

Anàlisi dels usos del sòl de la plana de l'Alt Empordà i la seva localització a través de la teledetecció (1977-1993)

Pere Serra Ruiz

Universitat Autònoma de Barcelona

Find and similar papers at core.ac.uk

provided by Diposit Digital de Catalunya

Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Geografia

08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

pserra@seneca.uab.es

Xavier.Pons@uab.es

ilgesauri@cc.uab.es

Data de recepció: març 1999

Data d'acceptació: setembre 1999

Resum

La plana de l'Alt Empordà (nord-est de Catalunya) presentava, en la dècada de 1970, un paisatge intensament humanitzat i diversificat, fruit de l'acció humana al llarg dels segles. L'ús de la teledetecció per a la localització dels usos del sòl de 1977 i de 1993 ens ha permès detectar i analitzar els canvis i processos esdevinguts en aquests setze anys a l'àrea d'estudi. Entre aquests destaquen la intensificació de determinats conreus herbacis, l'increment de la urbanització i la tendència a l'homogeneïtzació paisatgística. La metodologia emprada per a la classificació de les imatges digitals disponibles dels dos anys ha tingut en compte la fragmentació parcel·l·ària, típica del paisatge mediterrani, i la forta dinàmica temporal dels conreus herbacis, predominants a l'àrea.

Paraules clau: plana de l'Alt Empordà, usos del sòl, teledetecció, dinàmica del paisatge.

Resumen. *Análisis de los usos del suelo de la llanura del Alt Empordà y su localización a través de la teledetección (1977-1993)*

La llanura del Alt Empordà (nordeste de Cataluña) presentaba, en la década de 1970, un paisaje intensamente humanizado y diversificado fruto de la acción humana en el transcurso de los siglos. El uso de la teledetección para la localización de los usos del suelo de 1977 y de 1993 nos ha permitido detectar y analizar los cambios producidos en el área de estudio. Entre éstos destacan la intensificación de determinados cultivos herbáceos, el incremento de la urbanización y la tendencia a la homogeneización paisagística. La metodología usada, para la clasificación de las imágenes digitales disponibles entre ambos años, ha tenido en cuenta la fragmentación parcelaria, típica del paisaje mediterráneo, y la fuerte dinámica temporal de los cultivos herbáceos, predominantes en el área.

Palabras clave: llanura del Alt Empordà, usos del suelo, teledetección, dinàmica del paisaje.

Résumé. *Analyse de l'occupation des sols dans la plaine du Alt Empordà et sa localisation par la télédétection (1977-1993)*

La plaine du Alt Empordà (nord-est de Catalogne) montre pendant la décade de 1970 un paysage fortement humanisé et diversifié, fruit de l'activité humaine pendant des siècles. L'uti-

litsation de la télédétection pour la localisation de l'occupation des sols de 1977 et 1993 nous a permis de détecter et analyser les changements produits pendant ces seize années sur ce site: la intensification de certaines cultures herbacées, la croissance de l'urbanisation et la tendance a l'homogénéisation du paysage. La metodologie utilisée pour la classification des images numériques disponibles de ces années a pris en compte la fragmentation parcellaire, typique du paysage méditerranéen, et la forte dynamique temporel des cultures herbacées, prédominants sur le territoire.

Mots clé: plaine du Alt Empordà, occupation des sols, télédétection, dynamique du paysage.

Abstract. *Land use analysis from the Alt Empordà plain and their location through remote sensing (1977-1993)*

The Alt Empordà plain (north-east of Catalonia) in the 1970s presented an intensely humanized and diversified landscape as a result of human action over the centuries. The use of remote sensing for land use location of 1977 and 1993 allows us to detect and analyse the produced changes, during these years, in the study area: intensification of certain herbaceous crops, increase of urban surface and tendency to the homogenisation of the landscape. The methodology used for available digital images classification has taken into account plot fragmentation, typical of Mediterranean landscape, and the high temporal dynamics of herbaceous crops, predominant in the area.

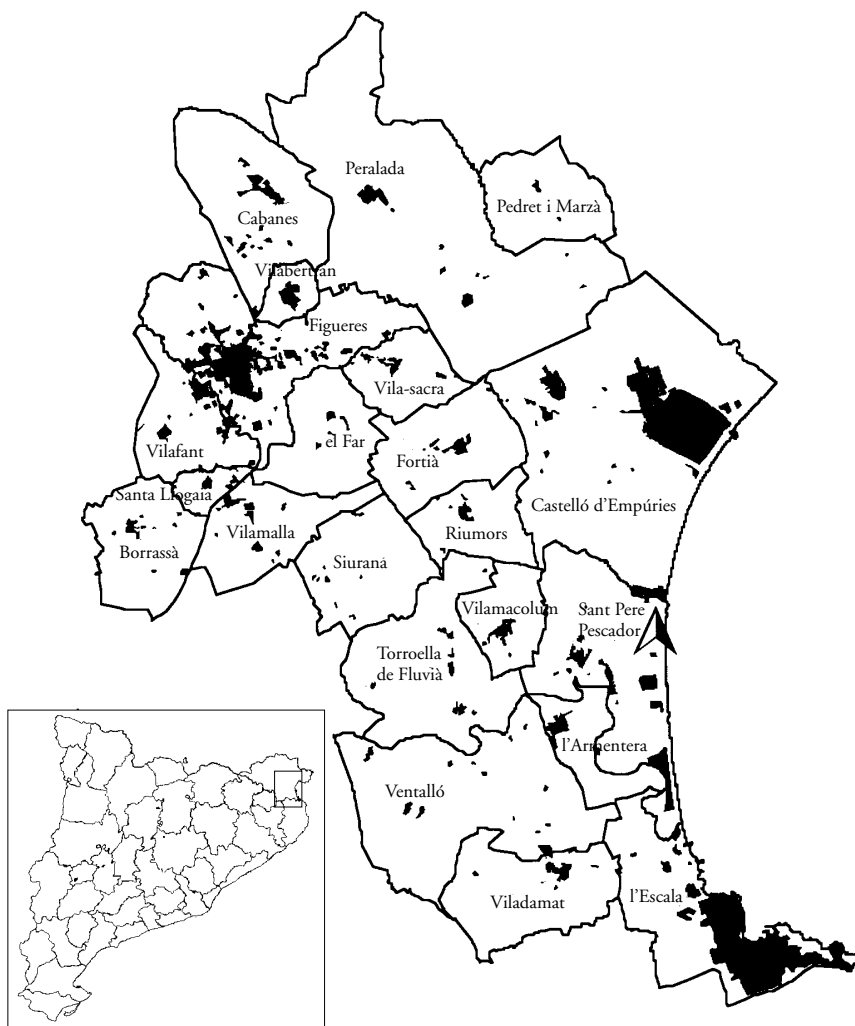
Key words: Alt Empordà plain, land use, remote sensing, landscape dynamics.

Sumari

Introducció

L'interès general d'aquest article¹ és l'anàlisi teòrica i metodològica de les transformacions dels usos del sòl com a indicadors del canvi socioambiental recent i la seva aplicació en un àmbit rural mediterrani específic, la plana de l'Alt Empordà, compresa per vint-i-dos municipis (30.171 ha), el denominador comú dels quals és que no ultrapassin la corba de nivell dels cent metres d'altitud (mapa 1).

1. Aquest article s'emmarca en els projectes d'investigació següents: «Human ecodynamics and land use conflict: monitoring degradation sensitive environments in the Empordà, North-East Spain» (ENV4-CT95-0159) i «Dinámica socioeconómica y cambio en los usos del suelo. Análisis de causas y consecuencias en medios rurales mediterráneos» (AMB97-0740).



Mapa 1. Àrea d'estudi. S'hi representen els límits municipals i les superfícies urbanes.
Font: elaboració pròpia a partir dels mapes de l'ICC.

Aquesta plana ha sofert, al llarg dels segles, uns processos de canvi comparables als produïts en moltes regions del planeta: dessecament d'estanys i llacunes, reducció dels boscos i maresmes i increment dels conreus (Compte, 1963-64; Rielsame, Meyer i Turner, 1994). És, per tant, un bon exemple de com l'activitat humana ha canviat la fesomia del territori, transformant-la segons les seves necessitats i donant lloc a un paisatge notablement humanitzat i diver-

sificat. Entre finals de la dècada de 1970 i l'inici de la de 1990 es consoliden els processos de transformació del paisatge rural tradicional a l'àrea d'estudi.

L'elecció concreta dels dos anys de referència, 1977 i 1993, ha estat motivada per la intenció d'utilitzar la teledetecció com a eina per a la localització de les transformacions: 1977 és l'any més antic del qual hom disposa, per a l'àrea d'estudi, d'imatges de satèl·lit de prou resolució, del «Mapa de Cultivos y Aprovechamientos» i de fotografies aèries, i 1993 és un any en què disposem, a més de les imatges de satèl·lit, d'altre material valuós, com ara ortofotografies en color d'alta resolució.

