ha estat gestionat per diferents organismes de l'administració federal, com la National Aeronautics and Space Administration (NASA) i el United States Geological Survey (USGS).

El programa Landsat ha dut a terme, fins a l'actualitat, vuit llançaments de satèl·lits d'observació de la Terra. El primer va ser posat en òrbita l'any 1972, i el més recent capta imatges des de l'any 2013. Així doncs, disposem d'un arxiu de dades de més de 45 anys pràcticament ininterromputs, recollides periòdicament en un mateix àmbit geogràfic.

La configuració d'aquests vuit satèl·lits no ha estat exactament idèntica (Loveland i Dwyer, 2012), però sí que s'ha seguit sempre una política continuïsta que permet una comparació raonablement coherent de les imatges dels satèl·lits més nous amb les dels seus predecessors. Generalitzant, podem resumir les característiques de les imatges de tota la sèrie de la manera següent: tenen una resolució espacial d'entre 30 i 60 m de costat de píxel (excepte en l'infraroig tèrmic, on les resolucions espacials varien entre els 30 i 120 m), una resolució temporal d'entre 16 i 18 dies, abasten una superfície aproximada d'uns 32.400 km² en cada escena distribuïda i capten da-

des en les regions espectrals del visible, l'infraroig proper, l'infraroig d'ona curta i el tèrmic.

Les dades dels diferents *Landsat* han estat àmpliament usades al llarg de la seva història en l'elaboració de cartografia temàtica, així com en estudis de canvis de cobertes del sòl (Chen *et al.*, 2015; Vogelmann *et al.*, 2001) i en la gestió agrícola (Vidal-Macua *et al.*, 2018; Pons *et al.*, 2012).

L'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), gràcies a l'impuls del Departament de Medi Ambient de la Generalitat, va generar quatre edicions del *Mapa d'usos i cobertes del sòl de Catalunya* (MUCSC, inicialment conegut com a MUSC, *Mapa d'usos del sòl de Catalunya*), corresponents als anys 1987, 1992, 1997 i 2002, mitjançant la classificació digital d'imatges de teledetecció del sensor Thematic Mapper (TM), instal·lat al satèl·lit *Landsat-5*, però també incorporant-hi algunes imatges del sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) del *Landsat-7* (ICC, 1992; Viñas i Baulies, 1995). Aquests mapes consten d'una llegenda coherent de 21 categories i abasten tot Catalunya amb una grandària de cel·la de 30 m × 30 m.

D'altra banda, l'any 2017 el Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya va encarregar al Grup de Recerca Mètodes i Aplicacions en Teledetecció i Sistemes d'Informació Geogràfica (GRUMETS) de la Universitat Autònoma de Barcelona un estudi quinquennal dels canvis de cobertes del sòl produïts a Catalunya entre els anys 2002 i 2012, cosa que va fer necessària la generació de dos nous mapes corresponents als anys 2007 i 2012. Aquests mapes van ser dissenyats amb una llegenda continuïsta respecte a la dels mapes generats per l'ICGC (tot i que s'amplia a 23 categories) i es generen mitjançant la classificació d'imatges dels sensors TM del *Landsat-5* i Operational Land Imager (OLI) del *Landsat-8*.

El conjunt d'aquests sis mapes permet una visió de 25 anys d'història del territori català i l'estudi de la seva dinàmica. Entre les categories de la llegenda de tota la sèrie de mapes, en destaquen cinc, dedicades a les cobertes agrícoles: conreus herbacis de secà, conreus herbacis de regadiu, fruiters de secà, fruiters de regadiu i vinyes.

Cal tenir en compte que des del punt de vista de la teledetecció, la resolució de les imatges dels satèl·lits *Landsat* no permet fer certes distincions entre tipus de conreus. Així, doncs, quan parlem de conreus herbacis de regadiu, considerem tots aquells conreus no llenyosos que requereixen reg per a mantenir el vigor de la planta al llarg del seu cicle biològic, com el blat de moro i el gira-sol, però també inclouen l'horta. De la mateixa manera, les categories de fruiters inclouen espècies llenyoses com l'olivera, el garrofer, etc., però no la vinya, que en la llegenda es representa en una categoria a part, sense distingir entre vinya de secà i vinya de regadiu, i que en aquest estudi és considerada essencialment com una categoria de secà. Atesa la superfície que abasten les vinyes de regadiu dins el conjunt dels conreus a Catalunya, aquesta consideració no afecta substancialment els

resultats presentats en aquest treball.

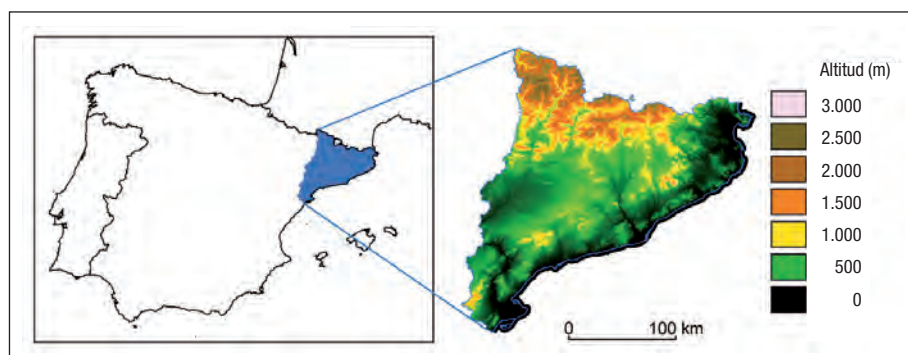
L'estudi de la dinàmica d'aquestes cobertes és interessant per diverses raons. Per una banda, per la superfície que ocupen a Catalunya, que representa pràcticament un terç del territori. Per altra banda, per la seva vinculació amb la societat i l'economia del país. I, finalment, per la seva relació amb el creixement urbanístic, perquè són donadores de superfície construïble per raó del cost del sòl i de la poca complexitat orogràfica.

El present article té, doncs, per objectiu l'estudi de la dinàmica de les cobertes agrícoles al llarg dels anys 1987-2012, utilitzant els MUCSC, així com l'estudi de les velocitats i acceleracions dels canvis produïts durant aquest període.

2. ÀREA D'ESTUDI

Catalunya (figura 1), situada al litoral mediterrani del nord-est de la península Ibèrica, té una superfície aproximada de 32.000 km². Hi alternen terrenys de muntanya i grans planes, amb una altitud mitjana sobre el nivell del mar propera als 600 m, però amb un rang altitudinal entre 0 m a la costa i més de 3.000 m en alguns cims del Pirineu.

FIGURA 1. *Mapa de situació. Catalunya, al nord-est de la península Ibèrica, amb un rang altitudinal entre 0 m i més de 3.000 m i una altitud mitjana sobre el nivell del mar propera als 600 m*



FONT: Elaboració pròpia.

Hi ha un gradient climàtic entre les zones pirinenques, de clima boreal temperat, i les zones mediterrànies, caracteritzades per hiverns suaus i estius secs. També hi ha un gradient continental d'est a oest, on trobem climes semi-

àrids amb hiverns més freds i estius molt càlids. Tot això configura un paisatge la major part del qual és ocupada per boscos, matollars i prats (60%), mentre que els diferents tipus de conreus en representen, aproximadament, un terç i ocupen, en general, les zones més planes del territori català.

La taula de l'annex 1 (p. 90) presenta una caracterització de les superfícies de conreus de Catalunya per comarques, amb dades d'altitud, pendent, radiació real i pluviometria anual (mínima, màxima i mitjana, segons dades del període 1950-2015).

3. MATERIAL I MÈTODES

3.1. MUCSC 1987, 1992, 1997 i 2002

Com s'explica en la introducció d'aquest article, els MUCSC dels anys 1987, 1992, 1997 i 2002 van ser generats per l'actual ICGC a partir d'imatges Landsat i originalment van ser publicats a escala 1:250.000, en un model de dades ràster¹ amb una mida de cel·la de 30 m × 30 m (figura 2) i una llegenda de 21 categories.

