

Evolució recent del paisatge agrari de l'Alt Empordà a través de teledetecció i d'índexs paisatgístics

Pere Serra*
David Saurí*
Xavier Pons**

**Departament de Geografia. Universitat Autònoma de Barcelona*
***Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals*
Universitat Autònoma de Barcelona
pere.serra@uab.es

Resum

En l'article es presenta el mètode emprat i els resultats obtinguts en l'evolució de les cobertes i usos del sòl extretes d'imatges satèl·lit de vint-i-un municipis de l'Alt Empordà. En concret s'ha quantificat com han evolucionat des del 1977 al 1997 pel que fa a la fragmentació o compactació a través de diversos índexs emprats en l'Ecologia del Paisatge. Els resultats mostren, d'una banda, la compactació de les masses forestals per l'abandonament de vinyes i oliveres, tendència, però, molt afectada pels incendis forestals, i, de l'altra, la fragmentació dels cereals d'hivern fruit de l'homogeneïtzació del blat de moro i del gira-sol, conreus força subsidiats per la Política Agrària Comuna d'aleshores.

Paraules clau: paisatge agrari, cobertes i usos del sòl, teledetecció i sistemes d'informació geogràfica, índexs paisatgístics.

Resumen

En el artículo se presenta el método empleado y los resultados obtenidos en la evolución de las cubiertas y usos del suelo extraídas de imágenes de satélite de veintiún municipios del Alt Empordà. En concreto se ha cuantificado como han evolucionado desde el 1977 al 1997 en relación a la fragmentación o compactación a través de diversos índices utilizados en la Ecología del Paisaje. Los resultados muestran, por un lado, la compactación de las masas forestales por el abandono de vides y olivos, tendencia muy afectada por los incendios forestales y, por otro lado, la fragmentación de los cereales de invierno fruto de la homogeneización del maíz y del girasol, cultivos con elevados subsidios por parte de la Política Agraria Común en esos años.

Palabras clave: paisaje agrario, cubiertas y usos del suelo, teledetección y sistemas de información geográfica, índices paisajísticos.

Abstract

This paper presents the methodology and analysis of satellite imagery of the evolution of land covers and land uses in twenty-one municipalities of the Alt Empordà. It covers the period from 1977 to 1997 and quantifies its evolution by using some indexes from landscape ecology that assess the level of fragmentation and compactness. The results show us first the increase on the level of compactness for the abandonment of vineyards and olive trees due to the effects of fires. Second, the increase of the level of fragmentation on winter cereals due to the homogenization of corn and sunflower fields heavily subsidized by the Common Agricultural Policy of the European Union.

Keywords: rural landscape, land coverage and land use, geographic information systems, remote sensing, landscape indexes.

Introducció

L'Alt Empordà ha estat històricament un dels paisatges de Catalunya més interessants, tant des del punt de vista biofísic com del cultural. La característica més especial és la seva biodiversitat d'ecosistemes: aiguamolls, agrícoles, forestals, etc. D'aquí que els seus límits englobin tres importants espais protegits: el Parc Natural del Cap de Creus creat el 1998, el Paratge Natural d'Interès Nacional de l'Albera creat el 1986 i el Paratge Natural d'Interès Natural dels Aiguamolls de l'Empordà creat el 1983.

En els darrers anys, en els paisatges rurals mediterranis s'estan produint transformacions significatives com la intensificació agrícola de les zones al·luvials

(increment del regadiu, etc.), d'una banda, i l'abandonament agrari, d'una altra (Saurí i Breton, 1998). Les conseqüències d'aquestes dinàmiques comporten el trencament amb la diversitat de *cobertes i usos del sòl* (CUS) tan característica de la comarca i la degradació paisatgística, per exemple amb la pèrdua de superfície de bosc a causa dels incendis forestals. Per evitar agreujar aquestes tendències, un requisit imprescindible és copsar l'evolució recent i analitzar quines són les forces que indueixen els canvis, amb l'objectiu de planificar les possibles solucions.

Des de principis dels noranta, l'anàlisi paisatgística s'ha desenvolupat a bastament i existeixen un gran nombre de treballs realitzats a través de fotografies aèries i censos. Per exemple, Ihse (1995) analitza els canvis en les CUS dels paisatges agrícoles suecs en els darrers cinquanta anys amb fotografies aèries; Skånes i Bunce (1997) analitzen el canvi paisatgístic a Suècia de 1714 a 1993 a través de l'anàlisi estadística en components principals; Power i Cooper (1995) analitzen els canvis succeïts a Irlanda, mentre que Poudevigne *et al.* (1997) ho fan dels paisatges rurals francesos.