La teledetecció espacial es pot definir com aquella tècnica que permet adquirir imatges de la superfície terrestre des de sensors instal·lats en plataformes espacials i tractar-les posteriorment (Chuvioco, 1996). Tot i que la resolució espacial de les imatges de teledetecció sol ser inferior a la de les fotografies aèries, més emprades tradicionalment, presenta alguns avantatges: ens permet obtenir imatges amb alta periodicitat de les àrees d'interès (gràcies a aquest fet podem observar fenòmens dinàmics i analitzar-los temporalment), el seu format digital i fàcilment georeferenciable ens facilita el seu tractament i proporciona informació multispectral que millora extraordinàriament la interpretació dels usos i cobertes del sòl.

Aquesta tècnica ha adquirit en els darrers anys una gran importància, tal com ho demostren la gran quantitat de publicacions, projectes de recerca, congressos, etc., que es duen a terme. Així, per exemple, l'any 1985 la Comissió Europea va promoure el programa *Coordination of Information on the Environment* (CORINE), amb l'objectiu d'inventariar, coordinar i comptabilitzar l'estat del medi ambient i dels recursos naturals dins la Comunitat. El subprojecte *CORINE Land Cover* pretenia localitzar les cobertes i usos del sòl dels dotze estats membres a través de la interpretació d'imatges del satèl·lit Landsat-5 captades pel sensor Thematic Mapper (TM), l'any 1987. La llegenda s'estructurà jeràrquicament en tres nivells; el nivell més estratificat comprenia quaranta-quatre classes, ampliables segons les característiques de cada Estat².

Un altre exemple d'aplicació el constitueix el «Mapa d'usos del sòl de Catalunya» de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), a escala 1:250000, a partir del mateix satèl·lit i sensor que en el cas anterior, però per als anys 1987 i 1992 (en què s'actualitza el primer mapa de 1987), amb una llegenda de vint usos i cobertes del sòl (Viñas i Baulies, 1995).

En el transcurs d'aquestes pàgines s'empraran dos conceptes bàsics: el primer és l'ús del sòl, que comprèn l'aprofitament humà de la terra, mentre que el segon és la coberta del sòl, o la condició biofísica de la terra, la vegetació, l'aigua i el sòl que cobreixen la seva superfície (Meyer i Turner, 1996). L'ús del sòl, però, es configura, actualment, com el principal agent de canvi de la coberta del sòl (Vedkamp i Fresco, 1996), essencialment a través de la

2. Per al cas de Catalunya i Espanya, consulteu Baulies i altres, 1991.

modificació, o sigui un canvi dins de la mateixa coberta (per exemple, superfície forestal sense explotar a ser explotada forestalment) o de la conversió, o sigui un canvi d'un tipus de coberta per una altra (per exemple, deforestació per crear conreus) (Riebsame, Meyer i Turner, 1994). Així doncs, quan parlem de canvis d'usos del sòl inclourem la transformació d'un tipus de coberta per una altra.

Anàlisi d'usos i cobertes del sòl: aportacions geogràfiques

Els canvis en els usos i cobertes del sòl estan directament relacionats amb les alteracions mediambientals, almenys, en quatre àrees d'interès (Fischer, 1998):

- Tenen implicacions molt importants per a l'equilibri de la radiació global i els fluxos d'energia.
- Contribueixen als canvis dels cicles biogeoquímics.
- Modifiquen els cicles hidrològics.
- Influeixen en la complexitat ecològica.

Aquests canvis i les seves conseqüències s'estan fent notar cada vegada en més àmbits, des de l'escalfament climàtic potencial, fins a la degradació del sòl i a la pèrdua de la biodiversitat. El concepte de canvi ambiental, tant des de la vessant sistèmica o global (emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera) com cumulativa (deforestació o pèrdua de biodiversitat), ha d'incloure, doncs, la persistent influència de l'acció humana en les condicions i en els processos de la superfície terrestre (Riebsame, Meyer i Turner, 1994; Turner, 1994).

Així doncs, l'anàlisi de la distribució espacial dels usos i cobertes del sòl és un requeriment essencial en una gran quantitat d'investigacions i disciplines (European Comission, 1998). Podem trobar alguns exemples en l'àmbit de la planificació territorial (Pujol i Pujades, 1996; Viñas i Baulies, 1995), en l'estudi de les dinàmiques paisatgístiques (Poudevigne i altres, 1997; Ihse, 1995) i de corredors biològics i d'hàbitats (Pino i altres, 1998; Laffly, 1997), així com en l'estudi d'impactes i de riscos ambientals. Entre aquests darrers destaquen la contaminació (Bouma, Vallaryay i Batjes, 1998), la desertització (European Comission, 1998), la deforestació (Lambin, 1998) i els incendis forestals (Nunes i altres, 1996).

Per tant, l'obtenció d'un coneixement exhaustiu i detallat dels usos i cobertes del sòl, sobretot a escala subregional, es configura com un dels principals reptes de la recerca geogràfica actual, que sempre s'ha interessat per l'estudi i la cartografia de les transformacions de la superfície terrestre a diferents escales (Meyer i Turner, 1996).

Les aportacions geogràfiques a l'estudi del medi ambient són massa extenses per comentar-les totes aquí, però sí que convé esmentar alguns treballs essencials, ben associats, d'altra banda, a l'evolució de les tècniques i dels instruments de la disciplina. En aquest sentit, es voldrien destacar quatre grans aportacions, cadascuna de les quals es pot inscriure dins d'un marc instrumental concret.

Es considera *Man and Nature*, de George Perkins Marsh (1864), la primera obra que analitzà i sistematitzà el canvi ambiental a través de la pressió humana exercida sobre la vida animal i vegetal, les aigües i el sòl, emfasitzant els impactes de la deforestació. La metodologia de Marsh es basava en la recopilació bibliogràfica, gràcies al coneixement de diverses llengües, i en el treball de camp, analitzant els impactes ambientals mitjançant l'evolució de diversos indicadors, com la diversitat d'espècies faunístiques o la pervivència d'espais forestals (Martí i Aran, 1994). En definitiva, Marsh incidí en l'increment dels contrastos climàtics fruit de la deforestació, del drenatge de llacs i maresmes i de la fixació de dunes.

Les aportacions següents es caracteritzen pel caràcter multidisciplinari dels equips de recerca; la primera és *Man's role in changing the face of the Earth* (Thomas, 1956), resultat d'un simposi celebrat a Princeton l'any 1955. L'èmfasi se situà, també, en la capacitat humana per alterar el seu medi natural a través d'una visió retrospectiva de la duració i varietat dels canvis humans en la terra, així com els mètodes i mitjans a partir dels quals s'han modificat els paisatges, els sòls, les aigües, el clima i les comunitats biòtiques, per, finalment, observar els efectes de les accions humanes sobre l'habitabilitat continuada de la Terra.

Tot plegat podia ser analitzable mitjançant l'ús de la fotografia aèria com a instrument de síntesi (a una escala més global) per estudiar les transformacions humanes plasmades al paisatge, segons les pautes socials i culturals dels diversos grups humans.

La segona és *The Earth as transformed by human action*, fruit del simposi celebrat a la Universitat de Clark, l'any 1987, i és considerada l'actualització del simposi de Princeton pel que fa als efectes paisatgístics i ambientals a escala planetària (Turner i altres, 1990). Bàsicament s'examinen les cinc principals forces humanes inductores dels canvis terrestres dels darrers tres-cents anys: la població, la tecnologia, les institucions, l'organització sociocultural, la localització de la producció i del consum i la urbanització. El segon gran apartat consisteix en un balanç de les principals transformacions de la biosfera degudes a l'acció humana: modificació de la terra, dels boscos, dels sòls i de la sedimentació; l'ús i la transformació dels fluxos i qualitat de l'aigua; el medi ambient marí i el clima; la fauna terrestre i marina i la flora.

Segons el simposi de Clark, la disponibilitat de noves tecnologies d'acumulació i d'anàlisi de dades (bases de dades més àmplies i precises, els sistemes d'informació geogràfica i la teledetecció) permeten fer un seguiment de les magnituds i trajectòries dels impactes humans en la biosfera, de forma fins aleshores inimaginable.

Finalment, del simposi de Clark se'n derivà el programa *Land Use and Land Cover Change* (LUCC), iniciat el 1993 i coordinat per l'International Geosphere-Biosphere Programme i l'International Human Dimensions Programme i que intenta recollir l'estat actual de la recerca de les relacions entre la societat i el medi. Els tres àmbits principals de la recerca són, en primer lloc, les dinàmiques dels usos del sòl i l'anàlisi comparativa de diversos casos d'estudi, amb l'objectiu de millorar el coneixement de les interrelacions entre

la societat i la natura en relació amb la gestió del territori. En segon lloc, les dinàmiques de les cobertes del sòl connectant les observacions empíriques, que poden ser extretes amb imatges satèl·lit o amb fotografia aèria, i els models de diagnòsi. Segons els promotors de la recerca, però, el coneixement d'aquestes dinàmiques és inadequat perquè ens manquen mesures acurades de la seva proporció, extensió i model espacial. En tercer lloc, millorar el coneixement de les dinàmiques a escala global, regional i local i de les conseqüències de les relacions entre les principals forces inductores del canvi a través de models i de projeccions (Turner i altres, 1995).