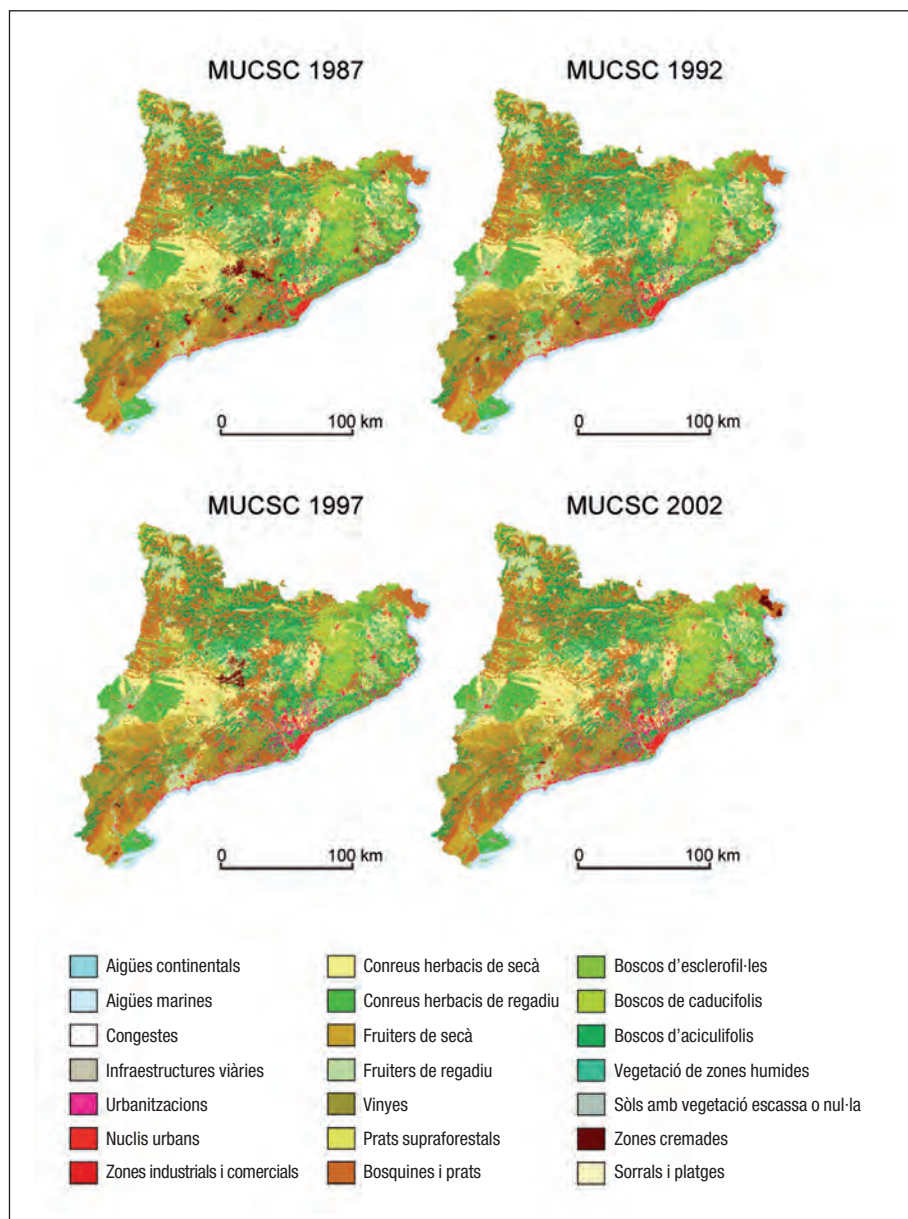
Per tal de poder dur a terme l'anàlisi de dinàmica temporal entre aquests mapes, i també respecte als mapes posteriors, ha calgut aplicar alguns procediments tant geomètrics com temàtics (tal com s'explica en l'informe tècnic² corresponent, elaborat per GRUMETS i lliurat al Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya l'any 2015), com ara la unificació de les diferències en els límits administratius de Catalunya amb l'Aragó i amb França entre els mapes dels diferents anys, o els canvis en l'ordre de les categories de la llegenda. També ha calgut adaptar els sistemes de referència a l'actual European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89).

Quant a la qualitat temàtica dels mapes originals, només van ser publicades les dades dels MUCSC 1987 i 1992, amb encerts globals del 85,6% i 88,6%, respectivament, calculats mitjançant àrees de tests independents, és a dir, que són el percentatge de l'àrea on la coberta del sòl és coneguda *a priori* (àrees conegudes i que no han estat utilitzades en el procés d'entrenament del sistema de classificació automàtica), que coincideix amb els resultats finals del procés de classificació.

1. Xarxa contínua, regular i densa de cel·les organitzades en files i columnes amb què s'estructura i es representa una informació (Rabella *et al.*, 2011).

2. GONZÁLEZ, O.; PONS, X. (2015). *Assistència tècnica per al càlcul de canvis en els usos del sòl a Catalunya en les transicions entre diversos quinquennis*. GRUMETS.

FIGURA 2. Quatre edicions del Mapa d'usos i cobertes del sòl de Catalunya corresponents als anys 1987, 1992, 1997 i 2002, generats per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya



FONT: Elaboració pròpia.

3.2. MUCSC 2007 i 2012

Els mapes d'usos i cobertes del sòl del 2007 i del 2012 han estat generats pel grup de recerca GRUMETS mitjançant processos de classificació automàtica d'imatges de satèl·lit. Concretament, s'ha seguit una variant del protocol explicat a Vidal-Macua *et al.* (2017).

Idealment, en la generació de cada mapa calen entre cinc i sis imatges lliures de núvols, repartides al llarg dels mesos de primavera i estiu, per a optimitzar els resultats de la classificació (Moré i Pons, 2007). La presència de núvols, entre altres raons, ha obligat a fer una aproximació quinquennal. Així, el mapa del 2007 es realitza utilitzant dades captades entre els anys 2005 i 2009, donant prioritat a les imatges del 2007. Anàlogament, en el mapa del 2012 les imatges utilitzades corresponen al quinquenni 2010-2014, prioritzant les del 2012.

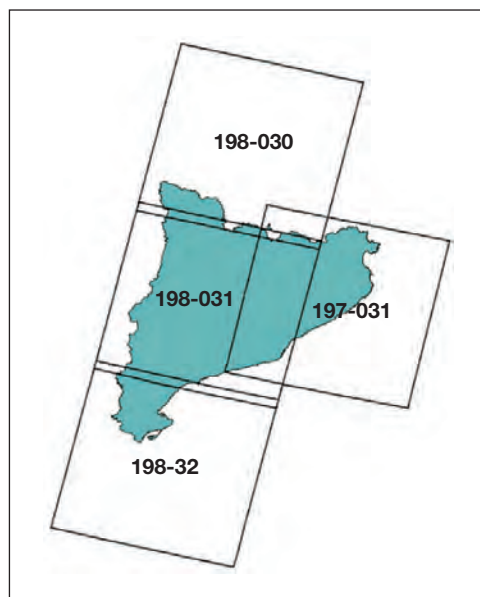
Així, doncs, es treballa amb un total de 48 imatges Landsat (25 per al mapa del 2007 i 23 per al mapa del 2012), de les quatre escenes necessàries per a cobrir Catalunya identificades segons el World Reference System 2 (WRS2) com a 197-031, 198-030, 198-031 i 198-032 (figura 3). L'error quadràtic mitjà (RMS o *root-mean-square error*) de les imatges, estimador de la seva qualitat geomètrica, és, de mitjana, de 10,6 m i 6,3 m per als conjunts d'imatges seleccionades per als mapes del 2007 i del 2012, respectivament.

El procés de classificació automàtica a partir de les imatges seleccionades es realitza aplicant l'algorisme no paramètric d'intel·ligència artificial anomenat kNN (*k nearest neighbors* o k veïns més propers), en què cada píxel es classifica examinant, en l'espai estadístic, els píxels d'entrenament disponibles i escollint la classe (categoria de la llegenda) més representada en un conjunt de k veïns més propers (la distància euclidiana és el criteri de distància comunament usat). k és definit per l'usuari (en aquest cas, després de diverses proves, es va determinar que les millors solucions s'obtenien utilitzant una k de quinze veïns).

Les àrees d'entrenament i test s'extreuen de les edicions 3 (versió 2) i 4 dels *Mapa de cobertes del sòl de Catalunya* (MCSC-3v2 i MCSC-4), realitzades pel CREAM (Ibàñez i Burriel, 2010). El MCSC-3v2 va ser realitzat mitjançant fotointerpretació sobre imatges aèries a escala 1:5.000 del període 2005-2007, mentre que el MCSC-4 està fotointerpretat exclusivament sobre imatges del 2009. El MCSC-3v2 presenta, a més a més, dades de recobriment de les cobertes boscoses. Tots dos mapes tenen una llegenda de 241 categories.

Finalment, es duu a terme un procés d'edició de les classificacions resultants aprofitant informació de diferents bases cartogràfiques oficials, com els grafs de carreteres o els perímetres d'incendis oficials de la Generalitat de Catalunya.

FIGURA 3. Distribució de les quatre escenes Landsat necessàries per a cobrir tot el territori català



FONT: Elaboració pròpia.

La qualitat dels mapes finals s'avalua mitjançant àrees de tests independents, i s'obtenen encerts globals del 96,3% i del 97,8% per als MUCSC del 2007 i del 2012, respectivament.

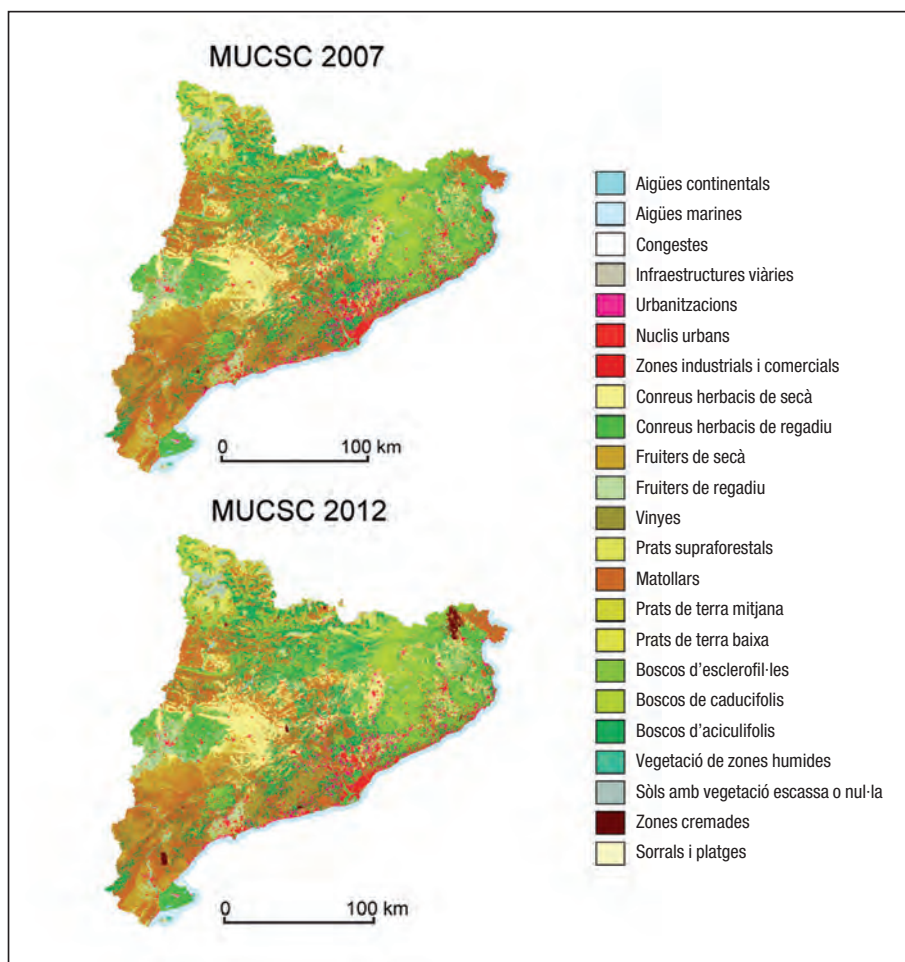
Els mapes es publiquen per a ser usats, idealment, fins a escala 1:70.000, en un model de dades ràster amb una mida de cel·la de 30 m x 30 m i una llegenda de 23 categories (figura 4).