En aquest article les fonts emprades per a l'anàlisi paisatgística han estat els mapes de les CUS de diversos anys obtinguts a partir d'imatges de satèl·lit. Una imatge de satèl·lit pot considerar-se com una representació digital d'un mosaic paisatgístic. Segons l'Ecologia del Paisatge, a partir de les imatges classificades es poden mesurar les relacions espacials entre els elements del mosaic; en el nostre cas s'han analitzat l'evolució de les taques (*patches* en anglès) definides com superfícies amb característiques homogènies i diferents de les del seu voltant (Turner, 1991). Els principals atributs de les taques es poden caracteritzar tant per la seva composició com per la seva configuració. La composició inclouria la varietat (categories de CUS) i abundància de tipus de taques. Hi ha diverses mesures quantitatives per caracteritzar la composició del paisatge: la varietat de taques (*patch richness*, en anglès), la uniformitat i varietat (*evenness and diversity*), etc. Per la seva banda la configuració analitzaria com estan distribuïdes les taques en el paisatge (*landscape pattern*), on s'inclouria la forma de la taca (*shape*), l'isolament (*patch isolation*), el contagi entre classes (*contagion*), l'àrea mitjana de la taca (*mean patch size*), la densitat, etc.

L'Ecologia del Paisatge, per tant, està interessada en l'estudi dels patrons paisatgístics, en les interaccions entre taques dins un mosaic i, finalment, en com aquests patrons i interaccions canvien en el temps. Tal com esmenta Turner (1989), els patrons espacials observats en els paisatges són resultat d'interaccions complexes entre les forces socials, biològiques i físiques. La majoria de paisatges han estat influenciats per les CUS i el mosaic paisatgístic resultant és una barreja de taques fruit de les accions humanes i naturals que varien en mida, forma i disposició en el territori.

Hi ha diversos exemples de treballs de quantificació del paisatge a través d'índexs paisatgístics aplicats a mapes de CUS obtinguts amb teledetecció: Quattrochi i Pelletier (1991), Clifford (1994), Chuvieco (1996), Geoghegan *et al.* (1998), Palang *et al.* (1998), Nielsen i Paracchini (1999), Antrop i Eetvelde

(2000) i Luque (2000). Aquest darrer autor, per exemple, conclou que la fragmentació forestal és perceptible en el descens de l'àrea mitjana de les taques. En general, la fragmentació o la partició d'una àrea homogènia en trossos més petits (Forman, 1995) és vista com a negativa ja que comporta la pèrdua de connectivitat, l'isolament d'espècies, etc.

Un aspecte essencial en l'anàlisi paisatgística és que el patró detectat en qual-sevol mosaic depèn de l'escala espacial; en el nostre cas depèn de la mida de píxel dels mapes de CUS (que en Ecologia del Paisatge es denomina *grain*, l'element més petit possible [Haines-Young i Chopping, 1996]) ja que el paisatge pot semblar homogeni en algunes escales i heterogeni en d'altres (Walsh et al., 1999; Turner, 1989; Moody i Woodcock, 1995). Per evitar, doncs, analitzar paisatges mesurats a diferents escales (per exemple a Fox et al., 1995), s'han comparat els mapes obtinguts amb el mateix sensor i per tant a la mateixa escala, tal com es detallarà més endavant.

L'objectiu principal de l'anàlisi paisatgística era esbrinar l'evolució de les diferents CUS pel que feia a la fragmentació o a la homogeneïtzació, per tant, els indicadors emprats varen anar en aquest sentit. El programa emprat (McGarigal i Marks, 1994) calcula diferents indicadors; els usats varen ser els següents:

- Àrea total en hectàrees.
- Nombre de taques.
- Àrea mitjana de les taques: àrea total dividida pel nombre de taques.
- Índex de la taca més gran: percentatge de la taca més gran respecte a l'àrea d'estudi.
- Coeficient de variació de la mida de les taques: percentatge resultant de la divisió entre la desviació estàndard de la mida de les taques per la mida mitjana, o sigui, mesura la variabilitat relativa en relació a la mitjana.
- Índex de la forma paisatgística: la divisió entre el perímetre i l'arrel quadrada de l'àrea, ajustada amb una constant. Quantifica la quantitat de vora present en relació a la que tindríem en un paisatge de la mateixa mida però amb una forma geomètrica simple (en el cas de treballar amb ràster és un quadrat). El seu valor seria 1 si l'ús del sòl consistís en una sola taca i fos quadrada. Quan més elevada és la complexitat de la forma més incrementa l'índex.

2. Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi comprèn vint-i-un municipis pertanyents a la comarca de l'Alt Empordà, amb una superfície total de 43 516 ha (mapes 1 i 2). Donada la diversitat de CUS, es va subdividir l'àrea en tres zones: la plana agrícola que incloïa els municipis situats entre la línia de costa i els 100 m d'altitud i amb una llarga tradició en conreus herbacis: Cabanes, Fortià, Riumors, Sant Pere, Vila-sacra, Vilamacolum, Castelló d'Empúries, Peralada i Pedret i Marzà. La segona va ser la corresponent a la zona de transició entre la muntanya i la plana

Mapa 1.
Localització de l'àrea d'estudi



Mapa 2.
Àrea d'estudi



En gris intens es representen les superfícies urbanes dels noranta

(que inclou la denominació geogràfica dels Aspres) que contenia la informació dels municipis situats entre els 100 i els 400 m d'altitud amb predomini de les vinyes i oliveres: Cantallops, Capmany, Sant Climent, Masarac, Mollet, Vilajuïga, Garriguella, Pau i Palau-saverdera. La tercera va ser la zona de muntanya que comprenia els municipis situats a partir dels 400 m d'altitud amb predomini dels alzinars i caducifolis: Agullana, la Jonquera i Espolla.