Objectius i metodologia

L'objectiu principal d'aquest article és l'anàlisi dels canvis en els usos i les cobertes del sòl a la plana altempordanesa al llarg del període 1977-1993. El procés metodològic que es presentarà a continuació intentarà donar resposta a tres objectius específics:

- a) Obtenció de dos mapes per separat (1977 i 1993), segons els usos del sòl (llegenda) establerts prèviament, mitjançant l'anàlisi i el tractament d'imatges digitals de satèl·lit.
- b) Comparació quantitativa dels resultats dels dos mapes amb dades censals de base territorial municipal, tant per al 1977 (a través del cens «Superfícies ocupadas por los cultivos agrícolas» del Ministerio de Agricultura) com per al 1993 («Superfícies dels conreus agrícoles» del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca).
- c) Encreuament dels dos mapes per a l'obtenció de la localització dels canvis d'usos del sòl i la comparació quantitativa dels resultats amb els derivats dels censos esmentats.

En relació amb el segon objectiu, caldria esmentar que la validació dels resultats obtinguts amb altres fonts d'informació, com podrien ser les diverses estadístiques sectorials de base politicoadministrativa (municipis, comarques, etc.), és un aspecte relativament poc tractat, encara. En el nostre cas, doncs, s'han comparat quantitativament les ocupacions obtingudes de cada ús del sòl amb les fonts oficials esmentades.

La metodologia emprada segueix l'esquema clàssic per a la cartografia dels usos del sòl a través d'imatges digitals de satèl·lit (Chuviaco, 1996; Sommer i altres, 1998). A la figura 1 observem que el primer pas ha estat les correccions geomètriques i radiomètriques de les imatges digitals, així com el seu tractament posterior. El pas següent ha requerit l'establiment de la llegenda com a base per a l'obtenció de les àrees d'entrenament, a través de les quals, juntament amb les imatges digitals, el material addicional i el treball de camp, s'arriba a la fase de classificació. Un cop solucionades les classes problemàtiques i obtinguts els mapes s'han realitzat els tests i s'han sobreposat els dos mapes tot obtenint el mapa de canvis d'usos per, finalment, comparar aquests resultats amb les dades estadístiques agregades a escala municipal.

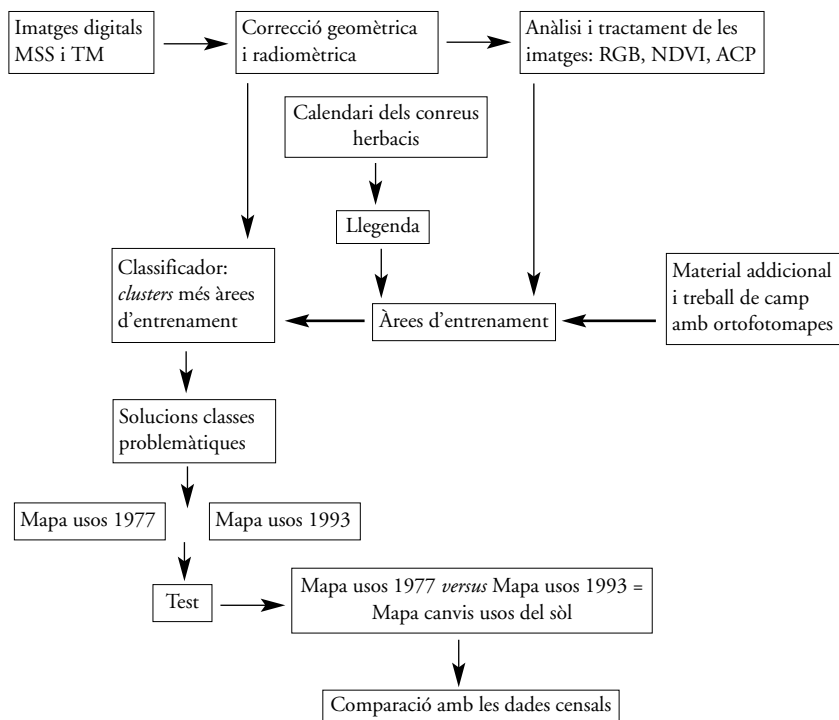


Figura 1. Procés de tractament de la informació.

Malgrat haver seguit un esquema clàssic, s'ha d'esmentar l'especificitat del mètode de classificació que difereix dels mètodes implementats en els *softwares* més emprats; aquesta decisió ha estat motivada per la fragmentació de l'àrea d'estudi (segons el cens agrari de 1989 a l'àrea d'estudi hi havia 10.633 parcel·les) i la consegüent diversitat de respostes espectrals.

Clàssicament, la classificació multispectral, o sigui, la recerca de patrons espectrals en relació amb les classes perseguides, es divideix en supervisada i no supervisada (Wulder, 1998). La primera es caracteritza per l'ús d'àrees d'entrenament (Richards, 1993), obtingudes per l'analista gràcies al coneixement de les respostes espectrals d'una coberta específica. A partir de les àrees d'entrenament hi ha tres opcions de classificació, i el màxim versemblant és el més emprat i robust (Gandía i Melià, 1991; Wulder, 1998). Aquest mètode assigna cada píxel de la imatge a la classe temàtica (àrea d'entrenament) amb una probabilitat de pertinença més elevada. El problema, però, rau en el fet que assumeix una distribució normal de cada classe produint-se un biaix en aquelles classes amb menys superfície d'ocupació i clars errors en aquelles que tenen una resposta espectral poc homogènia (multimodal). D'altra banda, la classi-

ficació no supervisada no depèn de les àrees d'entrenament, sinó que les classes es generen automàticament, segons els grups de valors espectrals similars presents a l'àrea d'estudi (*clusters*).

Tal com s'ha esmentat anteriorment, s'ha utilitzat una classificació mixta que es pot definir com a híbrida: a partir d'una classificació no supervisada basada en una forta fragmentació de l'espai multivariant inicial, sobreposar les àrees d'entrenament obtingudes i fer una assignació automàtica basada en criteris d'assignació ponderada de classes espectrals a temàtiques i viceversa.

En relació amb l'obtenció del mapa de canvis d'usos del sòl, la metodologia adoptada sembla la més adient en relació amb els objectius: realitzar els mapes d'usos del sòl de cada any de referència (1977 i 1993) per separat per, posteriorment, sobreposar-los i obtenir les zones estables i de canvi (Chuvienco, 1996).

Fons d'informació

Les similars propietats espectrals de les cobertes del sòl impedeixen una identificació clara del ventall de classes presents en les imatges digitals. La confusió espectral entre cobertes, molt clara en el cas dels conreus, varia segons el mes de l'any: així, classes que poden aparèixer similars al maig poden esdevenir diferenciables més endavant o a l'inrevés. Per aquest motiu la classificació multitemporal (diverses imatges de diferents mesos) esdevé el mitjà més adequat per a l'obtenció d'uns resultats fiables (Chuvienco, 1996; Sommer i altres, 1998; Wulder, 1998).

Les imatges digitals emprades provenen de dos sensors del mateix satèl·lit, però de diferent versió i resolució. La resolució espectral i espacial del sensor *Multispectral Scanner* (MSS), del satèl·lit Landsat-2, és més baixa que la del sensor *Thematic Mapper* (TM), del satèl·lit Landsat-5 (4 bandes i un píxel de 79 metres x 57 metres per 7 bandes i un píxel de 30 metres x 30 metres, respectivament). En el moment de la seva correcció les imatges MSS van ser remostrejades a una mida de píxel de 60 metres x 60 metres.

Les imatges digitals emprades han estat les següents³:

- Per al 1977, tres del sensor MSS: 13 de juliol de 1977, 2 de juny de 1978, 8 de setembre de 1978.
- Per al 1993, tres del sensor TM: 16 de maig de 1992, 28 de juny de 1993, 31 d'agost de 1993.

L'àrea d'estudi s'emmarca entre les coordenades UTM següents: 489990, 515010, 4660410 i 4689990, del fus 31, de l'hemisferi nord; a partir d'aquesta subimatge s'emmascara l'àrea a través dels límits dels vint-i-dos municipis analitzats.

3. Com es pot observar, no totes les imatges corresponen al 1977 ni al 1993; l'ideal hagués estat disposar de diferents mesos del mateix any, però no ha estat possible per diversos motius (núvols, etc.). Malgrat aquest fet, es va considerar preferible emprar-les més que no pas treballar amb una informació més reduïda.

Taula 1.

Material	Font	Escala	Detalls
Fotografies aèries	CETFA (companyia privada)	1:18 000 aprox.	Novembre de 1977, passades de la B a la G
Mapa de cultivos y aprovechamientos	Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación	1:50 000	Amb informació agrària de 1978
Ortofotomapes en color	ICC	1:25 000	Juliol de 1993. Fulls: 258-1-1, 258-1-2, 258-2-1, 258-2-2 i 296-2-1. Píxel de 2 metres i 24 bits de color.
Mapa topogràfic de l'Alt Empordà	ICC	1:50 000	1996

Per al 1977 i 1993 es disposava, a més, de material addicional, en format analògic i digital (taula 1).