Tots els detalls del procés d'obtenció dels mapes del 2007 i del 2012 s'expliquen en l'informe tècnic³ corresponent elaborat per GRUMETS i lliurat al Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya l'any 2018.

Tant els MUCSC editats corresponents als anys 1987, 1992, 1997 i 2002 com els dos nous MUCSC corresponents als anys 2007 i 2012 es troben disponibles per a descarregar al web del Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya (<http://territori.gencat.cat>).

3. GONZÁLEZ, O.; PONS, X.; SERRAL, I. (2018). *Anàlisi dels canvis en els usos i cobertes del sòl a Catalunya en els períodes 2002-2007 i 2007-2012 i estudi de les velocitats i acceleracions de canvi en el període 1987-2012*. GRUMETS.

FIGURA 4. Edicions del Mapa d'usos i cobertes del sòl de Catalunya corresponents als anys 2007 i 2012, generats per GRUMETS



FONT: Elaboració pròpia.

3.3. Metodologia aplicada en l'anàlisi de canvis al llarg de la sèrie temporal

Les diferències en la generació dels diferents MUCSC que conformen la sèrie 1987-2012, i les situacions de canvis poc fiables (essencialment deguts

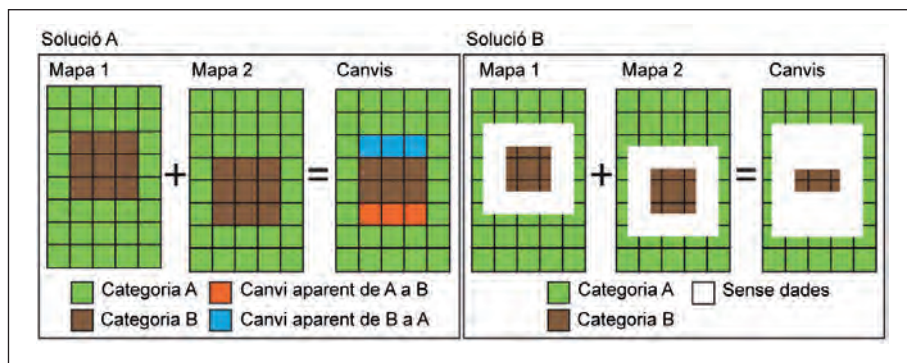
a petites incerteses geomètriques, intrínseques a la informació geogràfica), obliguen a sotmetre els mapes a comparar a un tractament previ —tal com s'explica en els treballs de Pons *et al.* (2003) i de Serra *et al.* (2003)—, el qual permet determinar la influència de l'error geomètric de cadascun dels mapes en la comparació i prescindir de les zones on aquesta resultaria poc fiable.

Així, doncs, es determina que cal eliminar una franja d'un píxel d'amplada (30 m) al voltant de les diferents taques de cadascun dels mapes, de manera que les zones de frontera entre dues categories no són considerades en l'anàlisi. Per tant, l'anàlisi de canvis no es fa sobre el 100% de la superfície dels mapes originals, però en contrapartida es redueix notablement el soroll estadístic, i així s'informa amb major certesa dels canvis realment esdevinguts al territori en un període determinat (figura 5). Anomenem aquesta aproximació a l'anàlisi de canvis «estudi de canvis consolidats».

L'exemple de la figura 5 mostra dues solucions al problema de comparar dos mapes entre els quals hi ha diferències geomètriques. La solució A (canvis aparents) compara els dos mapes sense cap tractament previ. El resultat és l'aparició de canvis aparents deguts al desplaçament o a la inexactitud geomètrica que hi ha entre les dues capes. La solució B (canvis consolidats) aplica un tractament en el qual s'elimina una franja de dades al voltant de les categories a comparar. D'aquesta manera, en l'exemple, tot i que es redueix la superfície dels mapes, es posa de manifest que no hi ha cap canvi real entre les dues capes comparades.

Una altra consideració general a tenir en compte pel que fa a les comparacions entre mapes temàtics com els emprats en aquest estudi és que l'incert global associat a la capa derivada de la comparació de dues capes

FIGURA 5. *Canvis aparents (A) i canvis consolidats (B), dues solucions per a la comparació de dos mapes amb diferències geomètriques*



FONT: Elaboració pròpia.

prèvies és determinat pel seu grau d'encert (la qualitat temàtica), i que es calcula multiplicant l'encert de les dues capes a comparar; és a dir, que si comparem un mapa temàtic A, del qual sabem que té un encert global del 80%, amb un mapa temàtic B, amb un encert global del 75%, de la capa resultant d'aquesta comparativa en podem esperar un encert global del 60% ($80\% \times 75\% = 60\%$).

Finalment, les matrius de canvi entre les diferents dates es presenten sobre una llegenda simplificada de deu categories (vegeu l'apartat 4.3 i les taules vi i vii). La simplificació de la llegenda no solament fa més fàcils d'interpretar els resultats, sinó que millora els encerts globals dels mapes comparats, de manera que els resultats presentats esdevenen més fiables.

3.4. Visualització de l'evolució del percentatge d'ocupació entre dues dates

A fi de visualitzar quines han estat les zones més afectades pels diferents processos de canvi, es treballa amb el percentatge d'ocupació d'algunes de les deu categories de la llegenda simplificada sobre una malla regular de 300 m x 300 m; és a dir, que, per a una data i una categoria determinades, es calcula quin percentatge de la superfície de cada cel·la de 90.000 m² és ocupat per aquesta categoria.

La diferència entre dues capes de percentatge d'ocupació és un nou ràster amb valors entre -100% i 100%, que ens permet identificar les zones on hi ha hagut guanys o pèrdues de la categoria d'estudi.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1. Perspectiva general de les cobertes agrícoles a Catalunya en el període 1987-2012

La superfície ocupada per conreus a Catalunya ha anat variant al llarg dels 25 anys estudiats i se situa en una mitjana del 32% (més d'un milió d'hectàrees dedicades a l'agricultura).

Per tipus de conreu, els herbacis de secà han estat durant tot el període 1987-2012 els més abundants, representant, de mitjana, el 14,3% de la superfície de Catalunya i el 44,7% del total de conreus (taula 1). De fet, es pot considerar Catalunya una terra de secà, atès que el 74,1% dels conreus ho són.

D'altra banda, els cultius de regadiu representen, de mitjana, el 8,2% de la superfície total de l'àrea estudiada i el 25,8% del total de conreus. El regadiu a Catalunya correspon principalment a conreus herbacis, el 17,6% del total dels cultius, de mitjana (taula 1).

TAULA I. Superfície mitjana (en %) ocupada pels diferents conreus respecte al total de la superfície cultivada en el període 1987-2012

Superfície mitjana cultivada (%) 1987-2012			
Secà	Herbacs de secà	44,7	74,2
	Fruiters ¹ de secà	22,3	
	Vinya ²	7,2	
Regadiu	Herbacs de regadiu	17,6	25,8
	Fruiters ¹ de regadiu	8,2	
Total		100,0	100,0

¹ Llenyosos, excepte vinya.

² De secà i de regadiu.

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA II. Superfície (en %) ocupada pels diferents tipus de conreus respecte a la superfície total de Catalunya en cadascun dels períodes analitzats

	% sobre la superfície de Catalunya					
	1987	1992	1997	2002	2007	2012
Herbacs de secà	15,4	15,8	15,0	14,9	12,2	12,6
Herbacs de regadiu	5,6	5,7	5,9	5,8	5,4	5,4
Fruiters ¹ de secà	8,4	7,8	7,1	7,1	6,2	6,3
Fruiters ¹ de regadiu	2,5	2,7	2,3	2,4	3,0	2,9
Vinya	2,3	2,4	2,5	2,4	2,1	2,1
Total conreus de secà²	26,1	26,0	24,6	24,4	20,4	21,0
Total conreus de regadiu	8,1	8,5	8,2	8,1	8,3	8,3
Total conreus herbacs	21,0	21,5	20,9	20,7	17,6	18,0
Total conreus llenyosos	13,2	12,9	11,9	11,9	11,3	11,3
Total conreus	34,2	34,5	32,7	32,5	28,8	29,3
Superfície Catalunya (ha)	3.211.948	3.209.029	3.209.486	3.210.832	3.211.207	3.211.208

¹ Llenyosos excepte vinya.

² Inclou vinya de regadiu, atès que no es distingeix de la de secà.

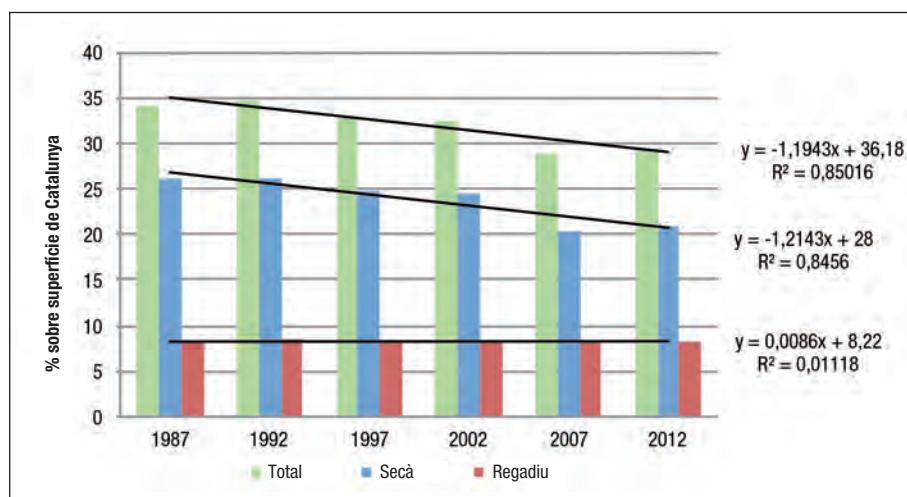
FONT: Elaboració pròpia.