3. Discriminació de les cobertes i usos del sòl amb teledetecció

La font emprada per a l'obtenció dels mapes de CUS ha estat les imatges del satèl·lit Landsat. Aquestes tenen alguns avantatges respecte a la font tradicionalment més emprada, la fotografia aèria: el satèl·lit passa pel mateix lloc a la mateixa hora cada cert temps (en el cas del Landsat cada 16 dies) i permet analitzar fenòmens dinàmics com l'estat fenològic de la vegetació, etc. El seu format digital i fàcilment georeferenciable facilita el seu tractament i proporciona informació multiespectral que millora extraordinàriament la interpretació de les CUS.

A causa del període analitzat (1977-1997), les imatges emprades corresponen a dos sensors diferents: al *Multispectral Scanner* (MSS) del Landsat-2 i al *Thematic Mapper* (TM) del Landsat-5. Les imatges MSS tenen menor resolució espacial, o sigui una mida de píxel menys fina que les TM (60 m * 60 m per 30 m * 30 m) i menor riquesa espectral (4 bandes enlloc de 7) amb la qual cosa, per evitar comparar resultats obtinguts de sensors diferents, s'establí dos subperíodes: de 1977 a 1993 amb imatges MSS i de 1991 a 1997 amb TM.

Per a l'obtenció dels mapes de CUS s'han emprat les següents imatges: per al 1977 tres imatges MSS de data 17 de juliol de 1977, 2 de juny de 1978 i 18 de setembre de 1978; per al 1993 dues imatges MSS de data 28 de juny de 1993 i 19 de juliol de 1992; per al 1991 dues TM de data 22 de maig de 1991 i 19 de juliol de 1992 i, finalment, tres per al 1997 de 20 de juny de 1996, 23 d'agost de 1996 i de 9 de juliol de 1997. Com es pot observar no totes les imatges eren del mateix any ja que la gran presència de núvols ho va impedir.

La metodologia emprada per a l'obtenció de les CUS per a cadascun dels anys es basa en tres etapes: la primera correspon a la correcció geomètrica de les imatges realitzada a través del mètode Palà i Pons (1995) per evitar les distorsions provocades pel moviment del satèl·lit, pel relleu, etc., amb la qual cosa es disposaven de totes les imatges en coordenades UTM. La segona correspon a la correcció radiomètrica realitzada a través del mètode 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.

La darrera etapa correspon a la classificació amb l'objectiu d'obtenir els mapes de CUS per a cada any (1977, 1993, 1991 i 1997). La llegenda per als anys 1977 i 1993 va ser: el blat de moro de regadiu, altres herbacis de regadiu (sorgo,

userda, etc.), els cereals d'hivern i el guaret, els fruiters, les oliveres i les vinyes, els matollars, els caducifolis, els esclerofil·les, els prats i pastures (que inclouen les típiques closes altempordaneses i la vegetació dels aiguamolls) i la superfície urbana. Per al 1991 i 1997 foren les mateixes CUS més l'arròs i el gira-sol que no es conreaven a mitjans dels setanta.

En la teledetecció a través d'imatges de satèl·lit els mapes de les CUS es poden obtenir de classificacions automàtiques, existint una gran diversitat de mètodes (Chuvieco, 2002). El mètode que es va emprar correspon a un classificador de tipus mixt (Serra *et al.*, 2003) que combina una classificació no supervisada, o sigui, se li demana al programa que busqui automàticament un elevat nombre de categories espectrals segons la seva reflectància, i les àrees d'entrenament, o sigui, l'investigador digitalitza polígons com a patrons de les CUS de la llegenda. Una vegada obtinguts els quatre mapes es varen realitzar els tests per establir quina fiabilitat temàtica tenien i es van obtenir encerts superiors al 85% en tots els casos.

3. Resultats: evolució paisatgística 1977-1993 i 1991-1997

A continuació es varen quantificar per a cada mapa els índexs anteriorment esmentats. Les CUS que tenien una presència testimonial en cadascuna de les zones establertes (menys de 10 hectàrees d'ocupació) varen ser excloses de l'anàlisi.

3.1. Plana

A la plana altempordanesa el paisatge dominant entre 1977-1993 i 1991-1997 era l'agrícola i, en particular, els cereals d'hivern, observable a través de l'índex de la taca més gran (taula 1). La tendència, però, d'aquests conreus en els darrers anys ha estat la pèrdua d'ocupació i la fragmentació, el mateix que succeïa amb la resta d'herbàcis de regadiu (sorgo i userda, sobretot), ja que perdien ocupació i es fragmentaven. El conreu que en el període 1977-1993 triplicava l'ocupació, duplicava l'àrea mitjana de les taques i presentava una forma paisatgística força més irregular era el blat de moro de regadiu (fotografia 1). Tanmateix, en el període 1991-1997 el seu creixement s'estancà.

En el període 1991-1997 els conreus que experimentaren un creixement més important foren l'arròs que doblava la superfície i l'àrea mitjana de les taques (fotografia 2) i el gira-sol que multiplicava per cinc l'ocupació i gairebé per quatre el nombre de taques (fotografia 3).