Tractament de la informació

En aquest apartat es presenta més detalladament la metodologia emprada, des de les correccions necessàries per a la manipulació de les imatges fins a l'obtenció dels resultats (figura 1)⁴.

a) Correccions i tractament de les imatges

Les imatges digitals emprades estaven, inicialment, corregides geomètricament per l'Institut Cartogràfic de Catalunya a través del mètode de Palà i Pons (1995). L'objectiu de la correcció geomètrica és evitar les distorsions provocades, entre d'altres, pel moviment del satèl·lit, per la rotació i corbatura de la terra, pel relleu i per poder sobreposar, posteriorment, el dos mapes obtinguts amb un alt nivell de registre geomètric. A continuació, es realitzà la correcció radiomètrica (Pons i Solé-Sugrañes, 1994), amb l'objectiu de disposar d'uns valors propers als que s'obtidrien en el cas d'una recepció perfecta, expressats en reflectàncies, en tenir en compte els efectes atmosfèrics i d'il·luminació solar.

En relació amb l'anàlisi i el tractament de les imatges, amb l'objectiu d'obtenir la màxima discriminació de les diferents cobertes a través de la interpretació visual, s'anализà, en primer lloc, la matriu de correlacions dels diversos canals de les imatges per discriminar aquells menys correlacionats i així realitzar combinacions *Red-Green-Blue* (RGB) ben diferenciadores.

4. Els *softwares* emprats han estat Miramon i Idrisi.

En segon lloc s'obtingueren els índexs de vegetació de diferència normalitzada (*Normalized Difference Vegetation Index* = (Canal infraroig proper - Canal vermell) / (Canal infraroig proper + Canal vermell)) de totes les dates per discriminar aquelles cobertes amb una resposta elevada (amb biomassa vegetal) i les que tenien una resposta baixa (poca o nul·la biomassa vegetal). Aquesta transformació es deriva de l'específic comportament radiomètric de la vegetació, la signatura espectral de la qual mostra un clar contrast entre el canal vermell, on els pigments de la fulla absorbeixen una part significativa de l'energia electromagnètica rebuda del Sol, i l'infraroig proper, on l'estructura interna de les fulles en reflecteix la major part (Chuvieco, 1996). Així mateix, es realitzà una resta dels índexs de vegetació entre estiu i primavera per copsar els canvis (juliol de 1977-juny de 1978 i agost de 1993-maig de 1992): els valors negatius indicaven aquelles cobertes que havien disminuït de biomassa (primavera amb valors elevats i estiu amb valors baixos) i els valors positius els que havien augmentat.

El tercer tractament va ser l'Anàlisi de Components Principals (ACP) per obtenir un nombre de canals menor sense perdre gran part de la informació original, així com per captar els canvis multitemporals entre primavera-estiu. Els components principals s'usen com a conseqüència del fet que l'adquisició d'imatges sobre bandes adjacents de l'espectre electromagnètic implica, freqüentment, detectar informació redundant, ja que els diferents tipus de coberta tendeixen a presentar un comportament similar en regions pròximes a ell (Chuvieco, 1996).

b) Calendari dels conreus herbacis i establiment de la llegenda

Com que els conreus herbacis eren l'ús del sòl predominant en ocupació a la plana altempordanesa, es va veure la necessitat de comprendre quina seria, teòricament, la resposta radiomètrica, sobretot en l'infraroig proper, d'aquests, tenint en compte la data de sembra i de recol·lecció, així com les característiques de les respectives plantes (mida de les fulles, disposició sobre el terreny, etc.). A partir del MAPA (1982) i de Pujol (1985) es van poder extreure les conclusions següents:

- Els cereals d'hivern (blat, ordi, civada) tindrien, a partir del mes de juny, una resposta radiomètrica baixa, ja que estarien recol·lectats o a punt de ser-ho. S'inclourien tant els de secà, amb més del 75% d'ocupació, com els de regadiu.
- Els cereals d'estiu (majoritàriament de regadiu: blat de moro, sorgo i arròs) tindrien, a partir del mes de juny, una resposta elevada, ja que s'haurien sembrat a partir de l'abril i estarien en creixement.
- La userda de regadiu tindria una resposta elevada a partir de maig, ja que s'hauria sembrat a partir de febrer-març, mentre que la de secà seria més baixa.
- El gira-sol de secà (més del 50% d'ocupació) i de regadiu tindrien una resposta elevada a partir de juny, ja que s'haurien sembrat a l'abril.

Després de realitzar les transformacions digitals necessàries per a la discriminació visual de les cobertes i establertes les respostes teòriques dels conreus herbacis predominants, es passà a l'establiment de la llegenda, tant per al 1977, com per al 1993, segons els usos del sòl extrets, prèviament, dels censos i analitzades les teòriques possibilitats de diferenciació.

Per al 1977 varen ser:

- Conreus herbacis:
 - Blat de moro de secà i de regadiu.
 - Resta d'herbacis de regadiu.
 - Resta d'herbacis de secà i de guaret.
- Conreus llenyosos:
 - Fruïters de secà i de regadiu.
 - Oliveres.
 - Vinyes.
- Prats i superfície forestal:
 - Prats i pastures.
 - Superfície forestal (bosc i matolls).
- Altres superfícies:
 - Erms pasturats.
 - Sòl improductiu (pedreres, etc.).
 - Superfícies no agrícoles (zones urbanes, etc.).
 - Rius i estanys.

Per al 1993 varen ser els mateixos usos del sòl més els següents conreus herbacis:

- Arròs (reintroduït a partir de 1985).
- Gira-sol de secà i de regadiu (introduït arran de la Política Agrària Comuna).

c) *Classificació*

La fase de classificació se subdividí en tres etapes:

- Elecció del classificador: a causa de les característiques de l'àrea d'estudi (fragmentació parcel·laria, canvis fenològics en un curt espai de temps, etc.) esmentades anteriorment, s'escollí un classificador mixt: a través d'una classificació no supervisada (algorisme Isodata de Miramon i mínima distància euclidiana) obtenir el màxim nombre de *clusters* discriminables automàticament i assignar-los a les classes temàtiques mitjançant les àrees d'entrenament.
- Obtenció de les àrees d'entrenament a través del treball de camp, del material addicional i de les imatges processades: combinacions RGB, índexs de vegetació i components principals.

La classificació, pròpiament dita, es realitzà amb les àrees d'entrenament (2177 píxels de 60 x 60 metres de 1977 i 8502 píxels de 30 x 30 metres de

Taula 2. Taula de contingència entre classes temàtiques (10 primeres) i espectrals (15 primeres) en %.

Classes espectrals TM	Classes temàtiques 1993									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10,3	46,1	0	4,3	33,3	0	0	0,8	0	5,1
2	0	0	0	0	1,7	0	95	0	0	3,3
3	0	0,9	0	0	99,1	0	0	0	0	0
4	0	59,5	0	0	31,7	0	0	0,8	0	7,9
5	0	91,2	0	0	6,6	0	0,5	0	0	1,7
6	51,2	13,1	0	0	1,2	0	0	0	10,7	15,5
7	0	20,6	0	0	20,6	0	0	58,8	0	0
8	0	56,4	0	2,6	25,6	0	0	10,3	0	5,1
9	0	80,5	0	1,2	2,4	0	0	15,8	0	0
10	0	0	0,5	0	2,2	0	0	1,1	0	96,2
11	0	0	0	0	7,7	0	84,6	7,7	0	0
12	0	23,3	0	74,4	0	0	2,3	0	0	0
13	0	1,8	0	61,8	0	0	7,3	29,1	0	0
14	0	13,6	0	0	20,3	0	59,3	3,4	0	3,4
15	0	0	0	0	11,4	0	50,6	28,8	0	9,2

Font: elaboració pròpia.

1993) i els *clusters* (se'n sol·licitaren un nombre elevat, 250, i se'n obtingueren 84 per a 1977 i 93 per a 1993). A través d'un programa adient (Clsmix de Miramon) es donà la freqüència llindar per acceptar una classe espectral (*clusters*) en relació amb la classe temàtica (àrees d'entrenament) i a l'inreves. A partir, doncs, del llindar establert s'assignaren els *clusters* als diversos usos del sòl; la proporció de la classe temàtica dins l'espectral va ser del 30%, mentre que la freqüència inversa es va establir en un 1%. A través de la taula 2 podem observar una mostra d'assignació, a través dels percentatges en negreta, de les primeres quinze classes espectrals en relació amb les primeres deu temàtiques.

d) Solucions a les classes problemàtiques i test

Una vegada obtinguts els dos mapes classificats s'hi observaren dues confusions significatives: la primera es produïa entre la superfície no agrícola (urbana) i algunes parcel·les assignades als altres herbacis de secà, possiblement en guaret, en tenir la mateixa resposta radiomètrica. La solució, per al 1993, s'obtingué digitalitzant totes les àrees urbanes a través dels ortofotomapes, i emmascarant-les sobre el mapa, assignant la resta als altres herbacis de secà. Per al 1977 se sobreposaren els *clusters*, inicialment assignats a superfície urbana, amb

les zones urbanes digitalitzades, d'aquesta manera es van obtenir els píxels comuns i es va assignar la resta als altres herbacis de secà.