Dinàmica de les superfícies de conreu a Catalunya

Si ens fixem en l'evolució per anys, observem una disminució del percentatge de superfície ocupada per cobertes agrícoles pràcticament continuada al llarg dels 25 anys del període estudiat (taula II i figura 6). Aquesta pèrdua de superfície afecta, principalment, els conreus de secà. Totes dues regressions, la del total de conreus i la dels conreus de secà, són significatives amb un nivell de significació del 95,5%. El regadiu, tot i presentar variacions, s'ha mantingut força estable en el conjunt del territori. De fet, l'únic tipus de conreu que presenta un petit creixement durant aquests anys són els fruiters de regadiu. Cal tenir en compte, però, que la bondat de l'ajust no és bona ($R^2 = 0,01$) i, a més, la regressió no és significativa a un nivell de significació del 95,5%.

El mínim de superfície dedicada al conreu el trobem l'any 2007, amb només el 28,8% de la superfície total de Catalunya.

FIGURA 6. Evolució de la superfície (en %) ocupada pel conjunt de conreus, tant de secà com de regadiu, durant el període 1987-2012, sobre el total de Catalunya

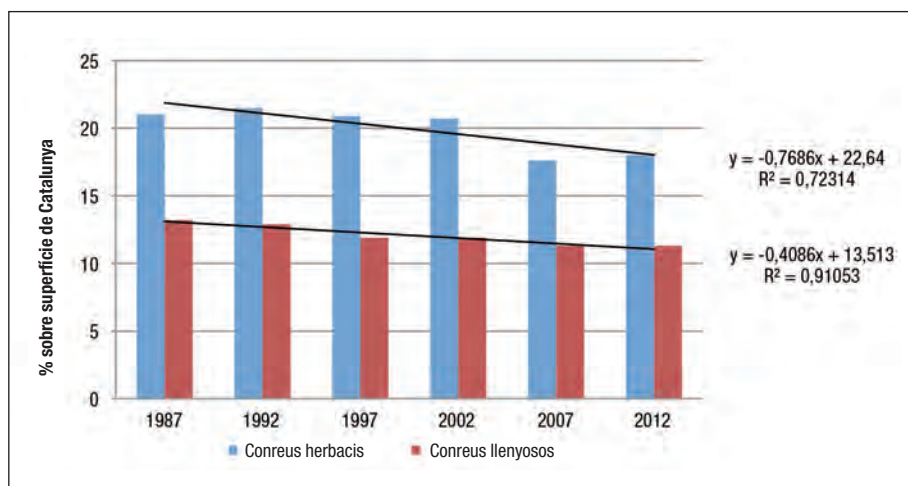


NOTA: Les regressions de la superfície total i de la superfície de secà són significatives amb $p < 0,05$, mentre que la regressió de la superfície de regadiu no ho és.

FONT: Elaboració pròpia.

L'agrupació de les dades en conreus herbacis i conreus llenyosos ens mostra que la pèrdua de superfície és generalitzada, però que afecta principalment els conreus herbacis (figura 7). Tot i que una possible explicació d'aquest fenomen és, simplement, que el rendiment dels cultius llenyosos

FIGURA 7. Evolució de la superfície (en %) de conreus herbacis i llenyosos durant el període 1987-2012 sobre el total de Catalunya



NOTA: Les dues regressions són significatives amb $p < 0,05$.

FONT: Elaboració pròpia.

és més alt i, per tant, no han patit tant d'abandonament; una altra explicació possible és que des del punt de vista de l'anàlisi feta amb teledetecció, l'evolució d'un camp abandonat de tipus herbaci és molt més ràpida que la dels cultius llenyosos abandonats. Mentre els arbres s'hi mantinguin, encara que hi creixin herbes i mates entremig, el senyal rebut pel sensor pot ser interpretat com a cultiu llenyós durant més temps.

Com es pot observar a la taula II i a les figures 6 i 7, la pèrdua més gran de superfície cultivada es produeix entre els anys 2002 i 2007 (-3,8% de la superfície de Catalunya). Aquest fenomen pot tenir dues explicacions: per una banda, entre els mapes del 2002 i del 2007 hi ha un canvi en les metodologies utilitzades per a obtenir les dades, i això pot fer que la comparació entre els dos mapes exageri, en part, aquesta pèrdua de superfície; per altra banda, el període 2002-2007 coincideix amb el *boom* del sector immobiliari, que comporta no sols el creixement de les zones urbanes sinó també l'abandonament de molts camps (vegeu també l'apartat 4.3).

4.2. Anàlisi de les velocitats i acceleracions dels canvis

En l'apartat anterior es fa palesa una certa tendència a la pèrdua de superfície destinada a conreu a Catalunya durant el període 1987-2012. En

Dinàmica de les superfícies de conreu a Catalunya

TAULA III. Superfície (en %) dels diferents tipus de conreus respecte a la superfície total de Catalunya, calculada mitjançant la metodologia dels canvis consolidats, en cadascun dels períodes analitzats

	% sobre la superfície de Catalunya					
	1987	1992	1997	2002	2007	2012
Herbacs de secà	15,9	16,4	15,4	15,2	13,3	13,7
Herbacs de regadiu	5,9	6,1	6,3	6,1	5,9	6,0
Fruiters¹ de secà	8,3	7,7	6,9	6,9	6,4	6,5
Fruiters¹ de regadiu	2,4	2,8	2,2	2,3	3,0	3,0
Vinya²	2,2	2,3	2,4	2,3	2,2	2,3
Total conreus	34,7	35,2	33,1	32,9	30,8	31,5
Superfície Catalunya (ha)	2.574.387	2.599.691	2.557.806	2.576.395	2.204.096	2.207.120

¹ Llenyosos, excepte vinya.

² Vinya de secà i de regadiu.

FONT: Elaboració pròpia.

aquest apartat, a partir de les dades de superfície calculades segons la metodologia dels canvis consolidats (taula III), s'analitzen les velocitats i les acceleracions d'aquests canvis.

La taula IV mostra que la superfície conreada de Catalunya disminueix a una velocitat mitjana de 7.927 ha/any, i que en els períodes 1992-1997 i 2002-2007 es registren les velocitats més altes (13.673 ha/any i 33.812 ha/any, respectivament).

Pel que fa a categories de conreus, la pèrdua de conreus de secà (7.303 ha/any) es produeix a una velocitat mitjana gairebé dotze vegades superior a la dels conreus de regadiu (624 ha/any). Els cultius herbacs, per la seva banda, disminueixen a una velocitat mitjana de 5.110 ha/any, que gairebé dobla la dels cultius llenyosos (2.818 ha/any).

Observem dos períodes (1987-1992 i 2007-2012) amb velocitats de canvi positives (4.280 ha/any i 3.341 ha/any, respectivament, en el conjunt de conreus) per a les diferents agrupacions de conreus, cosa que indica que s'ha produït una certa recuperació de la superfície de cultiu de Catalunya, després de la tendència a la pèrdua entre ambdós períodes.

La figura 6 i la taula IV mostren que la pèrdua de superfície de conreus és notable. La taula V, però, ens indica que la velocitat d'aquesta pèrdua al llarg dels diferents períodes estudiats es va frenant, atès que presenta una acceleració mitjana de -47 ha/any². A més a més, tant en el conjunt dels

TAULA IV. Velocitats de canvi (en ha/any) de les agregacions de conreus entre 1987 i 2012, en intervals de 5 anys

	Velocitat de canvi (ha/any)					
	1987-1992	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012	Mitjana
Secà	1.026	-10.769	-143	-29.126	2.495	-7.303
Regadiu	3.254	-2.904	372	-4.687	846	-624
Herbaci	4.064	-6.099	-516	-25.555	2.560	-5.109
Llenyosos	216	-7.574	745	-8.257	780	-2.818
Total	4.280	-13.673	229	-33.812	3.341	-7.927

NOTA: Les velocitats es calculen segons la fórmula $(S_2 - S_1)/t$, on S_n és la superfície (en ha) en un moment determinat i t és el temps (en anys) transcorregut entre S_2 i S_1 .

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA V. Acceleracions dels canvis (en ha/any²) de les agregacions de conreus entre 1987 i 2012

	Acceleracions dels canvis (ha/any ²)				
	1987-1997	1992-2002	1997-2007	2002-2012	Mitjana
Secà	-2.359	2.125	-5.797	6.324	73,4
Regadiu	-1.232	655	-1.012	1.107	-120,4
Herbaci	-2.033	1.117	-5.008	5.623	-75,2
Llenyosos	-1.558	1.664	-1.800	1.807	28,2
Total	-3.591	2.780	-6.808	7.431	-47,0

NOTA: Les acceleracions es calculen segons la fórmula $(v_2 - v_1)/t$, on v_n és la velocitat de canvi calculada entre dues dates (en ha/any) i t és el temps (en anys) transcorregut entre el centre de cadascun dels dos períodes sobre els quals hem calculat les velocitats, en aquest cas 5 anys.

FONT: Elaboració pròpia.

conreus com en les agregacions secà/regadiu i herbaci/lenyosos hi trobem acceleracions mitjanes (tant positives com negatives) molt febles, la qual cosa ens indica que les pèrdues mitjanes calculades a la taula IV es mantenen a un ritme pràcticament estable.

Les acceleracions màximes en el conjunt de les superfícies agrícoles són positives i es produeixen en el període 2002-2012, coincidint amb el període en què les pèrdues de superfície de conreus han estat més fortes.

4.3. Anàlisi dels canvis de cobertes que afecten les superfícies de conreu

L'anàlisi de canvis s'efectua seguint la tècnica dels canvis consolidats. Per tal de fer-ne més entenedors els resultats, es treballa amb una llegenda de deu entrades que agrupa les diferents categories dels MUCSC.