En el període 1977-1993 els fruiters duplicaven la seva superfície i tendien a la compactació, tot el contrari que les vinyes i oliveres que perdien molta ocupació i es fragmentaven. Tots aquests conreus llenyosos presentaven una forma paisatgística força regular. En el període 1991-1997 les tendències varien: el creixement dels fruiters es veu frenat el mateix que la significativa pèrdua de vinyes i d'oliveres.

Taula 1
Evolució paisatgística de la plana altempordanesa de 1977-1993 i 1991-1997.

Indicadors paisatgístics	Arròs		Gira-sol		Blat de moro		Resta herbacis regadiu		Cereals d'hivern	
	1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993
Àrea en ha	345,6	810,0	419,0	290,1	271,0	60,1	2198,5	1289,1	5202,4	5374,8
Nombre de taques	160,0	204,0	130,0	105,0	36,0	31,0	432,0	560,0	275,0	296,0
Àrea mitjana taques en ha	2,1	3,9	3,2	2,7	3,2	1,9	5,0	2,3	18,9	18,2
Índex de la taca més gran	0,3	1,0	1,3	0,9	1,0	0,1	4,8	1,3	17,0	13,6
Coefficient de variació mida taques	296,6	344,6	559,8	498,3	350,8	190,9	758,9	415,9	982,9	852,1
Índex de la forma paisagística	4,3	6,6	4,4	3,9	3,3	2,7	12,5	11,0	16,9	16,0
Fruïters										
	Vinyes		Oliveres		Prats i pastures		Matolls			
	1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993
Indicadors paisatgístics	1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997
Àrea en ha	93,2	186,6	325,5	1733,5	2980,8	2810,2	1370,4	905,4	6591,6	4953,6
Nombre de taques	4,0	4,0	521,0	1822,0	1406,0	1311,0	2887,0	2337,0	1140,0	1564,0
Àrea mitjana taques en ha	23,3	46,6	0,6	0,9	2,1	2,1	0,4	0,3	5,7	3,1
Índex de la taca més gran	0,3	0,9	0,1	0,1	2,0	2,1	0,1	0,1	14,1	9,0
Coefficient de variació mida taques	99,1	123,6	174,5	252,7	550,0	623,2	234,3	209,9	1422,7	1245,5
Índex de la forma paisagística	2,5	2,6	6,5	21,1	25,6	24,1	24,4	18,0	43,0	34,5
Fruïters										
	Vinyes		Oliveres		Prats i pastures		Matolls			
	1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997
Àrea en ha	806,7	775,8	397,6	348,8	79,3	68,6	778,9	1057,3	5658,0	6100,2
Nombre de taques	597,0	1291,0	591,0	568,0	63,0	60,0	896,0	1942,0	2159,0	1843,0
Àrea mitjana taques en ha	1,3	0,6	0,6	0,6	1,2	1,1	0,8	0,5	2,6	3,3
Índex de la taca més gran	0,6	0,9	1,0	0,1	0,1	0,1	1,9	2,0	17,8	14,7
Coefficient de variació mida taques	342,7	843,3	1038,9	251,7	142,1	156,7	1207,9	1344,1	2444,9	2088,0
Índex de la forma paisagística	11,5	11,1	6,8	7,7	3,0	3,0	9,9	16,1	53,4	45,9

Fotografia 1
Camp extens de blat de moro situat entre Fortià i Riumors
(plana altempordanesa)



Fotografia 2
Camp d'arròs a Castelló d'Empúries (plana altempordanesa)



Fotografia 3
Camp extens de gira-sol al sud-est de Peralada (plana altempordanesa)



En el període 1977-1993 la tendència dels matolls era incrementar l'ocupació, mentre que en el cas dels prats i pastures era perdre superfície i compactació. En el període 1991-1997 els matolls seguien augmentant la seva superfície, essent la CUS amb una forma paisatgística més irregular, mentre que els prats i pastures també l'incrementaven però tendien a la fragmentació. En altres paraules, no es tractava d'un augment compacte de la seva coberta, aspecte confirmat pel coeficient de variació de la mida de les taques (fotografia 4).

Fotografia 4
Closa inundada als aiguamolls de l'Empordà (plana altempordanesa)



3.2 Zona de transició

El paisatge predominant en la zona de transició en els dos períodes analitzats era el matollar observable a través de l'índex de la taca més gran, amb una tendència a la compactació però molt influït segons l'existència d'incendis forestals o no (taula 2 i fotografia 5). Dels conreus herbacis, el predomini corresponia als cereals d'hivern, en expansió en el període 1977-1993, mentre que en regressió i tendint a la fragmentació en el període 1991-1997. L'evolució de la resta de regadiu i del blat de moro era molt semblant: increment pronunciat de l'ocupació en el període 1977-1993 i lleu descens entre 1991-1997. Finalment, el gira-sol, el mateix que succeïa a la plana, incrementava la seva ocupació però no en taques de grans dimensions.

Les vinyes i oliveres en el període 1977-1993 presentaven una forta davallada que en el període 1991-1997 es convertí en augment, clarament en el cas de les vinyes (fotografia 6) i en menor grau en el cas de les oliveres.

En el període 1977-1993 els prats i pastures guanyaven ocupació però perdien compactació mentre que entre 1991-1997 perdien superfície. En el cas dels esclerofil·les malgrat el creixement de l'ocupació entre 1977-1993 perdien compactació, tendència que s'invertia entre 1991-1997.