La segona confusió important s'observà amb les oliveres, ja que no se n'obtenia una classe clarament diferenciada, a causa de la seva disposició distant sobre el terreny. Aquest cas se solucionà a partir de la digitalització sobre els ortofotomapes de 1993, tenint en compte tant aquests propis ortofotomapes com les fotografies aèries de 1977.

Un cop solucionades les principals confusions, a través d'àrees d'entrenament noves (àrees de test) considerades com a «veritat terreny» (Chuvieco, 1996), s'obtingueren les matrius de confusió (taules 3.1 i 3.2). Per al 1977 l'encert global va ser del 87,9%, i es produí la major confusió entre la superfície forestal, que incloïa els matolls, i els prats i les pastures. Per al 1993 l'encert global va ser del 94,5%, i es donà la major confusió entre els erms pasturats i el sòl improductiu.

Resultats obtinguts i comparació quantitativa amb les dades de base municipal

Un dels problemes essencials en els resultats obtinguts, a part de les confusions esmentades en l'anterior apartat, i que ha afectat la comparació quantitativa amb les dades oficials, ha estat la impossibilitat de discriminar la localització de les hortes, els llegums i els tubercles, atesa la seva alta fragmentació parcel·lària i minsa ocupació en el territori. La seva inclusió hagués estat molt interessant per reafirmar la tendència a l'homogeneïtzació paisatgística i a la pèrdua de biodiversitat agrària, ja que en el transcurs dels setze anys analitzats han, pràcticament, desaparegut, sobretot els llegums i els tubercles, segons les dades censals de 1993.

Usos del sòl de 1977 i de 1993

A través del mapa 2, que correspon als usos del sòl de 1977 obtinguts amb les imatges MSS, observem en diferents tons de verd la distribució del blat de moro, de la resta d'herbacis de regadiu i dels fruiters, destacant al voltant de la Muga i al voltant de la desembocadura del Fluvià. La resta d'herbacis de secà predominava, a grans trets, en àrees amb dificultats per disposar d'aigua en abundància: la zona de contacte entre Peralada i Pedret, la zona central (Torroella, Siurana, Vilamalla, Fortià i el Far) i entre Ventalló i Viladamat. En aquestes mateixes àrees es localitzaven les oliveres, mentre que les vinyes eren al nord de Peralada.

D'altra banda, la superfície forestal, bàsicament coníferes, s'ubicava a la serra de Ventalló i de Garrigoles (terme de Viladamat), al sud i al nord de l'Escala, al sud de Borrassà, al centre i al nord-est de Peralada i al voltant dels cursos del Fluvià i de la Muga, amb vegetació de ribera. Els prats i les pastures es localitzaven al voltant o entremig de la superfície forestal, a la zona central i nord-est de Castelló (el 1977 encara no s'havia creat el Parc dels

Taula 3.1. Matriu de confusions del mapa de 1977. Mapa en files i veritat terreny en columnes.

Usos del sòl en píxels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	ECO	EUS
1. Blat de moro	31	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	11,53	88,57
2. Resta herbacis de regadiu	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0,00	100,00
3. Resta herbacis de secà	0	0	43	0	1	0	0	0	3	3	0	1	51	15,69	84,31
4. Fruïters	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0,00	100,00
5. Oliveres	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25	0,00	100,00
6. Vinyes	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	41	0,00	100,00
7. Superfície forestal	0	0	0	0	0	0	79	6	0	0	0	0	85	7,06	92,94
8. Prats i pastures	0	0	0	0	0	0	68	135	1	0	0	0	204	33,82	66,18
9. Erms pasturats	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	0	1	68	1,47	98,53
10. Sòl improductiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	14	0,00	100,00
11. Superfície no agrícola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	53	0,00	100,00
12. Rius i estanys	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	51	0,00	100,00
Total	31	54	43	51	26	41	147	141	71	17	53	53			
EO	0	7,41	0	0	3,85	0	46,25	4,26	5,63	17,65	0	3,78			
EPR	100	92,59	100	100	96,15	100	53,75	95,74	94,37	82,35	100	96,22			

Taula 3.2. Matriu de confusions del mapa de 1993. Mapa en files i veritat terreny en columnes.

Usos del sòl en píxels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total	ECO	EUS
1. Arròs	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0,00	100,00
2. Blat de moro	0	83	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	2,36	97,64
3. Gira-sol	0	0	64	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	3,04	96,96
4. Resta herbacis de regadiu	0	0	0	26	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	30	13,34	88,66
5. Resta herbacis de secà	0	0	0	0	233	0	0	6	0	1	0	0	0	0	240	2,92	97,08
6. Fruïters	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0,00	100,00
7. Oliveres	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	43	0,00	100,00
8. Vinyes	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	42	0,00	100,00
9. Superfície forestal	0	0	0	0	0	1	0	0	280	0	0	0	0	0	281	0,36	99,64
10. Prats i pastures	0	0	0	0	1	0	0	0	27	137	0	0	0	1	166	17,47	82,53
11. Erms pasturats	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	29	0	0	0	33	12,13	87,87
12. Sòl improductiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	35	0	0	54	35,19	64,81
13. Superfície no agrícola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	75	0,00	100,00
14. Rius i estanys	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	0,00	100,00
Total	45	83	64	28	241	65	43	51	307	138	48	35	75	19			
EO	0	0	0	7,14	3,32	1,54	0	17,65	8,79	0,72	39,58	0	0	5,26			
EPR	100	100	100	92,86	96,68	98,46	100	82,35	91,21	99,28	60,42	100	100	94,74			

EO = errors d'omissió en %; EPR = exactitud del productor en %; ECO = errors de comissió en %; EUS = exactitud de l'usuari en %.

Font: elaboració pròpia.

Aiguamolls) i sud-est de Peralada, mentre que els erms pasturats es localitzaven a les zones forestals més marginals i a l'àrea central més eixuta dels aiguamolls.

El sòl improductiu es localitzava a la costa (sorra de platja), al voltant del riu Fluvià, entre Ventalló i Torroella (extracció d'àrids), a la part central de Vilamalla (construcció del polígon industrial) i al voltant de la zona d'expansió urbana de Figueres, mentre que la superfície no agrícola es diferenciava a l'Escala, Empúria-brava, Figueres i Castelló i els rius i estanys als aiguamolls, l'estany de Siurana, la desembocadura del Fluvià i de la Muga i els canals d'Empúria-brava.

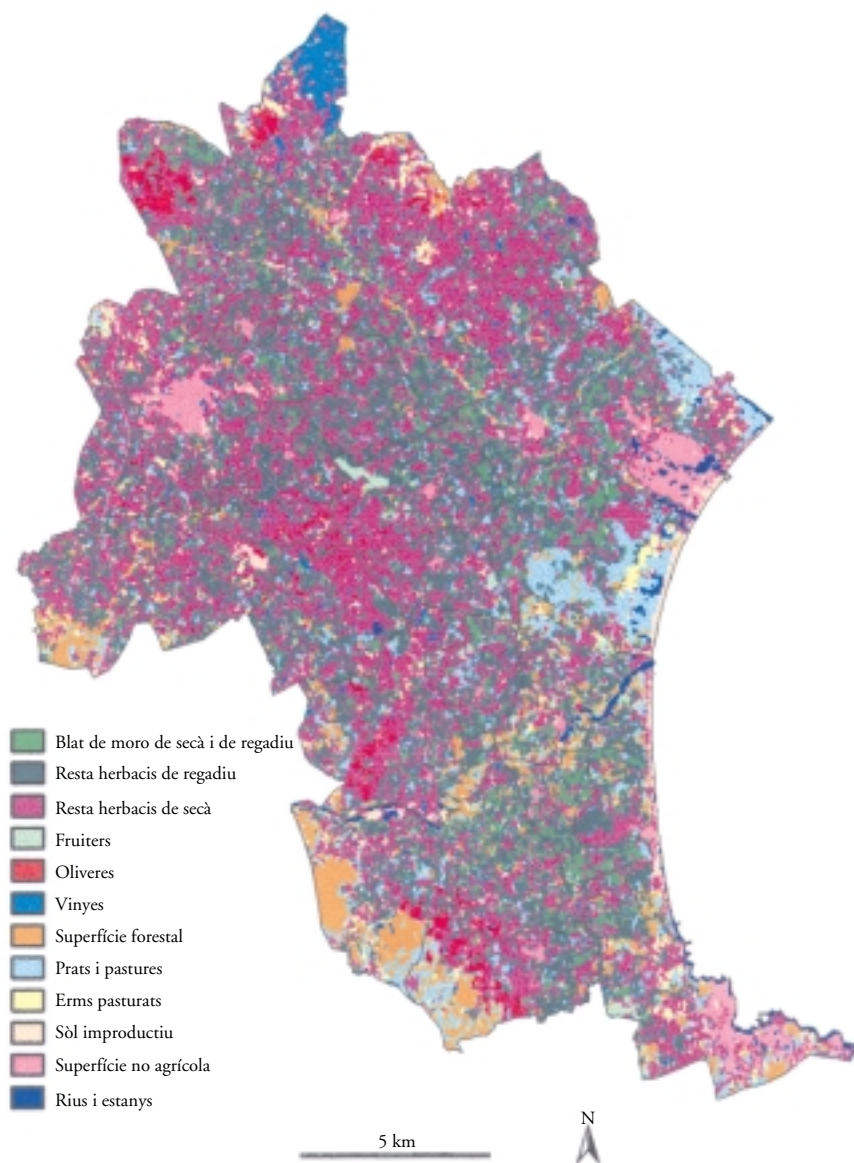
A través del mapa 3, que correspon als usos del sòl de 1993 obtinguts amb les imatges TM, observem, amb els mateixos tons de verd que per al cas de 1977, la distribució més intensiva del blat de moro, de la resta d'herbacis de regadiu i dels fruiters, a les àrees esmentades anteriorment. En relació amb els dos conreus herbacis incorporats després de 1977, l'arròs es localitzava en dues grans parcel·les, l'una ente Castelló i Sant Pere i l'altra al sud-est de Riumors, mentre que el gira-sol era a tots els municipis. La resta d'herbacis de secà es consolidava a les tres zones esmentades anteriorment, més l'àrea entre Vilafant i Borassà, mentre que les oliveres apareixien amb una ocupació molt més marginal, així com també les vinyes.