Les taules VI.a i VI.b mostren en què s'han anat convertint les superfícies de conreu entre l'inici i el final de cada interval. Aquests canvis, que s'expressen en percentatges, indiquen que bosquines i prats, boscos, zones urbanes i vies de comunicació, i sòls amb vegetació escassa o nul·la són els principals receptors de les superfícies de conreu que s'han anat perdent al llarg del període 1987-2012.

En el cas de les zones urbanes i les vies de comunicació, la interpretació és clara: les noves construccions han afectat directament superfícies que abans es dedicaven a l'agricultura. D'altra banda, l'aparició de bosquines i prats (amb una mitjana entre el 1987 i el 2012 del 2,8%, que representa el

TAULA VI.a. Resum de la matriu de canvis consolidats (en %) entre els conreus del mapa d'inici de quinquenni i les categories de destí del mapa de final de quinquenni

	Destins dels conreus (%) en cada període				
	1987-1992	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012
Aigües continentals	0,03	0,05	0,03	0,06	0,01
Aigües marines	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Congestes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zones urbanes i vies de comunicació	0,91	1,00	0,32	1,85	0,02
Conreus	97,32	94,26	97,52	88,19	98,34
Bosquines i prats¹	1,11	2,69	1,22	8,02	1,02
Boscos	0,40	1,41	0,47	1,50	0,21
Sòls amb vegetació escassa o nul·la	0,22	0,49	0,43	0,35	0,20
Zones cremades	0,01	0,11	0,02	0,02	0,19
Sorrals i platges	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

NOTA: La taula indica les categories en què s'han convertit els conreus del mapa inicial en el mapa final i la proporció que representen respecte a la superfície de conreus inicial. Per exemple, el 97,3% dels conreus de l'any 1987 es mantenen com a conreus l'any 1992.

1. Prats supraforestals, matollars, prats de terra mitjana i de terra baixa, i vegetació de zones humides.

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA VI.b. *Resum de la matriu de canvis consolidats (en % sobre la superfície total de conreus perduts) entre els conreus perduts del mapa d'inici de quinquenni i les categories de destí del mapa de final de quinquenni*

	Destins dels conreus perduts (%) en cada període				
	1987-1992	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012
Aigües continentals	0,94	0,81	1,12	0,54	0,58
Aigües marines	0,30	0,01	0,00	0,00	0,00
Congestes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zones urbanes i vies de comunicació	33,88	17,34	12,85	15,70	1,42
Bosquines i prats¹	41,51	46,83	49,01	67,93	61,84
Boscors	14,75	24,48	19,02	12,73	12,48
Sòls amb vegetació escassa o nul·la	8,13	8,61	17,31	2,95	12,33
Zones cremades	0,39	1,91	0,68	0,14	11,31
Sorrals i platges	0,11	0,02	0,00	0,00	0,04
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

NOTA: La taula indica les categories en què s'han convertit els conreus perduts del mapa inicial en el mapa final, però en aquest cas no té en compte els valors de la diagonal de la matriu, és a dir, les superfícies (de conreu) que no han canviat. Per tant, les proporcions es refereixen a la superfície de conreu perduda en cada període. Per exemple, el 33,9% dels conreus perduts entre el 1987 i el 1992 s'han convertit en zones urbanes o vies de comunicació l'any 1992.

1. Prats supraforestals, matollars, prats de terra mitjana i de terra baixa, i vegetació de zones humides.

FONT: Elaboració pròpia.

53,4% dels conreus perduts) i de boscors (amb una mitjana del 0,8%, que representa el 16,7% dels conreus perduts) allà on hi havia conreus s'explica pels processos d'abandonament i posterior successió natural de les cobertes.

El valor màxim de canvi cap a bosquines i prats és en el període 2002-2007 (8,0% i 67,9% dels conreus perduts). Cal tenir en compte que en aquest cas es comparen directament dos mapes obtinguts mitjançant metodologies diferents i que, per això, alguns d'aquests canvis poden aparèixer accentuats.

Les taules VII.a i VII.b ens expliquen de quines categories es nodreixen les superfícies de conreu del final de cada període. En aquest cas, es produeix l'efecte invers de l'observat a les taules VI.a i VI.b: principalment són les bosquines i els prats (1,8% de mitjana del conjunt de períodes, que representa el 59,2% dels conreus nous) i els boscors (0,6% de mitjana, el 19,1%

Dinàmica de les superfícies de conreu a Catalunya

TAULA VII.a. Resum de la matriu de canvis consolidats (en %) entre les categories d'origen del mapa d'inici de quinquenni i els conreus del mapa de final de quinquenni

	Origen dels conreus (%) en cada període				
	1987-1992	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012
Aigües continentals	0,01	0,02	0,01	0,05	0,00
Aigües marines	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Congestes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zones urbanes i vies de comunicació	0,15	0,11	0,04	0,97	0,00
Conreus	97,19	96,95	97,90	94,01	97,98
Bosquines i prats¹	1,65	2,00	1,17	3,10	1,31
Boscós	0,48	0,61	0,39	1,23	0,38
Sòls amb vegetació escassa o nul·la	0,45	0,31	0,21	0,63	0,31
Zones cremades	0,06	0,01	0,29	0,00	0,01
Sorrals i platges	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

NOTA: La taula indica de quines cobertes del mapa inicial provenen els conreus del mapa final i la proporció que representen respecte a la superfície de conreu final. Per exemple, el 97,2% dels conreus de l'any 1992 prové de zones que ja eren conreus l'any 1987.

1. Prats supraforestals, matollars, prats de terra mitjana i de terra baixa, i vegetació de zones humides.

FONT: Elaboració pròpia.

dels conreus nous) els grans afectats quan es recuperen superfícies de conreu. En el període 1997-2002 s'observa, també, el 0,3% de superfície agrícola recuperada a partir de zones cremades (13,7% dels conreus nous).

De la mateixa manera, també cal remarcar els canvis de cobertes urbanes per conreus que apareixen en tots els períodes excepte el 2007-2012 i que no semblen tenir explicació. Tot i que en els mapes del 1987 al 2002 aquests valors són molt propers a 0, semblaria esperable que sempre fossin iguals a 0. Trobem un altre exemple de canvi sorprenent a la taula vi.b, de conreus per aigües marines (0,3% dels canvis) en el període 1987-1992. Aquests casos s'expliquen per les diferències geomètriques entre els diferents MUCSC de l'ICGC (figura 8), ja esmentades en l'apartat 3.1 d'aquest article. L'ús de la metodologia de canvis consolidats no ha estat suficient per a eliminar completament aquests artefactes, si bé s'han minimitzat.

El pas de zones urbanes a conreus en el període 2002-2007 (0,1%, que representa el 16,2% dels conreus nous) no es deu solament a la geometria

TAULA VII.b. *Resum de la matriu de canvis consolidats (en % sobre la superfície total de conreus nous) entre les categories d'origen del mapa d'inici de quinquenni i els conreus nous del mapa de final de quinquenni*

	Origen dels nous conreus (%) en cada període				
	1987-1992	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012
Aigües continentals	0,47	0,52	0,44	0,77	0,23
Aigües marines	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00
Congestes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zones urbanes i vies de comunicació	5,42	3,51	1,77	16,23	0,03
Bosquines i prats¹	58,71	65,33	55,50	51,79	64,75
Boscós	17,26	20,01	18,66	20,51	19,01
Sòls amb vegetació escassa o nul·la	16,10	10,24	9,87	10,52	15,22
Zones cremades	2,01	0,33	13,70	0,06	0,74
Sorrals i platges	0,03	0,06	0,00	0,06	0,02
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

NOTA: La taula indica de quines cobertes del mapa inicial provenen els conreus nous del mapa final, però en aquest cas no té en compte els valors de la diagonal de la matriu, és a dir, les superfícies (de conreu) que no han canviat. Per tant, les proporcions es refereixen a la superfície de conreu guanyada en cada període. Per exemple, els nous conreus apareguts entre el 1987 i el 1992 provenen en un 58,7 % de zones ocupades per bosquines i prats l'any 1987.

1. Prats supraforestals, matollars, prats de terra mitjana i de terra baixa i vegetació de zones humides.

FONT: Elaboració pròpia.

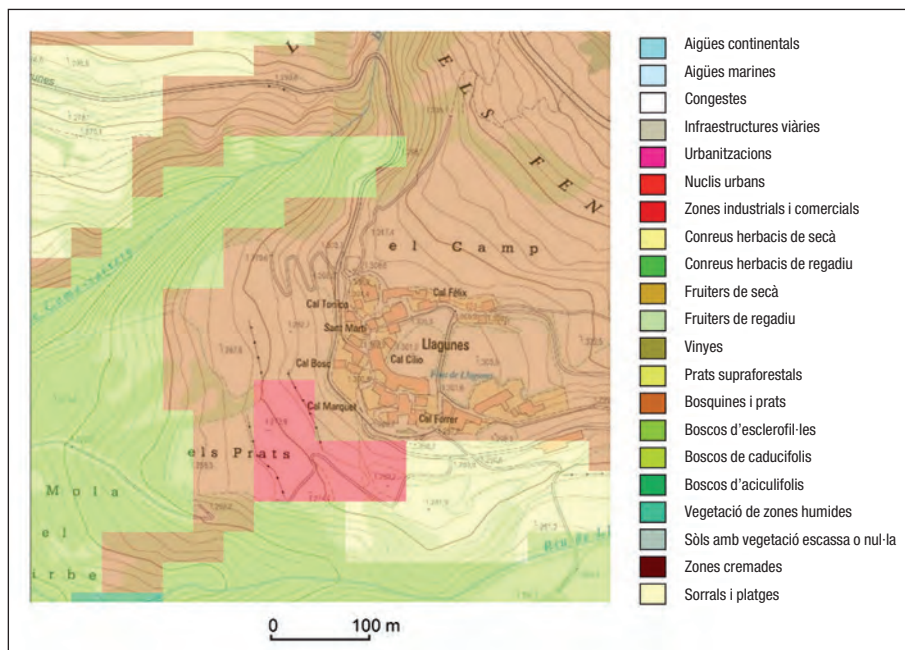
dels mapes sinó també a l'escala a què es presenten els dos MUCSC. En els MUCSC del 2007 i del 2012 les dades de les zones urbanes i les vies de comunicació han estat extretes de fonts auxiliars molt detallades, mentre que els MUCSC anteriors en fan una representació més generalitzada i més enfocada a la fàcil interpretació en un mapa imprès a escala 1:250.000; aquest fet explica aquest artefacte (figura 9).