Fotografia 5

Paisatge degradat pels incendis forestals a Pau (zona de transició)



Taula 2
Evolució paisatgística de la zona de transició de 1977-1993 i 1991-1997.

Indicadors paisatgístics	Gira-sol		Blat de moro		Resta herbacis regadiu		Cereals d'hivern		Vinyes	
	1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993
Àrea en ha	83,5	306,4	215,3	290,5	3385,0	4174,6	1951,6	920,5		
Nombre de taques	69,0	136,0	136,0	153,0	236,0	250,0	368,0	285,0		
Àrea mitjana taques en ha	No considerat									
Índex de la taca més gran	1,2	2,3	1,6	1,9	14,3	16,7	5,3	3,2		
Coefficient de variació mida taques	0,1	0,2	0,1	0,1	5,5	11,1	4,7	0,7		
Índex de la forma paisatgística	81,4	198,1	92,6	173,3	531,4	693,7	716,1	254,3		
	3,3	4,7	4,4	4,7	18,9	19,4	12,4	8,7		
Oliveres		Prats i pastures		Matolls		Esclerofil·les				
1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993			
1262,5	330,5	1011,6	1613,2	5374,8	1496,9	1627,9				
195,0	130,0	317,0	569,0	275,0	296,0	76,0	121,0			
6,5	2,5	3,2	2,8	18,9	18,2	19,7	13,5			
3,1	0,2	1,0	0,3	17,0	13,6	7,4	5,6			
541,1	197,1	371,8	213,2	982,9	852,1	660,3	631,7			
7,8	4,6	8,7	14,4	16,9	16,0	5,1	6,4			
Gira-sol		Blat de moro		Resta herbacis regadiu		Cereals d'hivern		Vinyes		
1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997	
4,2	373,2	316,2	246,5	490,9	384,9	3285,9	2422,0	972,9	1493,7	
13,0	786,0	424,0	328,0	1124,0	1024,0	1572,0	1533,0	1262	2253	
Àrea mitjana taques en ha	0,3	0,4	0,7	0,4	0,3	2,0	1,6	0,7	0,6	
Índex de la taca més gran	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	6,7	1,0	0,8	0,5	
Coefficient de variació mida taques	111,6	260,4	221,0	373,1	218,3	251,2	1289,9	526,9	406,8	
Índex de la forma paisatgística	2,6	8,1	6,2	5,4	10,7	9,4	31,2	25,5	13,6	
Oliveres		Prats i pastures		Matolls		Esclerofil·les				
1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997			
367,7	382,4	1042,7	821,6	5658	6100,2	2458,6	2134,3			
248	224	2481	2178	2159	1843	1475	922			
1,4	1,7	0,4	0,3	2,6	3,3	1,6	2,3			
0,2	0,2	0,1	0,5	17,8	14,7	5,8	7,2			
239,5	242,1	319,7	524,2	2444,9	2088	1496,1	1576			
5,7	5,7	21	17,4	53,4	45,9	22,7	16,3			

Fotografia 6 Camp extens de vinyes a Vilajuïga (zona de transició)



3.3. Zona de muntanya

La CUS predominant en la zona de muntanya era els esclerofil·les, segons l'índex de la taca més gran (taula 3). Entre 1977-1993 la tendència és la compactació malgrat el descens de la seva superfície, que es converteix en augment en el període 1991-1997 (fotografia 7). Com s'observa, dins dels conreus herbacis els cereals d'hivern eren els més representatius, tendint a l'augment de la seva ocupació entre 1977-1993 malgrat un decrement de la seva compactació, que es convertí en descens en el període 1991-1997.

Com succeïa en la zona de transició les vinyes i oliveres presentaven, entre 1977-1993, un descens significatiu de la seva superfície que en el cas de les oliveres anava acompanyada d'un descens de la compactació (fotografia 8). La tendència a la pèrdua d'ocupació es manté clarament en el cas de les vinyes en el període 1991-1997.

D'altra banda, la superfície dels matolls incrementà entre 1977-1993, destacant que l'índex de la taca més gran es multiplicava per quatre i el coeficient de variació es duplicava, mentre que en el període 1991-1997 perdia ocupació. Pel que fa als caducifolis, el procés més visible era la tendència a la compactació, principalment entre 1977-1993, amb un increment de l'àrea mitjana de les taques i de l'índex de la taca més gran. Finalment, en el període 1977-1993 els prats i pastures presentaven una pèrdua de la superfície, per tant compactació, tendència que s'invertia en el període 1991-1997.

Taula 3
Evolució paisatgística de la zona de muntanya de 1977-1993 i 1991-1997.