La superfície forestal es localitzava a les zones anteriorment esmentades, amb taques, però, més compactes, fruit de la colonització natural del bosc un cop abandonats els conreus o després d'incendis forestals, tendència aquesta contrària a l'experimentada per la vegetació de ribera, que ha sofert un retrocés a causa de la canalització dels rius i la intensificació dels conreus. El mateix ha succeït amb els prats i les pastures, de manera que la seva ocupació ha quedat limitada als aiguamolls i al sud-est de Peralada, mentre que els erms pasturats es localitzaven al nord-oest de Figueres i al sud de Sant Pere.

El sòl improductiu romaní a les àrees esmentades anteriorment, mentre que la superfície no agrícola s'incrementava al litoral de Sant Pere, amb camps, i de l'Escala, amb urbanitzacions, així com a la carretera de Figueres a Castelló (C260) i al terme municipal de Peralada, amb el camp de golf. Finalment, els rius i estanys seguien diferenciant-se als aiguamolls, a la desembocadura del Fluvià i de la Muga i als canals d'Empúria-brava.

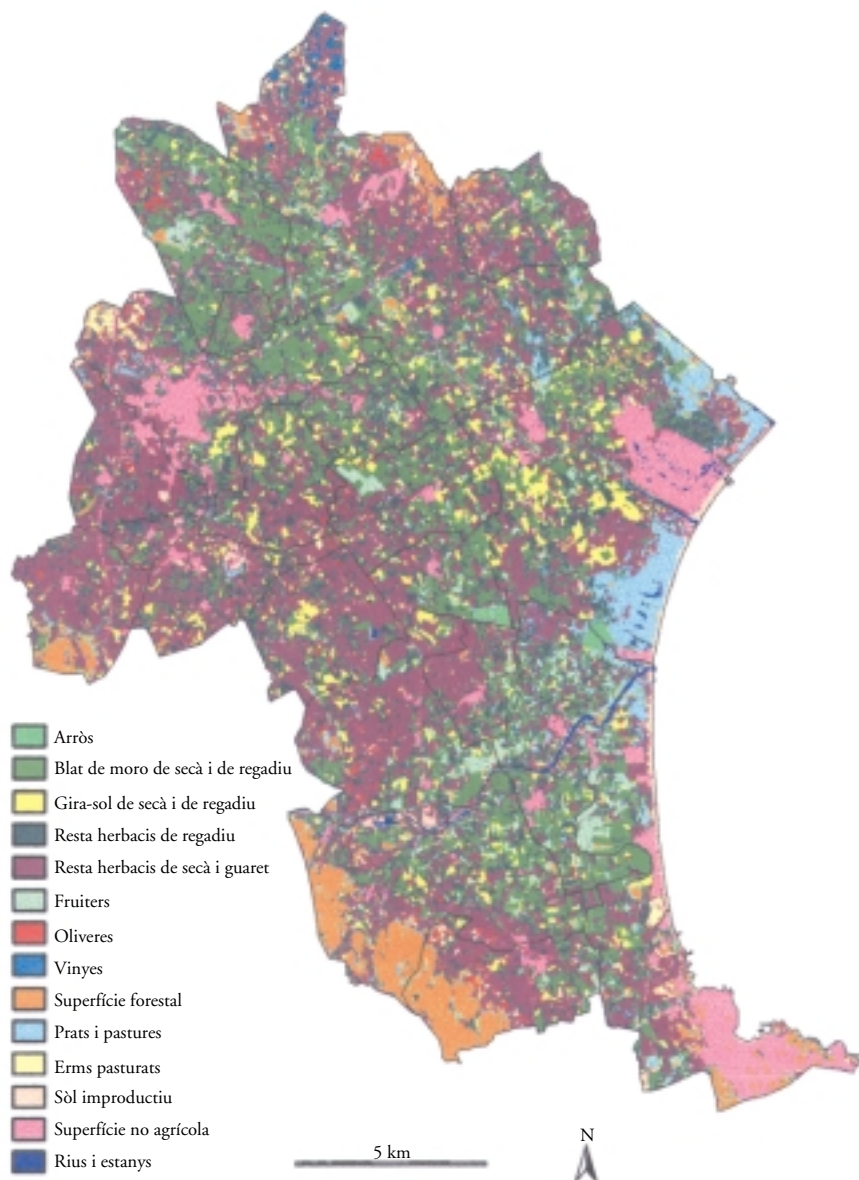
Per a la comparació quantitativa dels resultats, en primer lloc, cal esmentar que s'han considerat les estadístiques municipals com a totalment vàlides, tot i que molt possiblement continguin errors. Malgrat aquest fet, no hi ha una font alternativa per contrastar els resultats de les dues fonts. En qualsevol cas, és important destacar que, atès l'elevat nivell d'incert que s'ha obtingut, aquests «errors» de la classificació poden ser, en alguns casos, errors del cens i que, per tant, poden tenir un valor afegit en relació amb la veracitat de les dades censals analitzades.

La comparació quantitativa dels resultats amb les estadístiques (taula 4) es realitzà a través de l'encert mitjà:



Mapa 2. Usos del sòl 1977.

Font: elaboració pròpia a partir d'imatges Landsat MSS.



Mapa 3. Usos del sòl 1993.

Font: elaboració pròpia a partir d'imatges Landsat TM.

Taula 4. Usos del sòl de 1977 i de 1993.

Usos del sòl	Segons els resultats obtinguts				Segons dades censals			
	1977	1993	Dif. 1993-1977		1977	1993	Dif. 1993-1977	
	ha	ha	ha	%*	ha	ha	ha	%*
Arròs		0	105	105		0	49	49
Gira-sol de regadiu i de secà		0	2.625	2.625		0	2.742	2.742
Blat de moro de regadiu i de secà	1.868	5.075	3.207	171,7	2.214	5.138	2.924	132,0
Resta herbacis de regadiu	5.936	3.363	-2.573	-43,3	4.686	3.104	-1.582	-33,7
Resta herbacis de secà	12.924	9.909	-3.015	-23,3	12.421	7.761	-4.660	-37,5
Fruiters de regadiu i de secà	933	1.815	882	94,5	1.534	2.093	559	36,4
Oliveres	383	135	-248	-64,7	699	282	-417	-59,7
Vinyes	463	248	-215	-46,4	386	311	-75	-19,4
Superfície forestal	1.709	1.432	-277	-16,2	1.464	1.462	-2	-0,1
Prats i pastures	3.367	1.706	-1.661	-49,3	2.038	1.097	-941	-46,2
Erms pasturats	831	921	90	10,8	593	768	175	29,5
Sòl improductiu	374	604	230	61,5	881	603	-278	-31,5
Superfície no agrícola	1.116	2.137	1.021	91,5	3.006	4.275	1.269	42,2
Rius i estanys	314	143	-171	-54,5	249	386	137	55,0
Total	30.218	30.218	0	0,0	30.171	30.071**	-100	-0,3

* % en relació amb 1977.

** Error en la suma de la font original (DARP).

Font: elaboració pròpia.

$$\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{S}$$

on X_i és l'estimació, en hectàrees, segons els mapes obtinguts,

Y_i és l'estimació segons les dades de les administracions

S és el nombre total d'hectàrees de l'àrea d'estudi segons el Ministerio (1977) o el DARP (1993)

i n és el nombre de categories.

Per al 1977 s'obtingué un 75,6% d'encert, mentre que per al 1993 fou del 80%, xifres que, raonablement, permeten constatar la fiabilitat dels mapes obtinguts.

En l'anàlisi disgregada per usos s'observaren unes sobreestimacions i unes subestimacions dels resultats obtinguts (mapes) respecte als censos; les sobreestimacions més significatives es donaren en els prats i pastures (tant per al 1977 com per al 1993, possiblement per la confusió espectral amb altres usos

com els matolls, inclosos en la superfície forestal, etc.), en la resta de conreus herbacis de regadiu (per al 1977, sobretot, possiblement per la subestimació de la seva superfície en les dades censals per motius fiscals) i amb la resta de conreus herbacis de secà (per al 1993).