4.4. Distribució dels canvis en les superfícies de conreu entre el 1987 i el 2012

Els mapes de distribució de les diferències en el percentatge d'ocupació de les superfícies de conreu (figura 10) ens mostren diversos fenòmens.

Dinàmica de les superfícies de conreu a Catalunya

FIGURA 8. Exemple de desplaçament geomètric dels MUCSC que afecta zones urbanes. Superposició del MUCSC 2002 sobre el mapa topogràfic 1:5.000 on s'aprecia el desplaçament cap al sud-oest del nucli urbà de Llagunes (Soriguera, Pallars Sobirà)

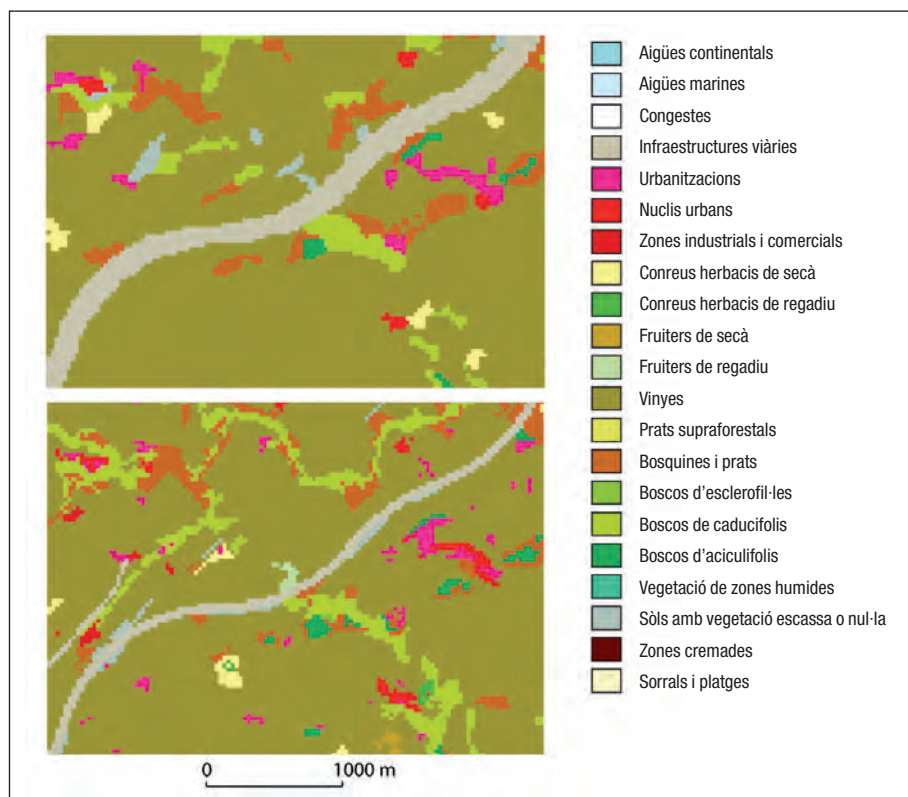


FONT: Elaboració pròpia.

En primer lloc s'hi pot observar, com ja hem comentat, la relació entre el creixement urbanístic i la pèrdua de superfície agrícola. Constatem com les comarques barcelonines en general, però particularment el Maresme, el Vallès Oriental i l'Occidental, el Baix Llobregat i alguns punts de la costa del Garraf i del Baix Penedès, han estat especialment afectats pel creixement urbanístic en aquests 25 anys.

En segon lloc, aquests mapes ens mostren un creixement de l'activitat agrícola sobretot en les comarques de la Catalunya central i de la plana de Lleida, però també a Osona i a l'Empordà. Aquests creixements, com indiquen les matrius de canvis consolidats de l'apartat 4.3 (taules VII) es produeixen sobretot per la recuperació de zones ocupades per bosquines i prats. Gràcies a aquest procés, moltes de les pèrdues en zones que han estat urbanitzades es veuen compensades per una espècie de desplaçament agrícola.

FIGURA 9. Exemple de les diferències en la representació de zones urbanitzades entre els MUCSC 1987-2002 i els MUCSC 2007-2012. Tram de l'AP-7 entre Martorell i Vilafranca del Penedès. A dalt: MUCSC 2002, a baix: MUCSC 2007



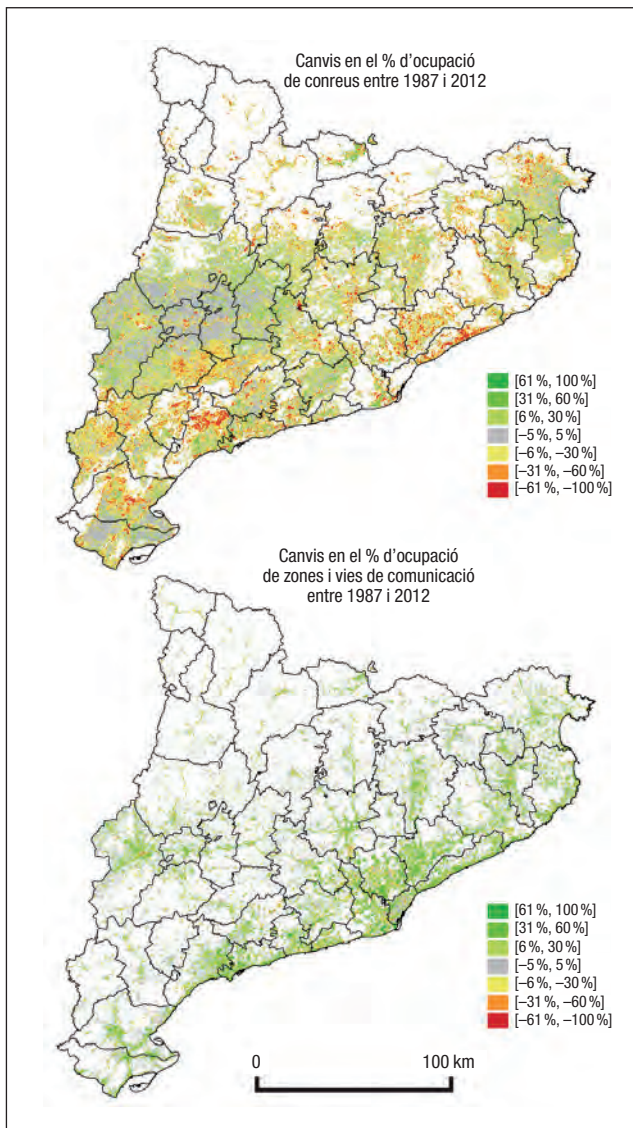
NOTA: L'amplària de la infraestructura viària apareix notablement augmentada en el MUCSC 2002, amb la intenció de fer-la clarament visible a escala 1:250.000.

FONT: Elaboració pròpia.

En tercer lloc, constatem algunes zones amb alts percentatges de pèrdues de conreus que no estan associades (o no directament) a l'augment de les zones urbanes. Aquestes pèrdues tenen orígens diversos. Les pèrdues de més del 60% d'ocupació que apareixen a l'Anoia i a l'Alt Empordà s'expliquen pels incendis esdevinguts l'any 2012. La pèrdua localitzada entre l'Alt Urgell i la Noguera s'explica per la construcció del pantà de Rialb, a partir de l'any 1992. També observem zones on l'abandonament de conreus ha ocasionat una proliferació natural de matollars o de boscos. L'exemple

Dinàmica de les superfícies de conreu a Catalunya

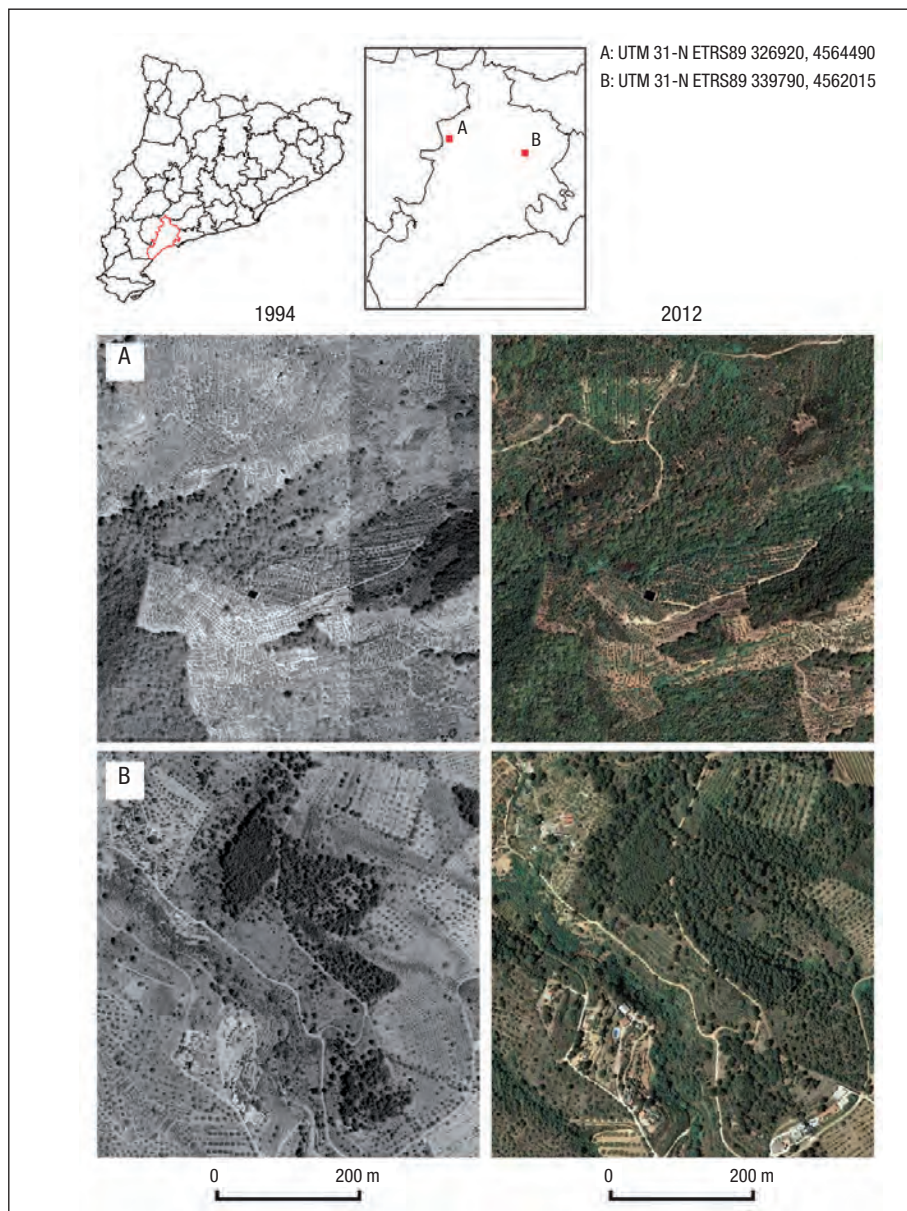
FIGURA 10. Mapes de les diferències en el percentatge d'ocupació de les superfícies de conreu (a dalt) i de les zones urbanes i les vies de comunicació (a baix) entre els anys 1987 i 2012