Indicadors paisatgístics	Cereals d'hivern		Vinyes		Oliveres		Prats i pastures	
	1977	1993	1977	1993	1977	1993	1977	1993
Àrea en ha	540,0	627,8	311,8	173,2	354,2	66,6	1279,1	755,6
Nombre de taques	78,0	114,0	60,0	31,0	42,0	36,0	321,0	244,0
Àrea mitjana taques en ha	6,9	5,5	5,2	5,6	8,4	1,9	4,0	3,1
Índex de la taca més gran	2,7	2,3	1,6	0,4	0,5	0,1	0,9	0,6
Coefficient de variació mida taques	568,8	513,1	517,7	231,2	174,5	91,2	306,9	219,3
Índex de la forma paisatgística	5,3	5,7	3,9	3,2	3,9	2,7	10,5	7,5

	Matolls		Esclerofil·les		Caducifolis	
	1991	1997	1991	1997	1991	1997
	1760,4	2345,4	6733,4	6530,4	1636,6	2053,4
	217,0	277,0	224,0	145,0	134,0	109,0
	8,1	8,5	30,0	45,0	12,2	18,8
	3,2	12,0	20,7	20,3	4,7	11,6
	526,5	1100,3	815,0	616,0	604,7	763,5
	9,5	10,4	13,7	13,7	6,9	7,8

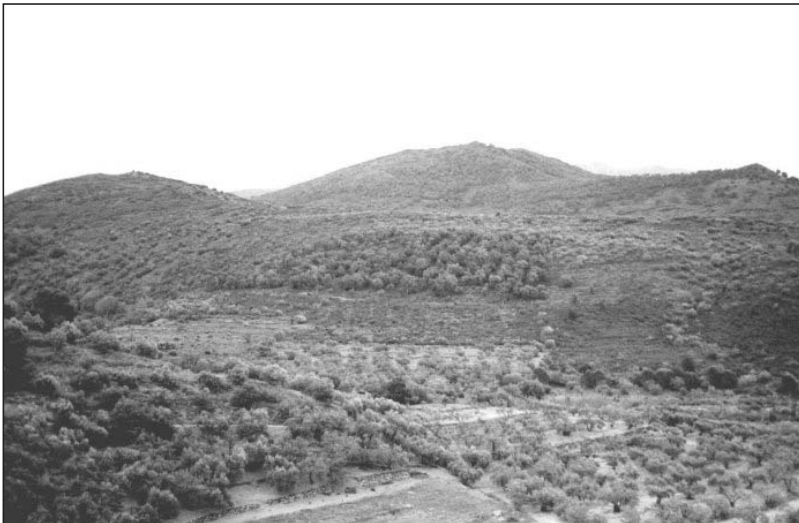
Indicadors paisatgístics	Cereals d'hivern		Vinyes		Oliveres		Prats i pastures	
	1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997
Àrea en ha	471,8	332,0	233,4	112,5	85,8	84,4	323,8	526,5
Nombre de taques	711,0	359,0	196,0	225,0	85,0	68,0	1390,0	953,0
Àrea mitjana taques en ha	0,6	0,9	1,1	0,5	1,0	1,2	0,2	0,5
Índex de la taca més gran	0,7	0,5	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Coefficient de variació mida taques	610,4	462,4	418,6	184,7	129,3	131,7	252,9	256,2
Índex de la forma paisatgística	7,8	6,4	4,1	4,2	3,2	3,1	8,7	10,5

	Matolls		Esclerofil·les		Caducifolis	
	1991	1997	1991	1997	1991	1997
	2269,6	1939,2	6905,6	7478,0	2199,0	2018,7
	3176,0	1330,0	1795,0	429,0	573,0	551,0
	0,7	1,4	3,8	17,4	3,8	3,6
	3,2	5,1	19,0	24,5	13,1	8,8
	1026,2	1276,0	1425,7	1164,8	1407,9	1320,4
	30,9	23,8	30,1	24,7	10,3	16,7

Fotografia 7
Bosc compacte d'esclerofil·les al castell de Requesens, la Jonquera
(zona de muntanya)



Fotografia 8.
Camps d'oliveres a Espolla
(zona de muntanya)



4. Forces inductores de les dinàmiques paisatgístiques

Segons diversos censos analitzats, el sector agrari altempordanès estudiat es caracteritzava en els anys cinquanta i seixanta per la fragmentació parcel·lària (un 64.5% tenien menys d'1 ha), per la reduïda superfície en regadiu (al voltant d'un 5% de la superfície total) i per la importància de la parcel·laria (gairebé una quarta part de la superfície agrícola tenia aquest règim de tinença). Des d'aleshores, la dinàmica ha estat l'increment de la superfície en regadiu, la pràctica desaparició de la parcel·laria, la pèrdua d'actius agraris i el tancament d'explotacions, sobretot de les mitjanes i petites. Així, entre 1977 i 1997, s'han perdut 2 640 treballadors agraris; això ha representat la pèrdua de més del 75% dels pertanyents a la zona de muntanya i de transició i el 65% dels de la plana. De les 966 explotacions desaparegudes en el mateix període, el 64% pertanyien a la zona de muntanya; per mides s'observa que es perdien més del 50% de les explotacions considerades petites i mitjanes (fins a 20 ha) mentre que les més grans augmentaven un 2%, fet concentrat, però, en la plana agrícola.