Les subestimacions més significatives es produïren en la superfície no agrícola, tant per al 1977 com per al 1993 possiblement a causa de la no digitalització dels camins rurals, malgrat que la seva ocupació sembla estar sobreestimada, en general, en les dades censals, i en els fruiters, ja que s'inclouïen els que encara no produïen i que no eren, per tant, discriminables en les imatges.

Canvis d'usos del sòl entre 1977 i 1993

Una vegada igualada la mida del píxel dels dos mapes obtinguts (1977 i 1993 a 30 metres), es realitzà la sobreposició a fi d'obtenir el mapa dels canvis d'usos del sòl experimentats entre aquests setze anys. A continuació es presenten els resultats en format de taules a causa de la irrepresentabilitat del mapa resultant, ja que s'hauria de mostrar una llegenda de 12 classes de 1977 per 14 classes de 1993, 168 classes en total.

Els resultats obtinguts, doncs, es resumeixen en les taules 5.1 i 5.2 i figura 2, on es pot observar la intensificació dels conreus herbacis [1] a causa dels fluxos provinents dels prats i les pastures (2023 ha o el 59.9% del total de 1977) i de les oliveres (199 ha o el 51.9%) i de les vinyes [2] (309 ha o el 66.7%), més els processos de canvis interns [3], mentre que les pèrdues eren fruit de l'increment del procés d'urbanització [4] (774 ha o 9.4%) que es produïa, igualment, per la pèrdua de prats i pastures [5] (101 ha o el 3%).

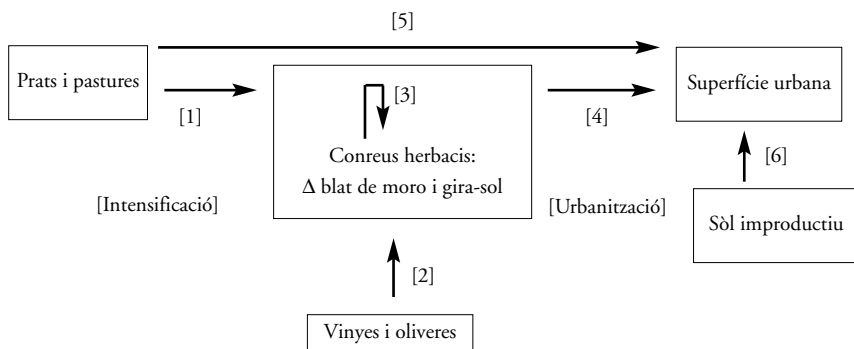


Figura 2. Processos de canvis d'usos del sòl.

[1] + [2] + [3] = Intensificació de l'especialització en conreus herbacis.

[4] + [5] + [6] = Urbanització.

Taula 5.1. Resultats, en ha, dels canvis dels usos del sòl de 1977 (files) -1993 (columnes), segons els mapes obtinguts.

Usos del sòl	Arròs	Gira-sol	Blat de moro	Resta herb. regadiu	Resta herb. secà	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Sup. forestal	Prats i pastures	Erms pasturats	Sòl improductiu	Sup. no agrícola	Rius i estanys	Total
Blat de moro	0	278	494	262	510	173	1	10	20	39	30	14	36	1	1.868
Resta herbacis regadiu	21	687	1.411	835	1.897	470	6	33	52	182	94	48	198	2	5.936
Resta herbacis secà	31	1.204	2.134	1.515	5.325	635	37	121	197	424	471	267	540	23	12.924
Fruiters	5	62	179	109	267	142	0	6	28	69	30	9	24	3	933
Oliveres	0	7	16	22	154	1	87	2	23	14	46	8	3	0	383
Vinyes	0	22	37	43	207	11	1	52	4	12	42	13	18	1	463
Superfície forestal	7	59	225	147	236	171	0	5	586	176	28	15	45	9	1.709
Prats i pastures	32	264	513	357	857	179	2	10	377	559	75	27	101	14	3.367
Erms pasturats	6	29	39	49	287	24	1	3	110	141	76	12	47	7	831
Sòl improductiu	0	5	15	11	77	3	0	3	1	22	12	141	80	4	374
Superfície no agrícola	0	4	9	8	62	1	0	2	5	4	10	11	991	9	1.116
Rius i estanys	3	4	3	5	30	5	0	1	29	64	7	39	54	70	314
Total	105	2.625	5.075	3.363	9.909	1.815	135	248	1.432	1.706	921	604	2.137	143	30.218

Font: elaboració pròpia.

Taula 5.2. Resultats, en % (1977 = 100%), dels canvis dels usos del sòl de 1977 (files) -1993 (columnes), segons els mapes obtinguts.

Usos del sòl	Arròs	Gira-sol	Blat de moro	Resta herb. regadiu	Resta herb. secà	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Sup. forestal	Prats i pastures	Erms pasturats	Sòl improductiu	Sup. no agrícola	Rius i estanys	Total
Blat de moro	0,0	14,9	26,4	14,0	27,3	9,3	<0.1	0,5	1,1	2,1	1,6	0,7	1,9	<0.1	100,0
Resta herbacis regadiu	0,3	11,6	23,8	14,1	32,0	7,9	0,1	0,6	0,9	3,1	1,6	0,8	3,3	<0.1	100,0
Resta herbacis secà	0,2	9,3	16,5	11,7	41,2	4,9	0,3	0,9	1,5	3,3	3,6	2,1	4,2	0,2	100,0
Fruiters	0,5	6,6	19,2	11,7	28,6	15,2	0,0	0,6	3,0	7,4	3,2	1,0	2,6	0,3	100,0
Oliveres	0,0	1,8	4,2	5,7	40,2	0,3	22,7	0,5	6,0	3,7	12,0	2,1	0,8	0,0	100,0
Vinyes	0,0	4,7	8,0	9,3	44,7	2,4	0,2	11,2	0,9	2,6	9,1	2,8	3,9	0,2	100,0
Superfície forestal	0,4	3,4	13,2	8,6	13,8	10,0	0,0	0,3	34,3	10,3	1,6	0,9	2,6	0,5	100,0
Prats i pastures	0,9	7,8	15,2	10,6	25,4	5,3	0,1	0,3	11,2	16,6	2,2	0,8	3,0	0,4	100,0
Erms pasturats	0,7	3,5	4,7	5,9	34,5	2,9	0,1	0,4	13,2	17,0	9,1	1,4	5,7	0,8	100,0
Sòl improductiu	0,0	1,3	4,0	2,9	20,6	0,8	0,0	0,8	0,3	5,9	3,2	37,7	21,4	1,1	100,0
Superfície no agrícola	0,0	0,4	0,8	0,7	5,6	0,1	0,0	0,2	0,4	0,4	0,9	1,0	88,8	0,8	100,0
Rius i estanys	1,0	1,3	1,0	1,6	9,6	1,6	0,0	0,3	9,2	20,4	2,2	12,4	17,2	22,3	100,0

Font: elaboració pròpia.

La comparació dels processos de canvi obtinguts amb els mapes en relació amb els censos donà els següents resultats convergents (taula 4):

- Introducció de l'arròs i del gira-sol.
- Increment del blat de moro, dels fruiters, dels erms pasturats i de la superfície no agrícola.
- Descens de la resta d'herbacis de regadiu, de secà, de les oliveres i vinyes, de la superfície forestal i dels prats i pastures.

En canvi, els resultats divergents amb les estadístiques varen ser:

- Increment del sòl improductiu en els mapes i descens en les dades censals.
- Decrement dels rius i estanys en els mapes i increment en les dades censals.

Cal esmentar, en relació amb aquests resultats divergents, que en el cas del sòl improductiu sembla més lògic l'increment, per l'abandonament dels conreus en les àrees periurbanes o per l'extracció d'àrids. En relació amb els rius i estanys, en els censos s'inclouen les superfícies dels llits dels rius malgrat que estiguin secs, mentre que en els mapes només s'inclouen aquelles superfícies amb aigua permanent i, per tant, discriminables visualment.

Conclusions

La localització dels canvis d'usos del sòl s'ha realitzat emprant eines relativament recents com la teledetecció. L'ús de la teledetecció ha permès utilitzar una llegenda força detallada, per la qual cosa es fa innecessari fotointerpretar i digitalitzar tota l'àrea d'estudi —com seria en el cas de treballar visualment amb fotografia aèria— gràcies a les àrees d'entrenament, que ocupaven, només, el 2% del territori, la resta es va assignar automàticament i amb un alt nivell d'incert.

Cal esmentar, també, que el material addicional, sobretot els ortofotomapes en format analògic i digital, i el treball de camp han estat imprescindibles per a l'obtenció d'uns resultats òptims. La disponibilitat de tres imatges de satèl·lit de mesos diferents ha estat clau per poder copsar els canvis fenològics (agrícoles) molt significatius que es produïen en un curt espai de temps.