NOTA: Els tons verds indiquen guanys en l'ocupació i els tons grocs i vermells indiquen pèrdues.

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 11. *Dos exemples d'abandonament agrícola a la comarca del Baix Camp que es poden observar en les ortofotografies aèries de l'ICGC dels anys 1994 i 2012*



FONT: Elaboració pròpia.

més clar d'aquest procés és al Baix Camp (figura 11), on trobem una gran taca amb pèrdues d'ocupació de conreus entre el 60% i el 100%.

5. CONCLUSIONS

L'ús de la teledetecció facilita l'estudi de les cobertes del sòl en grans àrees i permet l'anàlisi de llargues sèries temporals. Les imatges dels satèl·lits *Land-sat* han estat clau per a generar una cartografia quinquennal de prou qualitat per a fer un seguiment de la dinàmica dels conreus a Catalunya.

Tot i les diferències entre les versions dels MUCSC de l'ICGC i les de GRUMETS, la metodologia d'estudi de canvis consolidats emprada per a comparar les dades de tot el període ha resultat eficaç per a eliminar gran part de les possibles fonts d'error. Cal remarcar, però, que hem observat casos en què l'eliminació d'una franja d'un píxel d'amplada (30 m) en les zones de frontera entre categories del mapa no ha estat suficient, no tan sols a causa de la geometria dels mapes, sinó de les diferències en la metodologia d'elaboració.

Quant a l'evolució dels conreus, es fa palesa la pèrdua de superfície agrícola a Catalunya entre els anys 1987 i 2012. Aquesta pèrdua es produeix a una velocitat mitjana de gairebé 8.000 ha/any i afecta principalment els conreus de secà, mentre que el regadiu sembla mantenir-se prou estable al llarg de la sèrie temporal analitzada.

L'acceleració dels canvis ha tingut el seu màxim en el període 2002-2012, en què ha superat les 7.000 ha/any². Tot i així, la mitjana d'acceleració és baixa i, en la majoria de períodes, negativa, amb una mínima desacceleració que indica que el ritme de pèrdues es manté pràcticament estable. Malgrat tot, l'últim tram del període analitzat, el quinquenni 2007-2012, presenta un lleuger creixement de les zones dedicades a l'agricultura a Catalunya.

Les pèrdues de conreus es produeixen principalment per l'abandonament dels camps i per l'augment de les superfícies urbanitzades i les vies de comunicació.

Les matrius de canvi entre els diferents períodes indiquen l'augment de les superfícies ocupades per bosquines i prats i de les ocupades per boscos, a causa dels processos d'abandonament. En sentit contrari, però, també es produeix una recuperació de superfícies de bosquines i prats i de boscos per als conreus. Per la seva banda, l'augment de zones urbanitzades ha afectat principalment les comarques del Maresme, el Vallès Oriental i l'Occidental, el Baix Llobregat i alguns punts de la costa del Garraf i del Baix Penedès. Aquests moviments, que no estan compensats, generen una espècie de desplaçament de les zones de conreus, sobretot cap a la plana de Lleida, Osona i l'Empordà. En treballs futurs podria ser interes-

sant determinar si alguns d'aquests moviments guarden relació amb la idoneïtat de les zones dedicades a l'agricultura i de les espècies que s'hi cultiven. Un treball realitzat per Simón *et al.* (2013) establia per a tot Catalunya, a través dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG), quines són les millors zones per al cultiu de cadascuna de les varietats de fruita que actualment s'hi produeixen.

També deixem per a treballs futurs l'ús de dades de l'*Anuari Estadístic Agrícola de Catalunya* per a acabar de validar les dades aportades per la teledetecció i afinar millor l'anàlisi dels canvis.

Finalment, en els últims anys s'han posat en òrbita nous satèl·lits com el *Landsat-8*, el *Sentinel-2A* i el *Sentinel-2B*, que asseguren la continuïtat de les dades d'observació de la Terra des de l'espai. La combinació de les seves aportacions comporta períodes de revisita molt freqüents sobre un mateix punt de la superfície terrestre, cosa que permetrà un seguiment més detallat de les cobertes: les noves aportacions augmenten la probabilitat de fer captacions lliures de núvols i, per tant, les possibilitats de treballar amb més imatges d'un mateix cicle fenològic, evitant l'aproximació quinquennal amb el rang de tolerància que ha calgut admetre en els MUCSC del 2007 i del 2012. D'altra banda, la millor resolució espacial de les imatges Sentinel-2 en combinació amb les seves especificacions radiomètriques podrien permetre ampliar la llegenda dels nous MUCSC que es generin en el futur.

AGRAÏMENTS

Aquest estudi ha estat finançat per la Generalitat de Catalunya (GRUMETS SGR2014-1491) i per la Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA Academia Excellence in Research, del Dr. Pons). Així mateix, la recerca s'emmarca en el projecte ACAPI (CGL2015-69888-P, MINECO/FEDER). Agraïm especialment els treballs inicials de l'ICGC, que han facilitat aquest estudi de dinàmica dels conreus, així com la política, durant tants anys, de distribució gratuïta de material cartogràfic en format MMZ (1998-2017) i MMZX (ISO 19165) (2017-2018) de la Generalitat de Catalunya.

BIBLIOGRAFIA

CHANG, N. B.; HAN, M.; YAO, W.; CHEN, L. C.; XU, S. (2010). «Change detection of land use and land cover in an urban region with SPOT-5 images and partial Lanczos extreme learning Machine». *Journal of Applied Remote Sensing* [en línia], vol. 4, núm. 1. <<https://doi.org/10.1117/1.3518096>> [Consulta: desembre 2018].

- CHEN, J.; CHEN, J.; LIAO, A.; CAO, X.; CHEN, L.; CHEN, X.; HE, Ch.; HAN, G.; PENG, S.; LU, M.; ZHANG, W.; TONG, X.; MILLS, J. (2015). «Global Land Cover Mapping at 30 m Resolution: A POK-based Operational Approach». *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 103, p. 7-27.
- CHUVIECO, E. (2008). *Teledetección ambiental*. Barcelona: Ariel.
- CRISTÓBAL, J.; POYATOS, R.; NINYEROLA, M.; LLORENS, P.; PONS, X. (2011). «Combining remote sensing and GIS climate modelling to estimate daily forest evapotranspiration in a Mediterranean mountain area». *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 15, núm. 5, p. 1563-1575.
- ELVIDGE, C. D.; SUTTON, P. C.; WAGNER, T. W.; RYZNAR, R.; GOETZ, S. J.; SMITH, A. J.; JANTZ, C.; SETO, K.; IMHOFF, M. L.; VOGELMANN, J.; WANG, Y. Q.; MILESI, C.; NEMANI, R. (2004). «Urbanization». A: GUTMAN, G. [et al.]. (ed.). *Land change science: Observing, monitoring, and understanding trajectories of change on the earth's surface*. Dordrecht, Països Baixos: Kluwer Academic Publishers, p. 315-328.
- GARCÍA MARTÍN, A.; PÉREZ CABELLO, F.; DE LA RIVA FERNÁNDEZ, J. (2006). «Evaluación de los recursos de biomasa residual forestal mediante imágenes del satélite Landsat y SIG». *GeoFocus*, núm. 6, p. 205-230.
- HANSEN, M. C.; LOVELAND, T. R. (2012). «A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data». *Remote Sensing of Environment*, vol. 122, p. 66-74.
- HUDAK, A. T.; LEFSKY, M. A.; COHEN, W. B.; BERTERRETICHE, M. (2002). «Integration of lidar and Landsat ETM+ data for estimating and mapping forest canopy height». *Remote Sensing of Environment*, vol. 82, núm. 2-3, p. 397-416.
- IBÁÑEZ, J. J.; BURRIEL, J. A. (2010). «Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña: características de la tercera edición y relación con SIOSE». A: OJEDA, J.; PITA, M. F.; VALLEJO, I. (ed.). *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, p. 179-198.
- ICC (1992). *Mapa d'usos del sòl de Catalunya*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- LOVELAND, T. R.; DWYER, J. L. (2012). «Landsat: Building a strong future». *Remote Sensing of Environment*, vol. 122, p. 22-29.
- MORÉ, G.; PONS, X. (2007). «Influencia del número de imágenes en la calidad de la cartografía detallada de vegetación forestal». *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, núm. 28, p. 61-68.
- PONS, X.; ARCALÍS, A. (2012). *Diccionari terminològic de teledetecció*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya, Enciclopèdia Catalana.
- PONS, X.; CRISTÓBAL, J.; GONZÁLEZ, O.; RIVEROLA, A.; SERRA, P.; CEA, C.; DOMINGO, C.; DÍAZ, P.; MONTERDE, M.; VELASCO, E. (2012). «Ten years of local water resource management: integrating satellite remote sensing and geographical information systems». *European Journal of Remote Sensing*, vol. 45, p. 317-332.