A la plana altempordanesa, entre 1977 i 1997, s'ha produït una significativa intensificació agrícola d'alguns conreus herbacis, en concret del blat de moro de regadiu i del gira-sol, en detriment d'altres, sobretot dels cereals d'hivern. La construcció del pantà de Boadella a partir de 1959 i del desenvolupament del Pla Regable de la Muga a mitjans dels seixanta ha possibilitat incrementar el blat de moro de regadiu, conreu amb una presència històrica a la zona (des del segle XVIII) i amb elevats rendiments. A més, els pagaments compensatoris provinents de la Política Agrària Comuna (PAC) per al blat de moro i per al gira-sol han estat força elevats en aquests anys en comparació als dels cereals d'hivern. En el cas del gira-sol aquest fet ha estat molt clar a causa del dèficit en greixos vegetals de la Comunitat Europea d'aleshores. Per exemple, en el cas d'un productor professional (més de 92 tones de producció) en el període 1994-1995 es pagava 105.060 ptes/ha el gira-sol de regadiu, 67.504 ptes/ha el blat de moro de regadiu i 38.945 ptes/ha la resta de cereals, diferències força apreciables (DARP, 1994-95).

Per tant, els cereals d'hivern, malgrat seguir sent la CUS amb més ocupació de la plana, tendeixen a la recessió a causa de l'augment del regadiu, de la caiguda dels preus de venda, dels menors rendiments respecte altres herbacis i dels reduïts subsidis de la PAC a causa dels elevats excedents. La tendència ha estat la transformació a altres herbacis, a fruiters o a superfície urbana.

En relació als prats i pastures, aquests s'han vist afectats per la intensificació agrícola però en el darrer període aquesta ha estat aturada gràcies a la política de conservació de les closos per part dels gestors del Parc dels Aiguamolls de l'Empordà. En el futur les closos poden veure's beneficiades per la política mediambiental de la PAC ja que en el Reglament agroambiental 2078/92 de la Comissió Europea aposta per la reconversió dels conreus herbacis per pastures extensives que presenten una major varietat biològica.

Les dinàmiques dels conreus herbacis han afectat en menor grau la zona de transició on els matollars són la CUS predominant a causa de l'abandonament agrari i dels incendis forestals. El descens de les vinyes ha estat causat per la baixa productivitat, per la feble mecanització del sector, per l'atomització parcel·lària (el 1976 la superfície mitjana de les parcel·les de vinya en els municipis inclosos en la Denominació d'Origen Empordà-Costa Brava era inferior a una hectàrea [Ministerio de Agricultura, 1976]) i per la manca d'una xarxa de comercialització eficaç. Cal esmentar també el pla de reestructuració de la PAC iniciat el 1987 i aplicat fins el 1997 amb l'objectiu de replantar noves varietats i plantar els ceps a més distància per facilitar l'entrada de maquinària.

Els problemes abans esmentats també han afectat a les oliveres malgrat que darrerament sembla que s'han pogut superar i evitar una pèrdua definitiva, sobretot les situades en les zones més planeres. La desaparició d'aquests conreus ha comportat més degradació, observable amb les grans extensions de matollars i, en algunes zones, amb l'ocupació d'urbanitzacions, agreujada pels nombrosos incendis forestals. Així, entre mitjans dels vuitanta i el 1993 es varen cremar 3.763 ha, essent els municipis de la zona de transició més afectats Cantallops (816,6 ha) i Sant Climent Sescebes (639,7 ha).

Finalment, en la zona de muntanya l'abandonament dels conreus llenyosos ha produït masses forestals més compactes en funció, però, dels incendis forestals que periòdicament l'afecten. Per exemple, en el període abans esmentat (mitjans vuitanta i 1993) a Espolla es cremaven 911,9 ha i a La Jonquera 951,9 ha. En aquest sentit, l'absentisme i l'abandonament dels boscos altempordanesos (majoritàriament concentrats en pocs propietaris) no presenten grans expectatives de millora de la seva situació.

Conclusions

L'ús de les imatges de satèl·lit ha permès analitzar les dinàmiques agràries amb força fiabilitat, gràcies a la disponibilitat de diverses imatges per a cadascun dels períodes i a la informació multiespectral que proporcionen, entre altres dades, informació de l'estat fenològic de la vegetació. Aquest fet ha ajudat a la discriminació de determinats conreus i aplicar una llegenda força detallada.

D'entre la multitud d'indicadors paisatgístics disponibles en el *software* emprat només s'han usat uns quants, de comprensió i anàlisi senzilla, referents a la fragmentació o a la homogeneïtzació de les CUS. Un aspecte fonamental a l'hora d'aplicar els índexs paisatgístics, des d'una perspectiva històrica, és la mida de píxel, que en el nostre cas ha estat resolt comparant mapes provinents del mateix sensor (1977-1993 i 1991-1997). Així, doncs, l'evolució paisatgística a través de les classificacions obtingudes amb imatges de satèl·lit s'ha pogut quantificar satisfactòriament.

En els darrers sis anys, des de 1997 fins el 2003, s'ha pogut constatar, gràcies al treball de camp, que les dinàmiques esmentades s'han mantingut en alguns casos i en d'altres han sofert algunes modificacions. Així, per exemple, la superfície ocupada per les vinyes i oliveres sembla haver-se estabilitzat, el mateix que l'arròs, el blat de moro i els fruiters mentre que l'expansió del girasol s'ha aturat. Pel que fa a la superfície forestal cal esmentar l'important incendi del 6 d'agost de 2000 que afectà nou municipis de l'Alt Empordà, quatre d'ells dins l'àrea d'estudi (Vilajuïga, Garriguella, Palau-saverdera i Pau). En relació als prats i pastures cal esmentar l'expropiació de 42 hectàrees per part del Departament de Medi Ambient i Habitatge corresponents a la reserva integral dels Estanys, al terme de Palau-saverdera. Per últim esmentar l'increment de la superfície urbana a través, per exemple, de la construcció d'un polígon industrial de 50.000 m² a Castelló d'Empúries.