L'ús acumulatiu, doncs, de tots aquests instruments, ha permès analitzar i localitzar les transformacions humanes, a escala subcomarcal, amb un grau de fiabilitat força acceptable. En definitiva, s'han emprat els instruments propis de la disciplina, des del treball de camp, representat, tal com s'ha esmentat anteriorment, per G.P. Marsh, passant per la fotografia aèria, emprada en el simposi de Princeton, fins els SIG i la teledetecció, usats en el simposi de Clark i en el LUCC.

Els processos més importants de canvi d'usos del sòl de 1977 a 1993 a la plana de l'Alt Empordà varen ser, d'una banda, la intensificació del blat de moro en l'eix Armentera-Fortià-Cabanes, dels fruiters, sobretot a Sant Pere Pescador, i la introducció del gira-sol, a tots els municipis. Aquest procés d'in-

tensificació es va produir, bàsicament, per la disminució dels prats i les pastures, dels llenyosos de secà (vinyes i oliveres) i dels cereals d'hivern (blat, ordi i civada).

D'altra banda, l'altre gran procés de canvi és la consolidació de la superfície urbana de Figueres, a través de l'eix C260, de la macrourbanització Empúria-brava i de la zona costanera de Sant Pere i de l'Escala en detriment dels prats i les pastures i dels conreus herbacis.

Aquestes transformacions han comportat uns impactes socioambientals significatius, com ara més vulnerabilitat a les sequeres i a les inundacions. La intensificació agrària ha anat acompanyada de l'increment dels conreus de regadiu, gràcies a la construcció del pantà de Boadella i al Pla de la zona regable de la Muga, aprovat a la dècada de 1960, i a l'augment de l'explotació dels aqüífers de la desembocadura del Fluvià. Aquest increment de les necessitats d'aigua ha donat lloc a importants conflictes entre els regants, els ajuntaments i els grups ecologistes. Malgrat que les administracions han comptabilitzat els recursos com a suficients, la plana de l'Alt Empordà, una àrea històricament amb d'excés d'aigua, ha patit força períodes de restriccions.

L'increment de la pressió urbanística costanera, evitada en part per la constitució del Parc Natural dels Aiguamolls, i interior ha comportat un augment dels danys produïts per les inundacions. La impermeabilització del sòl, l'increment de les infraestructures viàries i de les canalitzacions i l'ocupació d'àrees inundables han produït quantioses pèrdues econòmiques agreujades per la pèrdua de la vegetació de ribera, que reté les aigües, i dels prats i pastures, sobretot pel que fa a les closes, molt adaptades a les inundacions (Saurí i altres, 1995).

Així doncs, s'està produint una tendència a l'homogeneïtzació paisagística i a la pèrdua de la biodiversitat agrària, a través de la intensificació de determinats usos del sòl en detriment d'altres.

En definitiva, l'aparell metodològic i instrumental presentat en aquest article ens ha ajudat a entendre com els canvis d'usos del sòl esdevenen un element de primer ordre en l'estudi dels impactes humans sobre el medi. En aquest sentit, la recerca presentada vol seguir la línia oberta per Marsh, ja fa molt anys, i recuperada per la geografia via iniciatives com les del programa LUCC.

Bibliografia

- BAULIES, X.; JOAQUINET, M.; PINEDA, L.; TARDÀ, A. (1991). «El proyecto Corine Land Cover en el sector oriental peninsular y las islas Baleares». *Actas de la IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. Sevilla: Moreira.
- BOUMA, J.; VARALLYAY, G.; BATJES, N.H. (1998). «Principal land use changes anticipated in Europe». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 67, p. 103-119.
- CHUVIECO, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*. Madrid: Rialp, 3a edició revisada.
- COMPTE, A. (1963-64). «El Alto Ampurdán». *Pirineos. Revista del Instituto de Estudios Pirenaicos*, 66-67.

- DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA I PESCA (1993). *Superfícies dels conreus agrícoles, any agrícola 1993*. No publicat.
- EUROPEAN COMMISSION (1998). *Remote Sensing of Mediterranean Desertification and Environmental Changes (Resmedes)*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- FISCHER, G. (1998). «Entenent el canvi. L'ús de models integradors». *Medi Ambient. Tecnologia i cultura*, 21, p. 15-25.
- GANDIA, S.; MELIÀ, J. (coord.) (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura*. Universidad de Valencia, Departamento de Termodinámica.
- IHSE, M. (1995). «Swedish agricultural landscapes patterns and changes during the last 50 years, studied by aerial photos». *Landscape and Urban Planning*, 31, p. 21-37.
- LAFFLY, D. (1997). «Écologie, télédétection et sig: les écotopes du gran tétas dans le Haut-Jura». *Mappemonde*, 3, p. 27-30.
- LAMBIN, E.F. (1998). «La utilització del sòl i el canvi global». *Medi Ambient. Tecnologia i cultura*, 21, p. 5-11.
- MARSH, G.P. (1965). *Man and Nature (1864)*. [Edició de D. Lowental]. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- MARTÍ, X.; ARAN, D. (1994). «Redescobrint George Perkins Marsh i l'aportació de *Man and Nature* a la geografia ambiental». *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 25, p. 129-140.
- MEYER, W.B.; TURNER II, B.L. (1996). «Land-use/land-cover change: challengers for geographers». *GeoJournal*, 39 (3), p. 237-240.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (1977). *Superfícies ocupadas por los cultivos agrícolas, año agrícola 1977*. No publicat.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (1982). *Calendario de siembra, floración y recolección*. Madrid, MAPA. 3a edició.
- NUNES, J.; CERDÁN, R.; SÁNCHEZ, F.; BADIA, A.; FERRERO, I. (1996) «Desenvolupament d'un sistema d'informació geogràfica per a la lluita contra els incendis forestals. El projecte SIGIF». *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 28, p. 55-78.
- PALÀ, V.; PONS, X. (1995). «Incorporation of relief in Polynomial-Based Geometric corrections». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61 (7), p. 935-944.
- PINO, J.; RIBAS, J.; PONS, X.; RODA, F. (1988). «Análisis mediante SIG de la relación entre estructura del paisaje y riqueza de especies de aves en un área perimetropolitana de Barcelona». *Tecnología geográfica para el siglo XXI*. Bellaterra: VIII Coloquio Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Asociación de Geógrafos Españoles.
- PONS, X.; SOLÉ-SUGRAÑÉS, L. (1994). «A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data». *Remote Sensing of Environment*, 48, p. 191-204
- POUDEVIGNE, I.; ROOIJ, S.; MORIN, P.; ALARD, D. (1997). «Dynamics of rural landscapes and their main driving factors: A case study in the Seine Valley, Normandy, France». *Landscape and Urban Planning*, 38, p. 93-103.
- PUJOL, M. (1985). *Els cereals: Generalitats*. Barcelona: Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Agrícola i d'especialitats agropequàries de Barcelona. 2a edició.
- PUJOL, P.; PUJADAS, M. (1996). «Usos del sòl i frontera agrària al sud-est de Nicaragua». *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 28, p. 79-98.
- RICHARDS, J.A. (1993). *Remote sensing digital image analysis*. Berlín: Springer-Verlag, 2a edició.

- RIEBSAME, W.E.; MEYER, W.B.; TURNER II, B.L. (1994). «Modeling land use and cover as part of global environmental change». *Climate Change*, 28, p. 45-64.
- SAURÍ, D.; RIBAS, A.; BRETON, F.; LLURDÉS, J.C. (1995). «Estrategias tradicionales de aprovechamiento de espacios inundables. El sistema ampurdanés de las closes». *Cambios regionales a finales del s. XX*. Salamanca: XIV Congreso Nacional de Geografía.
- SOMMER, S.; HILL, J.; MEGIER, J. (1998). «The potential of remote sensing for monitoring rural land use changes and their effects on soil conditions». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 67, p. 197-209.
- THOMAS, W.L. (ed.) (1971). *Man's role in changing the face of the Earth*. (1956). Chicago: The University of Chicago Press, 10a edició.
- TURNER II, B.L.; CLARK, W.C.; KATES, R.W.; RICHARDS, J.F.; MATHEWS, J.T.; MEYER, W.B. (eds.) (1990). *The Earth as transformed by human action*. Cambridge: Cambridge University Press.
- TURNER II, B.L. (1994). «Local faces, global flows: the role of land use and land cover in global environmental change». *Land degradation & rehabilitation*, 5 (2), p. 71-78.
- TURNER II, B.L.; SKOLE, D.; SANDERSON, S.; FISCHER, G.; FRESCO, L.; LEEMANS, R. (1995). *Land-use and land-cover change*. Science/Research Plan. International Geosphere-Biosphere Programme Report, 35 & International Human Dimensions Programme Report, 7.
- VELDKAMP, A.; FRESCO, L.O. (1996). «CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects». *Ecological Modelling*, 85, p. 253-270.
- VIÑAS, O.; BAULIES, X. (1995). «1:250 000 Land-use map of Catalonia (32 000 km²) using multitemporal Landsat-TM data». *International Journal of Remote Sensing*, 16, p. 129-145.
- WULDER, M. (1998). «Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters». *Progress in Physical Geography*, 22 (4), p. 449-476.