- PONS, X.; NINYEROLA, M. (2008). «Mapping a topographic global solar radiation model implemented in a GIS and refined with ground data». *International Journal of Climatology*, vol. 28, núm. 13, p. 1821-1834. També disponible en línia a: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1676/epdf>> [Consulta: desembre 2018].
- PONS, X.; SERRA, P.; SAURÍ, D. (2003). «A rigorous protocol for post-classification land cover and land use change detection». A: BENES, T. (ed.). *Geoinformation for Europeanwide Integration*. 22nd Symposium of EARSeL (European Association of Remote Sensing Laboratories), Praga. Rotterdam: Millpress.
- RABELLA, J. M.; PANAREDA, J. M.; RAMAZZINI I GOBBO, G. (2011). *Diccionari terminològic de cartografia*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya, Enciclopèdia Catalana.
- RICHTER, K.; RISCHBECK, P.; EITZINGER, J.; SCHNEIDER, W.; SUPPAN, F.; WEIHS, P. (2008). «Plant growth monitoring and potential drought risk assessment by means of Earth observation data». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, núm. 17, p. 4943-4960.
- ROBERTS, G.; WOOSTER, M. J. (2014). «DEVELOPMENT of a multi-temporal Kalman filter approach to geostationary active fire detection & fire radiative power (FRP) estimation». *Remote Sensing of Environment*, vol. 152, p. 392-412.
- SERRA, P.; PONS, X.; SAURÍ, D. (2003). «Post-classification change detection with data from different sensors: some accuracy considerations». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, núm. 16, p. 3311-3340.
- SIMÓN, M.; CASALS, E. R.; BONANY, J.; IGLESIAS, I.; CARBÓ, J.; BOIXADERA, J.; CHICO, C.; HERRERO, C.; CARRILLO, M.; GRAÑANA, S.; NINYEROLA, M.; RIVEROLA, A.; BATTALLA, M.; JOANA, X. (2013). «FruitMap. Mapa de aptitud para la producción de fruta dulce de Catalunya: una herramienta para el sector productor catalán». *Revista de Fruticultura*, núm. 27, p. 24-37.
- VIDAL-MACUA, J. J.; NINYEROLA, M.; ZABALA, A.; DOMINGO-MARIMON, C.; GONZÁLEZ-GUERRERO, O.; PONS, X. (2018). «Environmental and socioeconomic factors of abandonment of rainfed and irrigated crops in northeast Spain». *Applied Geography*, vol. 90, p. 155-174. També disponible en línia a: <<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.12.005>> [Consulta: desembre 2018].
- VIDAL-MACUA, J. J.; ZABALA, A.; NINYEROLA, M.; PONS, X. (2017). «Developing spatially and thematically detailed backdated maps for land cover studies». *International Journal of Digital Earth*, vol. 10, núm. 2, p. 175-206. També disponible en línia a: <<http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2016.1213320>> [Consulta: desembre 2018].
- VÍÑAS, O.; BAULIES, X. (1995). «1:250000 Land-use map of Catalonia (32,000 km²) using multi-temporal Landsat-TM data». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 16, núm. 1, p. 129-146.

- VOGELMANN, J. E.; HOWARD, S. M.; YANG, L.; LARSON, C. R.; WYLIE, B. K.; VAN DRIEL, N. (2001). «Completion of the 1990s national land cover data set for the conterminous United States from Landsat thematic mapper data and ancillary data sources». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.67, núm. 6, p. 650-662.
- WHITE, J. C.; COOPS, N. C.; WULDER, M. A.; VASTARANTA, M.; HILKER, T.; TOMPALSKI, P. (2016). «Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A Review». *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 42, núm. 5, p. 619-641.
- WOODCOCK, C. E.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; BELWARD, A.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W.; GAO, F.; GOWARD, S. N.; HELDER, D.; HELMER, E.; NEMANI, R.; OROPOULOS, L.; SCHOTT, J.; THENKABAIL, P. S.; VERMOTE, E. F.; VOGELMANN, J.; WULDER, M. A.; WYNNE, R. (2008). «Free access to Landsat imagery». *Science*, vol. 320, núm. 5879, p. 1011.
- WULDER, M. A.; MASEK, J. G.; COHEN, W. B.; LOVELAND, T. R.; WOODCOCK, C. E. (2012). «Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat». *Remote Sensing of Environment*, vol. 122, p. 2-10.
- ZAMBON, I.; SERRA, P.; BENCARDINO, M.; CARLUCCI, M.; SALVATI, L. (2017). «Prefiguring a future city: urban growth, spatial planning and the economic local context in Catalonia». *European Planning Studies*, vol. 25, núm. 10, p. 1797-1817.

ANNEX 1. *Caracterització per comarques de les superfícies destinades a conreu a Catalunya*

	Superfície de conreu (ha)	Altitud (m)	Pendent (°)	Radiació solar real [kJ/(m ² -dia)]	Pluviometria anual (mm)		
					mínima	màxima	mitjana
Alt Camp	22.802,7	295,6	3,5	146,9	317,1	857,8	498,2
Alt Empordà	41.555,8	54,5	2,0	134,6	325,2	998,8	633,2
Alt Penedès	26.380,0	256,1	4,6	141,8	341,3	900,7	556,0
Alt Urgell	6.002,5	677,8	6,4	140,8	399,2	993,2	649,6
Alta Ribagorça	115,0	1.116,3	5,0	143,2	481,0	1.478,2	912,4
Anoia	31.580,2	540,3	6,7	145,0	312,2	887,2	534,5
Bages	25.072,5	412,3	5,9	143,4	334,2	871,8	561,5
Baix Camp	17.903,3	145,8	2,7	148,6	306,6	861,3	506,2
Baix Ebre	41.639,5	74,4	2,8	146,6	278,1	860,4	489,5
Baix Empordà	26.039,1	36,2	2,0	131,5	305,7	1.016,0	612,2
Baix Llobregat	6.730,8	69,8	3,2	140,0	310,1	994,6	549,3
Baix Penedès	8.336,0	161,7	3,3	146,1	338,7	819,9	522,4
Barcelonès	446,0	47,1	4,3	143,3	301,2	949,7	524,6
Berguedà	12.185,9	626,0	6,1	143,7	380,6	995,8	662,1
Cerdanya	6.423,0	1.139,3	4,3	144,5	458,1	1.256,9	780,5
Conca de Barberà	29.072,2	583,4	6,0	145,2	309,5	784,9	489,5
Garraf	2.526,5	72,1	4,1	144,2	327,2	810,0	508,5
Garrigues	49.581,0	405,4	5,4	145,1	227,9	622,0	400,3
Garrotxa	9.213,1	370,9	4,0	138,2	549,2	1.272,5	872,7
Gironès	16.253,7	118,1	3,0	136,6	423,9	1.142,9	694,5
Maresme	4.575,1	51,3	3,7	142,1	360,9	986,0	603,9
Moianès	5.626,3	674,1	7,0	140,4	389,7	1.001,0	643,3
Montsià	41.895,4	115,8	1,9	143,2	276,1	917,8	510,6
Noguera	78.073,7	373,3	4,2	147,5	271,2	716,1	454,3
Osona	31.510,1	604,2	5,7	140,6	454,9	1.059,8	708,4

Dinàmica de les superfícies de conreu a Catalunya

	Superfície de conreu (ha)	Altitud (m)	Pendent (°)	Radiació solar real [kJ/(m ² -dia)]	Pluviometria anual (mm)		
					mínima	màxima	mitjana
Pallars Jussà	17.414,6	636,8	6,8	144,5	403,6	946,4	622,4
Pallars Sobirà	929,1	908,1	6,1	139,2	448,6	1.211,6	767,8
Pla de l'Estany	10.634,9	150,1	4,6	135,9	448,9	1.135,2	731,2
Pla d'Urgell	28.088,0	237,9	1,2	143,3	206,1	565,4	373,4
Priorat	6.887,6	326,3	8,4	147,9	258,4	817,6	484,3
Ribera d'Ebre	23.637,9	140,9	5,6	146,7	232,7	710,9	420,6
Ripollès	1.020,3	881,2	6,1	142,5	586,6	1.384,7	934,3
Segarra	52.751,9	546,9	5,8	142,0	271,7	743,6	468,9
Segrià	111.437,6	232,7	3,1	145,9	193,8	610,6	371,0
Selva	12.259,4	132,3	3,2	138,4	436,5	1.111,9	696,7
Solsonès	20.094,5	714,4	6,6	144,0	358,0	933,6	591,8
Tarragonès	13.633,4	87,2	3,1	147,8	310,0	849,0	491,9
Terra Alta	30.082,2	374,5	6,4	145,4	236,3	712,6	430,2
Urgell	49.659,5	384,6	3,5	140,7	229,1	642,7	409,5
Vall d'Aran	84,0	841,9	5,4	135,6	604,3	1.482,2	969,8
Vallès Occidental	7.708,6	182,6	5,4	136,2	322,9	1.014,9	580,3
Vallès Oriental	12.261,9	200,5	4,9	137,6	387,9	997,7	632,5
Catalunya	940.124,3	322,7	4,2	142,3	350,4	950,6	591,8

NOTA: Les dades d'altitud, pendent, radiació real i pluviometria corresponen a mitjanes calculades sobre la superfície de conreus de cadascuna de les comarques segons el MUCSC 2012. La pluviometria anual es calcula sobre la sèrie de dades de pluviometria acumulada dels anys 1950-2015. Les dades de radiació real s'han extret de l'*Atles climàtic digital de Catalunya* (Pons i Ninyerola, 2008).

FONT: Elaboració pròpia a partir de les fonts citades en la nota.