Així, doncs, el futur l'evolució del paisatge agrari altempordanès dependrà de les forces inductores esmentades: els preus de mercat, els pagaments compensatoris de la PAC (en revisió actualment) i la política agroambiental de la Unió Europea, l'increment del regadiu, el turisme i el creixement urbanístic, i la conservació d'àrees protegides. Totes elles generen interessos contraposats produint conflictes que les diverses administracions han de resoldre. En aquest sentit, en funció de les mesures adoptades es podrà seguir gaudint d'una zona privilegiada tant físicament com humanament o, contràriament, s'haurà de claudicar a les possibles pressions mercantils i degradar el paisatge creat per l'acció humana en els darrers segles.

Bibliografia

- ANTROP, M.; EETVELDE, V. (2000). "Holistic aspects of suburban landscapes: visual image interpretation and landscape metrics". *Landscape and Urban Planning*, 50, p. 43-58.
- CHUVIECO, E. (1996). "Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica". *Serie Geográfica*, 6, p. 131-147.
- CLIFFORD, A. (1994). "A regional analysis of Bari land use intensification and its impact on land heterogeneity". *Human Ecology*, 22, p. 290-315.
- Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP) (Diversos anys). Pagaments compensatoris a productors petits i professionals. Campanyes sèmbres de 1992 a 1997. No publicat.
- FORMAN, R.T. (1995). *Land Mosaics*. Great Britain: Cambridge University Press.
- FOX, J.; KRUMMEL, J.; YARNASARN, S.; EKASINGH, M.; PODGER, N. (1995). "Land use and landscape dynamics in northern Thailand: assessing change in three upland watersheds". *Ambio*, 24, 6, p. 328-334.
- GEOGHEGAN, J.; PRITCHARD, L.; OGNEVA, Y.; ROY, R.; SANDERSON, S.; TURNER II, B.L. (1998). "Socializing the pixel and pixeling the social in land use/cover

- change". A: LIVERMAN, D.; MORAN, E.; RINDFUSS, R.; STERN, P. (Ed). *People and pixels*. Washington: National Academy Press, p. 51-69.
- HAINES-YOUNG, R.; CHOPPING, M. (1996). "Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes". *Progress in Physical Geography*, 20, 4, p. 418-445.
- 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.
- LUQUE, S. (2000). "The challenge to manage the biological integrity of nature reserves: a landscape ecology perspective". *International Journal of Remote Sensing*, 13-14, p. 2613-2643.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. (1994). *Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Manual versió 2.0. Disponible a: <ftp://ftp.fsl.orst.edu/pub/fragstats.2.0/frag.zip>
- Ministerio de Agricultura (1976). Catastro vitícola y vinícola. Denominación de Origen Ampurdán-Costa Brava. Madrid.
- MOODY, A.; WOODCOCK, C. (1995). "The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing". *Landscape Ecology*, 10, 6, p. 363-379.
- NIELSEN, N.C.; PARACCHINI, M^a (1999). *Remote sensing based estimates of structural diversity and sustainability for forest ecology*. A: http://regow99.sggw.waw.pl/08_session_4/03
- PALA, V.; PONS, X. (1995). "Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, p. 935-944.
- PALANG, H.; MANDER, U; LUUD, A. (1998). "Landscape diversity changes in Estonia". *Landscape and Urban Planning*, 41, p. 163-169.
- PONS, X.; SOLÉ-SUGRAÑES, 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.; VAN 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, 93-103.
- POWER, J.; COOPER, A. (1995). Vegetation and land use change in north-eastern Ireland. *Landscape and Urban Planning*, 31, 195-203.
- QUATTROCHI, D.; PELLETIER, R. (1991). "Remote sensing for analysis of landscape: an introduction". A: TURNER, M.; GARDNER, R. (Ed). *Quantitative methods in landscape ecology*. New York: Springer.
- SAURÍ, D.; BRETON, F. (1998). "La mediterrània. Forces socioeconòmiques i canvi ambiental". *Medi ambient. Tecnologia i Cultura*, 21, p. 15-25. Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.
- SERRA, P.; PONS, X.; SAURÍ, D (2003). "Post-classification change detection with data from different sensors. Some accuracy considerations". *International Journal of Remote Sensing*, 24, 16, p.3311-3340.

- SKÅNES, H.; BUNCE, R. (1997). "Directions of landscape change (1741-1993) in Virestad, Sweden –characterised by multivariate analysis". *Landscape and Urban Planning*, 38, p.61-75.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R.H. (Ed) (1991). *Quantitative methods in landscape ecology*. New York: Springer-Verlag.
- TURNER, M. (1989). Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, p. 171-197.
- WALSH, S.; EVANS, T.; WELSH, W.; ENTWISLE, B.; RINDFUSS, R. (1999). Scale-dependent relationships between population and environment in northeastern Thailand. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, 1, p. 97-105.